



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

SILIKAATKIVIST TÄITEMATERJALI MÕJU UURIMINE MÖRDI OMADUSTELE

INFLUENCE OF AGGREGATE MADE FROM SILICATE MASONRY UNITS TO MORTAR CHARACTERISTICS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Joosep Kalbus

Üliõpilaskood: 182339

Juhendaja: Tanel Tuisk

Tallinn 2023

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

15. mai 2023

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees:

.....

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS

Mina, **Joosep Kalbus**,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Silikaatkivist täitematerjali mõju uurimine mördi omadustele,

mille juhendaja on Tanel Tuisk

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (kuupäev)

Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud üks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Üliõpilane: **Joosep kalbus**

Üliõpilaskood **182339**

Õppekava: **EAEI02 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine**

Peeriala: Ehitiste projekteerimine

Lõputöö teema:

SILIKAATKIVIST TÄITEMATERJALI MÕJU UURIMINE MÖRDI OMADUSTELE

Influence of aggregate made from silicate masonry units to mortar characteristics

Juhendaja: **Tanel Tuisk**

tanel.tuisk@taltech.ee

Lõputöö konsultandid:

Tiitel või ametikoht, Ees- ja
Perekonnanimi

Kontakt (e-post või
telefon)

Allkiri ja kuupäev

.....
.....
.....

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida silikaatkividest valmistatud täitematerjalide mõju mördi tugevus- ja paigaldusomadustele.
- 2.

Töö keel: eesti keel

Lõputöö etapid ja ajakava:

Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1. Kirjandusega tutvumine	30.09.2022
2. Katsemeetoditega tutvumine	30.09.2022
3. Lähtematerjalide komplekteerimine	30.09.2022
4. Katsete teostamine	30.03.2023
5. Tulemuste analüüs – lõputöö kirjutamine	15.05.2023

Lõputööde ülevaatus, mille läbimine on kaitsmise eelduseks

11.05.2023

Peale ülevaatuset saab teha väiksemaid korrekture ja üles laadida töö Moodle keskkonda plagiadi kontrolliks.

Lõputöö esitamise tähtaeg:

22. mai 2023

Lõputöö ülesanne välja antud: 15.08.2022

Juhendaja: **Tanel Tuisk**

Ülesande vastu võtnud: **Joosep Kalbus**

Avalikustamise piirangu tingimused: puuduvad

SISUKORD

EESSÕNA	10
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	11
TABELITE LOETELU	12
JOONISTE LOETELU	14
SISSEJUHATUS	18
1. TEOREETILINE OSA.....	20
1.1 Taaskasutatava täitematerjalide kogemused.....	20
1.1.1 Purustatud keraamiliste telliste kasutamine tsemendibaasil müürimörtides	20
1.1.2 Purustatud betooni kasutamine tsemendibaasil müürimörtides	24
1.1.3 Purustatud klaasi kasutamine müürimörtides	26
1.1.4 Kõrgahju räbu kasutamine tsemendibaasil müürimörtides.....	28
1.1.5 Purustatud teedehitusjäätmete kasutamine müürimörtides.....	30
1.1.6 Purustatud silikaattelliste kasutamine müürimörtides	32
1.2 Täitematerjalide omaduste mõju mördi omadustele	34
1.2.1 Täitematerjalide tugevus	34
1.2.2 Täitematerjalide veeimavus/poorsus	35
1.2.3 Täitematerjalide terastikuline koostis	36
1.2.4 Täitematerjalide pinna karedus.....	37
1.2.5 Täitematerjalide homogeensus	38
1.2.6 Täitematerjalide keemiline aktiivsus	39
1.3 EVS-EN 13139:2005 nõuded mördi täitematerjalidele	40
1.3.1 Geomeetrilised nõuded	40
1.3.2 Füüsilised nõuded	42
1.3.3 Keemilised nõuded.....	42
1.4 Keemiliste lisandite mõju mördi omadustele	42
1.4.1 Plastifikaatorid/superplastifikaatorid	42
1.4.2 Veehoidvust parandavad lisandid	43
1.5 Täitematerjalide purustamise meetodid	44

1.5.1 Lõugpurusti.....	44
1.5.2 Pöördpurusti	45
1.5.3 Koonuspurusti	46
1.5.4 Haamerpurusti	47
2. KATSEMETOODIKAD	48
2.1 Kuivsegude valmistamine	48
2.1.1 Purustatud silikaatkivist liiva valmistamine	48
2.1.2 Kasutatud materjalid.....	50
2.1.3 Kuivsegude segamine.....	50
2.2 Kuivsegude terastikulise koostise määramine	53
2.3 Kuivsegude puistetiheduse määramine	54
2.4 Purustatud silikaatkivist liiva veeimavuse määramine	55
2.5 Mördi valmistamine	56
2.6 Mördi veevajaduse määramine.....	57
2.7 Mördi töödeldavuse kadu ajas	58
2.8 Kivistunud mördi veeimavuse määramine.....	59
2.9 Kivistunud mördi painde- ja survetugevuse määramine.....	61
2.10 Kivistunud mördi nakketugevuse määramine	62
3. KATSETULEMUSTE ANALÜÜS	66
3.1 Kuivsegude terastikulise koostise määramine	66
3.1.1 Purustatud silikaatkivist liiva terastikuline koostis	66
3.1.2 Purustatud silikaatkivist liiva võrdlus kvartslivivaga	69
3.1.3 Purustatud silikaatkivist liiva võrdlus ehitusturul olevate kuivsegudega.....	71
3.2 Kuivsegude puistetiheduse määramine	73
3.2.1 Puistetiheduse võrdlus purustatud silikaatkivist liiva koguse alusel.....	73
3.2.2 Ehitusturu kuivsegude puistetihedused	74
3.3 Purustatud silikaatkivist liiva veeimavus	75
3.4 Mördi veevajaduse määramine.....	76
3.4.1 Vesikuivsegu- ning vesitsementtegurid.....	76

3.4.2 Veevajaduste võrdlus purustatud silikaatkivist liiva lisamise alusel	78
3.4.3 Veevajaduste võrdlus lisandite lisamise alusel	79
3.4.4 Veevajaduste võrdlus ehitusturu kuivsegudega	80
3.4.5 Purustatud silikaatkivist liivaga valmistatud kuivsegude veevajaduse määramise raskused	82
3.5 Mõrdi töödeldavuse kadu ajas	84
3.5.1 Töödeldavuse kadu purustatud silikaatkivist liiva sisalduse kaupa	85
3.5.2 Töödeldavuse kadu lisandite sisalduse kaupa	89
3.5.3 Töödeldavuse kadu ehitusturul müüdavatel mörtidel	90
3.6 Kivistunud mõrdi veeimavuse määramine	92
3.6.1 Kivistunud mõrdi veeimavus purustatud silikaatkivist liiva sisalduse kaupa	92
3.6.2 Kivistunud mõrdi veeimavus lisandite sisalduse kaupa	94
3.6.3 Ehitusturu mörtide veeimavuse võrdlus purustatud silikaatkivi liivast tehtud mörtidega	97
3.7 Kivistunud mõrdi painde- ja survetugevuse määramine	98
3.8 Kivistunud mõrdi nakketugevuse määramine	102
3.8.1 Nakketugevuste võrdlus purustatud silikaatkivist liiva sisalduse alusel	104
3.8.2 Nakketugevuse võrdlus lisandite alusel	106
JÄRELDUSED	108
SUMMARY	109
KASUTATUD KIRJANDUS	111
LISAD	117
Lisa 1 Katseplaan	118
Lisa 2 Katsete algandmed	119
L2.1 Kuivsegude terastikuliste koostiste algandmed	119
L2.2 Puistetiheduse katse algandmed	121
L2.3 Purustatud silikaatkivist liiva veeimavuse katse algandmed	122
L2.4 Veevajaduse katse algandmed	122
L2.5 Mõrdi töödeldavuse kadu ajas algandmed	124

L2.6 Kivistunud mördi veeimavuse algandmed.....	125
L2.7 Kivistunud mördi painde- ja survetugevuse algandmed.....	131
L2.8 Kivistunud mördi nakketugevuse algandmed	138

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teema pakuti välja juhendaja poolt. Koostöös juhendajaga loodi magistritööle kindel katseplaan (vt Lisa 1 Tabel L1.1), mida korrigeeriti vastavalt vajadusele. Põhilised algandmed saadi juhendaja eelnevatest kogemustest ning TalTechi poolt läbi viidud rakendusuuringust. [1] Magistritöös tehtud katsed viidi läbi TalTechi ehitusmaterjalide õppelabori ruumides.

Autor soovib tänada konsultatsioonide ning nõuannete eest insener Mattias Põldarut, tudengeid Karel Karlsonit ning Helena Virkust abikäe eest ning oma juhendajat lektor Tanel Tuisku pideva nõu, abi ning kogemuse eest. Suur tänu läheb ka Tallinna Tehnikaülikooli Ehituse ja arhitektuuri instituudi Ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratooriumi töötajatele meeldiva suhtumise ning abi eest.

Magistritöö uurib tsemendibaasil mõrdisegude omadusi, kasutades täitematerjalina purustatud silikaatkivi.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

PSKL – Purustatud silikaatkivist liiv

TABELITE LOETELU

Tabel 1.1 Uuringus katsetatud segude veevajadus [8].....	25
Tabel 1.2 Uuringus katsetatud proovikehade nakketugevused [8].....	26
Tabel 1.3 Uuringus kasutatud täitematerjalide läbindid [9]	27
Tabel 1.4 Uuringus kasutatud täitematerjalide erinevad omadused [10]	29
Tabel 1.5 Katsetatud kleepesegu retsept [1]	33
Tabel 1.6 7 päeva nakketugevus kleepesegul [1].....	33
Tabel 1.7 28 päeva survetugevus kleepesegul [1].....	33
Tabel 1.8 Üle ja alamööduliste terade lubatud sisaldus [28]	40
Tabel 1.9 Tootja poolt deklareeritud üldkasutatava täitematerjali terastikulise koostise lubatud hälbed [28]	41
Tabel 1.10 Peenosiste sisalduse piirväärtused [28]	41
Tabel 3.1 Erinevate PSKL-i partiide läbindid	69
Tabel 3.2 Kvartsiiliva ning PSKL-i kombineerimisel saadud läbindid.....	70
Tabel 3.3 Magistritöös uuritavate kuivsegude läbindite võrdlus ehitusturu kuivsegudega	71
Tabel 3.4 Erinevate taaskasutatud täitematerjalide puistetihedused	74
Tabel 3.5 Erinevate täitematerjalide veeimavused massi järgi	75
Tabel 3.6 Magistritöös katsetatud kuivsegude vesikuivsegutegurid.....	77
Tabel 3.7 Magistritöös katsetatud mörtide vesitsementtegurid	77
Tabel 3.8 Magistritöös kasutatud ning tootjajuhiste poolt märgitud veevajaduste erinevused.....	81
Tabel 3.9 Veevajaduse määramise kordade arvud	82
Tabel 3.10 PSKL-iga valmistatud kuivsegude konsistentsikaod	84
Tabel 3.11 Ehitusturu mörtide töödeldavuse kadu.....	91
Tabel 3.12 Magistritöös katsetatud mörtide kapillaarsed veeimavuse koefitsiendid.....	94
Tabel 3.13 Ehitusturu mörtide veeimavused.....	97
Tabel 3.14 Katsetatud kivistunud mörtide tihedused	99
Tabel 3.15 Katsetatud kivistunud mörtide paindetugevused	102
Tabel 3.16 Katsetatud kivistunud mörtide survetugevused.....	102

Tabel 3.17 Katsetatud mörtide nakketugevused, MPa	103
Tabel 3.18 Ehitusturu mörtide nakketugevuste võrdlus.....	105

JOONISTE LOETELU

Joonis 1.1 (a) Uuringus kasutatud lammutuse käigus tekkinud keraamilised tellised, (b) Purustatud keraamilised tellised, mille fraktsioon on väiksem kui 5 mm. [5]	20
Joonis 1.2 Purustatud keraamilise tellise ning jõeliiva sõelkõverad [5]	21
Joonis 1.3 Segude töödeldavus [5]	21
Joonis 1.4 Survetugevuse tulemused nii õhu käes kivinedes kui ka standardolukorras kivinedes [5]	22
Joonis 1.5 Uuringus kasutatud purustatud keraamilisest tellistest täitematerjali sõelkõver ning kasutatud liiva sõelkõver [6]	23
Joonis 1.6 Töödeldavuse languse trendijoon [6]	23
Joonis 1.7 Katsetatud katsekehade survetugevus [6]	24
Joonis 1.8 Uuringus katsetatud kehade näivtihedus [8]	25
Joonis 1.9 Uuringus katsetatud kivistunud segude survetugevused [8]	26
Joonis 1.10 Uuringus teostatud survetugevuse katsete tulemused [9]	28
Joonis 1.11 Erinevat värvi purustatud klaasiga toodetud esteetilised tooted [9]	28
Joonis 1.12 Uuringus kasutatud täitematerjalid [10]	29
Joonis 1.13 Uuringus läbiviidud survetugevuse katsete tulemused [10]	30
Joonis 1.14 Uuringus kasutatud täitematerjali tootmisprotsess [11]	31
Joonis 1.15 Uuringus kasutatud täitematerjalide sõelkõverad [11]	31
Joonis 1.16 Uuringus katsetatud kehade survetugevused ning paindetugevused [11]	32
Joonis 1.17 Basalt [14] Joonis 1.18 Graniit [15]	34
Joonis 1.19 Tsemendisegu poorsus ning tühiklikkus [20]	36
Joonis 1.20 Tüüpiline sõelkõver [24]	37
Joonis 1.21 Erinevad täitematerjalide kujud ning tekstuurid [26]	38
Joonis 1.22 Lõugpurusti tööpõhimõte [36]	45
Joonis 1.23 Pöördpurusti tööpõhimõte [37]	46
Joonis 1.24 Koonuspurusti tööpõhimõte [38]	46
Joonis 1.25 Haamerpurusti tööpõhimõte [39]	47
Joonis 2.1 Kunda tsemenditehase silo eeldatav ehitusaasta [autori erakogu]	48

Joonis 2.2 Kunda tsemenditehase silo müüritise jäägid [autori erakogu]	48
Joonis 2.3 Ladustatud müüritise tükid [autori erakogu]	49
Joonis 2.4 Lõugpurusti [autori erakogu]	49
Joonis 2.5 Lõugpurusti lõuavahe fikseerimine [autori erakogu]	49
Joonis 2.6 Homogeniseeritud PSKL [autori erakogu]	50
Joonis 2.7 PSKL-i terad [autori erakogu]	50
Joonis 2.8 Collomix Collomatic Typ TMS 2000 betoonisegisti [autori erakogu]	51
Joonis 2.9 Soroto 40L-30 betoonisegisti [autori erakogu]	51
Joonis 2.10 Segisti Hobart N50CE [autori erakogu]	52
Joonis 2.11 Ebasobilik varisemispilt – täitematerjal on liiga niiske [autori erakogu]	56
Joonis 2.12 Mördi valguvus peale 10 lööki [autori erakogu]	58
Joonis 2.13 Mört raputuslaual peale tüvikoonuse eemaldamist [autori erakogu]	58
Joonis 2.14 Parafiiniga kaetud katsekeha [autori erakogu]	59
Joonis 2.15 Parafiini täis muljutud katsekeha poorid [autori erakogu]	59
Joonis 2.16 Veeimavuse katsekehad anumas [autori erakogu]	60
Joonis 2.17 Hüdrauliline painde- ning survepress [autori erakogu]	61
Joonis 2.18 Spetsiaalne mördiraam [autori erakogu]	63
Joonis 2.19 Nakketugevuse katseseade Matest Mod, E142 [autori erakogu]	63
Joonis 2.20 Tõmbeplaatide asetus nakketugevuse katsekehal [autori erakogu]	64
Joonis 2.21 Nakkeseadme fikseerimine tõmbeplaadiga [autori erakogu]	64
Joonis 2.22 Nakketugevuse katsekeha purunemispildid [autori erakogu]	65
Joonis 2.23 Võimalikud purunemispildid, kus a – adhesiivne purunemine, b – kohesiivne purunemine, c – kohesiivne purunemine [46]	65
Joonis 3.1 Lõugpurustist välja heidetud PSKL-i sõelkõverad	66
Joonis 3.2 Purustatud silikaattelistest liiv [autori erakogu]	67
Joonis 3.3 Homogeniseeritud PSKL-i sõelkõverad	67
Joonis 3.4 PSKL-i ning kvartsliiiva sõelkõverad	69
Joonis 3.5 Magistritöös katsetatud täitematerjalide kombinatsioonide sõelkõverad	70
Joonis 3.6 Magistritöös katsetatud erinevate kuivsegude sõelkõverad	71

Joonis 3.7 Weber M100 müürisegu võrdlus magistritöös kasutatud kuivsegudega	72
Joonis 3.8 Katsetatud kuivsegude keskmised puistetihedused ilma tsemendita	73
Joonis 3.9 Keskmine puistetihedus tsemendiga kuivsegudel	73
Joonis 3.10 100% PSKL-iga tehtud segude vesikuivsegutegurid	78
Joonis 3.11 Katsetatud kuivsegude veevajadused	78
Joonis 3.12 Ilma lisanditeta tehtud kuivsegude töödeldavuse kaod	85
Joonis 3.13 0,08% plastifikaatori ning 0,05% veehoidvuse lisandi kogusega tehtud segude töödeldavuse kaod	86
Joonis 3.14 Minimaalse veehoidvuse lisandiga tehtud segude konsistents	87
Joonis 3.15 Minimaalse veehoidvuse lisandi ning minimaalse plastifikaatori koosmõju segudele	88
Joonis 3.16 Maksimaalse koguse veehoidvuslisandiga mördisegu peale 1 h seismist [autori erakogu]	88
Joonis 3.17 100% PSKL-i sisaldusega mördi töödeldavuse kaod lisandite kaupa 60 min.	89
Joonis 3.18 100% PSKL-i sisaldusega mördi töödeldavuse kaod lisandite kaupa 180 min	89
Joonis 3.19 Ehitusturul müüdavate mörtide töödeldavuse kaod	90
Joonis 3.20 Kivistunud mörtide kapillaarsed veeimavuse koefitsiendid	92
Joonis 3.21 0% PSKL-iga ning V 0,7 % MAX lisandiga tehtud katsekeha ristlõige [autori erakogu]	93
Joonis 3.22 0% PSKL-iga ning V 0,7 % MAX lisandiga tehtud katsekeha mahukahanemine [autori erakogu]	94
Joonis 3.23 100% PSKL-i sisaldusega tehtud mörtide kapillaarse veeimavuse koefitsiendid	95
Joonis 3.24 25 % PSKL-iga ning MIN P/MIN V lisanditega tehtud katsekeha poorsus [autori erakogu]	95
Joonis 3.25 100 % PSKL-i sisaldusega ning MIN V lisandiga tehtud katsekeha [autori erakogu]	96
Joonis 3.26 75 % PSKL-i sisaldusega ning MAX P lisandiga tehtud katsekeha [autori erakogu]	96
Joonis 3.27 Kivistunud mörtide paindetugevused	98

Joonis 3.28 Kivistunud mörtide tihedused	100
Joonis 3.29 Kivistunud mörtide survetugevused	100
Joonis 3.30 Kivistunud mörtide nakketugevused.....	103

SISSEJUHATUS

Lammutusjätmete taaskasutamine ehitussektoris on viimastel aastatel väga aktuaalne teema. Eesmärk, mille poole inimkond üritab üha enam pürgida, on roheline mõtlemine ning taaskasutus. Seda kõike põhimõttega vähendada kasvuhuonegaaside hulka. Nii tooraine tarbimises, kasvuhuonegaaside emissioonis kui ka tekitatava jäätme hulgas on ehitussektor väga mõjukas. Kogu maailma jäätme hulgast tuleb 40% ehitussektorist. [2]

2021. aasta seisuga oli Eestis ehitus- ja lammutusjätmete taaskasutuse määr küll suur, kuid ligi 83% taaskasutusest olid madala väärtusega jäätmed, mida kasutati enamjaolt pinnase tagasitäiteks. [3] Jäätmekäitlejate sõnul on olemas tehnoloogiad, mida saab kasutada edukalt jätmete suuremal määral ringlusse võtmiseks. Sellised tehnoloogiad võimaldaksid jätmetest teha kvaliteetseid tooteid, mida saab uuesti ühiskonda ringlusesse saata. Kahjuks on selliste tehnoloogiate kasutamine siiani olnud jäätmekäitlejatele majanduslikult ebaefektiivne. [4]

Probleem, millele käesolev magistritöö üritab vastust leida, seisneb eelnevalt mainitud ehitus- ja lammutusjätmete taaskasutuse väärtuses – kasutada saadud jäätmeid pinnase tagasitäite asemel hoopis tõhusamalt. Antud magistritöö üritab leida uut väljundit ehitus- ja lammutusjätmetele, eesotsas silikaattelistest müüritistele, mis purustatud kujul võiksid leida pädevat kasutust mördisegudes.

Magistritöö eesmärk ning idee kujunes välja 2022. aastal välja antud rakendusühe ringust [1], kus uuriti lähemalt tühjenenud korterelamu lammutamisel tekkivate materjalide korduskasutuse ning ringlussevõtu kohta. Esialgused katsetulemused andsid alust eeldada, et purustatud silikaattelistest koos mördi jääkidega on võimalik toota täitematerjali, mida on võimalik kasutada mördisegudes, krohvisegudes, plaatimissegudes ning betoonide valmistamiseks. Vajalik oli kontrollida edasiste katsetega täpsemaid tulemusi, mida käesolev magistritöö hakkab uurima. [1]

Eesmärk magistritööl on uurida, kas purustatud silikaatkivi (edaspidi PSKL) on võimalik kasutada edukalt mördisegudes täitematerjalina täielikult või osaliselt, vahetades välja traditsiooniliselt kasutatud kvartslüüsi.

Käesoleva magistritöö teema soovitus tuli juhendaja poolt. Eelnevalt oli juhendaja teinud autorile ülevaate TalTechi rakendusühe ringust [1], mis tekitas autoris huvi viia läbi vajalikud katsed ning valida käesolev magistritöö teema lõputööks. Lisaks oli autor ise huvitatud magistritöö praktilisest väljundist ning soovis teada lähemalt, kuidas PSKL mõjutab mördisegude omadusi.

Magistritöö teoreetilises osas tuuakse välja erinevad kogemused ning uuringud, kus on asendatud tsemendibaasil mördisegudes (edaspidi lihtsalt mördisegu) kasutatud kvartsliid mõne muu peeneteralise täitematerjaliga. Lisaks tuuakse välja erinevad nõuded mördisegudes kasutatavatele täitematerjalidele, kindlad omadused ning tingimused, mis peavad olema tagatud täitematerjalidel, et saavutada toimiv mördisegu. Viimaseks räägitakse teoreetilises osas lisandite mõjust mördisegudele ning erinevatest täitematerjalide purustamisviisidest.

Silikaattelliste taaskasutus mördi täitematerjalina hinnatakse järgnevate omaduste põhjal: täitematerjalide terastikuline koostis ja puistetihedus, veevajadus, mördi töödeldavuse kadu ajas, painde- ja survetugevus ning nakketugevus. Katsetatavatele segudele lisatakse juurde ka lisandeid, milleks on superplastifikaator ning veehoidvuse lisand. Kõik segutüübid valmistatakse ette kuivseguna. Võrdluse tekitamiseks teostatakse eelnevalt välja toodud omaduste uurimised ka neljale ehitusturul kasutatavale kuivsegule.

Magistritöös on katsete läbiviimisel lähtutud Eesti Vabariigi standarditest. Viitamisel on kasutatud Mendeley tarkvara, andmetöötlustarkvarana on kasutatud MS Office'it.

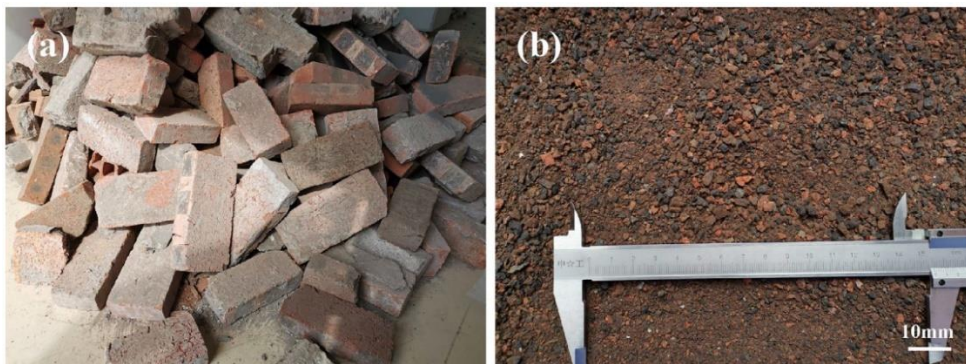
Võtmesõnad: uuskasutus, kuivsegu, taaskasutus, silikaatkivi, magistritöö

1. TEOREETILINE OSA

1.1 Taaskasutatava täitematerjalide kogemused

1.1.1 Purustatud keraamiliste telliste kasutamine tsemendibaasil müürimörtides

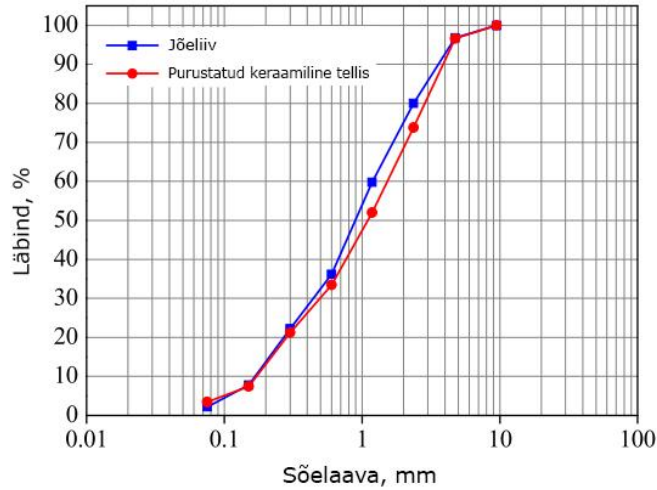
Huangi, Zhu ning Xiongi uuringus [5] purustati lammutuse käigus järgi jäänud keraamilised tellised peentäitematerjaliks fraktsiooniga < 5 mm, millega sooviti asendada tsemendibaasilistes müürimörtides kasutatud jõeliiva. Keraamilised tellised purustati lõugpurustis ning sõeluti 5 mm sõeltega. Kasutatud purustatud keraamiliste telliste suhe segudes jõeliivaga oli 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %. Vesitsementtegur võeti kõikidel segudel 0,6. [5]



Joonis 1.1 (a) Uuringus kasutatud lammutuse käigus tekkinud keraamilised tellised, (b) Purustatud keraamilised tellised, mille fraktsioon on väiksem kui 5 mm. [5]

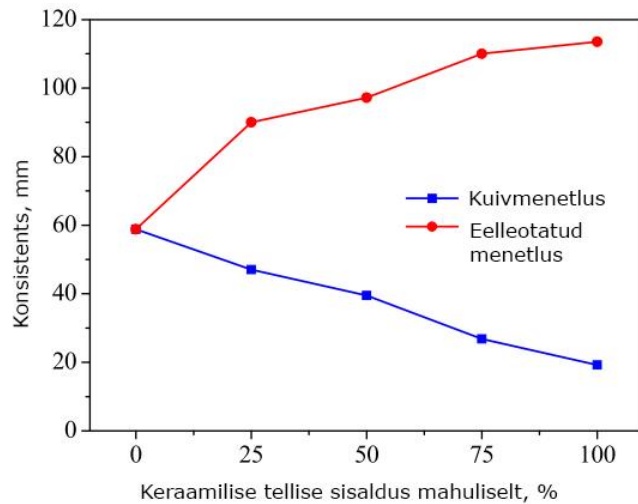
Peentäitematerjalina kasutatud purustatud keraamilisi telliseid kasutati segudes nii kuivalt, kui ka eelleotatud olekus. Kivistumistingimustena kasutati kahte keskkonda – standardne kivinemine 100 % suhtelise niiskuse juures ning õhu käes kivinemine temperatuuril 19-21 °C. Uuringus viidi läbi järgmised katsed – töödeldavus, painde- ning survetugevus, veeimavus, mikrostruktuurne uuring. [5]

Terastikuline koostis purustatud keraamilisel tellisel on nähtav jooniselt 1.2. Uuringus kasutatud purustatud keraamilise tellise näivtihedus oli 1887 kg/m³. Puistetihedus oli 1115 kg/m³. Veeimavus pärast 24 tundi oli 11,3 %. [5]



Joonis 1.2 Purustatud keraamilise tellise ning jõeliiva sõelkõverad [5]

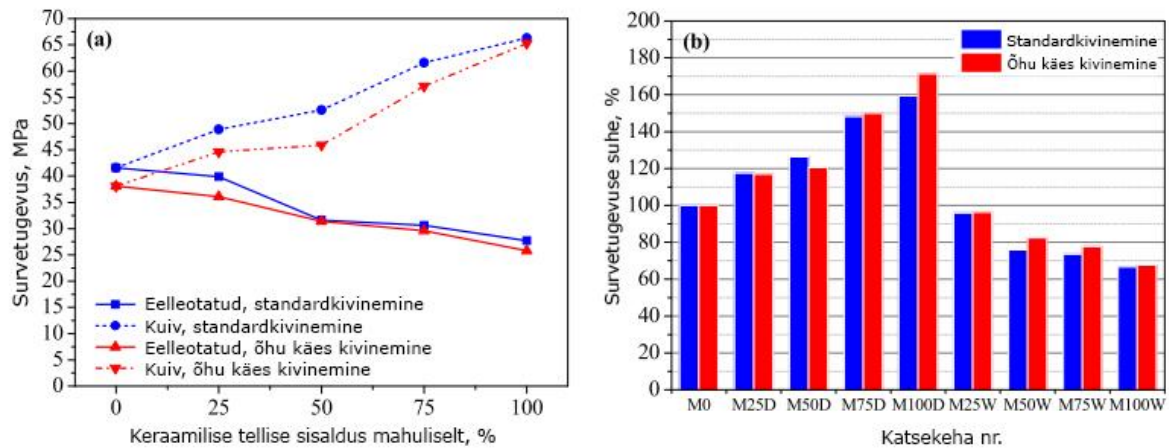
Kasutades kuiva purustatud keraamilisi telliseid vähenes segu konsistents suhteliselt lineaarselt. Põhjuseks oli asjaolu, et purustatud keraamilise tellise puru imas endasse palju vaba vett segamise ajal, mistõttu vesitsemmentegur vähenes. Vastupidiselt eelnevale kasvas nende segude töödeldavus, kus kasutati eelleotatud purustatud keraamilisi telliseid. Töödeldavus kasvas, sest asendatud täitematerjalist imbus segusse lisavett (vt joonis 1.3). [5]



Joonis 1.3 Segude töödeldavus [5]

Survetugevus kasvas, mida rohkem kasutati kuiva purustatud keraamilist tellist. Eelleotatud purustatud keraamilise tellise kasutamisel survetugevus vähenes, mida rohkem teda segusse lisati (vt joonis 1.4). Põhjus, miks survetugevus kasvas kuiva täitematerjali kasutamisel oli selles, et efektiivne vesitsemmentegur vähenes. Taaskasutatud täitematerjal imas endasse rohkem vabavett, mis omakorda andis tihedama keha. Mida vähem imas purustatud keraamiline tellis endasse vett, seda

poorem ning nõrgem tuli keha. Vastupidiselt eelnevale andis eelleotatud menetlus segusse vett juurde, mis suurendas vesitsementtegurit ning tegi keha pooremaks ning nõrgemaks. Samaselt survetugevuse katse tulemustele olid ka paindetugevuse katsetulemused. [5]



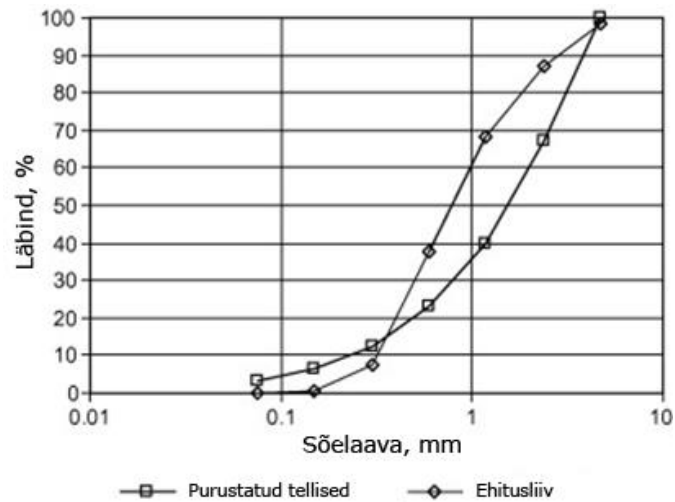
Joonis 1.4 Survetugevuse tulemused nii õhu käes kivedes kui ka standardolukorras kivedes [5]

Veeimavuse katsest selgus, et taaskasutatud täitematerjali kuivmenetlusel on kivistunud katsekeha väiksema veeimavusega kui eelleotatult kasutatud täitematerjaliga. Mida rohkem kuiva purustatud keraamilist tellist segus kasutati, seda vähem vett katsekeha endasse imas. [5]

Lisaks uuriti veel ka kivistunud mördi mikrostruktuuri ning leiti, et tsemendi hüdratsiooniaste oli suurem segudes, kus oli asendatud liiva purustatud keraamiliste tellistega. Hüdratsiooniaste oli veel suurem segudes, kus kasutati eelleotatud purustatud keraamilisi telliseid. Veel leiti mikrostruktuuri uuringutest, et keraamilistest tellistest saadud täitematerjal oli tsemendipasta poolt väga tihedalt seotud. [5]

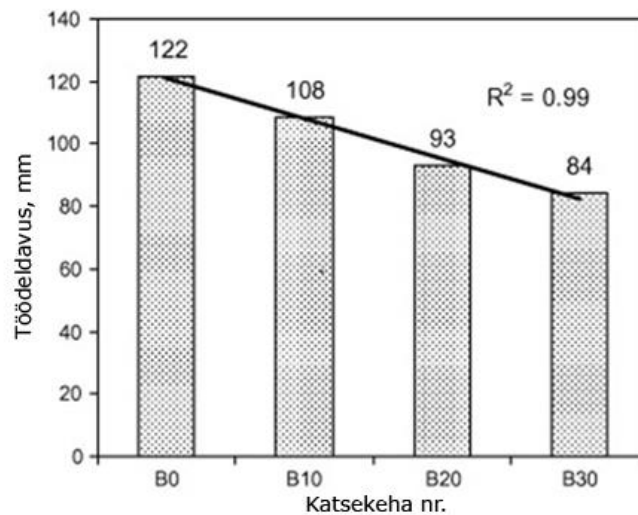
Bektas, Wang ning Ceylan [6] kasutasid oma uuringus samuti purustatud keraamilist tellist, mis sõeluti 4,75 mm sõelaga. Nemad asendasid jõeliiva 10 % ning 20 % ulatuses purustatud keraamiliste tellistega. Sõltuvalt katsest, uuriti ka 5 %, 30 %, 50 % ning 100 % asendamist. Vesitsementteguriks võeti kõikidel segudel 0,5 ning tsemendi ja kuivaine suhe oli 1:2,75. Ainult leelis-räni reaktsioonis kasutati tsemendi ja kuivaine suhet 1:2,25. Uuriti segu töödeldavust, survetugevust, mahukahanemist, külmakindlust ning potentsiaalset leelis-räni reaktsiooni. [6]

Purustatud keraamilise tellise terastikuline koostis on nähtav joonisel 1.5.



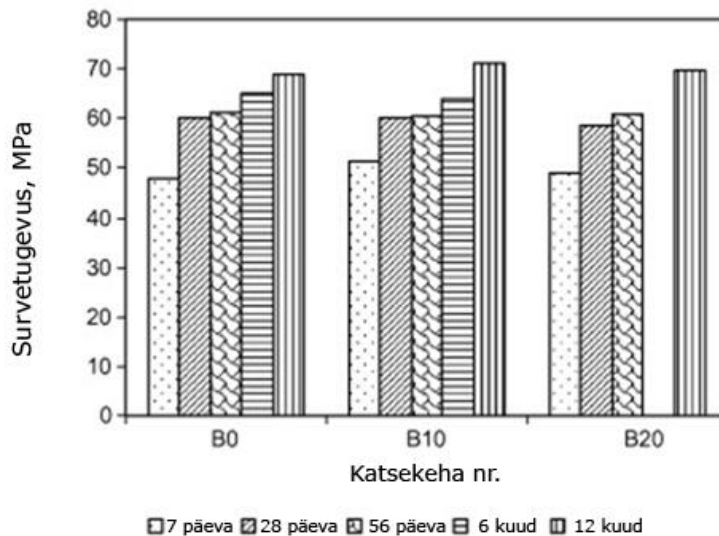
Joonis 1.5 Uuringus kasutatud purustatud keraamilisest tellistest täitematerjali sõelkõver ning kasutatud liiva sõelkõver [6]

Mördisegu töödeldavus vähenes, mida rohkem lisati segusse purustatud keraamilist tellist. Töödeldavuse languse trendijoon oli peaaegu lineaarne, kus vastavalt 10 %, 20 % ning 30 % asendamisele, vähenes töödeldavus 11 %, 23 % ning 32 %. [6]



Joonis 1.6 Töödeldavuse languse trendijoon [6]

Survetugevuse katses olulisi erinevusi etalonseguga tehtud katsekehadel ei olnud. Katsetati 7 päeva, 28 päeva, 56 päeva, 6 kuu ning 12 kuu vanuseid kehi. Tulemustest selgub, et purustatud keraamilise tellise kasutamine segus ei põhjusta survetugevuse kadu nendel kogustel, mida segus kasutati (vt joonis 1.7). [6]



Joonis 1.7 Katsetatud katsekehade survetugevus [6]

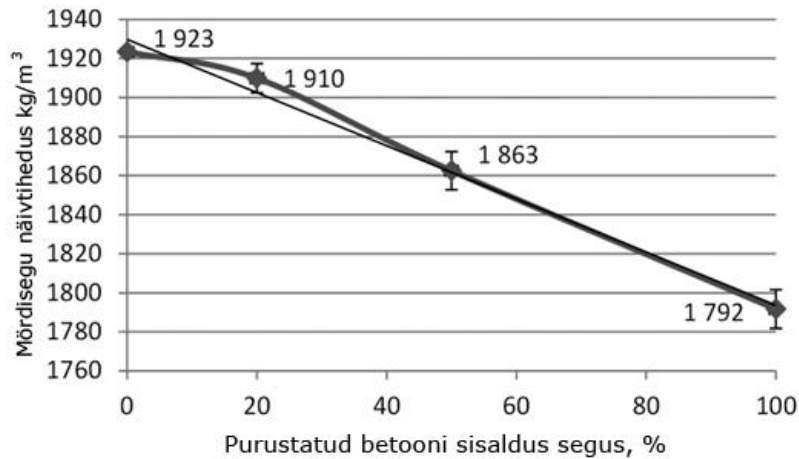
Mahukahanemise katses olid nähud minimaalsed. Selgus, et kui kasutada rohkem purustatud keraamilist tellist, siis on mahukahanemine väiksem. Sama tulemuseni jõudis ka Khatib oma uuringus [7]. Arvatakse, et purustatud keraamilise tellise osakesed hoiavad endasse imendunud vett pikemat aega oma poorides kinni. Selline olukord laseb toimuda pideval hüdratsiooniprotsessil segus, mis aeglustab mahukahanemist [6]

1.1.2 Purustatud betooni kasutamine tsemendibaasil müürimörtides

Neno, Brito ning Veiga uuringus [8] kasutati purustatud betooni tsemendibaasil müürimörtides. Uuringus asendati purustatud betooniga mörtides kasutatav liiv 20 %, 50 % ning 100 % ulatuses. Katsetati painde- ning survetugevust, kapillaarset veeimavust ning kividemiskiirust. Nende põhjal valiti välja parimate tulemustega segu ning viidi läbi veel detailsemad katsed. [8]

Betoonist täitematerjal saadi C30/37 betoonplokkidest, mis purustati lõugpurustiga peentäitematerjaliks. Edasi kasutati purustatud materjalist ainult fraktsiooni, mis oli < 4 mm. Suhe tsemendi ning täitematerjali vahel oli 1:4. Vesitsementtegurit ei hoitud konstantsena, vaid võeti aluseks standardi EN 1015-2 valgustus, mis määras kõigile segudele erineva veevajaduse. Vesitsementtegurid jäid uuritud segudel vahemikku 1,21 – 1,31. [8]

Mördisegu näivtihedus viidi läbi vastavalt standardile EN 1015-6 (vt joonis 1.8). Jooniselt on näha, et näivtihedus väheneb, mida rohkem on kasutatud purustatud betooni. Seda võib põhjendada sellega, et purustatud betoonil on väiksem puistetihedus, kui liival. [8]



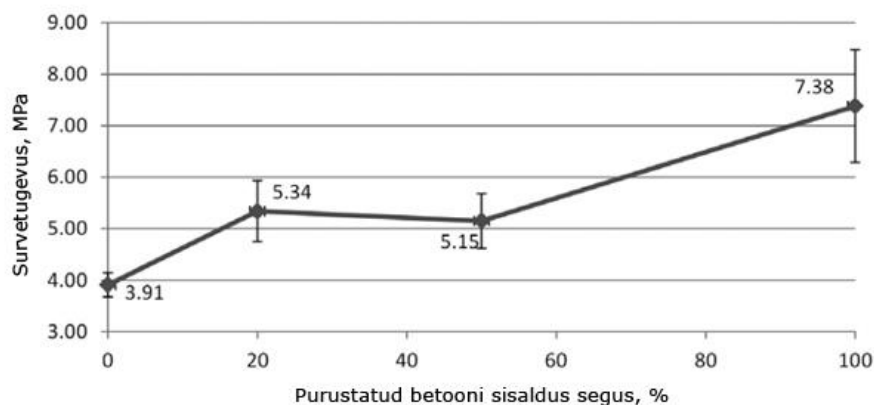
Joonis 1.8 Uuringus katsetatud kehade näivtihedus [8]

Segude töödeldavus viidi läbi vastavalt standardile EN 1015-3. Segud, kus oli kasutatud purustatud betooni täitematerjalina vajasisid rohkem vett, kui etalonsegu. Tulemustest ei selgunud ka kindlat trendijoont, kas suurema koguse purustatud betooni kasutamisel veevajadus kasvab või väheneb. Selle põhjuseks võib olla asjaolu, et purustatud betooni terastikulisel koostisel peenosist ei piiratud ning tekkis filleri efekt, mis parandas töödeldavust, aga suurendas veevajadust (vt tabel 1.1). [8]

Tabel 1.1 Uuringus katsetatud segude veevajadus [8]

Mördisegu	Vee kogus, ml/dm ³	Konsistents, mm
A0	313.3	176
A20	340.0	170
A50	336.7	178
A100	330.0	170

Painde- ning survetugevused viidi läbi vastavalt standardile EN 1015-11. Tulemustest selgus, et nii painde- kui ka survetugevus kasvavad segudel, mida rohkem kasutatakse nendes purustatud betooni. Survetugevuse suurenemine võib olla põhjustatud mitmetest asjaoludest. Purustatud betoonil on suurem terade pindala ning nende terad on nurgelisemad ning poorsemad kui liival, mistõttu side tsemendipasta ning täitematerjali vahel on suurem. Lisaks võis kasutatud purustatud betoonil olla hüdratsiooniprotsessis osalemata tsementi, mis lõpetas oma reaktsiooni peale uuesti veega kokkupuudet. Paindetugevuse katsed jäljendasid survetugevuse katsete tulemusi. Survetugevuse tulemused on leitavad jooniselt 1.9. [8]



Joonis 1.9 Uuringus katsetatud kivistunud segude survetugevused [8]

Veemavuse katsed viidi läbi vastavalt standardile EN 1015-18. Tulemustest selgus, et kõige rohkem imas vett katse käigus 0 % tehtud etalonsegu. Kõige vähem aga 100 % purustatud betoonist tehtud katsekeha. Pikaajaliselt imas 100 % purustatud betoonist tehtud katsekeha kõige rohkem vett. See tähendab, et tema avatud poorsus oli kõige suurem teistest katsetatud segudest, aga pooride enda diameeter on kõige väiksem, sest kapillaarne veemavus oli kõige väiksem. [8]

Nakketugevuse katse viidi läbi vastavalt standardile EN 1015-12. Nakkekatsed viidi läbi 0 % ning 20 % purustatud betooni sisaldusega kivistunud segudele. Tulemustest selgub, et 20 % purustatud betooni kasutamisel on nakketugevus väiksem, kui 0 % sisaldusega katsekehal. Tulemused on toodud välja tabelis 1.2. [8]

Tabel 1.2 Uuringus katsetatud proovikehade nakketugevused [8]

Mördisegu	Nakketugevus, MPa	Standardhälve, MPa	Purunemispilt
A0	0.33	0.113	Adhesiivne
A20	0.27	0.053	Adhesiivne/ kohesiivne

1.1.3 Purustatud klaasi kasutamine müürimörtides

Ling, Poon ning Kou uurisid [9] purustatud klaasi kasutamist peentäitematerjalina müürimörtides. Purustatud klaas saadi kohalikust klaasi taaskasutustehasest ning koosnes põhiliselt rohelistest tarbimisjärgsetest pudelitest. Kasutatud segudes oli 23 % kogu kasutatud täitematerjali mahust 5-10 mm suurusi teri. Peenusmoodul täitematerjalil oli 4,19. Suuremaid täitematerjali terasid kasutati seetõttu, et anda mördisegudele esteetiline välimus. Naturaalse peentäitematerjalina kasutati jõeliiva. Lisanditena kasutati superplastifikaatorit. Lisaks asendati tsementi segudes

metakaoliniga, mis on dehüdroksüülitud vorm savimineraalset kaoliniit, 10 %, 20 % ning 30 % ulatuses. Täitematerjalide terastikuline koostis on välja toodud tabelis 1.3. [9]

Tabel 1.3 Uuringus kasutatud täitematerjalide läbindid [9]

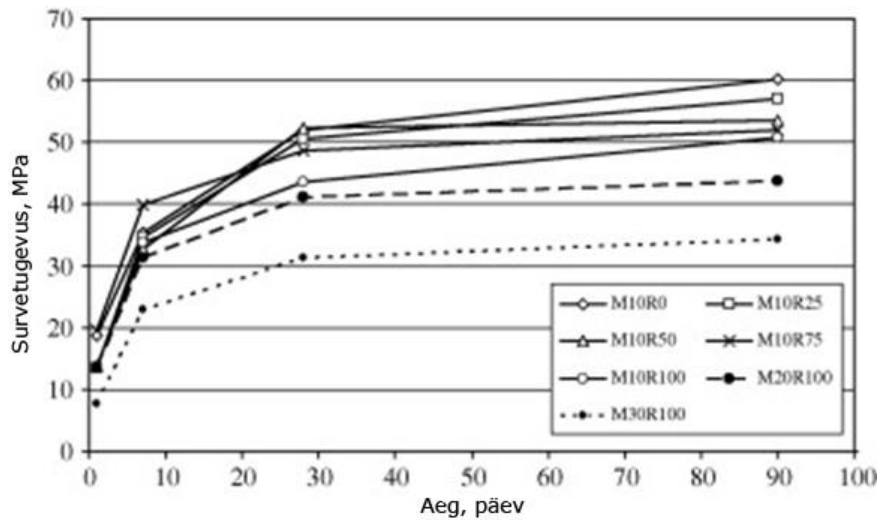
Sõela ava, mm	Jõeliiva läbind, %	Purustatud klaasi läbind, %
5	99.8	76.7
2.36	98.2	47.0
1.18	93.4	28.0
0.6	80.3	15.6
0.3	34.4	8.8
0.15	2.0	4.4
Peenusmoodul	1.92	4.19
Näivtihedus, g/cm ³	2.62	2.49

Tsemendi ning täitematerjali suhe oli 1:2 ning kõikidel segudel võeti vesitsementteguriks 0,4. Superplastifikaatorit kasutati vahemikus 1,0 % kuni 5,5 % tsemendi massist. Kokku asendati segudes liiva 25 %, 50 %, 75 % ning 100 % ulatuses. [9]

Katsetulemustest selgub, et mida rohkem kasutati purustatud klaasi segudes, seda töödeldavamaks muutus segu. Põhjus töödeldavuse suurenemisel on, et klaasi väike veeimavus ning seega jääb palju vabavett segusse ringlema, mis tõstab töödeldavust. [9]

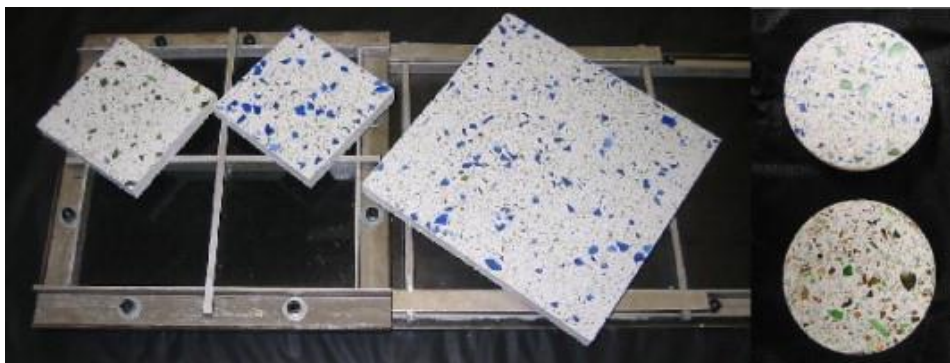
Mahukahanemise tulemustest järeldus, et mida rohkem kasutati purustatud klaasi segudes, seda väiksem oli segu mahukahanemine. Pikaajaline mahukahanemine oli 17 % väiksem 100 % purustatud klaasi kasutamisel segudes. Uuringu autorid arvavad, et mahukahanemise vähenemine on põhjustatud purustatud klaasitera väiksemast veeimavusest. [9]

Surve- ning paindetugevuse katsest selgus, et mida rohkem purustatud klaasi kasutati segudes, seda nõrgemaks muutus kivistunud segu nii paindele kui ka survele. Põhjuseks asjaolu, et side tsemendigeeli ning klaasi vahel ei ole kõige parem. Sarnaselt survetugevuse katsetulemustele olid ka paindetugevuse katsetulemused (vt. joonis 1.10). [9]



Joonis 1.10 Uuringus teostatud survetugevuse katsete tulemused [9]

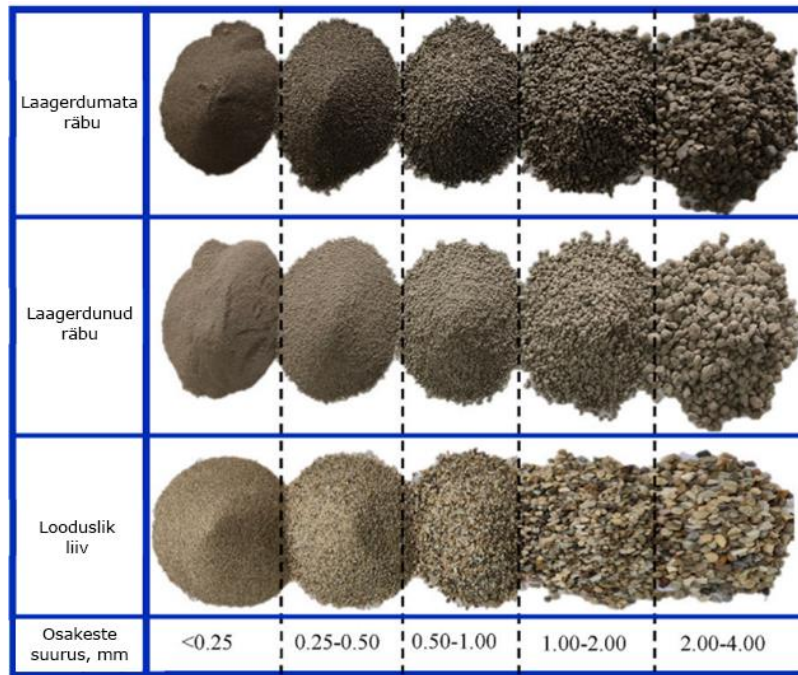
Uuringu eesmärgiks oli ka purustatud klaasi kasutamise esteetiline külg ning järeldati, et on võimalik toota esteetilisi tooteid, mis on välja toodud joonisel 1.11. [9]



Joonis 1.11 Erinevat värvi purustatud klaasiga toodetud esteetilised tooted [9]

1.1.4 Kõrgahju räbu kasutamine tsemendibaasil müürimörtides

Omur, Miyan, Kabay ning Özkan kasutasid oma uuringus [10] müürimörtides laagerdunud ning laagerdumata kõrgahju räbu. Nii laagerdumata kui laagerdunud räbu täitematerjal saadi kohalikust terase tootmishasest. Laagerdumata räbu võeti otse tehase ahjust ning laagerdunud räbu saadi 5 aastat väliskeskkonna tingimustes olnud tehase laoplatsilt. Seoses uuritavate täitematerjalide erinevate terastikulise koostisega, sõeluti mõlemad räbud läbi, et saada looduslikule liivale võimalikult sarnane terastikuline koostis (vt joonis 1.12). [10]



Joonis 1.12 Uuringus kasutatud täitematerjalid [10]

Uuringus kasutati fraktsiooni 0/4 mm. Segudes asendati mõlema räbuga looduslik liiv 50 % ning 100 % ulatuses. Vesitsementtegurina kasutati suurust 0,45. Veeimavused laagerdumata ning laagerdunud räbudel olid vastavalt 4,46 % ning 11,3 %. Laagerdunud räbu veeimavus oli suurem seetõttu, et tema pind osutus poorsemaks. Erinevad materjalide omadused on välja toodud tabelis 1.4. [10]

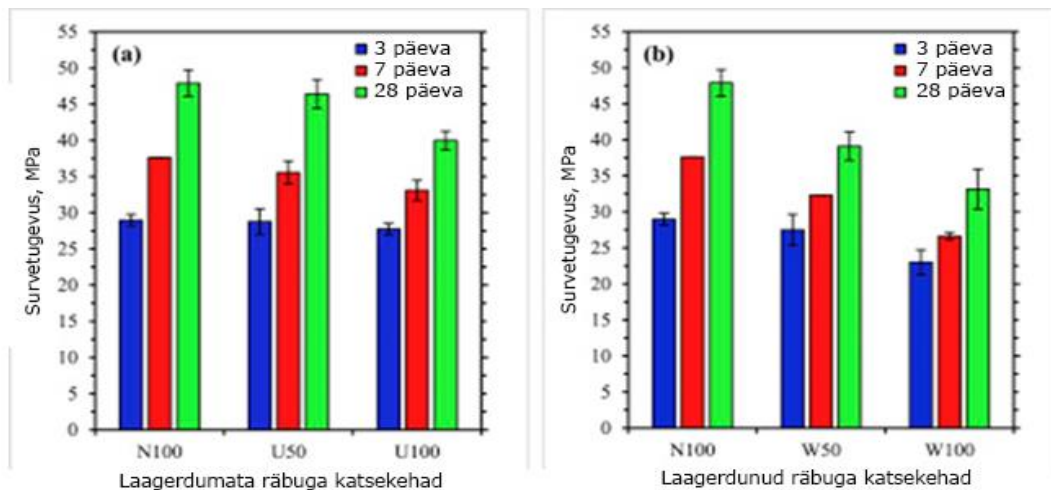
Tabel 1.4 Uuringus kasutatud täitematerjalide erinevad omadused [10]

Füüsikalised omadused, g/cm ³	Looduslik liiv	Laagerdumata räbu	Laagerdunud räbu
Puistetihedus	1.53	1.52	1.30
Tera näivtihedus	2.58	3.23	2.71
Kuivatatud tera tihedus	2.45	2.67	1.99
Pindkuiva tera tihedus	2.50	2.84	2.25
Veeimavus, %	2.04	6.50	13.37

Katsetulemustest selgub, et segu töödeldavus väheneb nii laagerdunud kui ka laagerdumata täitematerjali kasutades. Rohkem väheneb segu töödeldavus laagerdunud räbu kasutades, seoses tema suure poorsusega ning sellest tingitud veeimavusega. Autorid mainisid, et töödeldavuse vähenemine võib olla tingitud ka sellest, et kasutatud

räbu terad on nurgelisemad, kui kasutatud liival ning seetõttu nõuavad rohkem vett suurema terade pindala tõttu. [10]

Survetugevuse katsetest selgus, et mõlemat räbu kasutades vähenes katsekehade survetugevus, võrreldes etalonseguga. Suurem survetugevus oli laagerdumata räbu kasutamisel ning väiksem survetugevus laagerdunud räbu kasutamisel. Ometi võib öelda, et laagerdumata räbu kasutamisel on survetugevused väga lähedal etalonsegule. Autor arvab, et selle põhjuseks on laagerdumata räbu hea side tsementkiviga ning laagerdumata räbu käitumine tsemendilaadse materjalina. Põhjus väiksemal survetugevusel laagerdunud räbul oli seetõttu, et ta on suurema poorsusega ning väiksema puistetihedusega, mis vähendab kivinenud mördi tugevust. Tulemused on nähtavad joonisel 1.13. Paindetugevuse katsed jäljendasid survetugevuse tulemusi. [10]



Joonis 1.13 Uuringus läbiviidud survetugevuse katsete tulemused [10]

Veeimavus kasvas, mida rohkem kasutati mõlemat räbu segudes. Kõige suurem veeimavus oli nendel segudel, kus kasutati laagerdunud räbu. Põhjus, miks veeimavus kasvas räbu kasutades on selles, et räbu ise on poorne materjal. Järeldati, et ka tühiklikkus on räbu kasutamisel suurem ning seetõttu võis rohkem poore olla ka tsemendis endas. [10]

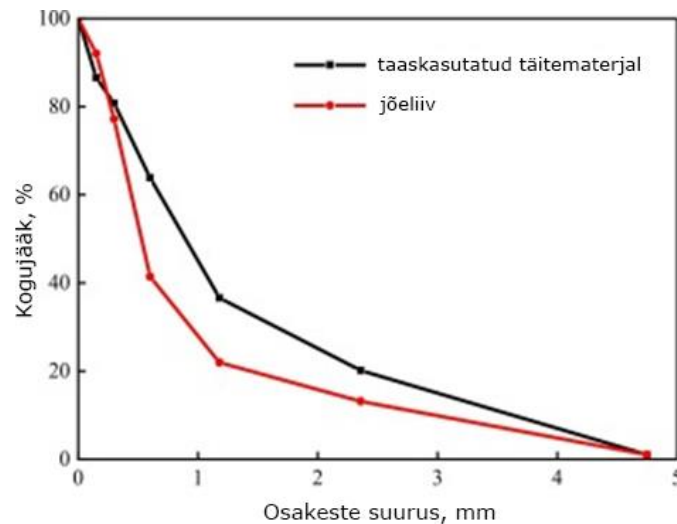
1.1.5 Purustatud teedehitusjäätmete kasutamine müürimörtides

Fang, Feng, Huang, Hu, Wang ning Li uurisid [11] vanast sõiduteest purustatud täitematerjalide kasutamist müürimörtides. Kasutatud täitematerjal saadi ühest Hiina provintsist, kust teostati sõiduteede rekonstruktsiooni ning arendust. Täitematerjalina kasutati vana sõidutee asfaldi kihti koos selle all olnud teepeenraga (vt joonis 1.14). Saadud täitematerjal purustati ning sõeluti. [11]



Joonis 1.14 Uuringus kasutatud täitematerjali tootmisprotsess [11]

Asendatava täitematerjalina oli kasutusel jõeliiv. Taaskasutatud materjaliga otsustati asendada 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % ning 100 % jõeliiva kogusest. Vesitsementtegur hoiti kõikide segude vältel konstantsena. Kasutatud täitematerjali puistetihedus oli 1314,15 kg/m³, peenusmoodul 2,87 ning veemavus 10,58 % massi järgi. Terastikuline koostis on välja toodud joonisel 1.15. [11]



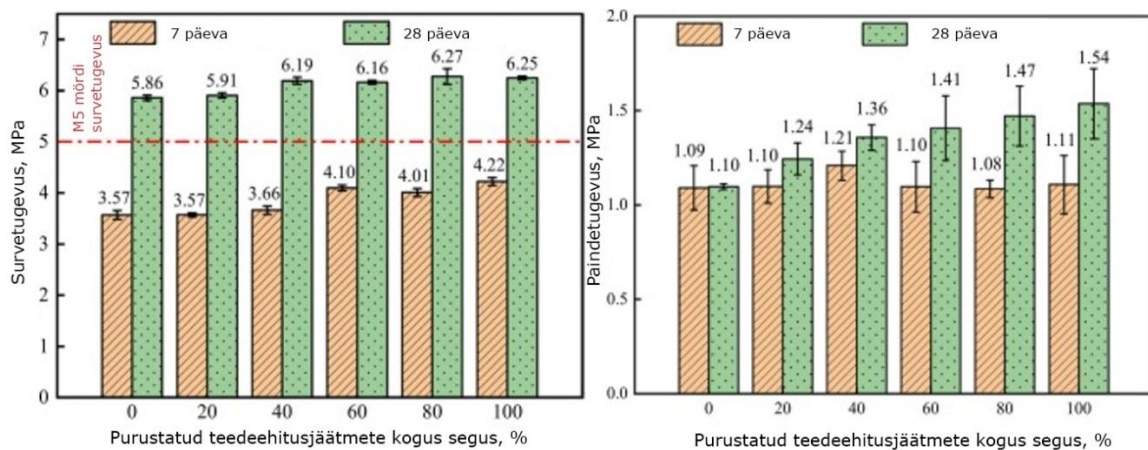
Joonis 1.15 Uuringus kasutatud täitematerjalide sõelkõverad [11]

Mördi töödeldavust uurides selgus, et mida rohkem asendati segus jõeliiva taaskasutatud täitematerjaliga, seda vähem töödeldavam oli segu. Kuni 40 % asendamisel oli segu lubatud töödeldavuse piirides, kuid juba 60 % asendamisel vähenes segu konsistents alla lubatud piiri. Põhjus, miks segu konsistents väheneb suurema asendusprotsendi juures on seetõttu, et eelnevate ning purustamisprotsessis tekkinud pingete tõttu taaskasutatud täitematerjali pind on murenenud ja praguline, mistõttu segusid segades vee lisamisel kaob vesi ära täitematerjali sisse. Lisaks võib olla konsistentsi kao põhjuseks ka suur peenosise sisaldus. [11]

Katsetulemustest selgus, et mida rohkem kasutati purustatud teedehitusmaterjali, seda suurem survetugevus oli kivistunud mördil. Esimene põhjus, miks survetugevus suurenes

on jõeliiva ning taaskasutatud täitematerjali terastikulise koostise hea pakketihedus, mis annab kokkuvõttes tihedama segu ning vähem tühimikke. Teine põhjus miks survetugevus suurenes võib peituda taaskasutatud täitematerjali hea veemavuse taga, kus täitematerjal vähendas segu efektiivset vesitsementtegurit ning üldine segu tuli tugevam. Kolmas põhjus võis olla taaskasutatud täitematerjali keemilises koostises peituvate ainete olemasolu, mis võisid aidata kaasa segu kivinemisprotsessile (vt joonis 1.16). [11]

Paindetugevuse tulemused olid selgemalt lineaarsemad ning suurenesid nagu survetugevuse katsetel. Mida rohkem kasutati taaskasutatud materjali, seda suurem paindetugevus saavutati. Suurem paindetugevus tulemustes on seotud jällegi eelnevalt mainitud jõeliiva ning taaskasutatud täitematerjali terastikulisest koostisest tingitud pakketihedusest, kus tühiklikkus on väga väike. [11]



Joonis 1.16 Uuringus katsetatud kehade survetugevused ning paindetugevused [11]

1.1.6 Purustatud silikaattelliste kasutamine müürimörtides

2022. aastal läbi viidud TalTechi rakendusuuringus [1] uuriti Kiviõli linnas paikneva korterelamu lammutamisel tekkivate ehitusmaterjalide potentsiaalset taaskasutust. Uuringus teostati katsed mitmetele erinevatele proovikehadele ning materjalidele. Nendest üheks oli silikaattelliste taaskasutus betoonides ning müürimörtides. [1] Antud peatükis tuuakse välja tulemused ning järeldused rakendusuuringus katsetatud purustatud silikaattelliste (edaspidi PSKL) omadustele, mis on võrreldavad käesoleva magistritöö temaga.

Silikaattelliste purustamiseks kasutati lõugpurustit, kust saadi fraktsioon 0/16 mm. Tähtsal kohal on ka asjaolu, et silikaattelliseid ei purustatud lõugpurustis puhtal kujul, vaid kasutati koos kivilunud müürimördiga, mis oli silikaattellise küljes. Tekkinud purus oli selgelt näha silikaattellise osakesi, mis olid heledamad ning tumedamaid osakesi, mis

kuulusid kivinenud müürimördile. Tekkinud killustikule määrati puistetihedus, veeimavus, LA tegur ning külmakindlus. Uuringus kasutatud PSKL-i puistetihedus fraktsioonil 0/4 mm oli 1270 kg/m³ ning veeimavus 4,7 %. [1]

Valmistati 2 erinevat segu – betoonisegu ning kleepeseugu. Kleepeseugu retsept on välja toodud tabelis 1.5. Nagu näha kasutati tsemendi ning täitematerjali suhet 1:3-le. Kasutatud täitematerjalist moodustas üle poole taaskasutatud silikaatkivi, mille fraktsioon oli vahemikus 0-2 mm. Lisaks kasutati ka erinevaid lisandeid. Kleepeseugu vesi-kuivsegutegur oli 0,174. [1]

Tabel 1.5 Katsetatud kleepeseugu retsept [1]

Koostis komponent	%	kg
Tsement	25	0,75
Taaskasutatud silikaatkivi fr 0-2mm	45	1,35
Uus liiv fr 0-2mm	30	0,9
Tardumise kiirendi	0,25	0,0075
Superplastifikaator	0,02	0,0006
Veehoidvust suurendav lisand	0,05	0,0015
Kokku:	100	3,010
Vesi		0,522

Kivinenud kleepesegul määrati nakketugevus 7 päeva möödudes, survetugevus 7 ning 28 päeva möödudes. [1] Tulemused on nähtavad joonistel 1.17 ning 1.18.

Tabel 1.6 7 päeva nakketugevus kleepesegul [1]

Proovikeha nr	Purunemispilt	Purustav jõud N	Purunemispind			Nakketugevus N/mm ²	
			A mm	B mm	S mm ²	Üksik	Keskmine
1	Segu seest	2929	48	50	2400	1,22	1,38
2		3566	48	50	2400	1,49	
5		3394	48	50	2400	1,42	

Tabel 1.7 28 päeva survetugevus kleepesegul [1]

Jrk. nr	Segu	Mass, g		Survepind mm		Maht cm ³	Tihedus kg/m ³	Purustav jõud kN	Survetugevus N/mm ²	Keskmine N/mm ²
		õhus	vees	a	b					
1	Kleepemördi kuivsegu	457,2	201,2	40	40	256,0	1786	35	21,9	22,5
				40	40			36	22,5	
2		455,0	201,4	40	40	253,6	1794	36	22,5	
				40	40			36	22,5	
3		466,8	207,0	40	40	259,8	1797	37	23,1	
				40	40			36	22,5	

Järeldused vaheraportist annavad alust eeldada, et silikaattelliseid on edukalt võimalik kasutada koos mördi jääkidega täitematerjalina müürimörtides, krohvimörtides, plaatimissegudes kui ka kuivsegubetonides. [1]

1.2 Täitematerjalide omaduste mõju mördi omadustele

Mördisegu omadusi mõjutavad mitmed tegurid. Nendest teguritest suurema osa moodustavad täitematerjalide füüsikalised omadused. Täitematerjalide või filleri (peenosis) sisaldus kuivsegu mahust on 60 % kuni 85 %. Seetõttu on nende mõju nii mördi mehaanilistele kui ka teistele omadustele väga oluline. [12]

Kõige tähtsamad karakteristikud täitematerjalide teradele on:

- 1) Kuju ning tekstuur;
- 2) Survetugevus;
- 3) Tera suuruste jaotus ehk terastikuline koostis;
- 4) Teised mehaanilised omadused [12]

Tähtsal kohal on ka täitematerjalide puhtus, niiskussisaldus, soojuspaisumistegur ning keemilised reaktsioonid. [12]

Käesolevas peatükis on lisaks müürimörtide täitematerjalide omadustele välja toodud ka osaliselt betooni täitematerjalide omadused ning nende mõju segudele. Põhimõtte seisneb selles, et ka betoonis kasutatakse peentäitematerjali ning üldised nõuded täitematerjalide olemusele on sarnased nii betoonides kui ka müürimörtides.

1.2.1 Täitematerjalide tugevus

Üldiselt kasutatakse segudes purustatud mineraalseid looduskive. Looduskivide tugevus on seotud nende mineraloogilisest koostisest (vt joonis 1.17 ning 1.18). Mineraloogiline koostis omakorda sõltub sellest, kuidas ning mis keskkonna tingimustes looduskivim on tekkinud. [13]



Joonis 1.17 Basalt [14]



Joonis 1.18 Graniit [15]

Kõva ning tugeva täitematerjali kasutamine segudes on vajalik seetõttu, et saavutada kivistunud segu suurem tugevus. Oluline on teada, et suhe täitematerjalide tugevuse ning kivistunud segu vahel ei ole lineaarne, sest seda mõjutab täitematerjali ning tsemendi omavaheline suhe. [12]

Erinevad uuringud täitematerjalide tugevuse kohta on andnud erinevaid tulemusi. Zhou uuringust [16] järeldeb, et nõrgemad täitematerjalid vähendavad kivinenud segu tugevust. Ezeldini ning Aitcini uuringust [17] järeldeb, et kõrge tugevusega kivinenud segudes annavad suurema tulemuse suurema tugevusega täitematerjalid. Samas normaaltugevusega kivinenud segudes on kõrgema tugevusega täitematerjalide mõju väga väike. Giaccio, Rocco, Violini, Zappitelli ning Zerbino uuringust [18] järeldeb, et segus, kus kasutati täitematerjalina poorset basalti, tekkisid praod tsemendi ning täitematerjali ühenduskohtadesse. Vastupidiselt sellele, kasutades täitematerjalina tihedamat lubjakivi, pragunes kivinenud segu terviklikult, koos lubjakivi teradega.

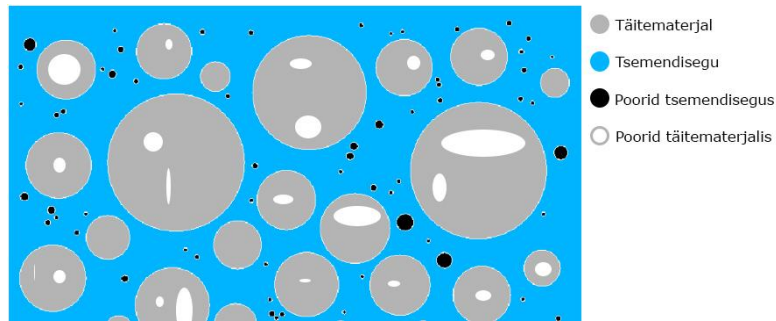
Kui kuivsegu kasutatakse liiga tugevat täitematerjali, on nõrgim lüli segu struktuuris tsementikivi ning praod tekivad kivinenud tsemendimaatriksisse. Vastupidiselt sellele on kergtäitematerjale kasutades tsemendimaatriks tugevam ning praod tekivad risti kergtäitematerjalide terade pinda. [12]

Üldiselt tunnistatakse, et hea tulemusega kivinenud segu saavutamiseks tuleb arvestada terade tugevusega ning täitematerjali-tsemendi omavahelise sideme suhtega. [12]

1.2.2 Täitematerjalide veeimavus/poorsus

Eeldatakse, et segudes kasutatavad täitematerjalid on inertsed ning säilitavad oma kuju. Ometi ei ole see eeldus alati õige. Leidub täitematerjale, mis kahanevad oma mahus või hoopis suurenevad, seoses nende märgumise või kuivamisega. Selline täitematerjali käitumine võib kivinenud segule kaasa tuua negatiivseid tagajärgi nagu pragunemine või deformatsioon. Tavaliselt esineb selliseid nähtusi täitematerjalidega, mis on poorsed ning väikese tihedusega. [19]

Kasutades erinevaid täitematerjale tuleb täheldada mitte ainult seda, kui tihe on materjal, vaid ka seda, kui palju on temas tühimikke. Tähtis on vahet teha täitematerjalide poorsusel ning tühiklikkusel. Poorid on avased täitematerjalide sees, milleks võivad olla mikroskoopilised või suured avased. Poorid kuuluvad täitematerjalide terade hulka ning neid ei saa suurendada ega vähendada. Tühiklikkus on avased täitematerjalide terade endi vahel ning nende suurus on võimalik muuta, muutes terastikulit koostist (vt joonis 1.19). [13]



Joonis 1.19 Tsemendisegu poorsus ning tühiklikkus [20]

Poorsete täitematerjalide probleem seisneb selles, et nad imavad endasse palju vett. Kui täitematerjal imab ennast vett täis, siis suureneb automaatselt ka terve segu veevajadus ning võib juhtuda olukord, kus segu muutub kasutuks, sest tsemendiga reageeriv vee kogus ei ole enam endine. Kohad, kust täitematerjal imab vee endasse muutuvad inertseks ning nõrgendavad lõpliku kivinenud keha. [21]

Täitematerjalide terade poorsus võib põhjustada ka liigse niiskussisalduse segus, olenemata, et side tsemendi ning täitematerjali vahel on parem. Lisaks mõjutab terade liigne poorsus negatiivselt ka segu külmakindlust. [12]

1.2.3 Täitematerjalide terastikuline koostis

Teadmine täitematerjalide terastikulisest koostisest on tähtis saavutamaks soovitud omadustega segu. Väiksemate fraktsioonidega täitematerjalidel on suurem terade pindala ning seetõttu nõuavad nad rohkem sideainet, et neid koos hoida. Vaatamata sellele liiguvad nad segus lihtsamalt, kui suuremad fraktsioonid. Suuremate fraktsioonide positiivne külg on nende suur tugevus ning vähene sideaine vajadus. [13]

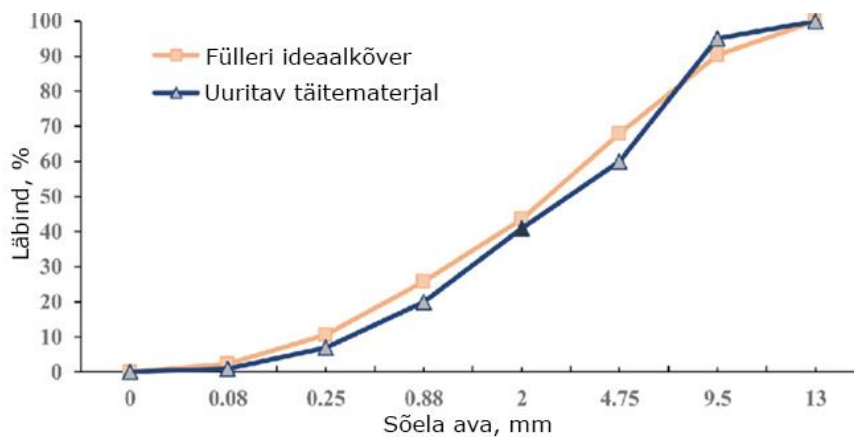
Täitematerjalide terastikulist koostist määratakse sõelanalüüsiga. Sõelanalüüsi tehakse kooskõlas riiklike standarditega ning teostatakse eraldi sõeltesüsteemiga, kus ühel sõelal on jämetäitematerjali jaoks ning teised peentäitematerjalide jaoks. Töökindlates segudes kasutatavate täitematerjalide lubatavad ning sobilikud terastikulised koostised on välja toodud riiklikes standardites ning rahvusvahelistes soovitustes. [12]

Täitematerjalide terastikuline koostis peab olema selline, et erinevate suurustega täitematerjalid omavahel pakiksid ning jätaksid võimalikult vähe tühimikke, mida tsement täitma peab. [22] Eesmärk on saavutada olukord, kus on minimaalne kogus tsementi ja vett, et siduv funktsioon täitematerjalide vahel oleks tagatud. [23]

Täitematerjalide terastikulisele koostise määramiseks koostatakse peale sõelumist sõelkõverad, millelt on võimalik saada täitematerjalide kohta kasulikku infot (vt joonis 1.20). [13]

Esiteks on võimalik näha jooniselt, kas sõelutud täitematerjal on peeneteraline või jämedateraline. Üldiselt algab jämedateraline täitematerjal pihta peale 4,75 mm sõela. [13]

Teiseks on jooniselt võimalik näha terade jaotust graafikul oleva joone kuju järgi. Mida vertikaalsem on joon, seda rohkem on ühtlase suurusega terasid, mida horisontaalsem on joon, seda rohkem on terade suurused hajutatud. [13]



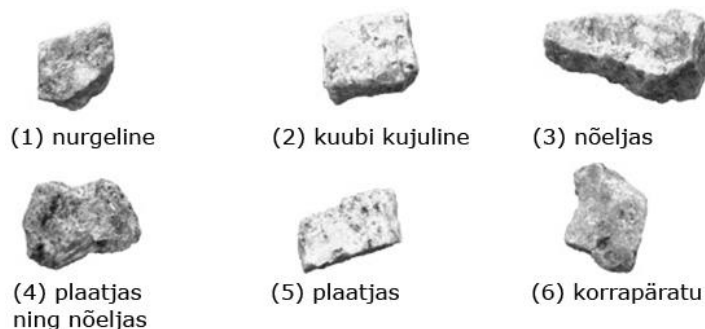
Joonis 1.20 Tüüpiline sõelkõver [24]

Lisaks sõelkõverale on täitematerjalidel võimalik iseloomustada ka tema peenust läbi peenusmoduli FM . [23] See näitab, kui palju on peenosist täitematerjali terastikulises koostises. [13] Peenusmodulit arvutatakse sõelanalüüsi osa- ja täisjääkide kaudu. [23]

1.2.4 Täitematerjalide pinna karedus

Täitematerjali terade kuju ning tekstuur mõjutavad seda, kui töödeldav on segu ning kui suure tugevuse saavutab kivistunud segu (vt joonis 1.21). Mida suurem on täitematerjali terade pinna pindala, seda suurem on tema veevajadus. Täitematerjali terade pinna pindala oleneb sellest, kui palju on proportsionaalselt peenosist segus, kui nurgeline on täitematerjal või kui kare on täitematerjali pind. Täitematerjali karedus ning nurgelisus võimaldab segul saavutada suure nakke tsemendiga. [22]

Mida nurgelisemad on täitematerjali terad, seda paremini haakuvad nad tsemendi külge kinni. Vastupidiselt eelnevale, kipuvad täitematerjalid, mille terad on ümarad omavahel veerema ning libisema. [13] Plaatjate ja nõeljade terade olemasolu täitematerjalis on segus kasutamisel sobimatu. [25] Nõeljad terad tekitavad segu struktuuris tühimikke ning seetõttu on selliste terade hulk täitematerjalis piiratud ning kindlate reeglitega vastavalt täitematerjali kategooriale paika pandud. [23]



Joonis 1.21 Erinevad täitematerjalide kujud ning tekstuurid [26]

Looduslik kruus ning liiv on ebasobivad segudes kasutamiseks seetõttu, et nende terad on ümarad, kuubi kujulised või piklikud ning ei ole piisavalt nurgelised. [12] Jõelliivade kasutamine ei ole samuti soovituslik, sest liikuv vesi on kulutanud terade nurgad ümaraks. [21] Nagu jõelliivade puhul on sama probleem ka mereliivadel, kus terade nurgad on aastatega ümaraks kulunud. Mägiliiva terad on oma olemuselt teravate nurkadega ning kareda pinnaga, mis tagavad hea nakke tsemendiga. Mägiliivade miinus on nendes sisalduva ebasobilike lisandite olemasolu nagu tolm või savi. Lisaks eelnevale on Eestis olemas ka moreenliivad, mis jäid maha mandrijääst ning ladestusid maapinda jäävee liikumise tõttu. Nende terastikuline koostis on väga erinev seetõttu, et nad esinevad maapinnas kruusaga segatult. [25]

Kasutades segudes ümaramate teradega täitematerjali, saavutatakse küll paremini töödeldav segu, kuid halvem nake tsemendi ja täitematerjali vahel. Nurgelisemate teradega täitematerjaliga tehtud segusid on küll raskem töödelda ning vormi paigutada, kuid tsemendi ning täitematerjali vahel on nake parem. [27]

1.2.5 Täitematerjalide homogeensus

Täitematerjalide terad peavad koormuse rakendumisel tegema koostööd tsemendiga. Selleks, et kivistunud segu peaks rakendatud jõule vastu peab olema täitematerjalide ning tsemendi omavaheline nake ning side tugev. Side täitematerjali ning tsemendi vahel sõltub mitte ainult täitematerjalide pinnakaredusest, vaid ka terade puhtusest ning saviosakeste ning teiste segavate lisandite olemasolust. [12]

Mörtides kasutatav täitematerjal peab olema savi, soolade, kaltsiumkloriidi, kipsi ning teiste kõrvaliste ainete vaba. [22] Kasutatavate täitematerjalide puhul tuleb vältida ka mereliiva. Seda seetõttu, et nimetatud liivadega kaasas olevad soolad tulevad segu kivinedes välja ning rikuvad ära kivilinenud välimuse. [21] Täitematerjalide tootjatel tuleb järgida, et kõik liivad ning kruusad oleksid alati pestud, et eemaldada lahustuvad ained ning muda. [22] Eestis ei ole tootjatel tavaks täitematerjale pesta, sest see on liiga suur nõue.

Kvartsliid, mida kasutatakse peentäitematerjalina segudes peab kindlasti olema vaba orgaanilistest ainetest, sooladest, savimineraalidest ning tolmust. Väga tihti esineb kvartsliidades ka amorfset ränioksiidi, mis reageerib tsemendileelistega ning põhjustab korrosiooni ja kivilinenud segu lagunemist. Kindlasti ei tohi liivas olla segu kivilinemisprotsessi aeglustavaid, takistavaid ega püsivust vähendavaid aineid. [23]

Üldiselt ei tohi segudes kasutada täitematerjale, mis:

- 1) Ei sobi keemiliselt kokku tsemendiga - sulfaadid ning orgaanilised ained. Mõned täitematerjalid, milles on reageerivat ränioksiidi, võivad põhjustada segudes leelis-räni reaktsiooni. Kõige tihedamini esinev neist on leeliseline ränigeel, mis imab endasse vett ning paisub. Tulemuseks on praod kivilinenud segus;
- 2) Vähendavad sidet täitematerjalidega - savi, õlikelme;
- 3) Paisuvad – bituumeline kivisüsi;
- 4) Mädanuvad – orgaaniline materjal;
- 5) Tõmbavad ligi niiskust – soolad, mida on üle 2 massiprotsendi tsemendist. Näiteks kloriidid kiirendavad korrodeerumisprotsesse ning vähendavad sulfaadikindlust sulfaadikindlatel tsementidel;
- 6) Jätavad plekke – püriit [22]

Lisaks eelnevale loetelule leiab Raado, et peentäitematerjalis, mida kasutatakse segudes ei tohi olla:

- 7) Orgaanikat ning huumust. Mõlemad takistavad kivilinemisprotsessi tsemendil. Peentäitematerjalis on piiratud ka huumuse sisaldus – piir, mida ületada ei tohi on 0,25 % liiva kogusest;
- 8) Tolmu, savikaid mineraale ning teisi lisaaineid, mis on ebasobivad ning tihti esinenud liivades. Kui liivades on palju savimineraale, siis takistavad need kivilinemisprotsessi ning vähendavad naket tsemendiosakeste ning täitematerjali vahel. Mida rohkem on segus tolmu, seda suurem on veevajadus segul. Lõpliku segu struktuuri võivad nõrgaks teha vilgud;
- 9) Ühendeid mis sisaldavad väävlit ning väävel ise. Need võivad tuua esile reaktsioone tsemendi hüdratsiooniprotsessil. Sellisel juhul võib tekkida kivilinenud segu paisumine;
- 10) Maagimineraale ning amorfset ränioksiidi. Need võivad esile kutsuda segus reaktsioone tsemendi koostisega ja võivad lõppeda segu korrodeerumisega [23]

1.2.6 Täitematerjalide keemiline aktiivsus

Minevikus täitematerjalide keemilist aktiivsust eirati seetõttu, et usuti, et täitematerjalid on inertsed tsemendipastas. Arvati, et kasutada võib ükskõik millist täitematerjali, millel on head füüsikalised omadused ning sobilik terastikuline koostis. Nüüdseks on teada, et teatud liiki täitematerjalina kasutatavad kivid on rohkem reageerivad niiskuse ning kõrgelt aluselise Portlandtsemendi pastaga, mille pH on ligikaudu 13,5. 1940. aastal näidati esimest korda, et teatud liiki täitematerjalide kasutamisel Portland tsemendiga võivad tekkida keemilised reaktsioonid, mille jätkuproduktid kutsuvad esile keha paisumise. [12]

Üks tuntumaid negatiivseid keemilisi reaktsioone tsemendibaasil segudes on leelis-räni reaktsioon. Seda põhjustab spetsiaalselt reageeriva ränisisaldusega täitematerjalide kasutamine segudes. Täitematerjal reageerib tsemendiga ning moodustab kaltsiumleeliselise ränigeeli, mis imab endasse vett ning paisub, põhjustades segul pragusid, mis vähendavad tema külmakindlust ning vastupidavust. [22], [27]

Põhitüüpi leelis-räni reaktsioone, mida on täheldatud, on need, kus on kasutatud täitematerjalina spetsiaalselt reageerivat ränidioksiidi nagu näiteks opaal, kaltsedoon ning tridüümit. [12]

1.3 EVS-EN 13139:2005 nõuded mördi täitematerjalidele

Mördis kasutatavatele täitematerjalidele kehtivad nõuded, mis on sätestatud Eesti Vabariigi standardiga EVS-EN 13139:2005. [28] Järgnevalt tuuakse välja kõige olulisemad nõuded standardist.

1.3.1 Geomeetrilised nõuded

Kõiki täitematerjale väljendatakse nende terasuuruse kaudu, suhtega d/D . Täitematerjali terasuurus tuleb määrata sõeltepaari avade mõõtmetega millimeetrites, kus d tähistab alumist piirmõõdet ja D ülemist piirmõõdet, mille vahemikku jääb suurem osa täitematerjali teradest nt. 0/4 mm. Mörtides eelistatud täitematerjali fraktsioonid on 0/1 mm, 0/2 mm, 0/4 mm, 2/4 mm ning 2/8 mm. [28]

Mörtides kasutatavatel täitematerjalidel peab olema vastavalt standardile EVS-EN 933-1:2012 [29] määratud terastikuline koostis vastama üle- ja alamõõduliste terade sisalduse lubatud piiridele. Need piirid on sätestatud tabelis 1.8. [28]

Tabel 1.8 Üle ja alamõõduliste terade lubatud sisaldus [28]

Täitematerjali terasuurus mm	Läbind, %				
	Ülemõõdulised			Alamõõdulised	
	2 D^a	1,4 D^b	D^c	d	0,5 d^b
0/1	100	95...100	85...99	-	-
0/2	100	95...100	85...99	-	-
0/4	100	95...100	85...99	-	-
0/8	100	98...100	90...99		
2/4	100	95...100	85...99	0...20	0...5
2/8	100	98...100	85...99	0...20	0...5

^a Olukorras, kus see on eriotstarbelise kasutuse seisukohalt vajalik, võib 100 % läbind olla kindlaks määratud väiksemal sõelal kui $2D$. Õhukese (0/1) mördikihi jaoks peab avaga D sõela läbind olema 100 %.

^b Kui ISO 565:1990 seerias R20 ei ole arvutuslikule avale $1,4D$ ja $d/2$ täpselt vastavaid sõelu, tuleb kasutada lähima avamõõtmega sõela.

^c Kui sõela D läbind > 99 %, peab tootja dokumenteerima ja deklareerima tüüpilise terastikulise koostise, kasutades tabelis 2 kindlaksmääratud sõelu.

Igal täitematerjalil on oma iseloomulik terastikuline koostis. Selleks, et igal toodetaval peentäitematerjalil ei varieeruks terastikuline koostis, tuleb rakendada neile kindlaid hälbeid. Rääkides toodangust, tuleb nõudmise korral tootjal dokumenteerida ning deklareerida iga toodetava peentäitematerjali fraktsiooni iseloomulik terastikuline koostis. Toodangu hindamisel tehase tootmisohje raames peab terastikuline koostis viimase 20 sõelanalüüsi tulemustest vähemalt 90 % juhtudel tootja poolt deklareeritud terastikuline koostis jääma tabelis 1.9 toodud lubatud hälvete piiridesse. [28]

Tabel 1.9 Tootja poolt deklareeritud üldkasutatava täitematerjali terastikulise koostise lubatud hälbed [28]

Sõela ava mm	Läbimõõdu maksimaalsed lubatud hälbed massiprotsentides ^{a, b}			
	Täitematerjali terasuurus, mm			
	0/8	0/4	0/2	0/1
8	±5	-	-	-
4	-	±5	-	-
2	±10	-	±5	-
1	±10	±20	±20	±5
0,250	±10	±20	±25	±25
0,063	±2	±3	±5	±5

^a Ülaltoodud lubatud hälbeid mitterahuldav täitematerjal peab vastama tabeli 1 ja tabeli 4 nõuetele.
^b Erilise kasutusotstarbe puhul võib tootja ja tarbija vahelisel kokkuleppel rakendada väiksemaid lubatud hälbeid (vt jaotis 5.3.4 ja lisa B).

Standardis on öeldud, et alla 4 mm terasuurusega täitematerjalide tera kuju tavaliselt ei mõjuta mörtide omadusi. Kui seda on nõutud, siis hinnatakse üle 4 mm fraktsioonide terade kuju standardi EVS-EN 933-3 [30] kohaselt ning tulemus deklareeritakse. Lisaks on esitatud standardis ka peenosise sisaldusele piirväärtused, mis on toodud välja tabelis 1.10. [28]

Tabel 1.10 Peenosise sisalduse piirväärtused [28]

Täitematerjali terasuurus mm	0,063 mm sõela maksimaalne läbimõõt, protsentides				
	Kategooria				
	1	2	3	4	5
0/1 ^a	3	5	8	30	< 30 ^a
0/2	3	5	8	30	-
0/4; 2/4 ^b	3	5	8	30	-
0/8; 2/8 ^b	3	5	8	11	-

^a Väärtus deklareeritakse tootja poolt.
^b 2/4 ja 2/8 terasuurusega täitematerjali võib mörtides kasutada ainult kombineerituna 0/1; 0/2; 0/4 ja 0/8 terasuurustega. Täitematerjalide terasuuruste segud peavad olema vastavuses kombineeritud terasuuruste peenosise piirväärtustega.

Märkus 1. Sobiv kategooria tuleks valida lähtuvalt lõppkasutusest.

Märkus 2. Erinevate kategooriate lõppkasutuse näited:

Kategooria 1: Põranda tasanduskihid, pritskrohv, parandusmört, tsementmört (kõik täitematerjalid).

Kategooria 2: Krohvi sisesevisekihid ja krohvimördid (kõik täitematerjalid).

Kategooria 3: Müürimördid (kõik täitematerjalid v.a purustatud kivim).

Kategooria 4: Müürimördid (purustatud kivim).

1.3.2 Füüsilised nõuded

Kõikide standardis välja toodud omaduste katsetamise vajalikkus tuleb määrata lähtudes täitematerjali konkreetsest kasutusviisist. Kui see on nõutud, tuleb teostada kõik standardis välja toodud katsed täies mahus. [28]

Läbi tuleb viia järgmised katsed:

- 1) Terade tihedus – vastavalt standardile EVS-EN 1097-6:2022 [31];
- 2) Veeimavus – vastavalt standardile EVS-EN 1097-6:2022 [31];
- 3) Külmakindlus – nõudmise korral tuleb üle 4 mm täitematerjali fraktsiooni külmakindlus määrata standardi EN 1367-1 kohaselt või tuletada see samast leiukohast pärineva 10/14 mm fraktsiooni katsetamise teel standardi EN 1367-2 kohaselt [28]

1.3.3 Keemilised nõuded

Mörtides kasutatavatele täitematerjalidele tuleb lähtuvalt nende kasutusviisist määrata neile vajalikud omadused. Tähtis on, et täitematerjal ja filler ei sisaldaks sellised aineid, mis mõjuksid kahjulikult sellest valmistatud mördi kestvusele ning pinnaomadustele. [28]

Määrata tuleb järgmised keemiliste omaduste katsed:

- 1) Kloriidide sisaldus – EN 1744-1:1998;
- 2) Väävlit sisaldavad ühendid;
 - a. Happes lahustuvad sulfaadid – EN 1744-1:1998 jaotis 12;
 - b. Üldväävlisisaldus - EN 1744-1:1998 jaotis 11;
- 3) Tardumise ning kivinemise kiirust mõjutavate ühendite osakaal – EN 1744-1:1998 jaotis 15.3;
- 4) Veeslahustuva aine sisaldus – EN 1744-1:1998 jaotis 16;
- 5) Kuumutuskadu – EN 1744-1:1998 jaotis 17;
- 6) Leelis-räni reaktiivsus – EVS-EN 13139:2005 lisa D [28]

1.4 Keemiliste lisandite mõju mördi omadustele

1.4.1 Plastifikaatorid/superplastifikaatorid

Plastifikaatorid on segu töödeldavust parandavad ning veevajadust vähendavad keemilised lisandid. Nende abil on võimalik muuta segu plastsemaks ehk töödeldavamaks ilma vee hulka suurendamata. Lisaks töödeldavuse muutmisele vähendab plastifikaatorite kasutamine kivilinenud segus ka pooride hulka, mis tähendab tihedamat, tugevamat ning püsivamat kivilinenud segu. [32]

Tavalised lähteained, mida kasutatakse plastifikaatoritena on naftaleen, lignosulfaat ning mitmed polümeersed ained. [33] Vanasti kasutati plastifikaatoritena mineraalse (lubi- ja

savitaigen) kui ka orgaanilise algupäraga (karboksüül- või sulfoonrühma sisaldavad ühendid) plastifikaatoreid. Üldiselt parandavad plastifikaatorid ka segu veehoidvust. [23]

Plastifikaatorite tööpõhimõte on suurendada tsemendi osakeste võimet segus liikuda vabamalt, vähendades osakeste vahelist nidusust. Selliselt on tsemendi sadestuvate osakeste koondumine vähendatud ning õhuke vee kiht ilmneb osakeste ümber. Suureneb tsemendi aktiivpind, mistõttu veevajadus väheneb. [12] Kokkuvõtlikult muudavad plastifikaatorid segus olevate osakeste liikumise kergemaks ning teevad osakesed libedamaks. [33]

Plastifikaatoreid kasutatakse järgnevatel põhjustel:

- 1) Saavutada kivinenud segu suurem survetugevus. Vähendada segu vesitsemendtegurit ning säilitada sama töödeldavus nagu ilma lisandita segul;
- 2) Saavutada sama töödeldavus väiksema tsemendi kogusega ning vähendada sellest tingitud soojuse eraldust tsemendi hüdratsiooniprotsessist;
- 3) Tõsta segu töödeldavust;
- 4) Parandada segu veepidavust ning külmakindlust koos teiste füüsikalise omadustega. [12]

Superplastifikaatoreid kasutatakse järgmistel põhjustel:

- 1) Valmistada isevalguvaid segusid, mille survetugevus ning koostis oleks sama nagu lisanditeta segul;
- 2) Saavutada vajalik survetugevus kasutades väikestes kogustes tsementi;
- 3) Saavutada suur survetugevus tänu vee olulisele vähendamisele segus [12]

1.4.2 Veehoidvust parandavad lisandid

Segu veehoidvus on omadus, mis ei lase seguveel mördist kergesti eralduda, välja valguda ega kihina peale koguneda. [25] Põhiline puudus tsementmörtidel on nende halb veehoidvus ning sellest tulenevalt ka nende halb vee-eraldus. Müüri- või krohvitoodel on sellise mördi kasutamine ebamugav. Segu seismisel hakkab toimuma segu kihinemine ning pinnale tõuseb vesi. Kandes segu poorsele alusele kaotab ta oma töödeldavuse ilma, et ta suudaks hoida endas vajalikku vett plastsuse tagamiseks. Kõige halvemal juhul võib kuumaga peatuda kivinemisprotsess, sest vesi kaob mördist peaaegu täielikult. [32] Selleks, et segu kihinemist vältida, tuleks kasutada veehoidvuslisandeid. [25]

Tavaliselt on veehoidvust parandavad lisandid pulbrikujulised ning nende põhieesmärk on segudes vee-eralduse tendentsi vähendamine. Üldiselt kasutatakse selleks metüülselluloosi, mis seob segus oleva vee endaga, paisub oma mahus ning hoiab kinni vaba vee, mis segus eksisteerib. Lisaks võib veehoidvust mörtides parandada, lisades segusse lubjataignat või savi. Nimetatud materjalid on väga suure peenosise sisaldusega ning on võimelised siduma rohkem vett, parandades sellega segude plastsust ning

veehoidvust. [32] Levinud on ka mineraalselt disperseeritud plastifikaatorite kasutamine. [25]

Veehoidvust on võimalik müürimörtidel suurendada ka õhku sisseviivate lisanditega. Üldjuhul ongi kõik klassikalised mörtides kasutatavad plastifikaatorid samatüübilised kui betoonis kasutatavad õhku sisseviivad lisandid. [32]

1.5 Täitematerjalide purustamismeetodid

Täitematerjalide purustamisel leidub mitmeid erinevaid meetodikaid. Üldiselt on enamus neist kuivad toimingud ning viiakse läbi mitmes etapis. Esimesel etapil purustatakse täitematerjal suure jõudlusega masinatega väiksemateks tükkideks, mida vajadusel teisel ning kolmandal etapil väiksema jõudlusega masinatega soovitud fraktsiooniks purustatakse. [34]

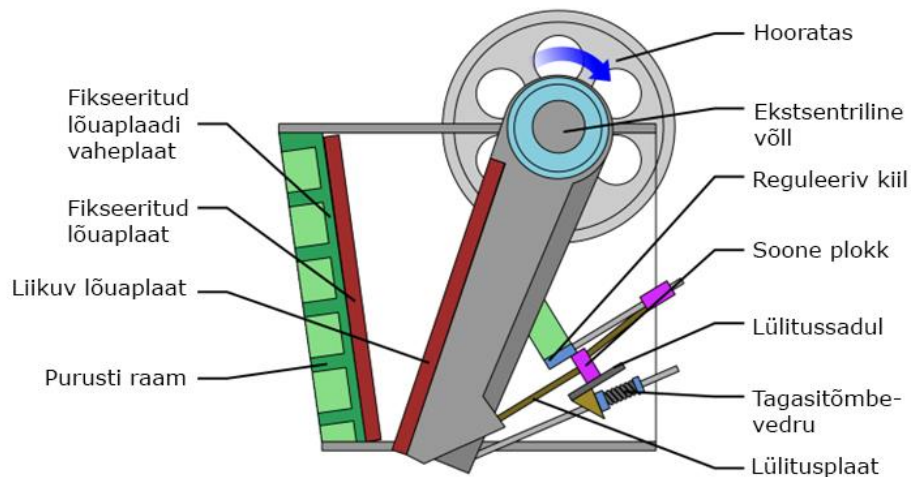
Purustamine võib olla nii avatud kui suletud ringina. Avatud ringis läheb purustatud materjal edasi järgmistele toimingutele. Kinnises ringis läheb purustatud materjal uuesti tagasi purustisse seni, kuni saavutatakse soovitud fraktsioon. [34]

Tähtis on märkida, et täitematerjal, mis saadakse erinevatest purustamismeetoditest, ei pruugi alati olla samasuguse kujuga. See sõltub väga palju sellest, mis täitematerjaliga on tegu. Põhimõtte võiks olla selline, et soovitud kujuga täitematerjali saamisel tuleb valida õige purustamismeetod. Täpsemad uuringud on selleks vajalikud, et teha kindlaks, mis purustamismeetodid on sobilikud kindlatele täitematerjalidele. [35]

Järgnevalt antakse ülevaade erinevatest enamlevinud purustitist, millega valmistatakse täitematerjale.

1.5.1 Lõugpurusti

Selle purusti omapärane tunnusjoon on 2 plaati, mis avanevad ning sulguvad nagu looma lõuad. Üks lõug on fikseeritud ning statsionaarne, teine aga liikuv ning liigendi otsas. Mõlemad lõuad on omavahel kindla nurga all. Materjalist, mis purustisse pannakse, n.ö näpistatakse tükke, mis omakorda kukuvad sügavamale purustisse ning purustatakse veel väiksemateks tükkideks (vt joonis 1.22). [34]



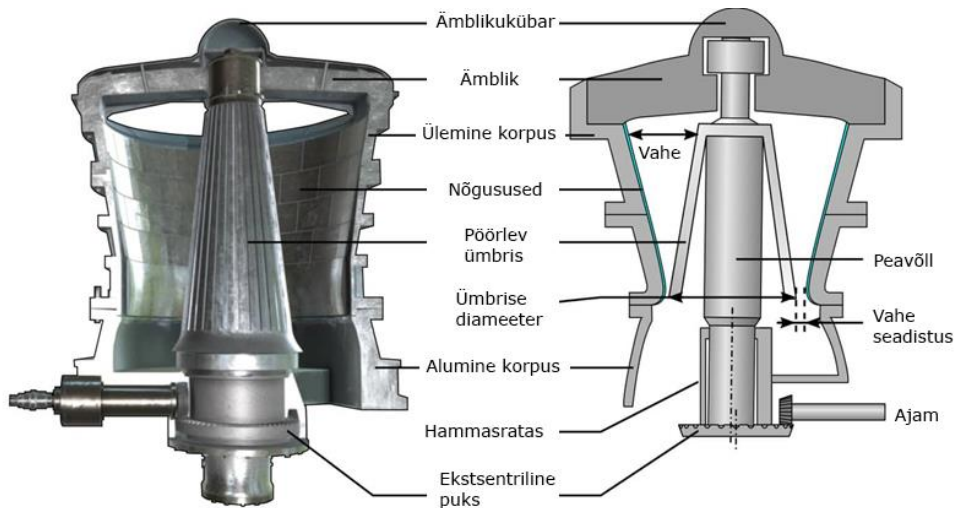
Joonis 1.22 Lõugpurusti tööpõhimõte [36]

Iga näpistuse ajal tekivad täitematerjale osade vahele tühimikud. Võttes arvesse, et täitematerjal vajub purustis pidevalt alla ning tekivad ka eelnevalt mainitud tühimikud võib juhtuda, et masin läheb tõrkesse, kui purustatud materjal piisava kiirusega masinast ei välju. Selleks, et seda vältida on masina liikaval lõual suurenev amplituud lõua alumises osas. [34]

Lõugpurusteid on mitmeid erinevaid oma tüübilt. On Blake'i, Dodge'i ning universaalne lõugpurusti. Nende tööpõhimõtted erinevad selles, mismoodi liikuv lõug töötab – kas sulgub ülemine osa, sulgub alumine osa, või sulgub korra ülemine ning siis alumine osa. [34]

1.5.2 Pöördpurusti

Pöördpurustid koosnevad pikast spindlist, mille küljes on koonuse kujuline kõvast terasest tehtud jahvatuseslement. Spindel on kinnitatud nn "ämbliku" külge ning pöörleb 85 – 150 korda minutis. Spindli liikumistee on kooniline ning kamber, milles ta liigub, fikseeritud. Nagu lõugpurustil toimub maksimaalne liikumine pöördpurustis purustatud täitematerjali väljutamiskohas (vt joonis 1.23). See väldib võimaliku tõrget masinal ning laseb täitematerjalil välja joosta sobiliku kiirusega. [34]

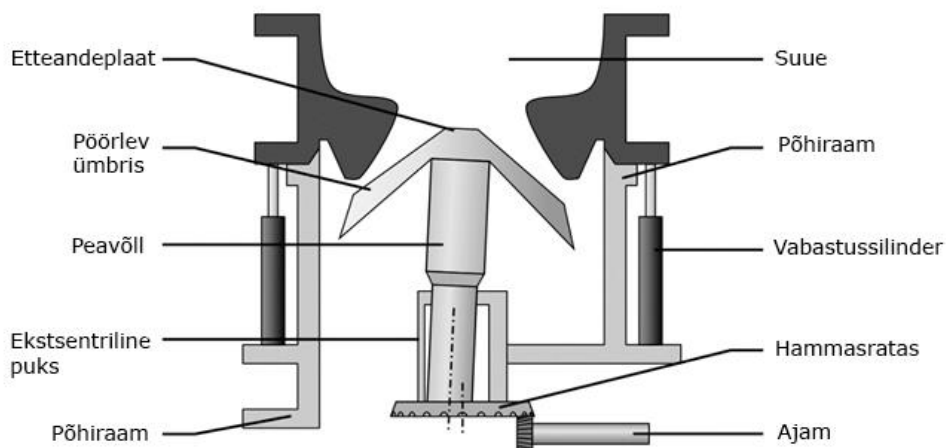


Joonis 1.23 Pöördpurusti tööpõhimõte [37]

Kui vaadata pöördpurusti ristlõiget, siis on korraga töös 2 paari lõugasid, mis avanevad ning sulguvad. Võib öelda, et pöördpurustis on lõpmatult arv lõugpurusteid, millest iga lõugpurusti on lõpmatult väikese laiusega. Võrreldes lõugpurustiga on pöördpurusti töömaht suurem ning võimaldab rohkem materjali läbi lasta. Tööstusettevõtetes on ta rohkem eelistatav variant. [34]

1.5.3 Koonuspurusti

Koonuspurusti on modifitseeritud pöördpurusti, kus koonuspurusti spindel on lühem ning ei ole kinnitatud mitte ülevalt, vaid hoopis alt. Ekstsentrilisus luuakse vastuvõlliga läbi kaldhammasratta (vt joonis 1.24). Koonuspurusti pea läheb altpoolt laiemaks, mis aitab purustatud materjalil paremini välja liikuda ning teeb temast väga tõhusa purusti. Lisaks on koonuspurustil parem peanurk kui pöördpurustil, mis annab talle veel suurema töömahu. [34]

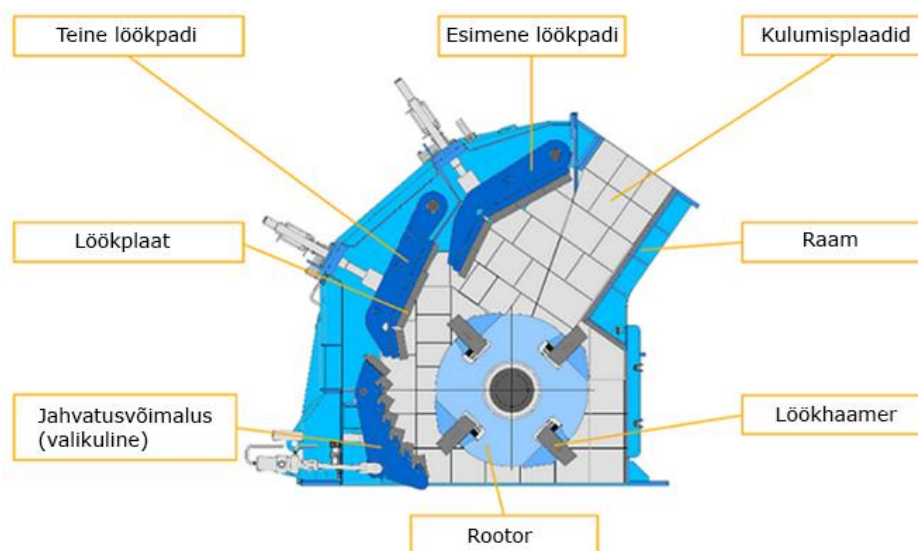


Joonis 1.24 Koonuspurusti tööpõhimõte [38]

Koonuspurusti tootlikkus on 5 korda suurem kui lõugpurustil ning pöördpurustil. Lisaks peab ta taluma suuremaid koormusi. Töötamiskiirus koonuspurustitel on kordades kiirem, kui lõug- ning pöördpurustil. Koonuspurusti töötlusviis ei ole täitematerjali järk-järgult kokku surumine, vaid sarnaneb rohkem haamri löökide seeriale. Koonuspurustist väljuv täitematerjal kipub olema piklik, sest tema ülesehitus soosib selliste osakeste läbipääsu. [34]

1.5.4 Haamerpurusti

Sellist tüüpi purustil toimub materjalide peenestamine löökide teel. Tugevad ning teravad löögid antakse suurel kiirusel vabalt langevatele täitematerjalidele. Tugevaid lööke antakse edasi läbi rootori teel liikuvate labade. Täitematerjali kokkupuutel labadega tekitatakse materjali osakestes piisavalt suured pinged, kuni materjal puruneb (vt joonis 1.25). Materjal puruneb veel rohkemgi, kui nad põrkuvad peale esmast kokkupuudet labadega vastu löökpurusti seinasid.



Joonis 1.25 Haamerpurusti tööpõhimõte [39]

On suur vahe, kas täitematerjal, mida tahetakse kasutada on purustatud surve teel või löögi teel. Survega purustatud materjalidele kipuvad tekkima sisemised pinged, mis võivad hiljem põhjustada pragunemist. Seevastu löögiga purustatud täitematerjalidel ei teki jääkpingeid, sest löök põhjustab täitematerjali kohese purunemise. [34]

Haamerpurustiga tehtud täitematerjale kasutatakse telliste tootmisel, üldehituses ning teedehituses. Löökpurustid on laialdaselt kasutusel karjäärides, sest täitematerjal, mis väljub löökpurustist, on kõige sobilikum. Võrreldes koonuspurustiga, lüüakse piklikud osakesed löökpurustis katki, sest nad on õhema ristlõikega ning seetõttu nõrgema tugevusega. [34]

2. KATSEMETOODIKAD

2.1 Kuivsegude valmistamine

2.1.1 Purustatud silikaatkivist liiva valmistamine

Kuivsegudes kasutatud silikaattelistest valmistatud liiva tegemiseks kasutati 2022. aasta suve perioodil lammutatud AS Kunda Nordic tsemenditehase vana silo müüritise osi (vt joonis 2.1 ning 2.2). Müüritise osad transporditi Kundast TalTechi 2022. aasta septembri esimesel nädalal. Kundast TalTechi transporditi ligikaudu üks tonn müüritise tükke. Transporditud müüritised olid koos kivistunud müürimördiga nii üksikute kividena kui ka suuremate müüritise tükkidena (vt joonis 2.3). Suuremad müüritise osad purustati TalTechis piikvasaraga väiksemateks tükkideks.



Joonis 2.1 Kunda tsemenditehase silo eeldatav ehitusaasta [autori erakogu]



Joonis 2.2 Kunda tsemenditehase silo müüritise jäägid [autori erakogu]

Purustatud silikaattelistest liiva (edaspidi PSKL) tegemiseks kasutati Tallinna Tehnikaülikooli Ehituse ja arhitektuuri instituudi Ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratooriumi lõugpurustit (vt joonis 2.4). Vajalik fraktsioon antud töös kasutatavale PSKL-ile oli 0/4 mm.

Silikaattelliste purustamine toimus koostöös kaastudengiga, kelle magistritöö teema tõttu lõugpurusti lõuavahe ülemine piir fikseeriti 16-20 mm juurde. Ülemine piir pandi paika proovikatsete käigus, mõõtes ära lõugpurusti lõugade vahe regulaatori keermete pikkuse (vt joonis 2.5).



Joonis 2.3 Ladustatud müüritise tükid [autori erakogu]

Lõugpurustist välja tulnud materjal jäi vahemikku 0-20 mm. Täheledata võib asjaolu, et iga purustussessioon sisaldas endas mahuliselt 1/3 osa fraktsiooni 0/4 mm ning 2/3 osa fraktsiooni 4/20 mm.

Saadud purustatud materjal sõeluti sõeladega, mille sõelaava oli 5 mm. Sõelast läbi läinud materjal eraldati sõela peale jäänud materjalist. Välja sõeluti lõugpurustist saadud massist ligikaudu 300 kg PSKL-i fraktsiooniga 0/4 mm.

Sõelumisel tekkinud PSKL ei olnud homogeniseeritud ning seetõttu tuli sõelatud materjal segada läbi omavahel betoonisegistis. Kokku segati PSKL-i betoonisegistis omavahel 10 minutit, et vältida suuremate PSKL-i terade kulumist väiksemaks fraktsiooniks. Saadud tulemusena oli PSKL valmis kuivsegudes kasutuseks (vt joonis 2.6 ning 2.7).



Joonis 2.4 Lõugpurusti [autori erakogu]



Joonis 2.5 Lõugpurusti lõuavahe fikseerimine [autori erakogu]



Joonis 2.7 Homogeniseeritud PSKL [autori erakogu]



Joonis 2.6 PSKL-i terad [autori erakogu]

2.1.2 Kasutatud materjalid

Kuivsegude valmistamiseks kasutati järgmisi materjale:

- 1) 1960. aastal ehitatud Kunda Tsemenditehase silo lammutatud müüritisest valmistatud PSKL;
- 2) Silikaat AS Tallinn-Saku liivamaardla Männiku I ning II liivakarjääri liivade segu;
- 3) AS Kunda Nordic Tsement komposiitsegment CEM II/A-M(T-L) 42,5 R;
- 4) Superplastifikaator Conpac700;
- 5) Veehoidvuse lisand Bermocoll M30

Lisandite kogused võeti vastavalt tootjajuhiste miinimum ning maksimum väärtustele, välja arvatud superplastifikaatori (edaspidi lihtsalt plastifikaator) ülemine piir, mille kogust vähendati 1,0 % pealt 0,2 % peale. Katsete käigus tootjajuhiste kohase veehoidvuse lisandi kogustega tehtud segude negatiivsete tulemuste tõttu muudeti ühe segutüübi lisandite sisaldust vastavalt 0,08 % plastifikaatorit ning 0,05 % veehoidvuslisandit. Veehoidvuslisandi vähendatud koguse soovitus tuli lisandite tarnijalt Mira Ehitusmaterjalid OÜ.

2.1.3 Kuivsegude segamine

Kõikide kuivsegude segamisel lähtuti standardis EVS-EN 196-1:2016 [40] välja toodud tsemendi ning täitematerjalide massisuhtest, kus mört peab koosnema ühest massiosast tsemendist ning kolmest massiosast täitematerjalist.

Vastavalt katseplaanis (vt Lisa 1 Tabel L1.1) välja toodud erinevatele katsetele kuluva kuivsegu masside summale segati iga lisanditeta segu algselt 88,5 kg (kokku 442,5 kg). Kui kuivsegust jäi puudu, segati vajalikus koguses väiksemas betoonisegistis kuivsegusid juurde.

Kokku segati magistritöös järgmised ilma lisanditeta kuivsegud:

- 1) 0 % PSKL-i ning 100 % kvartslüiva sisaldusega kuivsegu
- 2) 25 % PSKL-i ning 75 % kvartslüiva sisaldusega kuivsegu
- 3) 50 % PSKL-i ning 50 % kvartslüiva sisaldusega kuivsegu
- 4) 75 % PSKL-i ning 25 % kvartslüiva sisaldusega kuivsegu
- 5) 100 % PSKL-i ning 0 % kvartslüiva sisaldusega kuivsegu

Magistritöös kasutati järgmisi lisandite koguseid ning kombinatsioone:

- 1) Minimaalne kogus plastifikaatorit 0,05 % sideaine massist (edaspidi P 0,05 % MIN)
- 2) Maksimaalne kogus plastifikaatorit 0,2 % sideaine massist (edaspidi P 0,2 % MAX)
- 3) Minimaalne kogus veehoidvuse lisandit 0,3 % kuivsegu massist (edaspidi V 0,3 % MIN)
- 4) Maksimaalne kogus veehoidvuse lisandit 0,7% kuivsegu massist (edaspidi V 0,7 % MAX)
- 5) Minimaalne kogus plastifikaatorit ning minimaalne kogus veehoidvuse lisandit (edaspidi MIN P/MIN V)
- 6) Maksimaalne kogus plastifikaatorit ning maksimaalne kogus veehoidvuse lisandit (edaspidi MAX P/MAX V)
- 7) Minimaalne kogus plastifikaatorit ning maksimaalne kogus veehoidvuse lisandit (edaspidi MIN P/MAX V)
- 8) Maksimaalne kogus plastifikaatorit ning minimaalne kogus veehoidvuse lisandit (edaspidi MAX P/MIN V)
- 9) 0,08 % plastifikaatorit ning 0,05 % veehoidvuse lisandit (edaspidi P 0,08 %/V 0,05 %)

Katseseadmed betoonisegistiga kuivsegu valmistades:

- 1) Betoonisegisti Collomix Collomatic Typ TMS 2000 80 L (vt joonis 2.8);
- 2) Betoonisegisti Soroto 40L-30 (vt joonis 2.9);
- 3) Ajamõõtja, mõõtetäpsusega ± 1 s;
- 4) Ämbrid kuivsegude ladustamiseks



Joonis 2.8 Collomix Collomatic Typ TMS 2000 betoonisegisti [autori erakogu]



Joonis 2.9 Soroto 40L-30 betoonisegisti [autori erakogu]

Katsekäik betoonisegistiga kuivseguisid valmistades:

- 1) Jämedamad täitematerjalid paigutati segistis alla ning peenemad peale – PSKL > kvartslüiv > tsement;
- 2) Kuivsegu segati 10 min ühtlasel kiirusel. 10 minutit valiti ajaks seetõttu, et vältida PSKL-i suuremate fraktsioonide abrasiivset kulumist;
- 3) Peale 10 min segamist avati segisti luuk ning valmis kuivsegu ladustati ämbritesse, suleti kaanega ning hoiustati laboriruumides toatemperatuuril ning toa suhtelisel niiskusel

Kõik lisanditega kuivsegud segati valmis segistis, mis vastab standardile EVS-EN 196-1:2016 [40]. Tagamaks pulbriliste lisandite kindla segunemise etalonsegu ning PSKL-i abrasiivse kulumise vältimist, segati iga lisandiga segu kokku 5 min.

Katseeadmed lisanditega kuivseguisid valmistades:

- 1) Segisti, mis vastab standardile EVS-EN 196-1:2016 [40] (vt joonis 2.10);
- 2) Ajamõõtja, mõõtetäpsusega ± 1 s;



Joonis 2.10 Segisti Hobart N50CE [autori erakogu]

Katsekäik lisanditega kuivseguisid valmistades:

- 1) Etalonsegu paigutati segisti anumasse. Maksimaalne võimalik segamiskogus oli 2 kg, vastasel juhul paiskas segisti anumast kuivsegu välja;
- 2) Eelnevalt doseeritud pulbrilised lisandid lisati etalonsegu peale või peideti pealmise kihi alla, vältimaks lisandite anumast välja paiskumist segisti vispli esimesel pöördel;
- 3) Kinnitati vispel ning käivitati segisti;
- 4) Kõiki lisanditega kuivseguisid segati madalatel pööretel 5 min

2.2 Kuivsegude terastikulise koostise määramine

Kuivsegude terastikulise koostise määramisel lähtuti standardist EVS-EN 1015-1:2004 [41]. Koondproovide võtmisel ei arvestatud standardi EN 1015-2 kohase koondproovi vähendamisega. Erinevalt standardist, teostati sõelumine ka kiududega segudele, ilma kiudusid eemaldamata – Kiudkrohv NAKS FKK ning Weberi sokli- ja tasanduskrohv webervetonit 137. Segudele teostati kuivisõelumismeetod. Proovikehad katsetati toatemperatuuril ning toa suhtelisel niiskusel.

Katseseadmed:

- 1) Kaal KERN EMS 6K0.1, mille kaalumistäpsus on 0,1 g. Nõutud täpsus standardijärgselt on 0,1 g;
- 2) Katsesõelad vastavalt standardis välja toodud tabel 1-le [41] vahemikus 0-4 mm;
- 3) Mehaaniline sõelumisseade Retsch AS200 digit ;
- 4) Sõeltega tihedalt sobituv põhi ning kaas;
- 5) Lame kandik proovikehade kaalumiseks

Katsekäik:

- 1) Koondproovist võeti 200 g katseproov, sest $d_{max} \leq 4$ mm [41];
- 2) Katseproov valati kokkupandud sõeltele ning sõeluti vibreerides 5 min;
- 3) Määrati igale sõelale jäänud fraktsiooni mass m_i ning kõigi fraktsioonide masside summa m_k . Peenosise hulk arvutati lahutades proovi algmassist m_a fraktsioonide summaarse massi m_r ;
- 4) Arvutati katseproovi osajääk a_i vastavalt valemile 2.1:

$$a_i = \frac{m_i}{m_k} \cdot 100 \quad (2.1)$$

kus a_i – katseproovi osajääk, %;
 $i = \{4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,125; 0\}$;
 m_i – jääk sõelal, g;
 m_k – katsetatava liiva kogumass peale sõelumist, g

- 5) Arvutati katseproovi täisjääk A_i vastavalt valemile 2.2:

$$A_i = a_{4,0} + a_{2,0} + \dots + a_i \quad (2.2)$$

kus A_i – katseproovi täisjääk, %;
 a_i – katseproovi osajääk, %;
 $i = \{4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,125; 0\}$

- 6) Arvutati katseproovi läbind L_i vastavalt valemile 2.3:

$$L_i = 100 - A_i \quad (2.3)$$

kus L_i – läbind, %;
 A_i – katseproovi täisjääk, %;
 $i = \{4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,125; 0\}$

7) Katseproovile koostati sõelkõver

2.3 Kuivsegude puistetiheduse määramine

Kuivsegude puistetiheduse määramisel oli tähtis näha, kuidas mõjutab kvartslüüva asendamine PSKL-iga kuivsegu puistetihedust. Lisaks oli kuivsegude puistetiheduse määramisel tähtis, et tekiks võrdlusmoment turul olevate kuivsegudega ning seetõttu tuli puistetiheduse määramisel võtta arvesse erinevaid aspekte. Puistetihedus määrati nii tsemendiga kuivsegudele kui ka ilma tsemendita kuivsegudele.

Puistetiheduse määramisel lähtuti standardist EVS-EN 1097-3:2000 [42] ning juhendaja märkustest ja suusõnalistest kokkulepetest. Puistetiheduse katsed ei saanud läbi viia vastavalt standardis välja toodud seadmetele, sest täitematerjalide kui ka tsemendi peenosis jäi standardiga määratud avaga lehtrisse kinni ning ei jooksnud enam sealt välja. Seetõttu tuli ava suurendada 60 mm-ni ning muuta katsemetoodika selliseks, et saadud tulemused oleksid võrreldavad. Proovikehad katsetati toatemperatuuril ning toa suhtelisel niiskusel. Puistetiheduste lõpptulemused ümardati kümnelisteni.

Katseseadmed:

- 1) Silindriline katseanum mahuga $V_p = 1,004$ l;
- 2) Lehter, mille puisteaugu diameeter $d_{lehter} = 60$ mm ning kõrgus silindrilise katseanuma ülemisest servast ≤ 50 mm ning ≥ 40 mm;
- 3) Kaal KERN EMS 6K0.1, mille kaalumistäpsus on 0,1 g. Nõutud täpsus standardijärgselt on 0,1 % katseproovi massist ehk 1500 g katseproovi korral 1,5 g;
- 4) Pahtlilabidas;
- 5) Sobiva suurusega kühvel

Katse käik:

- 1) Valmistati kokku kolm üksikproovi, mis pidid jääma vahemikku $1,2m_{anum} - 1,5m_{anum}$;

kus m_{anum} – katseanuma mass, g

- 2) Tühi katseanum kaaluti, m_1 ;
- 3) Katseanum asetati lehtri alla;
- 4) Üksikproov valati lehtrisse;
- 5) Lehtri põhi võeti ära ning lasti anumal täituda kuhjaga;
- 6) Kuhjunud üksikproov tasandati pahtlilabidaga ühe tõmbega, vältides üksikproovi tihendamist;
- 7) Täidetud katseanum kaaluti, m_2 ;
- 8) Eelnevalt kirjeldatud katse käiku korrati ülejäänud kahe üksikprooviga;
- 9) Igale üksikproovile arvutati puistetihedus valemiga 2.4:

$$\rho_{p,i} = \frac{m_2 - m_1}{V_p} \cdot 1000 \quad (2.4)$$

kus $\rho_{(p;i)}$ – üksikproovi puistetihedus, kg/m³;
 $i = \{1; 2; 3\}$;
 V_p – katseanuma maht, l;
 m_1 – tühi katseanum, g;
 m_2 – täidetud katseanum, g

10) Arvutati katsetatud koondproovi keskmine puistetihedus ρ_{pk} aritmeetilise keskmisena

2.4 Purustatud silikaatkivist liiva veeimavuse määramine

Purustatud silikaattelistest liiva (edaspidi PSKL-i) veeimavuse määramine viidi läbi vastavalt standardile EVS-EN 1097-6:2022. [31] Katse läbiviimisel toetuti standardi lisale F. Katses ei kasutatud püknomeetrit, sest täitematerjali teradele ei määratud tihedust, mis lihtsustas katse läbiviimist.

Katseseadmed:

- 1) Piisava suurusega alus täitematerjali ladustamiseks;
- 2) Sõel avadega 0,063 mm;
- 3) Anum veega;
- 4) Kuivatuskapp;
- 5) Kooniline metallvorm;
- 6) Metalltambits;
- 7) Kaal KERN EMS 6K0.1, mille kaalumistäpsus on 0,1 g

Katsekäik:

- 1) Purustatud silikaattelliste proov asetati 0,063 mm avadega sõelale, mida pesti jooksva vee all senikaua, kuni sõela läbiv vesi oli puhas. Häguse vee korral jätkati pesemist;
- 2) Proovikeha asetati kuivatuskappi temperatuurile 110 ± 5 °C;
- 3) Katsekeha kuivatati konstantse massini, kus kahe 24 h vahelise kaalumise erinevus ei olnud suurem kui 0,2 %. Kaaluti täitematerjali kuivmass M_4 ;
- 4) Peale konstantse kaalu saavutamist paigutati PSKL 24 tunniks vette;
- 5) Immutatud katseproov laotati ühtlase kihina alusele ning täitematerjali pinnal oleva vee aurustamiseks suunati täitematerjalile nõrk sooja õhu vool. Kuivamise ühtlustamiseks segati täitematerjali aeg-ajalt. Kuivatamine lõpetati, kui terade pinnal vaba vett enam näha polnud;
- 6) Alusele asetati kooniline metallvorm, mille suurema läbimõõduga osa oli allpool;
- 7) Kooniline vorm täideti katseprooviga ning tambiti metalltambiga 25 korda, lastes tambitsa enda raskuse mõjul kukkuda;
- 8) Koonusvorm tõsteti täitematerjali pealt ära ning fikseeriti täitematerjali varisemispilt;
- 9) Kui varisemispilt ei olnud sobilik, korraldi katset vastavalt standardile seni, kuni oli saavutatud küllastunud ning pindkuiv olek (vt joonis 2.11);



Joonis 2.11 Ebasobilik varisemispilt – täitematerjal on liiga niiske [autori erakogu]

10) Kaaluti küllastunud ning pindkuiv katseproov M_1 ;

11) Arvutati täitematerjali veeimavus vastavalt valemile:

$$WA_{24} = \frac{M_1 - M_4}{M_4} \cdot 100 \quad (2.5)$$

kus WA_{24} – veeimavus pärast 24-tunnist immutamist, %;
 M_1 – küllastunud ning pindkuiva katseproovi mass, g;
 M_4 – katseproovi kuivmass, g

2.5 Mördi valmistamine

Mördi segamisel lähtuti standardist EVS-EN 1015-2:2004+A1:2007 [43] juhendaja suusõnalistest kokkulepetest ning kogemusest. Sarnaselt standardiga segati kuivmördisegu kokku 60 sekundit, kuid mitte järjest, vaid kahes etapis. Etappe eraldas segu lusikaga käsitsi pööramine, kindlustamaks segu kindlat segunemist veega. Erinevalt standardist niisutati pindu lapiga, millega mört kokku puutus.

Katseseadmed:

- 1) Kaal KERN EMS 6K0.1, mille kaalumistäpsus on 0,1 g;
- 2) Segisti, mis vastab standardile EVS-EN 196-1:2016 [40];
- 3) Ajamõõtja, mõõtetäpsusega ± 1 s;
- 4) Piisava suurusega lusikas

Katsekäik:

- 1) Segisti anum tehti seest lapiga niiskeks;
- 2) Segisti vispel tehti lapiga niiskeks;
- 3) Segistisse viidi eelnevalt kindlaksmääratud veehulk;
- 4) Käivitati segisti ning 15 s jooksul lisati kuivmördisegu töötava segisti anumasse;
- 5) Käivitati ajamõõtja ning segati segu 30 s madalatel pööretel;
- 6) Segisti peatati ning eemaldati anum;

- 7) 1 min jooksul kraabiti vispli ning seinte külge jäänud mört anuma keskele kokku. Seejärel keerati anumad olnud segu lusikaga tagurpidi ning segati hoolikalt läbi, kindlustades kuivmördisegu segunemise veega;
- 8) Anum paigutati segisti alla ning käivitati segisti;
- 9) Kuivmördisegu segati veel 30 s madalatel pööretel

2.6 Mördi veevajaduse määramine

Mördisegu veevajaduse määramisel raputuslaual lähtuti standardist EVS-EN 1015-3:2004 ning juhendaja suusõnalistest kokkulepetest. Erinevalt standardist niisutati raputuslauda ning koonuse pinda niiske lapiga. Lisaks teostati standardis oleva 15 löögi asemel 10 lööki. Mördi valguvuseks võeti kokkuleppeliselt 150 mm ± 10 mm. Kuivsegude piiratud koguste tõttu võeti konsistentsi määramisel proovikeha massiks 1000 g.

Katseseadmed:

- 1) Tüvikoonuseline vorm vastavalt standardile;
- 2) Tihendustamp;
- 3) Nihik mõõtetäpsusega 0,1 mm;
- 4) Raputuslaud vastavalt standardile;
- 5) Pahtlilabidas

Katsekäik:

- 1) Mört segati valmis vastavalt peatükis 2.4 kirjeldatule. Edasi oli katse läbiviimiseks aega 2 min ning 10 sekundit;
- 2) Raputuslaud ning tüvikoonuseline vorm niisutati niiske lapiga;
- 3) Tüvikoonuseline vorm asetati raputuslaua tsesse;
- 4) Hoides vormi fikseerituna ühe käega, täideti vorm kahes kihis, poole kaupa. Mõlemaid kihte tihendati tihendustambiga 10 korda. Juhul kui tihendatud mörti jäid tihendustambi jäljed sisse, kuhu mört ise valguda ei suutnud, tehti tihendustambiga korrigeerivaid tihendusi, et tihendatav kiht oleks tasane;
- 5) Pahtlilabidaga eemaldati vormi pealt liigne mört sujuva tõmbega, vajadusel paari sujuva tõmbega;
- 6) Kui 2 minutit oli möödas, tõmmati järgneva 10 sekundi jooksul aeglase sujuva liigutusega vorm üles (vt joonis 2.12). Veehoidvust parandava lisandiga tehtud segudel, millest osa kleepus tüvikoonuselise vormi külge, eemaldati mört koonuse seintel sõrmega ning lisati mördi tsesse, et vältida massi kadu;
- 7) Raputuslauaga teostati 10 lööki, kus iga löögi kiirus oli ligikaudu 1 löök sekundis (vt joonis 2.13);
- 8) Nihikuga mõõdeti laiali valgunud ringikujulise mördi kaks teineteisega ristuvat diameetrit d_1 ning d_2 ;

9) Mõõdetud tulemustest arvutati aritmeetiline keskmine d_k ;



Joonis 2.13 Mõrt raputuslaual peale tükivõõrunuse eemaldamist [autori erakogu]



Joonis 2.12 Mõrdi valgustus peale 10 lööki [autori erakogu]

2.7 Mõrdi töödeldavuse kadu ajas

Müüritöödel on väga tähtsal kohal mõrdisegu kasutatavusaeg. Mida pikem on kasutatavusaeg, seda kauem saab müüritööline kasutada ühe korraga segatud segu. Teades, et silikaattellisil on suur veemavus, teostati kõikidele segudele nende töödeldavuse kadu ajas. Katsete meetodika põhimõtte ning juhised tulid juhendajalt. Põhimõtte oli kujutada ette olukorda, kus müüritööline on ämbrisse valmis seganud endale segu, mille konsistents ajas hakkab kaduma.

Katse kestusajaks võeti 1 h, segudel, mille konsistents kadus aeglasemalt 3 h – kauem ei määratud seoses katsesegude rohke arvukuse tõttu. Iga segu konsistentsi määrati 10 minuti tagant. Kui ilmnes, et mõnel segul konsistents kaob aeglasemalt, suurendati konsistentsi määramise intervalli vastavalt vajadusele, kuid mitte pikemalt kui 1 h.

Katseseadmed:

- 1) Tükivõõrunuseline vorm vastavalt standardile;
- 2) Tihendustamp;
- 3) Nihik mõõtetäpsusega $d = 0,1$ mm;
- 4) Raputuslaud vastavalt standardile;
- 5) Pahtlilabidas;
- 6) Sobiva suurusega puhastuskaabits;
- 7) Ämber segu hoiustamiseks

Katsekäik:

- 1) Määrati segu konsistents nagu kirjeldatud peatükis 2.5;
- 2) Laual olnud ringikujuline mõrt pühiti puhastuskaabitsaga raputuslaualt tagasi ämbrisse. Tähtis oli, et peale iga pühkimist ei lisanduks segusse juurde vett. Selleks pressiti puhastuskaabitsast vesi välja enne iga pühkimist;

- 3) Ämbris olnud segu segati mitu korda lusikaga ning jäeti seisma järgmise konsistentsi määramiseni;
- 4) Oodati 10 min ning enne katset segati ämbris olev segu lusikaga läbi. Seejärel määrati segu konsistents uuesti, nagu välja toodud eelmistes punktides. Vastavalt vajadusele suurendati konsistentsi määramise intervalle;
- 5) Katset korrati, kuni möödas oli 1 h ning viimase kahe kaalumise erinevus oli 3 % 150 mm-st ehk 4,5 mm. Katsetel, kus konsistents nii kiiresti ei kadunud, korrati katset, kuni möödas oli 3 h

2.8 Kivistunud mördi veeimavuse määramine

Kivistunud mördi veeimavus määrati vastavalt standardile EVS-EN 1015-18:2005 [44]. Mördid segati vastavalt peatükis 2.4 kirjeldatule. Iga segu konsistents määrati nagu on kirjeldatud peatükis 2.5. Katsekehasid hoiti vormides 2 päeva, peale mida kehad rakestati lahti vormidest ning paigutati vette 5 päevaks. 7ndal päeval transportiti kehad veest 65 % ± 5 % keskkonnaga ruumi, kus kivinemine toimus edasi 21 päeva.

Kui mördi vormi paigutamisest oli möödunud 28 päeva, fikseeriti katsekehade mass ning asetati katsekehad 125 °C temperatuuriga kuivatuskappi. Katsekehasid kaaluti 24 h intervalliga senikaua, kuni saavutati konstantne mass, kus kaalumisel olev massikadu ei ületanud 0,2 % kogumassist.

Kui katsekehad olid saavutanud konstantse massi, painutati nad paindepressi all pooleks. Seejärel kaeti katsekeha külgpinnad parafiiniga, pealmine külj jäeti katmata (vt joonis 2.14). Parafiiniga kaeti katsekeha mitmes kihis ning veenduti, et katsekeha poorid oleksid parafiini täis. Vajadusel muljuti erinevate kihtide paigalduse vahel sõrmedega pinnapealsed poorid parafiini täis (vt joonis 2.15).



Joonis 2.14 Parafiiniga kaetud katsekeha [autori erakogu]



Joonis 2.15 Parafiini täis muljutud katsekeha poorid [autori erakogu]

Katseseadmed:

- 1) Anum veega, mille põhjas asetseb alusmatt, kuhu peale toetuvad katsekehad;
- 2) Kaal KERN KB 2000-2N, mille kaalumistäpsus on 0,01 g;
- 3) Ajamõõtja, mõõtetäpsusega ± 1 s;
- 4) Niiske lapp katsekehadelt vaba pinnavee pühkimiseks

Katsekäik:

- 1) Anumasse valati vett 5-10 mm;
- 2) Katsekehad asetati vette murtud külj allpool ning käivitati ajamõõtja. Vajadusel korrigeeriti veehulka anumal, et kehad oleksid vees 5-10 mm. Anum kaeti kaanega (vt joonis 2.16);



Joonis 2.16 Veeimavuse katsekehad anumal [autori erakogu]

- 3) Peale 10 minuti möödumist kaaluti katsekehad ning fikseeriti mass M_1 ;
- 4) Katsekehad asetati tagasi anumasse peale igat individuaalset kaalumist ning anum kaeti kaanega;
- 5) Katsekehadel lasti seista 90 min anumal;
- 6) Kui 90 min oli täis, kaaluti katsekehad ning fikseeriti mass M_2 ;
- 7) Arvutati kapillaarse veeimavuse koefitsient vastavalt valemile 2.6:

$$C = 0,1(M_2 - M_1) \quad (2.6)$$

kus c – on üksiku mördist katsekeha kapillaarse veeimavuse koefitsient, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$;
 M_1 – on katsekeha mass pärast 10 minutilist immutamist, g;
 M_2 – on katsekeha mass pärast 90 minutilist immutamist, g

- 8) Arvutati iga katsetatava segu kapillaarse veeimavuse koefitsiendi aritmeetiline keskmine C_m ;

2.9 Kivistunud mördi painde- ja survetugevuse määramine

Kivistunud mördi painde ning survetugevus määrati vastavalt standardile EVS-EN 1015-11:2019 [45]. Mördid segati vastavalt peatükis 2.4 kirjeldatule. Iga segu konsistents määrati nagu on kirjeldatud peatükis 2.5. Katsekehasid hoiti vormides 2 päeva, peale mida kehad rakestati lahti vormidest ning paigutati vette 5 päevaks. 7ndal päeval transporditi kehad veest 65 % ± 5 % keskkonnaga ruumi, kus kivinemine toimus edasi 21 päeva. Kui mördi vormi paigutamisest oli möödunud 28 päeva, katsetati kivilinenud kehad algselt paindele ning seejärel survele.

Katseseadmed:

- 1) Hüdrauliline painde-, survepress Strassentest Baustoff-Pruefsysteme Typ 1006 (vt joonis 2.17);
- 2) Lihvikivi



Joonis 2.17 Hüdrauliline painde- ning survepress [autori erakogu]

Katsekäik:

- 1) Esimese katsena viidi läbi paindetugevuse katse, mille alla paigutatud keha küljed lihviti tasaseks lihvikiviga, et vältida ebatasaseid pindu paindel;
- 2) Katsekeha paigutati tugede vahele selliselt, et vormides olnud pealmine külg keerati pingioperaatori poole, vältimaks ebatasase pinna kasutamist;
- 3) Veenduti, et purustava koormuse näidiku seierid on nullitud ning alustati koormamist, vastavalt standardis olnud koormamiskiirusele 10 N/s kuni 50 N/s, et purunemine toimuks 30 sekundi kuni 90 sekundi jooksul;
- 4) Katsekeha purunedes fikseeriti maksimaalne koormus F_{Pmax} njuutonites;
- 5) Purunenud keha eemaldati tugede alt ning asetati kõrvale hoiule edasiseks survetugevuse määramiseks;
- 6) Eelnevalt kirjeldatud katsepunkte korrati kahe järgmise sama segu katsekehaga;
- 7) Arvutati iga katsekeha paindetugevus vastavalt valemile 2.7:

$$f_p = 1,5 \frac{F_{pmax} \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (2.7)$$

kus f_p – paindetugevus, MPa;
 F_{pmax} – purustav koormus, N;
 l – tugirullide telgede vaheline kaugus, mm;
 b – katsekeha laius (võib võtta vormi mõõtmed), mm;
 d – katsekeha kõrgus (võib võtta vormi mõõtmed), mm

- 8) Igale konkreetsele segule arvutati 3 katsekeha põhjal paindetugevuse aritmeetiline keskmine f_{pk} ;
- 9) Kui kõik vajalikud paindetugevuse katsed olid tehtud, liiguti edasi survetugevuse katse juurde;
- 10) Survetugevuse katsel kontrolliti, et surveplaadid oleksid paralleelsed;
- 11) Paindetugevuse katses purunenud keha üks pool asetati alumise surveplaadi peale sarnaselt nagu kirjeldatud punktis 2;
- 12) Alustati keha koormamist vastavalt juhendajaga kokku lepitud koormamiskiirusele;
- 13) Näidikult fikseeriti maksimaalne koormus F_{smax} njuutonites, millal keha purunes;
- 14) Purunenud katsekeha eemaldati surveplaatide vahelt;
- 15) Katsetati paindetugevuse katses purunenud katsekeha teine pool vastavalt punktidele 10-12;
- 16) Korrati katsepunkte 10-14 kahe järgmise sama segu katsekehaga;
- 17) Arvutati iga katsekeha survetugevus vastavalt valemile 2.8:

$$f_s = \frac{F_{smax}}{A} \quad (2.8)$$

kus f_s – survetugevus, MPa;
 F_{smax} – purustav koormus, N;
 A – koormatav pindala (võib võtta nominaalselt 1600 mm²), mm

- 18) Igale konkreetsele segule arvutati 3 katsekeha põhjal survetugevuse aritmeetiline keskmine f_{sk}

2.10 Kivistunud mördi nakketugevuse määramine

Kivistunud mördi nakketugevus määrati vastavalt standardile EVS-EN 1015-12:2016 [46] Mördid segati vastavalt peatükis 2.4 kirjeldatule. Iga segu konsistents määrati nagu on kirjeldatud peatükis 2.5. Katsekehadeks võeti silroc BRICK 65 20 MPa [47] silikaattellised, mis on toodetud Leedu firma UAB Aliteka poolt. Silikaattellised asetati vähemalt 24 h enne mördi peale kandmist vee alla. See oli vajalik, sest nake kuiva silikaattellise ning mördi vahel on halb. Lisaks on silikaattellisel suur veeimavus, mis imeb mördis oleva vee endasse ning ei lase mördil kivineda. Nakketugevuse katsekehad valmistati paralleelselt veeimavuse katsekehadega.

Mördikihi sobivaks asetamiseks silikaattellise peale ehitati spetsiaalne mördiraam (vt joonis 2.18), mille alumised servad olid faasitud ning vajasisid õlitamist enne iga mördi paigaldust, et vältida raami eemaldamisel mördi kleepumist raami külge.



Joonis 2.18 Spetsiaalne mördiraam [autori erakogu]

Peale segu konsistentsi määramist võeti silikaattellis veest välja, kuivatati tilkuvast veest ning asetati tasasele lauale. Silikaattellige peale asetati mördiraam, kuhu sisse sai paigaldada katsetatava mördi. Mördiraami sisse paigaldati 3 suurt lusikatäit mörti, mis tasandati lusikaga laiali, et kogu raami sisu oleks mördiga kaetud. Seejärel tasandati segu pahtlilabidaga saagivate liigutustega, et vältida PSKL-i suuremate fraktsioonide libisemise tõttu tekkivaid vagusid. Segu tasandati seni, kuni mördi pealispind oli tasa raami pealsega ning tulemus oli rahuldav. Peale tasandamist eemaldati mördiraam aeglaste liigutustega ning katsekeha paigutati kile alla standardijärgselt 7 päevaks. Peale 7ndat päeva paigutati keha 21 päevaks 65 % \pm 5 % keskkonnaga ruumi.

Katseseadmed:

- 1) Nakketugevuse katseseade Matest Mod, E142 (vt joonis 2.19);
- 2) 50 mm siseläbimõõduga torupuur;



Joonis 2.19 Nakketugevuse katseseade Matest Mod, E142 [autori erakogu]

- 3) 50 mm läbimõõduga tõmbeplaadid;
- 4) Kahekomponentne epoksiidliim Pattex Repair Epoxy 5 Minute

Katsekäik:

- 1) Kivinemise 27ndal päeval puuriti 50 mm diameetriga torupuuriga katsekehadele 3 katsetatavat pinda;
- 2) Peale puurimist asetati kehad tagasi 65 % \pm 5 % keskkonnaga ruumi;
- 3) 28 päeva möödudes lihviti vajadusel kehade katsetatavad pinnad lihvikiviga tasaseks ning liimiti spetsiaalse epoksiidliimiga külge tõmbeplaadid (vt joonis 2.20);



Joonis 2.20 Tõmbeplaatide asetus nakketugevuse katsekehal [autori erakogu]

- 4) Liimil lasti kuivada vähemalt 2 h või rohkem, et tagada kindel nake tõmbeplaadi ning mördi pinna vahel;
- 5) Nakkeseade seadistati tööoperatsiooni ning toetusjalad keerati rohkem kokkupoole;
- 6) Katsetatava tõmbeplaadi sisse keerati tõmbekruvi, mille külge kinnitati nakkeseade;
- 7) Kontrolliti nakkeseadme jalgade asetust mördil, et seade oleks tasakaalus;
- 8) Nakkeseade fikseeriti tõmbekruvi külge eeltõmbega (vt joonis 2.21), pöörates pealmist pingutusmutrit. Fikseerimine lõpetati, kui rakendatud tõmme plaadile oli 30-50 N;

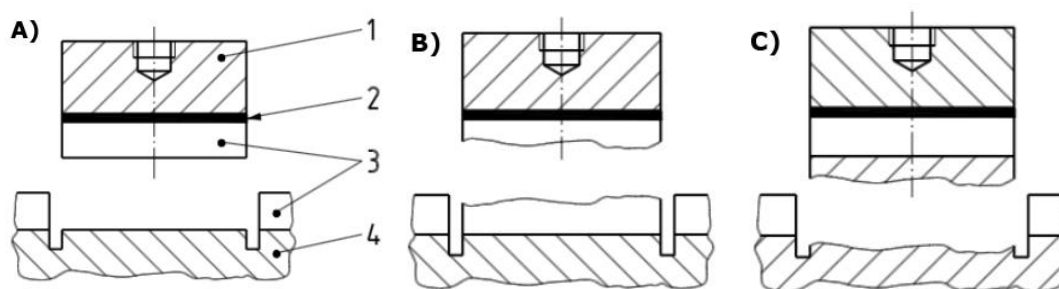


Joonis 2.21 Nakkeseadme fikseerimine tõmbeplaadiga [autori erakogu]

- 9) Alustati koormuse suurendamist läbi vända. Koormamiskiirust hoiti ühtlasena katse vältel;
- 10) Kui katsekeha oli tõmbele purunenud, fikseeriti ära jõud millele toimus purunemine F_u ning purunemispilt (vt joonis 2.22 ning joonis 2.23) vastavalt standardile [46];



Joonis 2.22 Nakketugevuse katsekeha purunemispildid [autori erakogu]



Selgitused

- 1 tõmbeplaat
- 2 liimikiht
- 3 mört
- 4 alusmaterjal

Joonis 2.23 Võimalikud purunemispildid, kus a – adhesiivne purunemine, b – kohesiivne purunemine, c – kohesiivne purunemine [46]

- 11)Nakkeseade tõsteti üles katsekehalt ning eemaldati tõmbeplaat koos tõmbekonksuga;
- 12)Nakkeseade seadistati tagasi algasendisse ning tõmbekruvi kruviti tõmbeplaadilt lahti;
- 13)Korrati eelnevalt kirjeldatud punkte 6-12 kõikide katsetatavate kehadega;
- 14)Võttes arvesse standardis [46] välja toodud nakketugevuse tulemuste õigsust, arvutati igale katsele nakketugevus vastavalt valemile 2.9;

$$f_u = \frac{F_u}{A} \tag{2.9}$$

kus f_u – nakketugevus, MPa;
 F_u – purustavkoormus, N;
 A – katsetatav pindala, mm²

- 15)Kolme katse põhjal arvutati kõikidele segudele nakketugevuse aritmeetiline keskmine;

3. KATSETULEMUSTE ANALÜÜS

3.1 Kuivsegude terastikulise koostise määramine

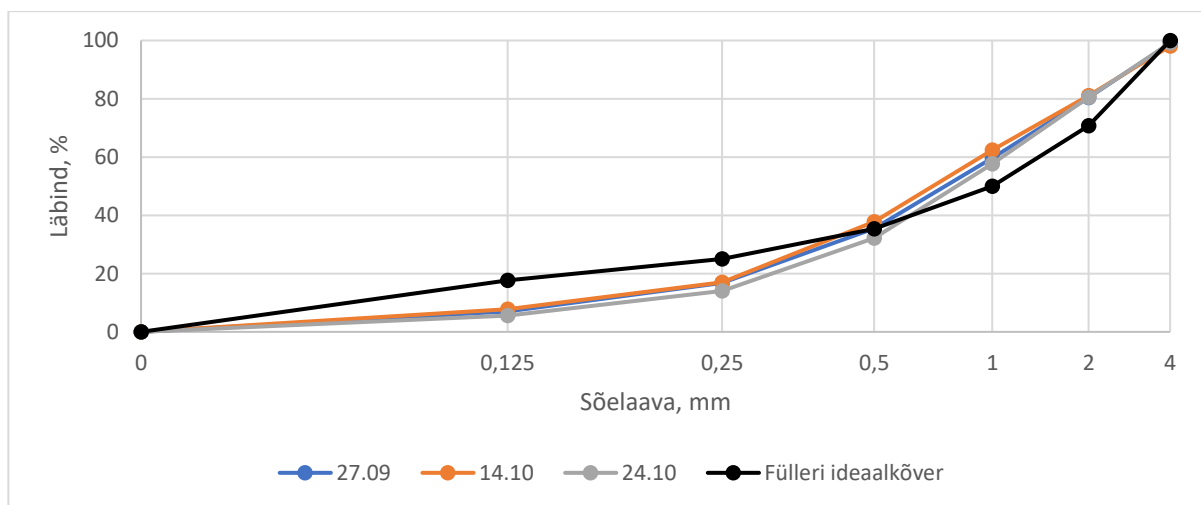
Terastikulise koostise määramisel lähtuti mitmest asjaolust:

- 1) Kui homogeenne on lõugpurustist otse välja tulnud materjal peale sõelumist;
- 2) Kuidas mõjutab anuma eripiirkondadest katseproovi võtmine terastikulist koostist;
- 3) Kui suur on PSKL-i terastikulise koostise hajuvus katseproovi võtmisel anuma eripiirkondadest

Kõikidele terastikulise koostise joonistele on lisatud juurde Fülleri ideaalkõver, mis näitab kõige sobilikumat täitematerjalide jaotust segus kasutamiseks. Lisast L2.1 on leitavad kõikide katsetatud täitematerjalide terastikulise koostise algandmed.

3.1.1 Purustatud silikaatkivist liiva terastikuline koostis

Purustatud silikaattellistele (edaspidi PSKL-ile) määrati terastikuline koostis kolmele erinevale lõugpurustist välja tulnud partiile. Tähtis oli näha, kui palju erineb lõugpurustist välja heidetud täitematerjalide terastikuline koostis. Tulemused on nähtavad joonisel 3.1 ning tabelis 3.1.



Joonis 3.1 Lõugpurustist välja heidetud PSKL-i sõelkõverad

Sõelkõveratelt on näha, et terastikulise koostise hajuvus ei ole suur. Kõik katsetatud partiid järgivad sarnast trendijoont. Sarnane trendijoon on tingitud sellest, et kõik katseproovid võeti anuma pealmisest kihist. Kui oleks katseproovid võetud lisaks anuma keskelt või põhjast, oleks tulemused veidi erinevad, sest sõeludes kipuvad peenemad osakesed jääma anuma põhja ning jämedamad osakesed anuma pealmistesse kihtidesse.

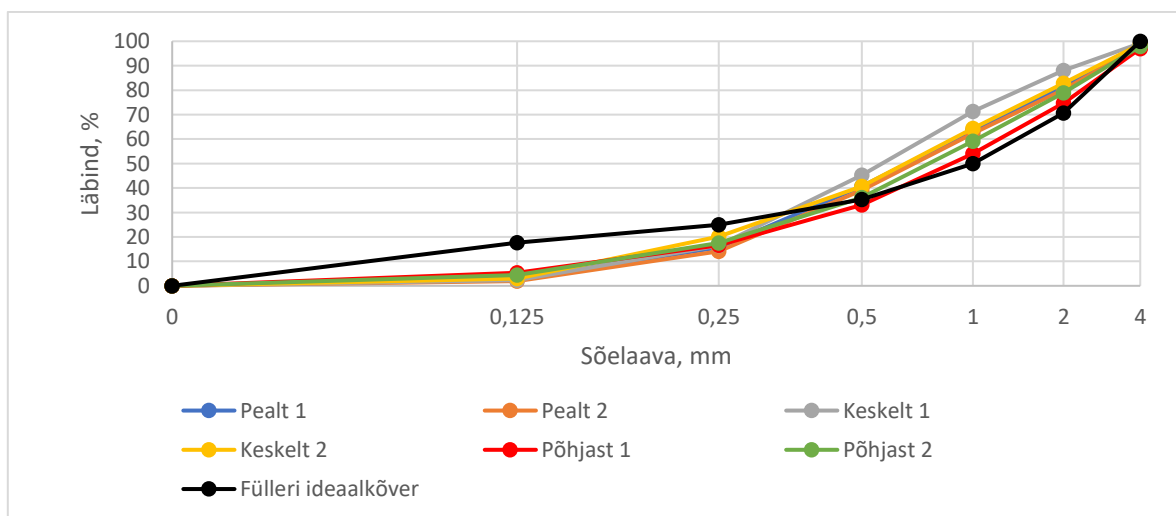
Vaadates lõugpurustist välja tulnud PSKL-i terastikulist koostist jooniselt 3.1, näeme, et vahemikus 0,5-4 mm järgib sõelkõver lineaarset jaotust, mis on Fülleri ideaalkõverale lähedal. Alumine ots kõveral enam lineaarne ei ole, kuid on samuti lähedal Fülleri ideaalkõverale. Silikaaliiva terastikulises koostises on nähtav ka suuremate osakeste domineerimine, kus 0,5-4 mm vahemikus olevaid teri on katseproovides üle 60 %.

Visuaalsel vaatlusel oli näha, et pärast sõelumist anumatesse ladustatud PSKL ei olnud homogeenne ning anumad oli fraktsioonide jaotus ebaühtlane. Seetõttu homogeniseeriti kõiki anumaid omavahel enne kasutamist (vt joonis 3.2).



Joonis 3.2 Purustatud silikaattelistest liiv [autori erakogu]

Järgnevalt määrati kuuele homogeniseeritud katsepartile terastikuline koostis uuesti, et näha, kas on mingit erinevust võrreldes otse lõugpurustist välja tulnud täitematerjalidele. Esimesed 2 proovi võeti katseanuma pealt, 3. ning 4. katseproov võeti anuma keskelt ning 5. ja 6. anuma põhjast. Tulemused on nähtavad jooniselt 3.3.



Joonis 3.3 Homogeniseeritud PSKL-i sõelkõverad

Jooniselt 3.3 peegeldub homogeniseeritud PSKL-i terastikulise koostise erinevus:

- 1) On näha, et kahel pealtpoolt võetud katseproovidel on terastikuline koostis väga sarnane ning sõelkõverad järgivad ühist trendijoont;
- 2) Terastikulise koostise erinevus on näha kahel keskelt võetud katseproovil. 1. keskelt võetud proov on peenema terastikulise koostisega ning 2. keskelt võetud proov järgib anuma pealt võetud katseproovi trendijoont ning on suuremate osakestega;
- 3) Võrreldes anuma põhjast võetud katseproovi on ka siin erinevused. 1. anuma põhjast võetud proov on kõige jämedamate osakestega partii, mida katsetati. 2. anuma põhjast võetud proov on samuti üks jämedamate osakestega partii mida katsetati, seega on mõlemad põhjast võetud proovid suhteliselt sarnased

Terastikulise koostise erinevus PSKL-il võib olla tingitud sellest, kuidas katseproov anumast on võetud ning kuidas anumasse täitematerjal ladustatud. Anuma pealt poolt võetud terastikuline koostis ei ole sarnane anuma keskelt või põhjast võetud terastikulisele koostisele, sest ladustamise hetkel segistist välja tulev materjal segregeerub, kus peenemad osad jäävad anuma põhja ning jämedamad osad anuma pealmistesse kihtidesse.

Tähtis on siinkohal mainida magistritöös läbi viidud täitematerjali ladustamise järjekord, mis mängib suurt rolli PSKL-i terastikulisel koostisel. Algselt lasti pärast homogeniseerimist segistist välja täitematerjal 20 l ämbritesse. Seejärel kallati ämbriid 90 l vanni. Valamise käigus oli segistist välja tulnud materjal segregeerunud, kus peenemad terad olid all ning jämedamad pealpool. Valades ämbreid vanni tekkis olukord, kus peenemad osad jäid peale ning jämedamad põhja.

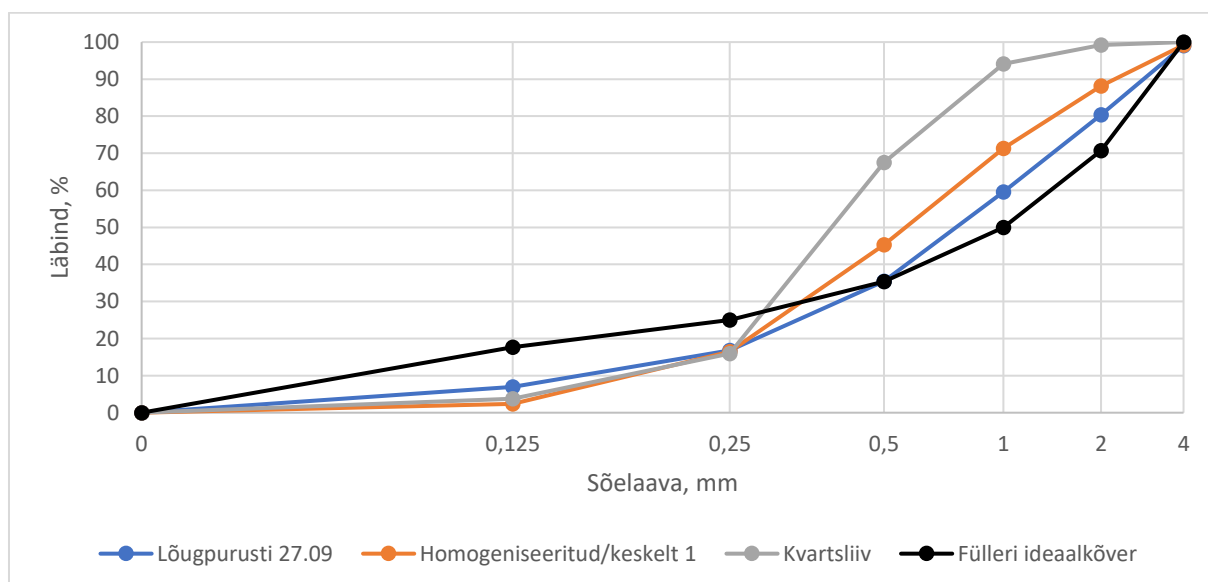
Joonise 3.3 ning tabeli 3.1 tulemused peegeldavadki eelnevalt mainitud asjaolu, et vanni valatud täitematerjalil jäid jämedamad osad põhja ning peenemad peale. Vaatamata sellele, et täitematerjali homogeniseeriti on raske tagada PSKL-i terastikulise koostise ühtsus, kus iga proov, mis võetakse anuma mistahes kohast oleks võimalikult sarnane eelnevale. Nagu näha jooniselt, siis on terastikulise koostise hajuvus olemas ning selline erinevus hakkab rolli mängima ka kuivsegude veevajadusel, millest tuleb jutu peatükis 3.4. Tulevikus tuleks uurida, kuidas ning mis meetodikaga tagada PSKL-i parim terastikulise koostise homogeniseeritus.

Tabel 3.1 Erinevate PSKL-i partiide läbindid

Sõela avad, mm	PSKL-i läbindid, %									
	Lõugpurustist otse saadud			Homogeniseeritud						
	27.09	14.10	24.10	Pealt 1	Pealt 2	Keskelt 1	Keskelt 2	Põhjust 1	Põhjust 2	Füller
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,125	7,0	7,8	5,6	2,9	1,9	2,4	2,9	5,3	4,4	17,7
0,25	16,8	17,1	14,0	15,7	14,1	16,4	20,2	16,5	17,5	25,0
0,5	35,5	37,8	32,1	40,7	39,1	45,3	40,7	33,0	36,1	35,4
1	59,6	62,4	57,7	63,5	62,2	71,3	64,4	54,0	59,2	50,0
2	80,4	81,1	80,5	81,2	80,2	88,1	82,8	74,7	78,9	70,7
4	99,0	98,1	99,1	98,3	98,0	99,2	98,8	97,0	97,9	100,0

3.1.2 Purustatud silikaatkivist liiva võrdlus kvartsliiduga

Lõugpurustist välja heidetud PSKL-i, homogeniseeritud PSKL-i ning kasutatud kvartsliidu sõelkõverad on välja toodud joonisel 3.4 ning tabelis 3.2. Edaspidi kasutatakse kõveratel homogeniseeritud anuma keskelt võetud esimest proovi.



Joonis 3.4 PSKL-i ning kvartsliidu sõelkõverad

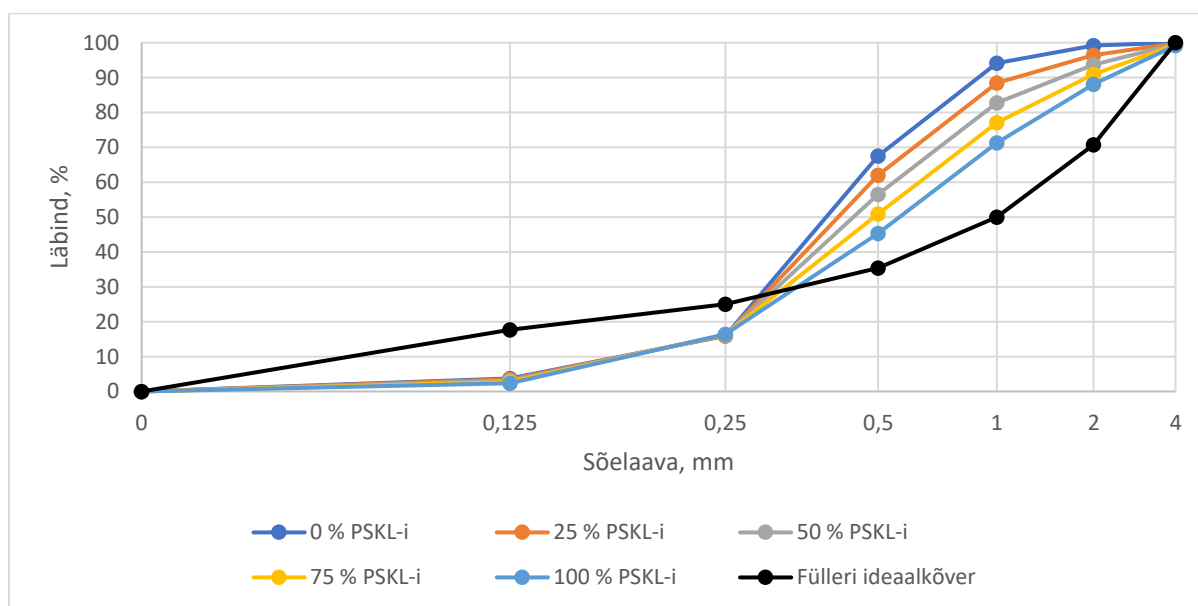
Võrreldes kvartsliidu ning PSKL-i terastikulisi koostisi tabelist 3.2 on selgelt näha, et kvartsliidul on fraktsiooni 1-4 mm väga vähe – ainult 5,9 %. See tähendab, et ülejäänud 94,1% kogu katseproovist läbis sõela suurusega 1 mm. Seevastu PSKL-il on fraktsiooni 1-4 mm pea 5 korda rohkem. Katsetatud kvartsliidu massist moodustavad 32,4 % osakesed, mis on suuremad kui 0,5 mm ning üle poole kvartsliidu massist, täpsemalt 51,6 %, on osakesed, mis jäävad vahemikku 0,25-0,5 mm. Seda kajastab hästi ka joonisel väljenduv joonte paigutus ning tõusude erinevus, kus PSKL-il on tõus laugem, sõelkõver on madalamal ning kvartsliidul tõus järsem, sõelkõver kõrgemal.

Tabel 3.2 Kvartsliaiva ning PSKL-i kombineerimisel saadud läbindid

Sõela avad, mm	Läbindid, %					
	Sõelutud	Arvutuslik			Sõelutud	
	Kvartsliaiv	25 % PSKL-i	50 % PSKL-i	75 % PSKL-i	100 % PSKL-i lõugpurustist 27.09	100 % PSKL-i homogeniseeritud, keskel 1
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,125	3,8	3,4	3,1	2,7	7,0	2,4
0,25	15,9	16,1	16,2	16,3	16,8	16,4
0,5	67,6	62,0	56,5	50,9	35,5	45,3
1	94,1	88,5	82,8	77,0	59,6	71,3
2	99,2	96,4	93,7	90,9	80,4	88,1
4	100,0	99,8	99,6	99,4	99,0	99,2

Jooniselt 3.4 peegeldub, et PSKL-il on palju suuremõdulisi fraktsioone vahemikus 0,5-4 mm. Üle poole PSKL-i kogusest on fraktsioonid, mille suurus on suurem kui 0,5 mm. Väiksemate osakeste läbind, mis on alla 0,25 mm on nii PSKL-il kui ka kvartsliaival suhteliselt sarnane – mõlemate läbindid jäävad 16 % juurde. Kui võrrelda teri, mis läbisid 0,125 mm sõela, on näha, et nii PSKL-il kui kvartsliaival jäävad need samasse suurusjärku.

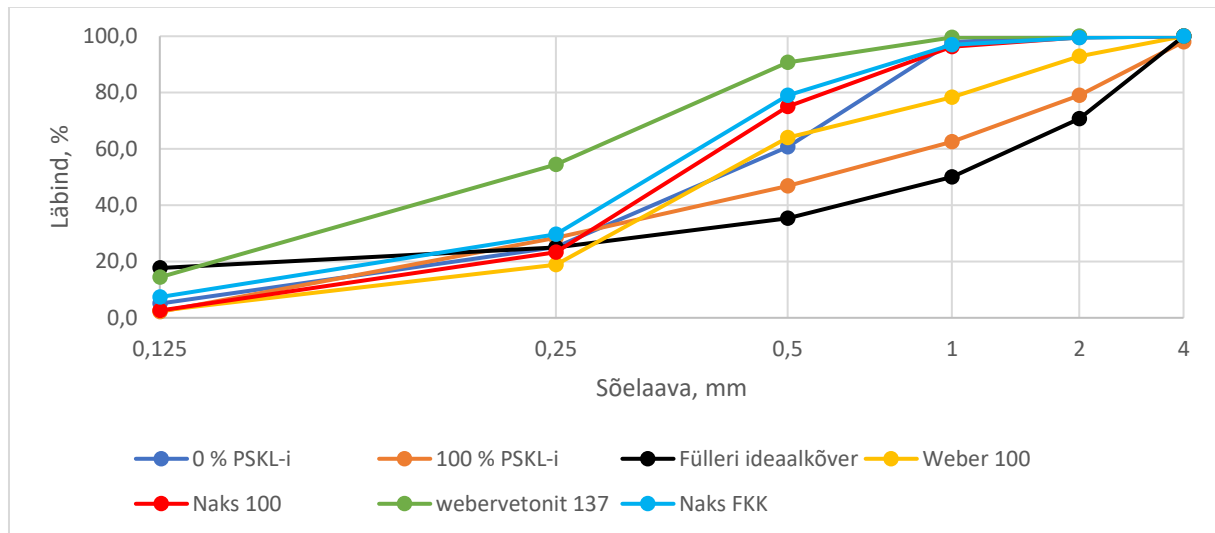
Magistritöös kasutatud erinevate täitematerjalide sõelkõverad on välja toodud joonisel 3.5. 25 %, 50 % ning 75 % PSKL-i sisaldusega täitematerjaliga tehtud kuivsegudele on arvutuslikult arvatud terastikulised koostised, võttes aluseks kvartsliaiva ning PSKL-i mehaaniliselt sõelutud sõelkõverad.



Joonis 3.5 Magistritöös katsetatud täitematerjalide kombinatsioonide sõelkõverad

3.1.3 Purustatud silikaatkivist liiva võrdlus ehitusturul olevate kuivsegedega

Joonisel 3.6 ning tabelis 3.3 on välja toodud magistritöös kasutatud tsemendiga kuivsegude ning ehitusturul olevate kuivsegude terastikulised koostised. Joonisel ei ole näidatud 25 %, 50 % ning 75 % PSKL-i sisaldavate kuivsegude sõelkõveraid, et joonis oleks lihtsamini loetav. Eelnevalt mainitud kõverad jäävad joonisel 0 % ning 100 % sisaldusega sõelkõverate vahele ning analüüsitakse peale joonise 3.6 tulemusi.



Joonis 3.6 Magistritöös katsetatud erinevate kuivsegude sõelkõverad

Jooniselt 3.6 kajastub hästi ehitusturul olevate toodete sõelkõverate erinevus vastavalt nende otstarbele. Nagu näha on krohvisegu webervetonit 137 kõige peenema osakeste sisaldusega kuivsegu, kus üle poole osakestest on väiksemad kui 0,25 mm. Tegemist on sokli- ja tasanduskrohviseguga, mistõttu peabki antud kuivsegu terastikuline koostis olema väga peeneteraline. Põhiliseks täitematerjaliks webervetonit 137 krohvisegul on looduslikud kivimid ning lubjakivi terasuurusega 0-1 mm. [48] Seda näitavad ka magistritöö katsetulemused.

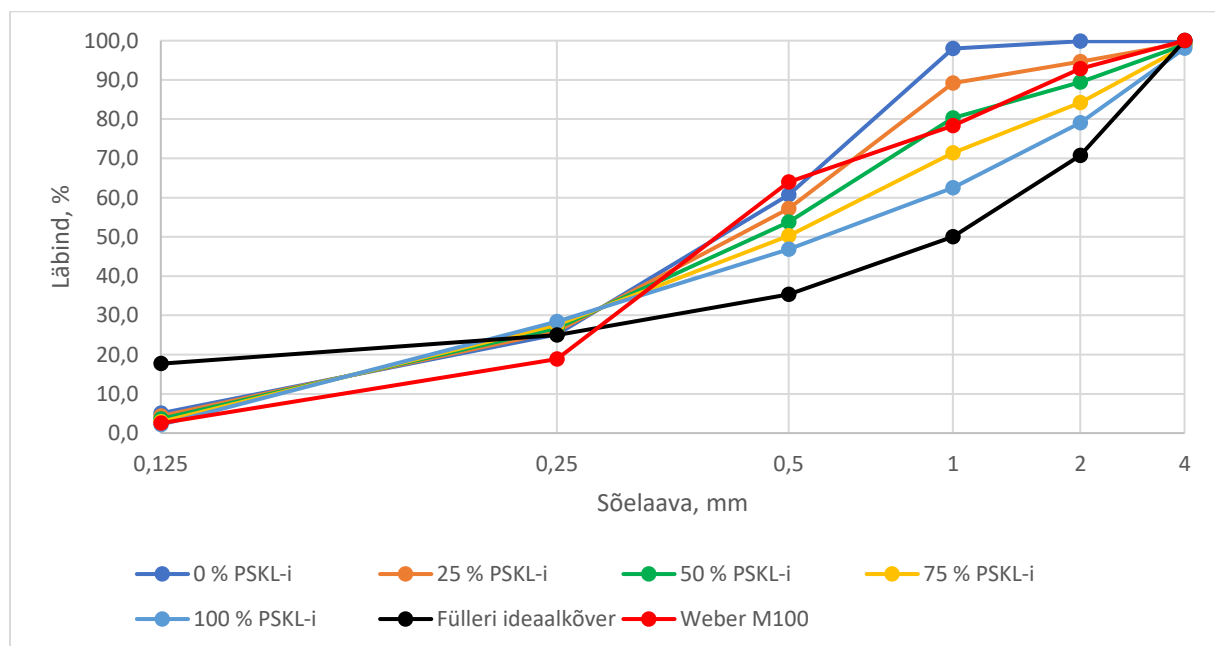
Tabel 3.3 Magistritöös uuritavate kuivsegude läbimõõdude võrdlus ehitusturu kuivsegedega

Sõela avad, mm	Läbimõõdud, %								
	Tsemendiga kuivsegud					Ehitusturu kuivsegud			
	Kvartsiliv	25 % PSKL-i	50 % PSKL-i	75 % PSKL-i	100 % PSKL-i	Müürikuivsegu Weber M100/600	Müürikuivsegu NAKS M100	Krohvisegu Weber webervetonit 137	Kiudkrohvi Naks FKK
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,125	5,1	4,3	3,6	2,9	2,1	2,5	2,6	14,4	7,4
0,25	25,1	25,9	26,8	27,6	28,4	18,9	23,2	54,4	29,7
0,5	60,7	57,2	53,7	50,3	46,8	64,0	75,1	90,7	79,0
1	98,0	89,1	80,3	71,4	62,5	78,3	96,3	99,5	97,0
2	99,8	94,6	89,4	84,2	79,0	92,8	99,6	100,0	99,5
4	99,8	99,4	98,9	98,5	98,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Uninaksi toodete puhul on nii krohvisegu NAKS FKK kui ka müürisegu NAKS M100 väga sarnase terastikulise koostisega. Uninaksi NAKS FKK krohvisegu on mõeldud poorbetoonplokkide aluspinna krohvimiseks ning seetõttu ei pea olema väga peeneteraline, mis kajastub ka jooniselt. Tootelehel on kirjas, et kuivsegu on kasutatud kvartsliaiva, kuid tera suuruste kohta info puudub. [49] Uninaksi NAKS M100 müürisegu toodetakse peeneteraliseest kvartsliaivast (maksimaalne tera suurus on 3 mm) ning seetõttu on ka tema terastikuline koostis sarnane Naks FKK tootele. [50]

Kuna mõlema Uninaksi toote tulemused on sarnased, siis võib eeldada, et NAKS FKK krohvisegus on samuti kasutusel kvartsliaiv, mille maksimaalne tera suurus on 3 mm. Lisaks on mõlema toote terastikulised koostised väga lähedal magistritöös katsetatud kvartsliaivaga kuivsegule, mis näitab, et saadud tulemused on pädevad.

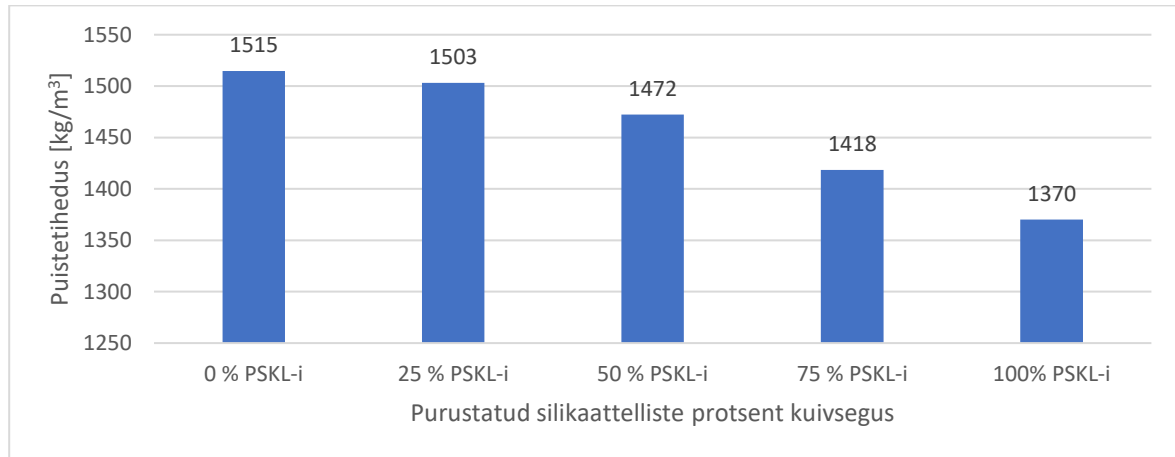
Weberi müürikuivsegu (edaspidi müürisegu) M100/600 jääb magistritöös katsetatud kuivsegude terastikulisele koostisele väga lähedale. Tootelehel välja loetavas kuivsegu kasutatud liiva tera suurus on 0-4 mm. [51] Jooniselt 3.7 ning tabelist 3.3 on välja loetav, et Weberi M100/600 müürisegu sõelkõver on kõige lähemal 50% PSKL-i sisaldusega kuivsegule vahemikus 1-4 mm. Vahemikus 0,125-0,5 mm on Weber M100/600 müürikuivsegu (edaspidi müürisegu) oma olemuselt kõigist kõveratest erinev. Minnes 0,5 mm sõelast väiksemaks, on algselt temas peenemaid osakesi rohkem, kuid jõudes 0,25 mm osakesteni, näeme, et neid terasid on tal kõikidest kuivsegudest vähem. 81,1% Weber M100 terastikulisest koostisest on osakesed, mis on suuremad kui 0,25 mm. 100% PSKL-il on seevastu ligi 10% rohkem peenemaid osi ning kvartsliaival ligi 6%.



Joonis 3.7 Weber M100 müürisegu võrdlus magistritöös kasutatud kuivsegudega

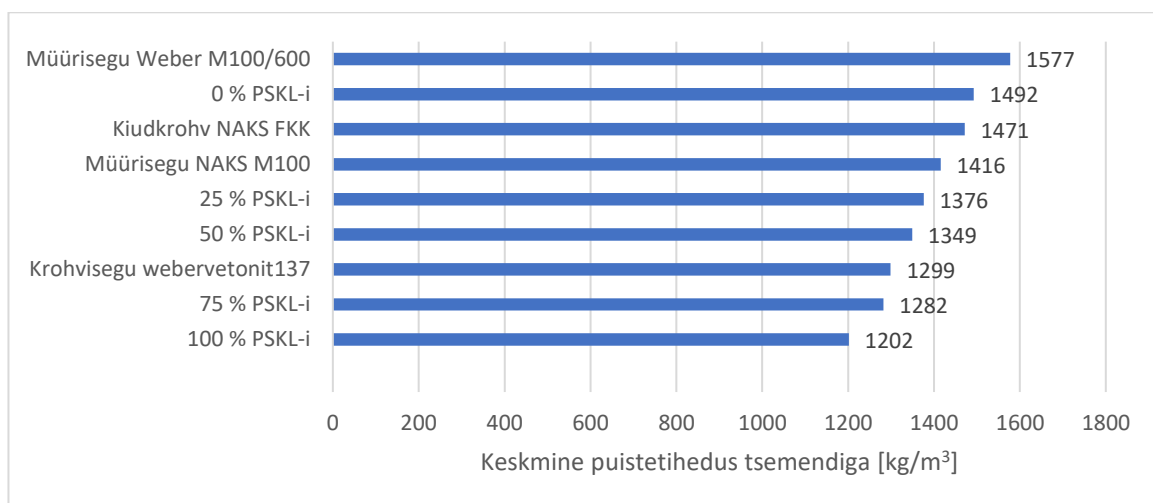
3.2 Kuivsegude puistetiheduse määramine

Katsetatud kuivsegude puistetihedused ilma tsemendita on välja toodud joonisel 3.8. Algandmed puistetiheduse kohta on leitavad lisast L2.2.



Joonis 3.8 Katsetatud kuivsegude keskmised puistetihedused ilma tsemendita

Et tekiks võrdlus ka ehitusturul olevate kuivsegudega on välja toodud koos tsemendiga määratud puistetihedused joonisel 3.9.



Joonis 3.9 Keskmise puistetiheduse tsemendiga kuivsegudel

3.2.1 Puistetiheduse võrdlus purustatud silikaatkivist liiva koguse alusel

Jooniselt 3.9 järeldub selgelt trendijoon, et mida rohkem asendada kvartsliiva PSKL-iga, seda rohkem väheneb kuivsegu puistetihedus. Puistetihedus on seotud sellega, kui hästi täitematerjalide terad omavahel suudavad pakkida ning jätta võimalikult vähe tühimikke. Lisaks sõltub puistetihedus ka täitematerjali tera oma tihedusest.

Toetudes eelmises peatükis saadud tulemustele võib väita, et puistetiheduse vähenemine on seotud PSKL-is esineva suuremate fraktsioonide olemasolu tõttu, mis halvendab osakeste vahelist pakkimist ning jätab nende vahele väga palju tühimikke, mis jäävad täitmata. Mida rohkem hakatakse kuivsegule lisama peeneteralisemat kvartsliaiva, seda rohkem suureneb puistetihedus, sest jämedamat täitematerjali osakaalu jääb vähemaks.

Puistetiheduse vähenemine võib olla tingitud ka terade enda tiheduse erinevusest. Mida tihedam on tera ise, seda rohkem massi on tal mahuühiku kohta. Kvartsliaiva tera tihedus jääb vahemikku 2630-2700 kg/m³. [52]–[54] PSKL-i tera tiheduse võib võtta samaks silikaattellise tihedusega. Magistritöös kasutatud silikaattelliste keskmine tihedus on 2004 kg/m³. Keskmine tihedus määrati kuue üksiku kivi tiheduse põhjal, kus kivid eraldati müüritisest piikvasaraga ning puhastati kivistunud müürimördist maksimaalselt. Tiheduse arvutamisel võeti arvesse kivide kahjustusi ning vähendati sellega nende reaalselt mahtu. Kui võrrelda välja toodud täitematerjalide tihedusi on selgelt näha, et kvartsliaiva tera on ligikaudu 25 % tihedam kui PSKL-i tera ehk kvartsliaiva mass mahuühiku kohta on 25 % suurem.

Liikudes edasi tsemendiga puistetiheduste tulemuste juurde joonisel 3.9 on näha, et kõikide segude puistetihedused on vähenenud, kuid trendijoonelt samad. Ootuspärased on ka PSKL-i kuivsegude puistetihedused tsemendiga. Endiselt domineerib nendes segudes PSKL-i suuremate fraktsioonide olemasolu, mis vähendab puistetihedust, mida rohkem teda kasutada kuivsegus. Võrreldes eelnevate tulemustega on puistetihedus vähenenud nendes segudes tsemendi lisamise tõttu, mis vähendab segu massi mahuühiku kohta.

Võrreldes teoorias välja toodud materjalide puistetihedusega, on PSKL-i puistetihedus sarnane teistele taaskasutatud täitematerjalidele (vt tabel 3.4)

Tabel 3.4 Erinevate taaskasutatud täitematerjalide puistetihedused

Puistetihedus, kg/m ³		
Purustatud keraamiline tellis [5]	Purustatud asfalt [11]	Käesoleva magistritöö PSKL
1115	1314,15	1370

3.2.2 Ehitusturu kuivsegude puistetihedused

Võrreldes puistetihedusi poetoodel ei saa teha järeldust, et mida suurem on fraktsioon, seda väiksem on puistetihedus. Webervetonit 137 krohvisegu on väga peeneteraline segu, mille terastikuline koostis oli nähtav eelmises peatükis. Ometi on tema puistetihedus üks madalamapoolsemaid. Saadud tulemus peitub selles, et webervetonit

137 kuivsegu on palju kiudu ning peenikesi teri, mis muudavad segu hästi kohevaks. Oma kohevuse tõttu jääb osakeste ja kiudude vahele palju tühimikke, mida kõik terad täita ei suuda.

Vaadates Uninaksi NAKS FKK kiudkrohvisegu on tema puistetihedus sarnane hoopis Uninaksi müürisegule ning magistritöös kasutatud kvartsliaivale ning ei ole madalamapoolsem. Põhjuseks on Uninaksi NAKS FKK kiudkrohvisegu terastikuline koostis, mis on väga sarnane Uninaksi müürisegule.

Võrreldes mõlema tootja müürisegusid ning Uninaksi NAKS FKK kiudkrohvisegu on näha, et nad jäävad oma puistetiheduselt magistritöös kasutatud kvartsliaiva puistetiheduse lähedale. Seda kinnitab ka peatükis 3.1 joonis 3.6, kus eelnevalt mainitud kuivsegudel on väga sarnane sõelkõver. Lisaks saab kinnitada sarnasust ka visuaalsel vaatlusel ning katseid läbi viies silma jäänud kuivsegude olemus, mis oli kõikidel eelnevalt mainitud segudel väga sarnane.

Weberi müürisegu M100/600 suur puistetihedus on tingitud tema terastikulisest koostisest. Eelmises peatükis oli näha, kuidas tema terastikulises koostises on esindatud jämedamat fraktsiooni rohkem kui tavalisel kvartsliaival ning vahemikus 0,25-0,5 mm on tal kõige suurem tõus, mis tähendab, et sellesse vahemikku jääb kõige suurem osa Weberi M100/600 müürisegus kasutatud täitematerjali fraktsiooni. Toetudes eelnevale võib öelda, et Weberi M100/600 müürisegu täitematerjali terastikuline koostis on terade pakkimiselt kõige sobilikum.

3.3 Purustatud silikaatkivist liiva veeimavus

Purustatud silikaattelistest liiva veeimavuse tulemus on nähtav tabelist 3.5. Võrdluseks on välja toodud erinevate täitematerjalide veeimavused. Katsete algandmed on leitavad lisast L2.3.

Tabel 3.5 Erinevate täitematerjalide veeimavused massi järgi

Täitematerjali nimetus	Liivalaia III liivakarjääri ehitusliiv [52]	Saku seguliiv [53]	Männiku karjääri M8 jämeliiv [54]	Magistritöö PSKL	Laagerdumata räbu [10]
Veeimavus, %	0,02	0,1	0,1	3,93	4,46
Täitematerjali nimetus	Purustatud silikaatkivist liiv [1]	Purustatud teedehitusjääd [11]	Purustatud keraamiline tellis [5]	Laagerdunud räbu [10]	
Veeimavus, %	4,7	10,58	11,3 (24 h)	11,3	

Võrreldes magistritöös kasutatud PSKL-i teiste allikate andmetega on näha, et purustatud silikaattellise veeimavus on suur. Võttes aluseks, et müürimörtides on kasutatud tüüpiliselt Eestis kvartsiiva, on PSKL-i veeimavus ligi 40 korda suurem. Tabelist on välja loetav ka nii käesoleva magistritöö kui ka TalTechi rakendusuringus [1] katsetatud purustatud silikaattelliste veeimavuste erinevus. See võib olla tingitud katseproovi terastikulisest koostisest, silikaattellise enda tihedusest ning kui palju kivinenud müürimörti oli purustatud müüritise tükkidega kaasas. Erinevus ei ole küll suur, kuid ometi märgatav. Tulevikus tuleks uurida erinevatest kohtadest saadud silikaatmüüritiste, mis on purustatud fraktsiooniks 0–4 mm, veeimavust, et näha, kui suur erinevus on purustatud silikaattellistest liival.

Suur veeimavus võib mõjutada oluliselt segu veevajadust, sest täitematerjal imab ennast vett täis ning võtab reageeriva vaba vee segust ära, vähendades vesitsementtegurit ning segu töödeldavust. Lisaks võib suur veeimavus mõjutada ka kivinenud mördi külmakindlust, sest täitematerjali suure veeimavuse tõttu on ka üleüldine mördi veeimavus suurenenud.

Survetugevuse ning paindetugevuse kohalt võib täitematerjali suur veeimavus aidata kaasa hüdratsiooniprotsessile, kus algselt vett täis imanud täitematerjal annab aeglaselt segusse juurde vett, mis hakkab osalema hüdratsiooniprotsessil. Selliselt võib hoopis mördi survetugevus ning paindetugevus kasvada ning saavutada parema tulemuse, kui kasutada vähem vett imavat täitematerjali.

Rääkides mördi välja kuivamisest võib suure veeimavusega täitematerjal aidata kaasa hoopis segu veehoidvusele. Kasutades sellist vesitsementtegurit, kus täitematerjal küllastub ning vabavett jääb segusse ka alles, et tagada piisav töödeldavus, võib kuuma ilma puhul aidata PSKL hoida segus vett ning mitte lasta tal välja kuivada. Eelneva eelduse katsetamiseks tuleks tulevikus läbi viia mahukahnemise katsed või simuleerida sellist olukorda, kus saaks fikseerida ära segu välja kuivamise ajas.

3.4 Mördi veevajaduse määramine

3.4.1 Vesikuivsegu- ning vesitsementtegurid

Magistritöös katsetatud mördisegude vesikuivsegutegurid on välja toodud tabelis 3.6. Täpsemad katsete algandmed veevajaduse määramise kohta on leitavad lisast L2.4

Tabel 3.6 Magistritöös katsetatud kuivsegude vesikuivsegutegurid

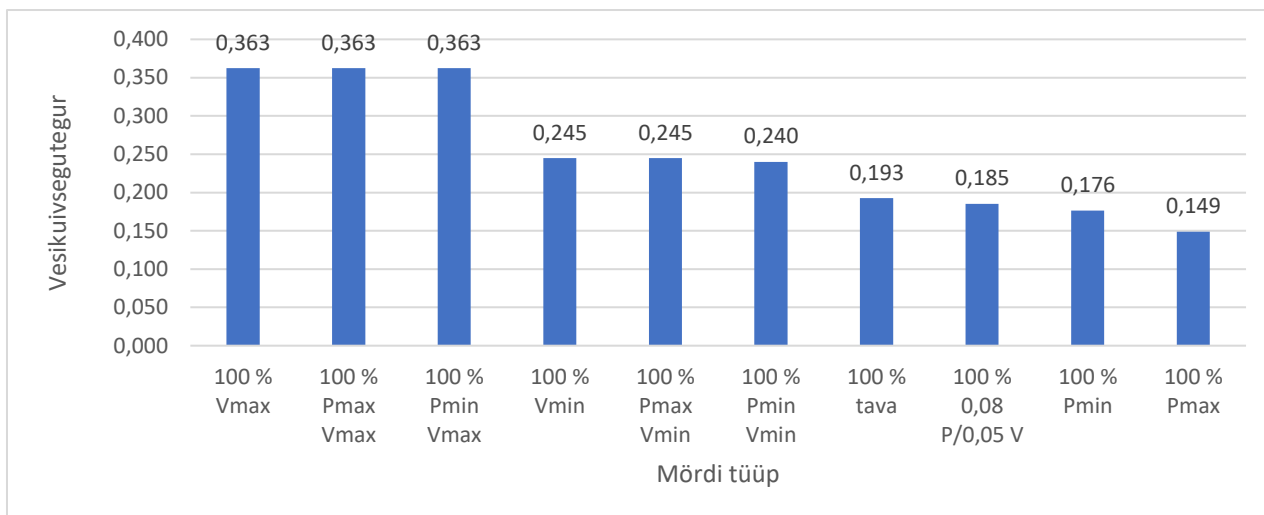
Lisandid	PSKL-i kogus segus, %					Ehitusturu kuivsegud			
	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %	Weber M100/600	Uninaks FKK	Uninaks M100	Webervetonit 137
Ehitusturu kuivsegud						0,147	0,168	0,198	0,33
Lisanditeta	0,153	0,151	0,160	0,168	0,193				
P 0,05 % MIN	0,148	0,146	0,148	0,153	0,176				
P 0,2 % MAX	0,124	0,123	0,125	0,132	0,149				
V 0,3 % MIN	0,200	0,214	0,213	0,235	0,245				
V 0,7 % MAX	0,295	0,305	0,313	0,333	0,363				
MIN P/MIN V	0,198	0,210	0,213	0,235	0,240				
MAX P/MAX V	0,295	0,305	0,313	0,340	0,363				
MIN P/MAX V	0,295	0,305	0,313	0,340	0,363				
MAX P/MIN V	0,200	0,213	0,213	0,235	0,245				
P 0,08 %/V 0,05 %	0,158	0,153	0,150	0,160	0,185				

Vesitsementtegurid on välja toodud tabelis 3.7. Ehitusturu kuivsegudele vesitsementtegurit määrata ei saanud, sest kuivsegu oli eelnevalt juba valmis segatud tootja poolt ning puudus info, kui palju tsementi on kasutatud ühes kuivsegukotis.

Tabel 3.7 Magistritöös katsetatud mörtide vesitsementtegurid

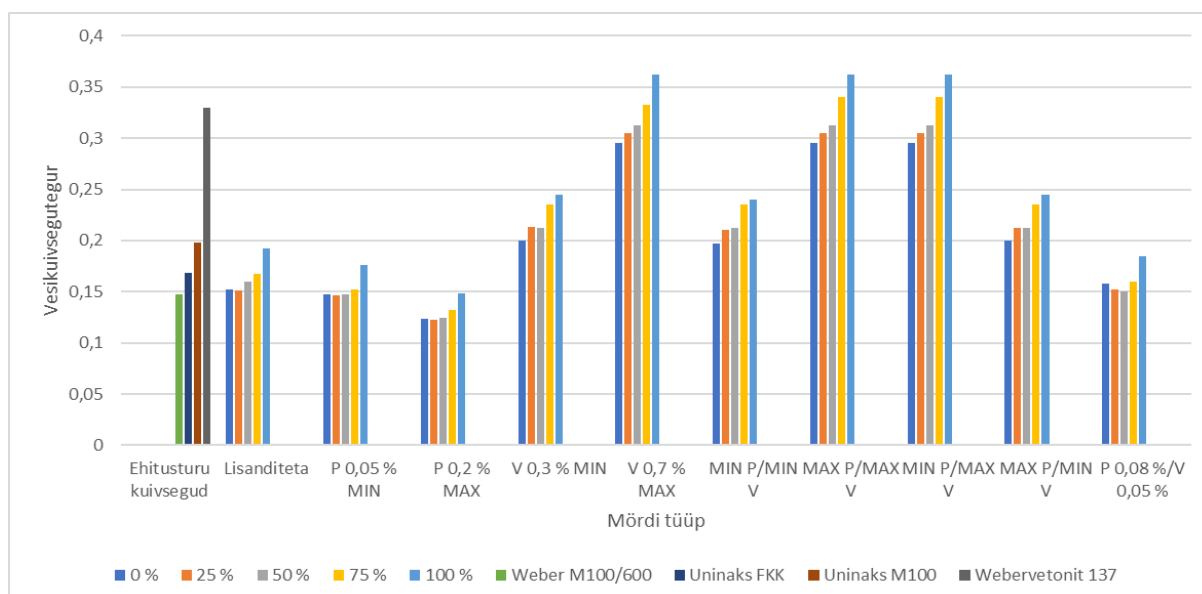
Lisandid	PSKL-i kogus segus, %				
	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
Lisanditeta	0,61	0,605	0,64	0,67	0,77
P 0,05 % MIN	0,59	0,585	0,59	0,61	0,705
P 0,2 % MAX	0,495	0,49	0,5	0,527	0,595
V 0,3 % MIN	0,8	0,855	0,85	0,94	0,98
V 0,7 % MAX	1,18	1,22	1,25	1,33	1,45
MIN P/MIN V	0,79	0,84	0,85	0,94	0,96
MAX P/MAX V	1,18	1,22	1,25	1,36	1,45
MIN P/MAX V	1,18	1,22	1,25	1,36	1,45
MAX P/MIN V	0,8	0,85	0,85	0,94	0,98
P 0,08 %/V 0,05 %	0,63	0,61	0,6	0,64	0,74

Andmete visuaalseks tötluseks on vesikuivsegutegurid toodud välja graafiliselt ainult 100% PSKL-iga tehtud segudele joonisel 3.10. Teised segud, milles PSKL-i osakaal oli väiksem, järgisid joonise 3.10 vesikuivsegutegurite trendijoont ning on loetavad tabelist 3.6.



Joonis 3.10 100% PSKL-iga tehtud segude vesikuiivsegutegurid

Kõikide magistritöös katsetatud kuivsegude veevajadused on välja toodud joonisel 3.11.



Joonis 3.11 Katsetatud kuivsegude veevajadused

3.4.2 Veevajaduste võrdlus purustatud silikaatkivist liiva lisamise alusel

Jooniselt 3.11 peegeldub selge trendijoon, et mida rohkem on segus kasutatud PSKL-i, seda suurem on tema veevajadus. See trendijoon on nähtav iga segu veevajaduse määramisel ning on kooskõlas lisandite koguse suurusega. Võttes aluseks ilma lisanditeta kuivsegud, on näha, et 100 % PSKL-i sisaldusega veevajadus on 0 % PSKL-iga tehtud segu veevajadusest ligi 21 % suurem. See tähendab, et segu, milles on kasutatud ainult PSKL-i nõuab 1/5 korda rohkem vett, kui tavaline kvartslivaga tehtud segu. Sama tulemuseni jõudsid oma uuringutes ka Huang [5], Ceylan [6], Omur [10] ning Fang [11],

kes taaskasutasid oma uuringutes erinevaid purustatud täitematerjale, mis olid poorsed ning suure veeimavusega.

TalTechi rakendusuuringu [1] valmistatud kleepesegu vesikuivsegutegur oli 0,174. PSKL-i sisaldus oli 45 % fraktsiooniga 0/2 mm. Rakendusuuringu [1] saadud vesikuivsegutegur ei ole väga palju suurem, kui sarnase lisandite ning nende kogustega (vt tabel 3.6 lisandite kombinatsiooni P 0,08 %/V 0,05 %) tehtud käesoleva magistritöö 50 % PSKL-i kogusega segul. Põhjus, miks rakendusuuringu [1] saadud vesikuivsegutegur on suurem, on seotud lisandite kogusega ning kasutatud PSKL-i peenema fraktsiooniga segus, mis suurendab segu veevajadust.

Võrreldes 0 % ning 25 % PSKL-iga tehtud segusid ning jättes välja kõik need segud, kus on kasutatud veehoidvuslisandit, on 0 % PSKL-iga tehtud segul veevajadus vähesel määral suurem kui 25 % PSKL-iga tehtud segul – ligi 1 %. Paremini on nähtav erinevus veevajadustes, kus on kasutatud 0,08 % plastifikaatorit ning 0,05 % veehoidvuse lisandit.

Veevajaduse suurenemine võib olla tingitud mitmest erinevast tegurist. Toetudes eelnevates peatükkides välja toodud infole võib eeldada mitut erinevat faktorit:

- 1) PSKL-i veeimavus on mitmekümnetes kordades suurem, kui tüüpiliselt müürimörtides kasutatud kvartslüüvades, mis tähendab, et PSKL imab endasse kordades rohkem vett ning suurendab segu veevajadust;
- 2) PSKL-i tera on nurgelisem, mistõttu läheb tema nidususe vähendamiseks vaja rohkem vett;
- 3) PSKL-i terastikulises koostises on palju peenosist, mis suurendab liiva terade pindala ja segu veevajadust

3.4.3 Veevajaduste võrdlus lisandite lisamise alusel

Rääkides lisandite toimest mördile on näha jooniselt 3.10, et superplastifikaatori (edaspidi plastifikaator) kasutamine on olnud segudes edukas ning täitnud oma eesmärgi. Mida rohkem on kasutatud plastifikaatorit segus, seda rohkem on vähenenud veevajadus. Võttes aluseks 100 % PSKL-iga tehtud segu, näeme jooniselt 3.10 ning tabelist 3.6, et veevajadus on vähenenud minimaalse plastifikaatori kasutamisel 0,193 juurest 0,176 peale ning maksimaalse koguse kasutamisel 0,149 peale. Maksimaalse koguse plastifikaatori juures on see pea 23 % veevajaduse langus.

Vaadates plastifikaatori ning veehoidvuse lisandi koosmõju, näeme, et segude veevajadus käitub ainult veehoidvuse lisandi järgi, mis tähendab, et lisandite koosmõjul plastifikaator ei hakka tööle. Põhjuseks siinkohal on asjaolu, et tootjajuhiste järgi võetud veehoidvuse lisandi kogused (0,3-0,7 % kuivsegu massist) on mitmekordselt

üledimensioneeritud võrreldes plastifikaatori kogustega (0,05-0,2 % sideaine massist). Kui võrrelda lisandite koguseid kuivsegust, mille mass on 1000 g ning tsemendi ja täitematerjali suhe on 1:3, siis on näha selged erinevused lisandite koguses. Võttes maksimaalse koguse plastifikaatorit ning veehoidvuse lisandit, on vastavad lisandite massid 0,5 g ning 7 g. Veehoidvuse lisandit on seega 14 korda massi järgi rohkem.

Ainukene segu, kus koosmõju hakkab tööle, on joonisel 3.11 kõige viimane segu, kus kasutati 0,08% plastifikaatorit ning 0,05 % veehoidvuse lisandit. Nendele lisanditele vastavad massid 1000 g kuivsegu puhul on 2 g ning 0,5 g. Selles segus on veehoidvuse lisandit ainult 1/4 plastifikaatorist. Koosmõju tööle hakkamisest annab aimu 100 % PSKL-i kasutamisel vähenenud veevajadus 0,193 pealt 0,185 peale. Sama koosmõju on näha ka teistel katsetatud segudel, kus veevajadus vähenes võrreldes etalonsegudega.

Vaadates veehoidvuse lisandit individuaalset, on näha jooniselt 3.11, et minimaalse koguse kasutamise juures kasvab veevajadus igal kuivsegul vahemikus 21-29 %. Maksimaalse koguse juures kasvab veevajadus ligi poole võrra ning jääb vahemikku 46-50 %. Selline veevajaduse kasv tekitab väga poorse kivinenud segu ning vähendab tema tihedust. Täpsemalt tuleb sellest juttu peatükis 3.6 ning 3.7.

3.4.4 Veevajaduste võrdlus ehitusturu kuivsegudega

Võrreldes joonisel 3.10 olevaid ehitusturu kuivsegu on näha, et mida rohkem peenema täitematerjaliga on kuivsegu, seda suurem on tema veevajadus. Nagu eelnevates peatükkides räägitud, on webervetonit 137 krohvisegu väga peeneteraline ning kiuline kuivsegu, mistõttu on ta väga palju vett nõudev segu. Webervetonit 137 veevajadus on sarnane 75 % ning 100 % PSKL-iga asendatud ning maksimaalse koguse veehoidvuse lisandiga tehtud kuivsegude veevajadusega, mis jäävad kõik vahemikku 0,333-0,363.

Võib öelda, et veevajadused on Weberi krohvisegul ning eelnevalt mainitud PSKL-iga tehtud segudel küll sarnased, kuid täiesti erinevatel põhjustel. Weberi krohvisegul on veevajadus suur seoses tema terastikulise koostise, kiu sisalduse ning lisandite tõttu. PSKL-iga tehtud segudel on veevajadus suur seetõttu, et veehoidvuse lisand on üledimensioneeritud ning on suurendanud veevajadust ligi 50 %. Terastikuline koostis sellisel juhul enam rolli ei mängi.

Kordades väiksema veevajadusega on Uninaksi müürisegu ning krohvisegu NAKS FKK. Vastuolulisel kombel on Uninaksi müürisegu veevajadus suurem, kuigi tema terastikuline koostis on jämedam kui Uninaksi krohvisegul NAKS FKK. Põhjuseks võib veevajaduse erisusel olla lisandite olemasolu segus ning nende reageerimisaeg.

Kõige sarnasem tulemus Uninaksi müüri segu veevajadusele on 100 % PSKL-iga tehtud segud, kus ei ole kasutatud lisandeid, on kasutatud minimaalses koguses plastifikaatorit või kasutatud 0,08 % plastifikaatorit ning 0,05 % veehoidvuse lisandit. Jällegi võib siinkohal öelda, et veevajaduste sarnasus on tingitud erinevatel põhjustel. Uninaksi müüri segu on suhteliselt peeneteraline, kus ülemine mõõde teradel on 3 mm. Lisaks on kasutatud segus ka erinevaid lisandeid, et parandada segu vajalikke omadusi. Peeneteralisus suurendab ka veevajadust seoses suurema terade pindalaga. PSKL-iga tehtud segul on suuremaid teri rohkem, mis imavad rohkem vaba vett segust endasse ning vähendavad vesitsementtegurit. Lisaks on osakesed ka nurgelisemad, mis suurendavad samuti terade pindala ning suurendavad ka veevajadust. Saavutamaks samasugust konsistentsi mõlemal segul, on PSKL-iga tehtud segusse vaja juurde lisada vett, et oleks tagatud võrreldav konsistents.

Kõige väiksema veevajadusega katsetatud ehitusturu kuivsegu on Weberi müüri segu M100/600, mille veevajadus on sarnane mitmele magistritöös katsetatud segule. Sarnane on ta segudele, kus kasutati 0-50 % vahemikus PSKL-i ilma lisanditeta, minimaalse plastifikaatoriga ning 0,08 % plastifikaatori ning 0,05 % veehoidvuse lisandiga. Weberi müüri segu veevajaduse sarnasus magistritöös kasutatud kvartslivaga tehtud segule on kõige lähedasem, sest peatükis 3.1 välja toodud terastikulises koostises on Weberi müüri segul kasutatud kvartslivaga fraktsiooniga 0/4 mm, mis vastab ka magistritöös kasutatud kvartslivale. Võrreldes Weberi müüri segu PSKL-iga tehtud segudega on 25-50 % PSKL-i osakaalu juures vettimavate terade olemasolu segus väiksem ning seetõttu on ka veevajadus väiksem ning sarnasem Weberi müüri segule, kui seda on 100 % PSKL-i kasutamise puhul olev segu.

Erinevus magistritöös katsetatud ehitusturu kuivsegude veevajaduse ning tootjajuhiste poolse kuivsegude veevajaduse vahel on välja toodud tabelis 3.8.

Tabel 3.8 Magistritöös kasutatud ning tootjajuhiste poolt märgitud veevajaduste erinevused

Kuivsegu	Magistritöös vajalik vesikuivainetegur	Tootjajuhiste kohane vesikuivainetegur
Weber M100/600	0,147	0,12-0,16 [51]
webervetonit 137	0,33	0,18-0,2 [48]
Uninaks NAKS FKK	0,168	0,22-0,24 [49]
Uninaks M100	0,198	0,13-0,17 [50]

Tabelist on näha, et magistritöös kasutatud vesikuivainetegurid on erinevad, sest tootjajuhised ei näe ette tagada magistritöös eesmärgiks võetud mördi valguvust 150 mm ± 10 mm.

3.4.5 Purustatud silikaatkivist liivaga valmistatud kuivsegude veevajaduse määramise raskused

Magistritöö vältel katsetatud kuivsegude veevajaduse määramine osutus kõige keerulisemaks ning aega nõudvamaks aspektiks. Tabelis 3.9 on välja toodud, mitu korda autor pidi kindlat segu segama, et saavutada soovitud segu konsistents. Tabelis ei ole kajastatud neid kordi, kus segu ei katsetatud raputuslual, seoses visuaalsel vaatlusel kindlaks tehtud mördi liigse vesisuse või liigse kuivuse tõttu. Lisaks ei ole toodud välja tabelis ka neid kordi, kus segu konsistents ei olnud sobilik mõne teise magistritöös läbi viidud katse jaoks.

Väga tihti tuli ette olukordi, kus autori algselt määratud vesikuivainetegur ei olnud tuleviku katsetes enam pädev ning kuivsegu veevajadus oli muutunud. Lisaks oli ka lisandeid kasutades palju anomaaliaid, kus näiteks ühe ja sama plastifikaatori ning kuivsegu massi korral konsistentsi tulemused kõikusid kokku lepitud piiridest väljas.

Tabel 3.9 Veevajaduse määramise kordade arvud

Lisandid	PSKL-i kogus segus, %					Ehitusturu kuivsegud			
	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %	Weber M100/600	Uninak s FKK	Uninak s M100	Weberetonit 137
Etalon	5	6	4	6	4	4	5	4	7
P 0,05% MIN	4	7	5	4	4				
P 0,2% MAX	4	5	10	8	11				
V 0,3% MIN	6	3	4	4	4				
V 0,7 % MAX	2	3	2	3	4				
Min P/Min V	1	2	5	2	4				
Max P/Max V	1	2	3	3	4				
Min P/Max V	2	1	1	3	3				
Max P/Min V	1	1	1	1	1				
P 0,08%/V 0,05%	4	1	2	4	3				

Tabelist on näha, et kõige keerulisem oli määrata segu konsistentsi maksimaalse plastifikaatori kogusega segudele. Seda põhjusel, et nendes eksisteeris palju anomaaliaid, kus vesikuivainetegurit vähesel määral muutes, muutus konsistents väga suurelt. Kõige lihtsam oli segada kokku veehoidvuse lisandiga tehtud segusid, sest veehoidvuse lisandi üledimensioneeringu tõttu veevajadus segudel ei muutunud.

Esiialgu kokku segatud kuivsegude otsa lõppemisel tuli juurde segada kuivsegusid. Kahjuks osutus aga uute kuivsegude veevajadus täiesti erinevaks sellest, mis oli eelnevalt kuivsegule määratud. Võrrelda võib näiteks 100 % PSKL-i sisaldusega tehtud kuivsegu veevajadust lisas L2.4 tabelist L2.7 ning lisas L2.5 tabelist L2.8 oleva mördi töödeldavuse kao katses kasutatud 100 % PSKL-i sisaldusega kuivsegu veevajadusi. Veevajaduste erinevus segudel on 5 %. Peab mainima, et 100 % PSKL-iga tehtud segule,

mida kasutati konsistentsikao katses, on määratud veevajadus väiksemapoolsem (konsistents tuli 144,5 mm) ning seetõttu võib mõlema segu veevajaduse erinevus olla isegi suurem kui 5 %.

Põhjused, miks veevajaduse määramine PSKL-iga segudele osutus keeruliseks, on järgmised:

- 1) Anumatesse talletatud kuivsegude terastikuline koostis ei ole ühtlane, nagu mainitud peatükis 3.1. Ebaühtluse tõttu kõiguvad ka veevajadused kuivsegudel, mis raskendavad lõpliku mördi katsetamist raputuslaual;
- 2) PSKL-is oleva peenosise sisalduse hajuvus on suur;
- 3) Katsetatud PSKL-il on oma terastikulises koostises nii kivilinenud mördiosakesi kui ka silikaattellige osakesi, mistõttu mõnikord imab segu endasse rohkem vett ning mõnikord vähem. See võib mõjutada oluliselt vesikuivsegutegurit ning põhjustada erandeid raputuslaualt saadavatel tulemustel

3.5 Mördi töödeldavuse kadu ajas

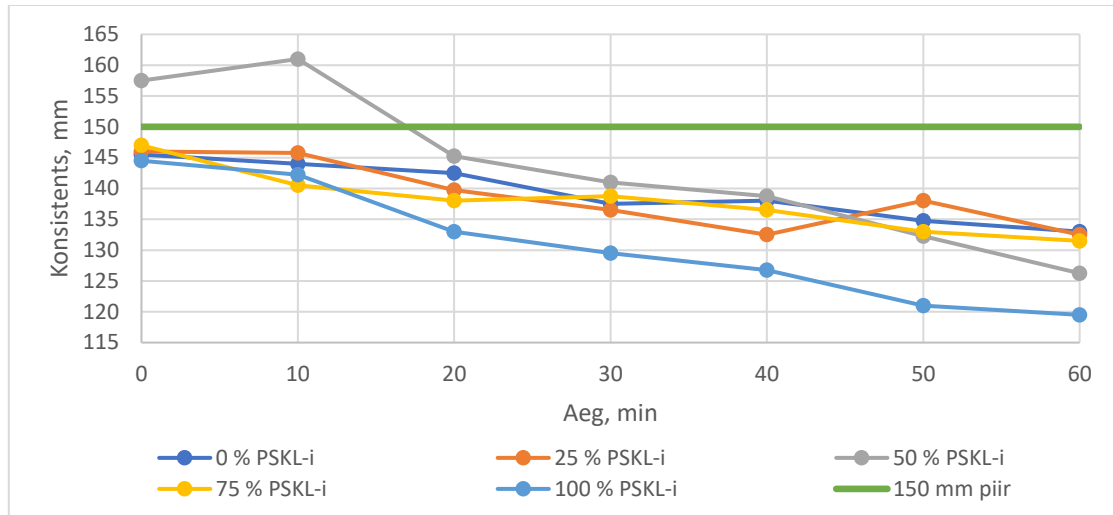
Seoses suure katseandmete hulga tõttu, tuuakse välja tulemused kindlaid trendijooni järgivatele katseproovidele. Esmalt näidatakse trendijooni PSKL-i sisalduse kaupa ning seejärel lisandite kaupa ühe segu näitel. Täpsemad katsetulemused kõikidele PSKL-iga valmistatud kuivsegudele on leitavad tabelist 3.10. Algandmed on leitavad lisast L2.5.

Tabel 3.10 PSKL-iga valmistatud kuivsegude konsistentsikaod

Aeg, min	Konsistents, mm									
	Lisanditeta segud					P 0,05% MIN				
	0 % PSKL-i	25 % PSKL-i	50 % PSKL-i	75 % PSKL-i	100 % PSKL-i	0 % PSKL-i	25 % PSKL-i	50 % PSKL-i	75 % PSKL-i	100 % PSKL-i
0	146	146	158	147	145	150	151	147	151	153
10	144	146	161	141	142	155	156	148	155	161
20	143	140	145	138	133	154	149	147	144	157
30	138	137	141	139	130	154	140	144	139	147
40	138	133	139	137	127	153	134	140	130	137
50	135	138	132	133	121	145	128	136	129	132
60	133	133	126	132	120	149	127	131	123	131
	P 0,2 % MAX					V 0,3 % MIN				
0	145	143	153	158	157	145	150	147	148	153
10	135	144	147	151	149	149	154	153	151	155
20	128	133	139	142	133	151	156	154	151	155
30	129	123	132	124	123	153	158	157	153	156
40	125	123	127	117	116	151	152	154	152	155
50	121	121	123	110	113	150	155	154	155	154
60						148	153	155	151	153
	V 0,7 % MAX					Min P/Min V				
0	145	145	146	147	150	146	145	148	149	154
10			144	144	151					
20			143	148	153					
30			138	147	150					
40			143	144	151					
50			144	145	150					
60	147	145	143	144	151	149	148	152	150	154
120	147	143				149	148	150	145	156
180	148	143				152	148	147	155	155
	Max P/Max V					Min P/Max V				
0	145	145	146	147	150	144	144	144	144	150
60			144	144	151	146	144	145	145	147
120			143	148	153	147	147	144	145	146
180			138	147	150	148	145	143	144	148
	Max P/Min V					0,08 % P/ 0,05 % V				
0	146	145	148	147	153	153	150	147	149	150
10						168	168	165	150	171
20						171	168	175	148	160
30						169	165	171	143	153
40						167	158	166	137	152
50						166	156	167	131	144
60	154	148	146	146	150	163	150	163	128	137
120	149	147	144	144	147					137
180	150	145	143	145	140					

3.5.1 Töödeldavuse kadu purustatud silikaatkivist liiva sisalduse kaupa

Joonisel 3.12 on välja toodud ilma lisanditeta erineva PSKL-i kogusega tehtud kuivsegude töödeldavuse kaod.



Joonis 3.12 Ilma lisanditeta tehtud kuivsegude töödeldavuse kaod

Analüüsidest joonist 3.12 on näha, et kõikide ilma lisanditeta katsetatud segude konsistents kaob ajapikku, mis on ka oodatav tulemus. Mida rohkem on kasutatud kuivsegus PSKL-i, seda kiiremini kaob segu konsistents. Põhjuseks on siin PSKL-i suur veeimavus, mis imab ajapikku segus oleva vaba vee endasse. Erandjuhul 50 % ulatuses PSKL-i kasutamisel kasvab konsistents esimese 10 minuti jooksul suuremaks ning väheneb seejärel sarnaselt teistele segudele. Konsistentsi algset tõusu on märgata ka teiste katsete juures. Antud katse juures olev anomaalia võib olla põhjustatud segu liiga suurest algkonsistentsist, milleks oli 158 mm (kokkuleppeliselt sihiti magistritöös konsistentsi 150 mm ± 10 mm). Sellest tulenevalt võis algselt täis imanud PSKL hakata segusse andma tagasi vett, mis suurendas segu konsistentsi.

Ilma lisanditeta tehtud segud annavad hea ülevaate PSKL-i osakaalu mõjust konsistentsi kaole. Et saada lisakinnitust küsimusele, kas PSKL-i osakaalu suurendamisel segus kaotab segu kiiremini oma konsistentsi, tuleb võrrelda ka lisanditega tehtud segudes PSKL-i osakaalu mõju konsistentsile.

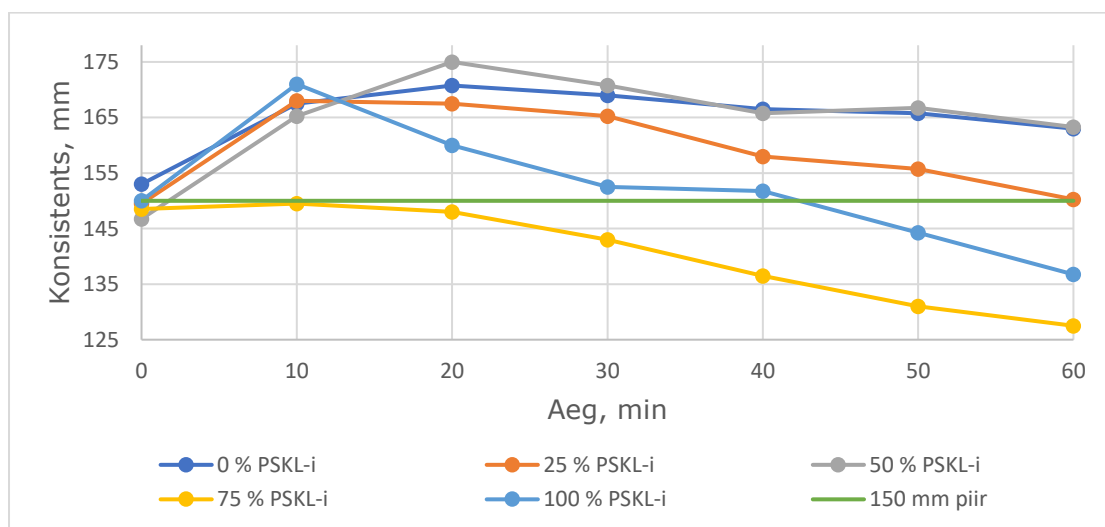
Uurides tabelist 3.10 minimaalse plastifikaatori kasutamisel saadud tulemusi on samuti näha trendijoon, et mida rohkem kasutatakse PSKL-i segus, seda kiiremini kaob segu konsistents. Ometi on näha mõned erisused, kus näiteks minimaalse plastifikaatori kasutamisel suureneb kõigil katsetatud segudel konsistents vähesel määral esimese kümne minuti jooksul ning hakkab seejärel vähenema. Põhjus, miks konsistents

esimestel minutitel võis tõusta, on seotud lisandi lahustuvusajaga segus. Kui lisand ei lahustu piisavalt kiiresti segus, võib esialgne raputuslaual olev konsistents muutuda hilisemal katsetamisel. Vaatamata eelnevale, on näha, et kvartslüüva asendamine PSKL-iga toob kaasa segu kiirema konsistentsikao.

Plastifikaatori maksimaalsel kasutamisel on trendijooned sarnasemad ilma lisandita segudele, kus on näha, et 75 % ning 100 % PSKL-i sisaldusega segud kaotavad kõige kiiremini oma konsistentsi. Kiiremini kaotavad maksimaalse koguse plastifikaatoriga tehtud segud oma konsistentsi seetõttu, et segus on vähem vett, mida PSKL endasse imada saaks.

Analüüsidest joonist 3.13, kus kasutati 0,08 % plastifikaatorit ning vähendatud veehoidvuse lisandit 0,05 %, on samuti nähtav sarnane trendijoon eelnevalt mainitud segudele, kus PSKL-i sisalduse suurenedes vähenes segu konsistents kiiremini. Põhjus miks siin 75 % PSKL-iga tehtud segul kaob konsistents kiiremini kui 100 % tehtud segul on seetõttu, et 75 % PSKL-iga tehtud segu algkonsistents on väiksem kui 100 % tehtud segul. Seega võib eeldada, et mida suurem on segu algkonsistents, seda aeglasemalt kaob segu konsistents. Sarnast tulemust on näha ka minimaalse plastifikaatori kasutamisel 100 % PSKL-i kasutamisel tabelist 3.10.

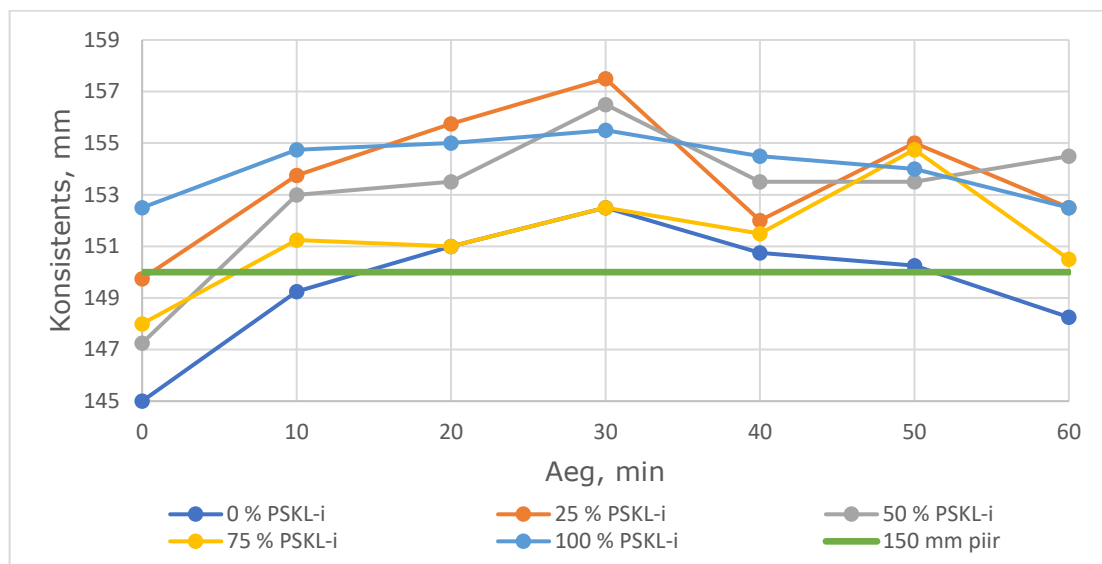
Sarnaselt plastifikaatori minimaalsele kasutamisele on ka siin segus näha trendi, kus segu konsistents kasvab esimese 10-30 minutiga ning seejärel hakkab vähenema. See võib samuti olla põhjustatud lisandite lahustuvusajast, nagu täheldati seda plastifikaatori minimaalse koguse kasutamise juures. Tulevikus tuleks uurida joonisel 3.13 tehtud segude konsistentsikadu pikema aja jooksul, et fikseerida ära maksimaalne töödeldavuse aeg.



Joonis 3.13 0,08% plastifikaatori ning 0,05% veehoidvuse lisandi kogusega tehtud segude töödeldavuse kaod

Üritades leida jooniselt 3.14 eelnevalt leitud sarnast trendijoont segudes, kus on kasutatud minimaalses koguses veehoidvuse lisandit, ei leidu korrelatsiooni, et PSKL-i koguse suurendamisega segus väheneks ka segu konsistents. Jooniselt 3.14 on näha, et vaatamata PSKL-i kogusele segus, säilitavad kõik segud oma konsistentsi terve katse vältel. Jooniselt ei kajastu ka selget trendijoont, kus suurem PSKL-i sisaldus segus põhjustaks kiirema konsistentsikao segus.

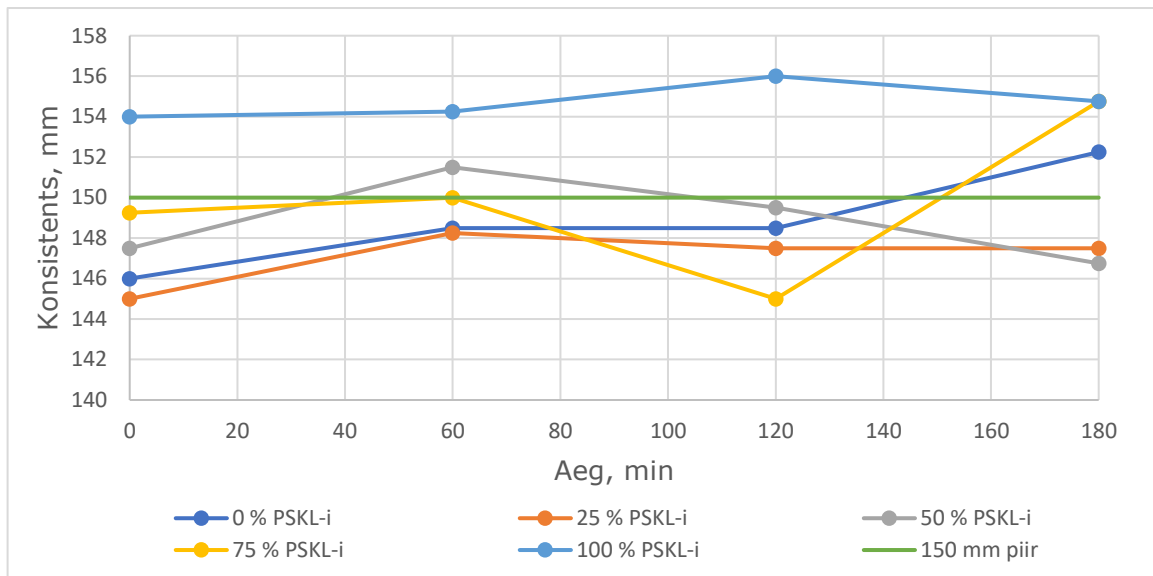
Tabelist 3.10 on näha, et minimaalse veehoidvuse lisandiga tehtud segud säilitavad oma konsistentsi 60 minuti jooksul. Põhjus, miks segud säilitasid oma konsistentsi on seotud veehoidvuse lisandi kogusega ning tema toimega hoida segus vett kauem kinni. Jooniselt 3.14 peegeldub ka sarnane nähtus, mida mainiti eelnevalt, kus esimesesse paarikümne minuti jooksul segu konsistents hoopis suureneb, mitte ei vähene. Ka siin võib põhjuseks olla PSKL-ist segusse tagasi imbuv vesi.



Joonis 3.14 Minimaalse veehoidvuse lisandiga tehtud segude konsistents

Vaadates joonise 3.14 üldist trendi on näha, et kõikide segude konsistents kasvab kuni 30 minutini ning hakkab seejärel aeglaselt vähenema. Pärast minimaalse veehoidvuse lisandiga tehtud katsete tulemusi pikendati järgnevate veehoidvuse lisandiga tehtud katsete kestust. Eesmärk oli näha, kuidas käituvad segud pikemal ajaperioodil.

Võrreldes tulemusi jooniselt 3.15, ei peegeldu ka siit kindlat trendijoont, kus PSKL-i osakaal segus mõjutaks konsistentsi kadu ajas. Märkimisväärne on, et kõik segud säilitavad 180 minuti jooksul oma konsistentsi. Põhjuseks võib olla veehoidvuse lisandi üledimensioneerimine, mis ei lase veel segust ära minna ning hoiab teda segus kinni.



Joonis 3.15 Minimaalse veehoidvuse lisandi ning minimaalse plastifikaatori koosmõju segudele

Välja võib tuua ka huvitava asjaolu joonisel 3.16, kus on näha, et peale ühte tundi anumates seismist hakkas veehoidvuse lisandiga tehtud segu kuivama ning mördi peale tekkisid kuivad heledad laigud. Nähtus juhtus kõikidel segudel, kuhu oli lisatud veehoidvuse lisandit ning mis olid anumates puutumata seisnud vähemalt tund aega. Tekkinud kirmet ei mõjutanud segu konsistentsi pikaajaliselt. Sarnast kirmet ei tekkinud segudel, mida katsetati iga 10 minuti tagant. See võib olla põhjustatud sellest, et segu massi enduvatest tippudest eraldub vesi intensiivsemalt kui madalamast lamedamast osast.



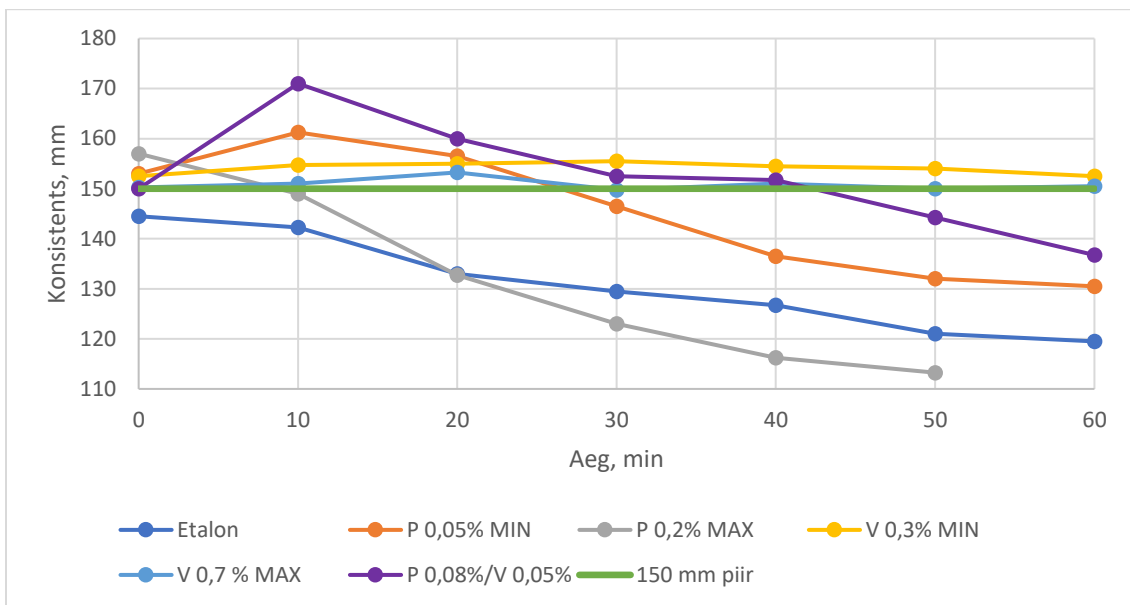
Joonis 3.16 Maksimaalse koguse veehoidvuslisandiga mördisegu peale 1 h seismist [autori erakogu]

Kokkuvõttes võib öelda, et saadud tulemusi on keeruline omavahel võrrelda, sest kõikidel katsetatud segudel on erinev alguspunkt. Kui kõik segud algaksid sama töödeldavuse

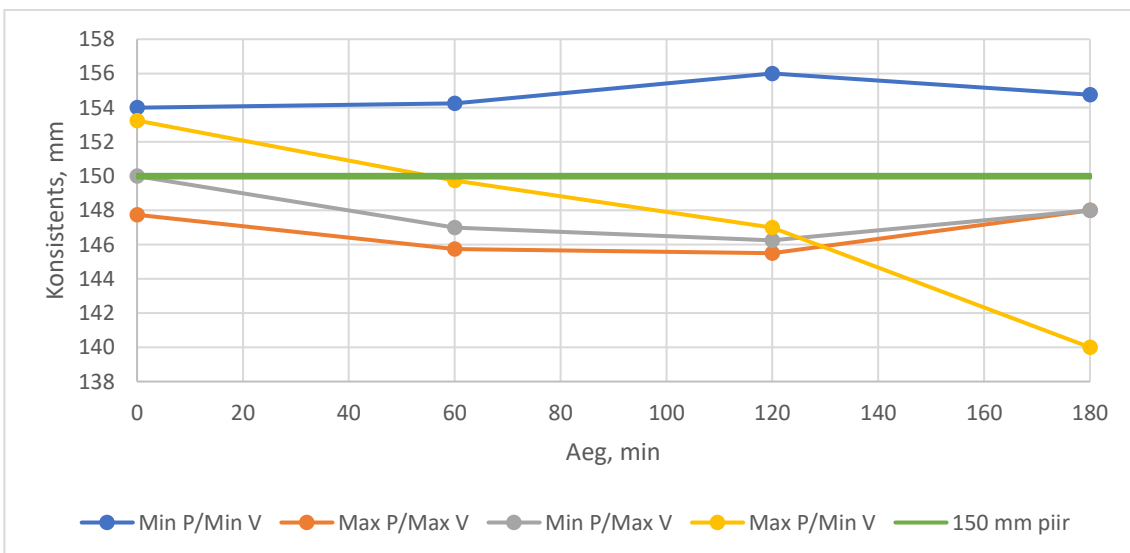
juurest, oleks tulemused paremini võrreldavad ning võimalik, et trendijooned ka paremini nähtavad.

3.5.2 Töödeldavuse kadu lisandite sisalduse kaupa

Et võrrelda, kuidas erinevad lisandid ning nende kombinatsioonid mõjutavad segu konsistentsi on välja toodud joonisel 3.17 ning joonisel 3.18 100% PSKL-iga tehtud kuivsegude töödeldavuse kaod. Joonised on eraldatud katse kestuse alusel. Tabelist 3.10 on leitav lisandite mõju kõikidele katsetatud kuivsegudele.



Joonis 3.17 100% PSKL-i sisaldusega mördi töödeldavuse kaod lisandite kaupa 60 min



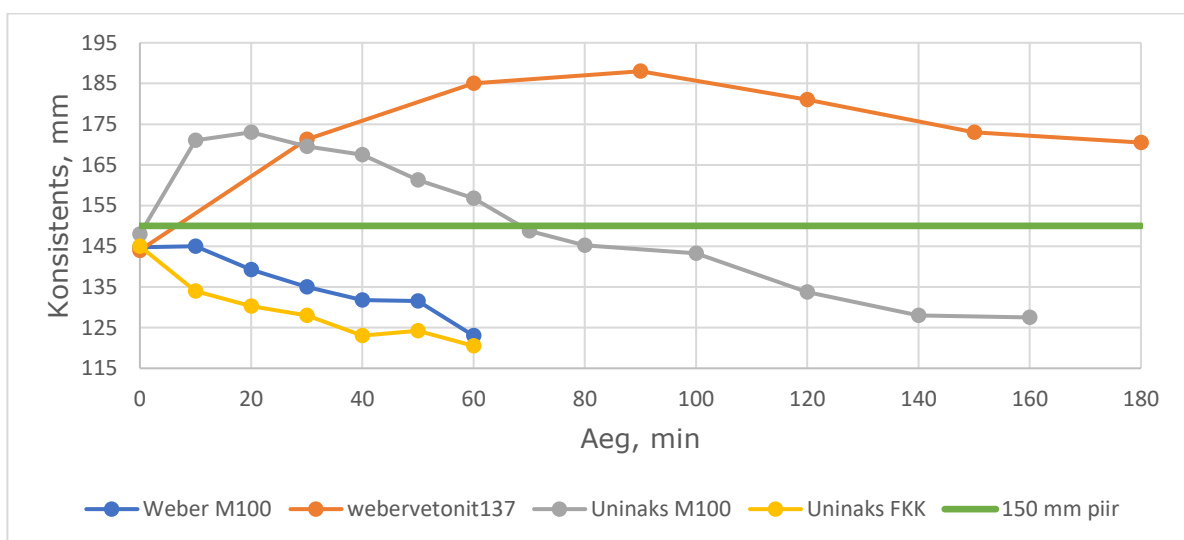
Joonis 3.18 100% PSKL-i sisaldusega mördi töödeldavuse kaod lisandite kaupa 180 min

Jooniselt 3.17 ning 3.18 on nähtav järgnev:

- 1) Plastifikaatoriga tehtud segud kaotavad oma konsistentsi kõige kiiremini. Seda põhjusel, et segus on vähem vett. Veekoguse vähenemise tõttu suudab silikaat endasse vähem vett imada ning lisaks aurustub segust väiksem veekogus kiiremini ära;
- 2) Segu algkonsistentsist sõltub, kui kiiresti tema töödeldavus kaob. Vaadates joonist 3.17 näeme, et etalonsegu kaotab oma konsistentsi peaaegu sama kiiresti, kui maksimaalse plastifikaatoriga tehtud segu. Seda põhjusel, et kui võrrelda mõlema segu algkonsistentse, on nende erinevus 12 mm;
- 3) Veehoidvuse lisandiga tehtud segud säilitavad oma konsistentsi nii 60 minuti kui ka 180 minuti jooksul. Põhjuseks eelnevalt mainitud veehoidvuse lisandi üledimesioneering

3.5.3 Töödeldavuse kadu ehitusturul müüdavatel mörtidel

Ehitusturul müüdavate toodete konsistentsikaod on välja toodud tabelis 3.11 ning joonisel 3.19. Katsete algandmed on leitavad lisast L2.5.



Joonis 3.19 Ehitusturul müüdavate mörtide töödeldavuse kaod

Katseid tehes jälgiti segude käitumist 60 minuti jooksul. Kui konsistents 60 minuti jooksul ei kadunud, jätkati katset maksimaalselt 180 minutit. Võrreldes tabeli 3.10 ning 3.11 tulemusi on näha, et nii Weberi müüri segu kui ka Uninaksi FKK krohvisegu kaotavad oma konsistentsi 60 minutiga ning käituvad väga sarnaselt PSKL-iga tehtud segudele.

Võrreldes tabeli 3.10 ning 3.11 tulemusi on näha, et Uninaksi krohvisegu FKK kaotab oma konsistentsi kõige kiiremini. Üldiselt peaks krohvisegude töödeldavus kestma pikemat aega, et tema omadused säiliks pärast paigaldust. Põhjus võib peituda toote veevajaduses, kus selleks, et saavutada magistritöös soovitud 150 mm ± 10 mm, tuli muuta tootjapoolset veevajadust kas vähemaks või suuremaks, mis võis rikkuda toote

kasutusjuhendit. Sama võib öelda ka Weberi müürisegu kohta, kus tema konsistents kaob ka ruttu. Kasutades tootjapoolsest juhendist erinevat veevajadust, ei pruugi kuivsegu olevad lisandid hakata tööle ning tagada vajalikku konsistentsi kestust vajalikuks ajaks.

Võrreldes webervetonit 137 krohvisegu magistritöös valmistatud mörtidega, on tema konsistentsikadu täiesti erinev. Weberi krohvisegu konsistents kasvab esimese 1,5 h jooksul ning hakkab seejärel vähenema. Põhjus, miks webervetonit 137 krohvisegu konsistents ei kao, on seotud tema lisandite sisaldusega segus, kus on kasutatud kapillaarset veemavust vähendavat lisandit, mis hoiab vett segus ning ei lase tal kaduda.

Tabel 3.11 Ehitusturu mörtide töödeldavuse kadu

Aeg, min	Konsistents, mm				
	Weber M100	weberve tonit 137	Uninaks M100	Uninaks FKK	
0	145	144	148	145	
10	145		171	134	
20	139		173	130	
30	135		171	170	128
40	132		168	123	
50	132		161	124	
60	123		185	157	121
70			149		
80			145		
90			188		
100			143		
120			181		134
140			128		
150			173		
160			128		
180			171		

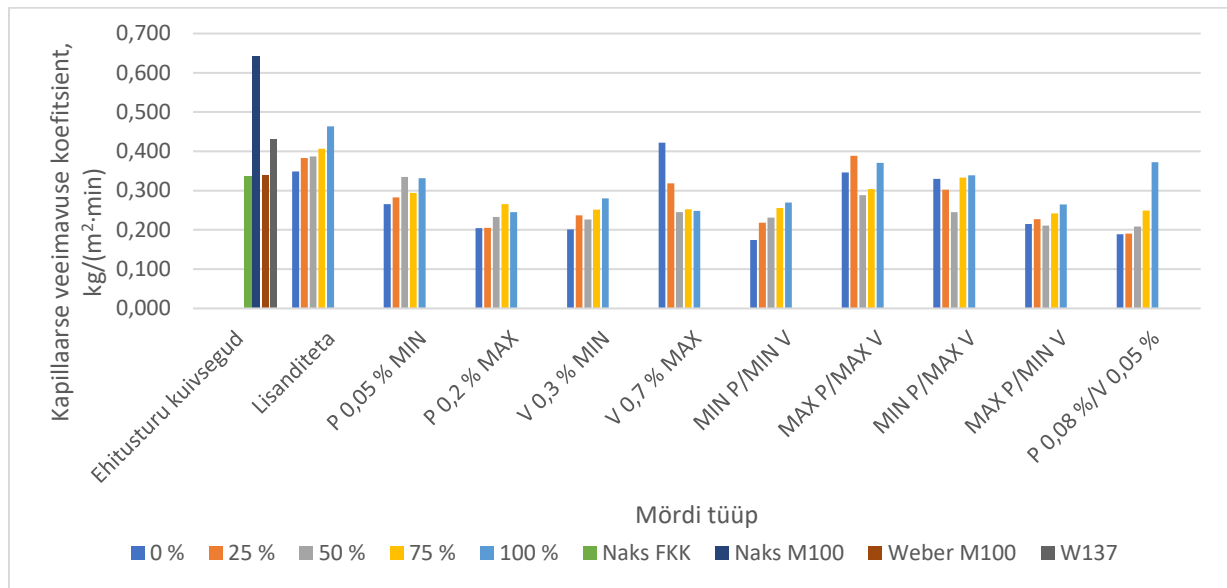
Jooniselt 3.19 peegeldub ehitusturul müüdava kuivsegu Uninaks M100 puhul nähtus, kus segu konsistents kasvab esimese 10 minutiga nagu täheldati seda joonise 3.13 puhul. Võrreldes tabeleid 3.10 ning 3.11 on näha, et nii Uninaksi müürisegul kui ka PSKL-iga tehtud segudel algselt kasvab konsistents, kuid ajapikku kaob. Sarnaselt käituvad Uninaksi müüriseguga 0 %, 25 % ning 50 % PSKL-i sisaldusega tehtud mördid, millele lisati 0,08 % plastifikaatorit ning 0,05 % veehoidvuse lisandit. Uninaksi müürisegu kaotab oma konsistentsi aeglaselt, mistõttu saab tööline müüri ladumisel valmistada korraga suurema koguse segu ette. Selline konsistentsikadu on müürimörtidele sobilik, sest valmis segatud mörti saab kauem kasutada.

Võib öelda, et seoses ehitusturul müüdavate kuivsegude veevajaduse erisusega tootjajuhistest, ei pruugi saadud tulemused kajastada toodete õiget konsistentsikadu. Siiski saab teha järeldused magistritööd võetud valguvuse 150 mm ± 10 mm alusel, kus kõigil segudel on sarnane algkonsistents.

3.6 Kivistunud mördi veeimavuse määramine

3.6.1 Kivistunud mördi veeimavus purustatud silikaatkivist liiva sisalduse kaupa

Kivistunud mördi kapillaarse veeimavuse koefitsientide (edaspidi veeimavuse) katsetulemused on välja toodud tabelis 3.12 ning joonisel 3.20. Katsete algandmed on leitavad lisast L2.6.



Joonis 3.20 Kivistunud mördide kapillaarsed veeimavuse koefitsiendid

Katsetulemustest järeldeb peatükis 3.3 mainitud asjaolu, et mida rohkem kasutatakse segus PSKL-i, seda suurem on ka mördi veeimavus. Suurema veeimavusega PSKL suurendab mördi veeimavust. Veeimavust lõplikul mördil suurendab ka PSKL-i suurte fraktsioonide tõttu tekkinud tühimikud segus. Sarnase tulemuseni jõudis ka Omur [10] oma uuringus, kus ta leidis, et nurgelisemad täitematerjali terad tekitavad segus rohkem tühimikke ning tõstavad kivistunud mördi veeimavust. Nagu PSKL-i suure veeimavuse puhul, oli ka Omuri uuringus [10] kasutatud räbudel suur veeimavus, mille tõttu suurenes ka lõpliku kivistunud mördi veeimavus.

Võrreldes ilma lisanditeta 0 % PSKL-i sisaldusega mördi 100 % PSKL-i sisaldusega mördiga, on nende veeimavuste erinevus pea 25 %. Sarnane erinevus on nähtav ka tabelist 3.10 teiste 0 % ning 100 % PSKL-i sisaldusega tehtud segude puhul, kus oli kasutatud lisandeid. Plastifikaatori koguse suurendamise puhul eelpool mainitud segudel, veeimavuste erinevus küll väheneb, aga on endiselt 16 % suurem 100 % PSKL-iga mördil kui 0 % PSKL-iga tehtud mördil.

Maksimaalse veehoidvuse lisandi kasutamisel selget trendijoont ei järeldu, seoses osade katsekehade ebaõnnestumisega, millest tuleb juttu ülejärgnevas lõigus. Ometi on näha, et trendijoon peegeldub minimaalse veehoidvuse lisandi kasutamisel, kus PSKL-i osakaalu suurendamine segus suurendab mördi veeimavust.

Oluliselt erineb veeimavus 0,08 % plastifikaatori ning 0,05 % veehoidvuse lisandi kasutamisel, kus veeimavuste erinevus ainult kvartsliiduga tehtud segul ning 100 % PSKL-iga tehtud segul on pea 50 %. Suur erinevus võib olla tingitud sellest, et 100 % PSKL-iga tehtud segu ei tihenenud vormis nii hästi ning katsekeha sisse jäi palju suuri avatud poore.

Jooniselt peegelduvad ka mõned anomaaliad, kus näiteks maksimaalse veehoidvuse lisandi kasutamisel 0% ning 25% PSKL-iga tehtud segus on mördi veeimavus kordades suurem kui 100% PSKL-iga segul. Sama võib öelda ka lisandite kombinatsioonidega MAX P/MAX V ning MIN P/MAX V-ga tehtud segudel. Selle põhjuseks on lisas L2.6 väljatoodud algandmetes ebaõnnestunud katsekehad (märgistatud lisas L2.6 tabelis L2.9 punasega värviga), kus mõned katsekehad olid kuivamise käigus kahanenud oma mahus ning pragunenud vormi pealmiselt küljelt (vt joonis 3.21 ning 3.22). Joonistel 3.21 on näha, kuidas katsekeha pealmine külg on sisse vajunud ning joonisel 3.22 on näha piki katsekeha jooksev mahukahanemispragu.

Pealmise külje muljumine võis olla põhjustatud segus olnud suurest õhu kogusest. Autor arvab, et tarduvas segus, mis ei olnud veel kivistunud, kollapseeerusid mullid segu keskel ning tulemuseks on joonisel 3.21 nähtav muljumispilt katsekeha keskel.



Joonis 3.21 0% PSKL-iga ning V 0,7 % MAX lisandiga tehtud katsekeha ristlõige [autori erakogu]

Mahukahanemine oli tekkinud nendel katsekehadel, kus oli kasutatud maksimaalses koguses veehoidvuse lisandit. Tulemuste saamiseks viidi katsed ikkagi läbi, et näha, kui palju mõjutab selliste pragude olemasolu mördi veeimavust. Saadud tulemustest võib

järeldada, et mahukahanemispragudega katsekehad imavad endasse rohkem vett, seoses katsekeha sees olevate suuremate avauste tõttu.



Joonis 3.22 0% PSKL-iga ning V 0,7 % MAX lisandiga tehtud katsekeha mahukahanemine [autori erakogu]

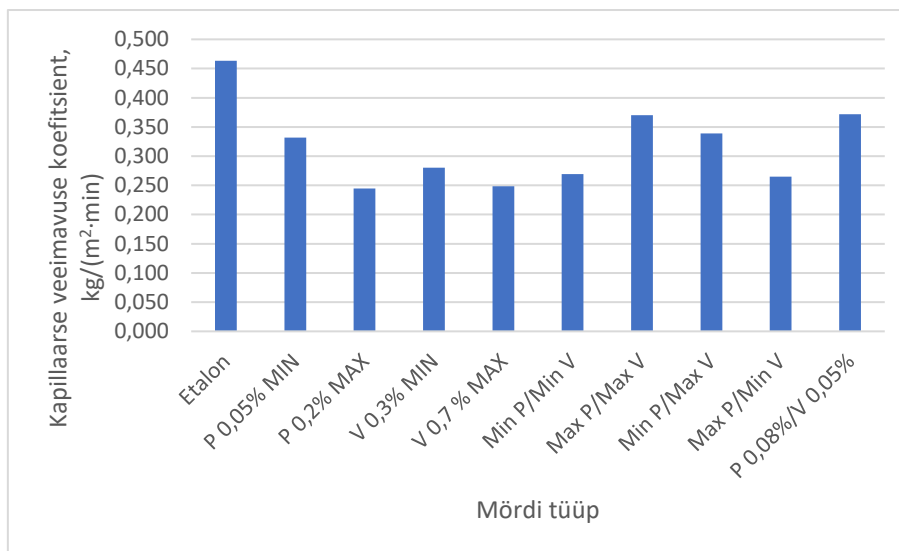
Jooniselt 3.20 ning lisast L2.6 tabelist L2.9 kajastub ka nähtus, kus ebaõnnestunud katsekehadeks olid kas 0 % või 25 % PSKL-iga tehtud segud. Mahukahanemine tekkis just vähese PSKL-i sisaldusega segudel maksimaalse veehoidvuse lisandiga. Pragunemise põhjust autor kahjuks välja tuua ei oska.

Tabel 3.12 Magistritöös katsetatud mörtide kapillaarsed veeimavuse koefitsiendid

Lisandid	PSKL-i kogus segus, %					Ehitusturu kuivsegud			
	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %	Naks FKK	Naks M100	Weber M100	W137
Ehitusturu kuivsegud						0,337	0,644	0,341	0,432
Lisanditeta	0,348	0,383	0,387	0,407	0,463				
P 0,05 % MIN	0,266	0,283	0,335	0,295	0,332				
P 0,2 % MAX	0,205	0,205	0,233	0,265	0,245				
V 0,3 % MIN	0,201	0,237	0,227	0,252	0,280				
V 0,7 % MAX	0,422	0,319	0,245	0,252	0,249				
MIN P/MIN V	0,175	0,218	0,232	0,256	0,269				
MAX P/MAX V	0,347	0,388	0,288	0,304	0,370				
MIN P/MAX V	0,330	0,302	0,245	0,333	0,339				
MAX P/MIN V	0,215	0,227	0,211	0,242	0,265				
P 0,08 %/V 0,05 %	0,189	0,191	0,209	0,249	0,372				

3.6.2 Kivistunud mördi veeimavus lisandite sisalduse kaupa

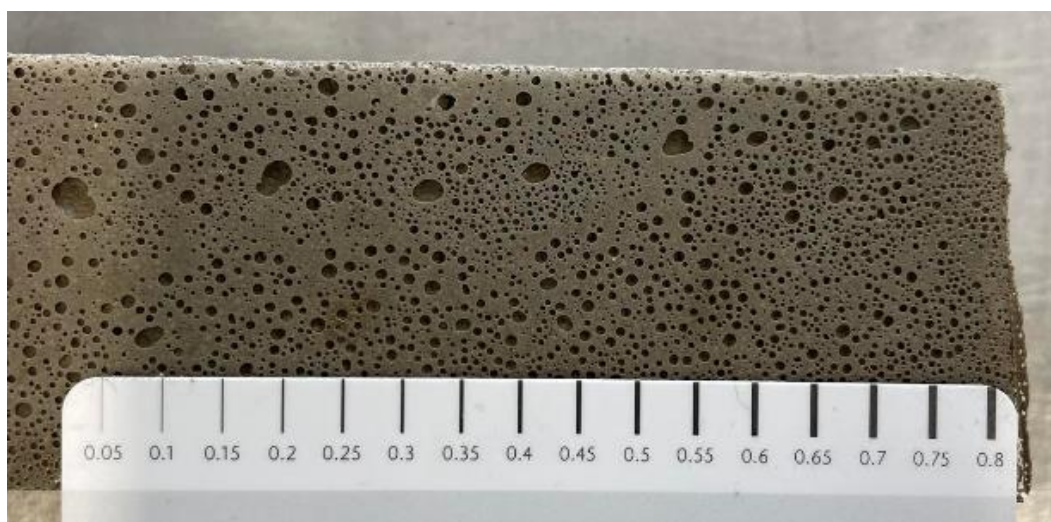
Joonisel 3.23 on välja toodud erinevate lisandite mõju mördile. Välja on toodud joonisel 100% PSKL-iga tehtud segude veeimavused. Teiste segude katseandmed on loetavad tabelist 3.12.



Joonis 3.23 100% PSKL-i sisaldusega tehtud mörtide kapillaarse veemavuse koefitsiendid

Võrreldes erinevate lisandite mõju veemavusele, näeme selget trendi plastifikaatori rakendamisel. Mida rohkem kasutatakse segus plastifikaatorit, seda väiksemaks muutub mördi veemavus. Seda põhjusel, et segust saab välja aurustuda vähem vett ning kivistunud mördi tekib vähem poore. Väiksem poorsus tekitab tihedama ning vähem vettimava mördi.

Veehoidvuse lisandi lisamisel segule oli näha, et segu on väga poorne (vt joonis 3.24). Veehoidvuse lisandiga tehtud segude veemavused ei ole suured. Segud, kus kasutati minimaalses koguses veehoidvuse lisandit käituvad sarnaselt maksimaalse plastifikaatoriga tehtud segudele. Lisandite MAX P/MIN V ning MIN P/MAX V kombinatsioonidel on näha küll üldiselt suurem veemavus, kuid endiselt väiksem väärtus, kui lisanditeta segudel.



Joonis 3.24 25 % PSKL-iga ning MIN P/MIN V lisanditega tehtud katsekeha poorsus [autori erakogu]

Katsekeha pinnal olevad nähtavad poorid on makropoorid ning need ei ole seotud katsekeha kapillaarpooridega, mille veeimavust katsetati. Katsekeha pinnal olevate pooride suurused ei kajastu joonisel 3.26 oleval katsekeha ristlõike pinnal. Sarnaseid poore ei tekkinud nii lisanditeta kui ka plastifikaatoriga tehtud mörtidele.

Veehoidvuse lisandist tingitud vee hulga suurenemine segus suurendas anumasse oleva segu mahtu, vähendas vormi mahtuva PSKL-i kogust ning vähendas üleüldist keha tihedust. Jooniselt 3.20 on näha trendijoon, kus vaatamata PSKL-i koguse vähenemisele vormi mahu kohta, kasvab veeimavus PSKL-i kogust suurendades, veehoidvuse lisandiga tehtud segudes.



Joonis 3.25 100 % PSKL-i sisaldusega ning MIN V lisandiga tehtud katsekeha [autori erakogu]

Joonis 3.26 75 % PSKL-i sisaldusega ning MAX P lisandiga tehtud katsekeha [autori erakogu]

Vaadates joonist 3.25 näeme me, et veehoidvuse lisandiga tehtud segu ristlõikes on PSKL-i terade hulk ristlõike kohta väike. Samas kui joonisel 3.26 tehtud plastifikaatoriga katsekehal on näha selgelt PSKL-i terade osalus segus. Ometi on nii maksimaalse plastifikaatori kui ka veehoidvuse lisandiga tehtud segude veeimavused sarnased.

Autor arvab, et veehoidvuse lisandiga tehtud katsekehade veeimavus on plastifikaatoriga tehtud katsekehade tulemustele sarnane seetõttu, et veehoidvuse lisand aitab tsemendi hüdratsiooniprotsessile kaasa. Veehoidvus segus aitab segul paremini kivineda ning tekitab vähem kapillaarpore. Seevastu plastifikaatorit kasutades kaob segust vesi kiiremini ära ning jätab endast maha rohkem kapillaarpore, mistõttu lõplik segu on küll tihedam, aga rohkem vett imav. Makropooride olemasolu veehoidvuse lisandiga tehtud segudel mõjutab ainult tema tihedust, aga mitte veeimavust.

3.6.3 Ehitusturu mörtide veeimavuse võrdlus purustatud silikaatkivi liivast tehtud mörtidega

Tabelis 3.13 ning joonisel 3.20 välja toodud ehitusturu mörtide veeimavused näitavad, et katsetatud toodetest on kõige suurema veeimavusega Uninaksi müüri segu ning krohvisegu webervetonit 137. Vaadates katsetatud toodete toimivusdeklaratsioone peegelduvad sealt järgnevad veeimavuste väärtused:

Tabel 3.13 Ehitusturu mörtide veeimavused

Kuivsegu	Magistritöös saadud tulemused, $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$	Deklareeritud väärtused, $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
Weber M100/600	0,34	0,2 [55]
webervetonit 137	0,43	0,2 [56]
Uninaks NAKS FKK	0,34	0,13 [57]
Uninaks M100	0,64	0,4-0,5 [58], [59]

Võrreldes saadud tulemusi toimivusdeklaratsiooni väärtustega näeme, et kõikide toodete deklareeritud väärtused on väiksemad, kui magistritöös saadud tulemused. Põhjuseks võib olla magistritöös kasutatud veevajaduste erinevus (vt tabel 3.8).

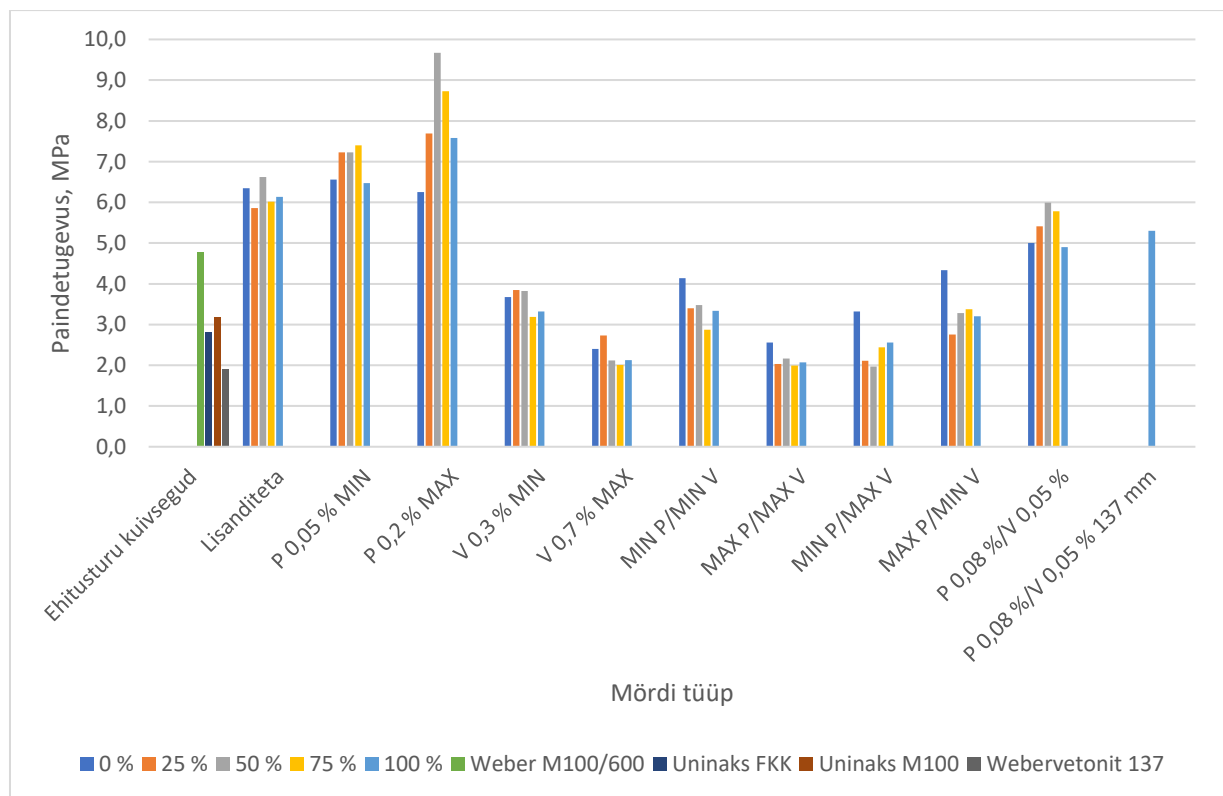
Võrreldes ehitusturu kuivsegu sid magistritöös katsetatud kuivsegudega näeme, et ilma lisandideta PSKL-iga tehtud segude veeimavused on sarnased ehitusturu kuivsegudele. 0 % PSKL-iga ning lisanditeta tehtud segu veeimavus sarnaneb NAKS FKK krohvisegule ning Weberi müüri segule seetõttu, et mõlemas on kasutusel valdavalt kvartsiliiiv. Weberi krohvisegu suurem veeimavus võrreldes magistritöös katsetatud teiste ehitusturu kuivsegudega on tingitud sellest, et tema veevajadus töödeldavuse tagamiseks oli suur, mis tekitas lõpliku kivilinenud katsekehase palju kapillaarpoore.

Uninaksi müüri segul on kõikidest katsetest kõige suurem veeimavus. Vaadates segu veevajadust tabelis 3.8 ilmneb erinevus tootjajuhistega. Magistritöös on kasutatud suuremat veevajadust, mis tähendab, et suur veeimavus katsekehadel võis olla põhjustatud katsekeha poorsusest või mördi halvast tihendamisest katsetamise käigus.

Üldjoones on PSKL-iga tehtud segude veeimavused, millele on lisatud erinevaid lisandeid ning nende kombinatsioone, väiksemad kui ehitusturul müüdatavate kuivsegude veeimavused.

3.7 Kivistunud mördi painde- ja survetugevuse määramine

Kivistunud mördi painde- ning survetugevuse tulemused on välja toodud joonisel 3.27 ning 3.29. Tabelist 3.15 ning 3.16 on võimalik lugeda arvuliselt kõikide katsete tulemusi. Katsete algandmed on leitavad lisast L2.7.



Joonis 3.27 Kivistunud mörtide paindetugevused

Jooniselt 3.27 on näha lisandite mõju mördi paindetugevusele. Mida rohkem kasutatakse segus plastifikaatorit, seda suurem on mörtide paindetugevus. Kasutades veehoidvuse lisandeid, paindetugevus väheneb – mida suuremas koguses teda kasutatakse, seda väiksem on paindetugevus. Plastifikaatori puhul tuleb lõplik segu tihedam ja tugevam, sest veevajadus on väiksem ning veehoidvuse lisandi kasutamisel tuleb lõplik segu poorem ning nõrgem, sest veevajadus segul on suurenenud.

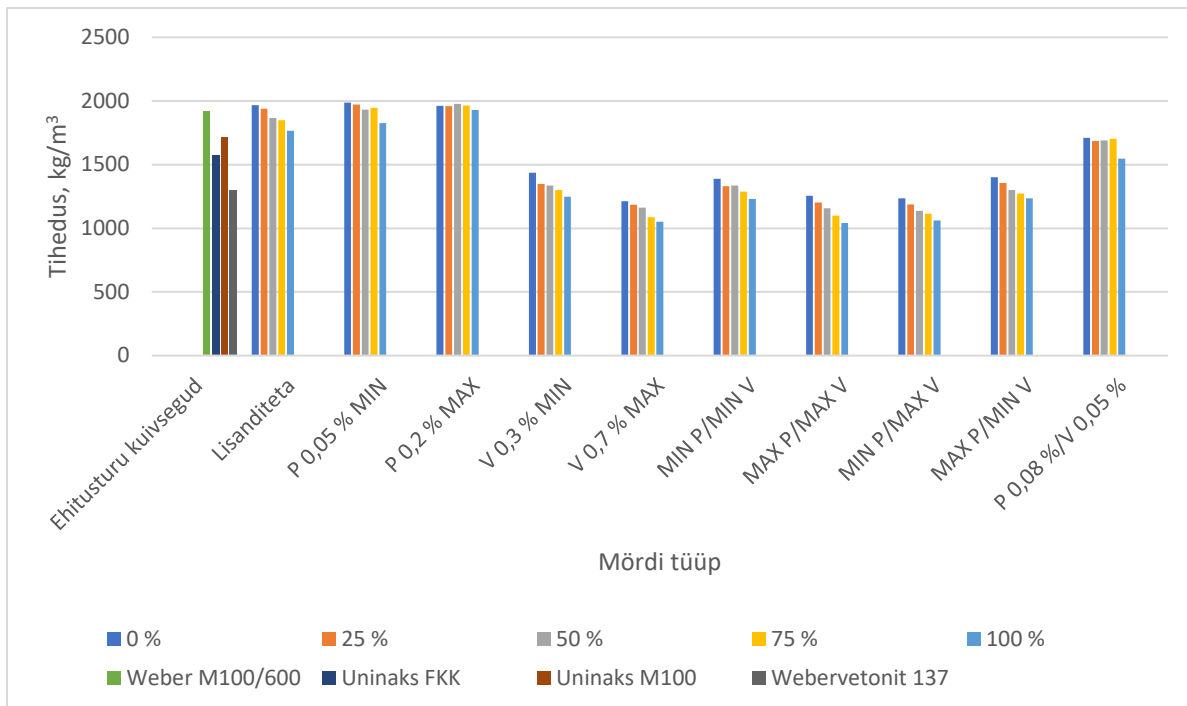
Lisandite kombinatsioonide mõju mördi paindetugevusele suurt mõju ei avalda, kui võrrelda kombinatsioone ainult veehoidvuse lisandiga. Alapeatükis 3.4.3 mainitud lisandite kombinatsiooni vähene toimivus on nähtav minimaalse veehoidvuse lisandiga segu paindetugevuse sarnasusega segudele, kus kasutati lisandite kombinatsioone MIN P/MIN V ning MAX P/ MIN V. Sarnaselt eelnevale annab aimu ka V 0,7 % MAX segu sarnasus segudele, milles kasutati kombinatsioone MAX P/MAX V ning MIN P/MAX V.

Võrreldes segusid PSKL-i sisalduse alusel, on näha paindetugevuse joonisel 3.27 trendijoon segudele, milles ei kasutatud lisandite kombinatsioone. Kombineerimata lisanditega segud kasvavad oma paindetugevusele kuni 50 % PSKL-i sisaldusega segudeni ning vähenevad seejärel oma tugevuses. Sama on näha ka 0,08 % plastifikaatori ning 0,05 % veehoidvuse lisandi kasutamisel.

Trendijoonest lähtuvalt võib eeldada, et 50 % PSKL-i sisaldusega täitematerjali terastikuline koostis (vt peatükk 3.1 joonis 3.7) on kõige sobilikum, täitmaks ära tühimikud segus ning moodustades kõige tihedama segu. Ometi näitab joonis 3.28 ning tabel 3.14, et kõige tihedamad segud on just 0 % PSKL-iga tehtud segud. See läheb vastuollu eelneva eeldusega, et 50 % PSKL täidab ära kõik tühimikud segus ning moodustab kõige tihedama segu.

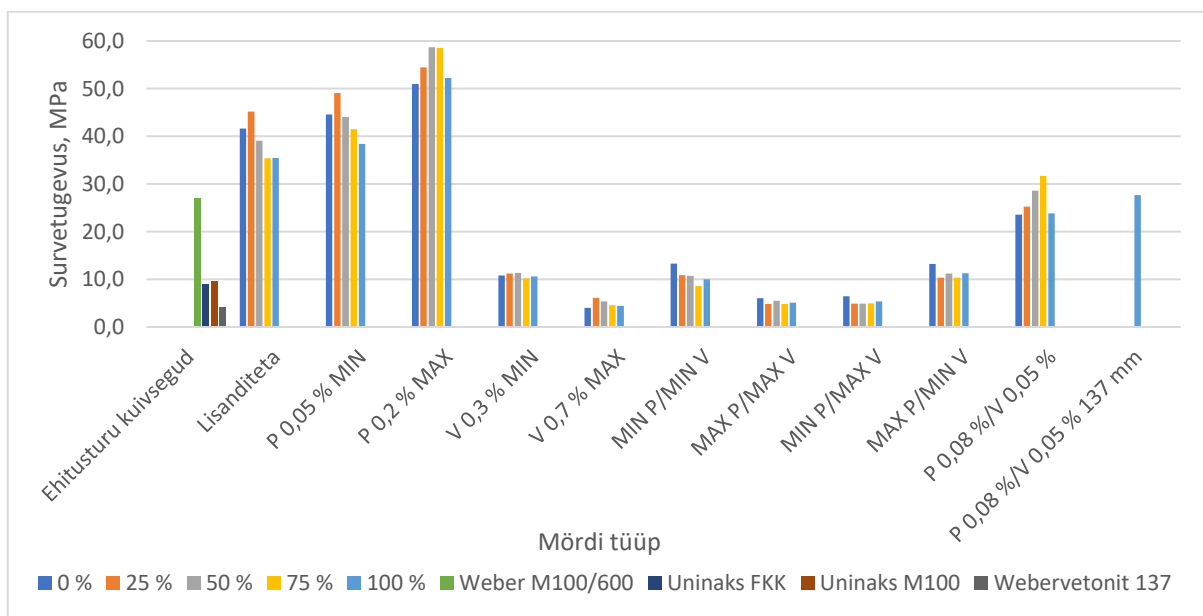
Tabel 3.14 Katsetatud kivistunud mörtide tihedused

Lisandid	PSKL-i kogus segus, %					Ehitusturu kuivsegud			
	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %	Weber M100/600	Uninaks FKK	Uninaks M100	Webervetonit 137
Ehitusturu kuivsegud						1921	1571	1716	1297
Lisanditeta	1967	1940	1867	1850	1765				
P 0,05 % MIN	1986	1972	1933	1948	1827				
P 0,2 % MAX	1962	1958	1978	1965	1929				
V 0,3 % MIN	1436	1347	1335	1301	1248				
V 0,7 % MAX	1212	1184	1163	1087	1053				
MIN P/MIN V	1390	1331	1335	1287	1231				
MAX P/MAX V	1256	1204	1158	1100	1040				
MIN P/MAX V	1234	1188	1137	1115	1061				
MAX P/MIN V	1401	1356	1301	1273	1236				
P 0,08 %/V 0,05 %	1711	1685	1691	1702	1548				



Joonis 3.28 Kivistunud mörtide tihedused

Põhjus, miks 50 % PSKL-i kasutamisel on paindetugevuse trend kõige parem, võib peituda osakeste omavahelises pakkimises ning nakkes, kus osakesed käituvad paindele terviklikumalt kui 100 % või 0 % PSKL-i kasutades.



Joonis 3.29 Kivistunud mörtide survetugevused

Joonis 3.29 järgib sarnaselt joonise 3.27 trendijooni mõne erisusega. Vaadates joonist lisandite alusel on survetugevuse tulemused paindetugevuse tulemusi jäljendavad.

Plastifikaatoriga tehtud segude survetugevus kasvab ning veehoidvuse lisandiga tehtud segude survetugevus väheneb.

Täheldada võib joonisel 3.29 asjaolu, kus PSKL-i sisalduse suurenemisega väheneb katsekehade survetugevus. Seda on näha nii plastifikaatoritega segudel, veehoidvuse lisandiga segudel ning ka lisandite kombinatsioonidega tehtud segudel. Ainukene segu, kus survetugevus kasvab PSKL-i sisalduse suurendamisel on segu, kus kasutati 0,08 % plastifikaatorit ning 0,05 % veehoidvuse lisandit. Ka seal väheneb lõpuks 100 % PSKL-i kasutamisel survetugevus. Omuri uuringus [10] peegeldus sarnane nähtus, kus poorse täitematerjali koguse suurendamisel segus, vähenes kivistunud mördi survetugevus.

Võrreldes TalTechi rakendusuuringu [1] saadud kleepesegu survetugevust (kasutati 45 % PSKL-i ning fraktsiooni 0/2 mm + 0,02 % plastifikaatorit ning 0,05 % veehoidvuse lisandit) käesoleva magistritööle sarnase segu (50 % PSKL-i + 0,08 % plastifikaatorit ning 0,05 % veehoidvuse lisandit) survetugevusega on näha survetugevuse sarnane suurusjärk – TalTechi uuringu segul 22,5 MPa ning käesoleva magistritöö segul 28,6 MPa. Erinevused võivad olla tingitud veevajadusest, lisandite kogusest ning terastikulisest koostisest, kus TalTechi uuringu segul oli väiksem fraktsioon.

Lisaks võib survetugevuse tulemuste juures täheldada ka plastifikaatori vähest mõju olukordades, kus kasutati teda kombinatsioonis minimaalses koguses veehoidvuse lisandiga. Nii maksimaalse kui minimaalse plastifikaatori kasutamisel koos veehoidvuse lisandiga on näha, et saadud survetugevused on vähesel määral suuremad, kuid mitte väga. Üleüldine survetugevuse trendijoon järgib joonise 3.28 trendijoont, kus survetugevus on kooskõlas tihedusega.

Võrreldes ehitusturul müüdavate mörtide painde ning survetugevusi on näha, et magistritöös valmistatud PSKL-i sisaldusega segud on oma survetugevuselt mitmekordselt suuremad. Suuremad on nad seetõttu, et nendes on tsemendi sisaldus üledimensioneeritud. Ehitusturu kuivsegudel on tsemendi sisaldus kuivsegus optimaliseeritud. Uninaksi müüri segu on oma deklareeritud survetugevuse väärtusele [58] väga lähedal. Arvatavasti on segu survetugevus suurem, sest magistritöös kasutati suuremat veevajadust, mis vähendas lõpliku keha tihedust. Weberi M100 müüri segu survetugevus on kordades suurem kui tema deklareeritud väärtus [55]. Krohvisegudele survetugevust deklareeritud pole.

Tabel 3.15 Katsetatud kivistunud mörtide paindetugevused

Lisandid	PSKL-i kogus segus, %					Ehitusturu kuivsegud			
	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %	Weber M100/600	Uninak s FKK	Uninak s M100	Webervet onit 137
Ehitusturu kuivsegud						4,8	2,8	3,2	1,9
Lisanditeta	6,3	5,9	6,6	6,0	6,1				
P 0,05 % MIN	6,6	7,2	7,2	7,4	6,5				
P 0,2 % MAX	6,3	7,7	9,7	8,7	7,6				
V 0,3 % MIN	3,7	3,8	3,8	3,2	3,3				
V 0,7 % MAX	2,4	2,7	2,1	2,0	2,1				
MIN P/MIN V	4,1	3,4	3,5	2,9	3,3				
MAX P/MAX V	2,6	2,0	2,2	2,0	2,1				
MIN P/MAX V	3,3	2,1	2,0	2,4	2,6				
MAX P/MIN V	4,3	2,8	3,3	3,4	3,2				
P 0,08 %/V 0,05 %	5,0	5,4	6,0	5,8	4,9				
P 0,08 %/V 0,05 % 137 mm					5,3				

Tabel 3.16 Katsetatud kivistunud mörtide survetugevused

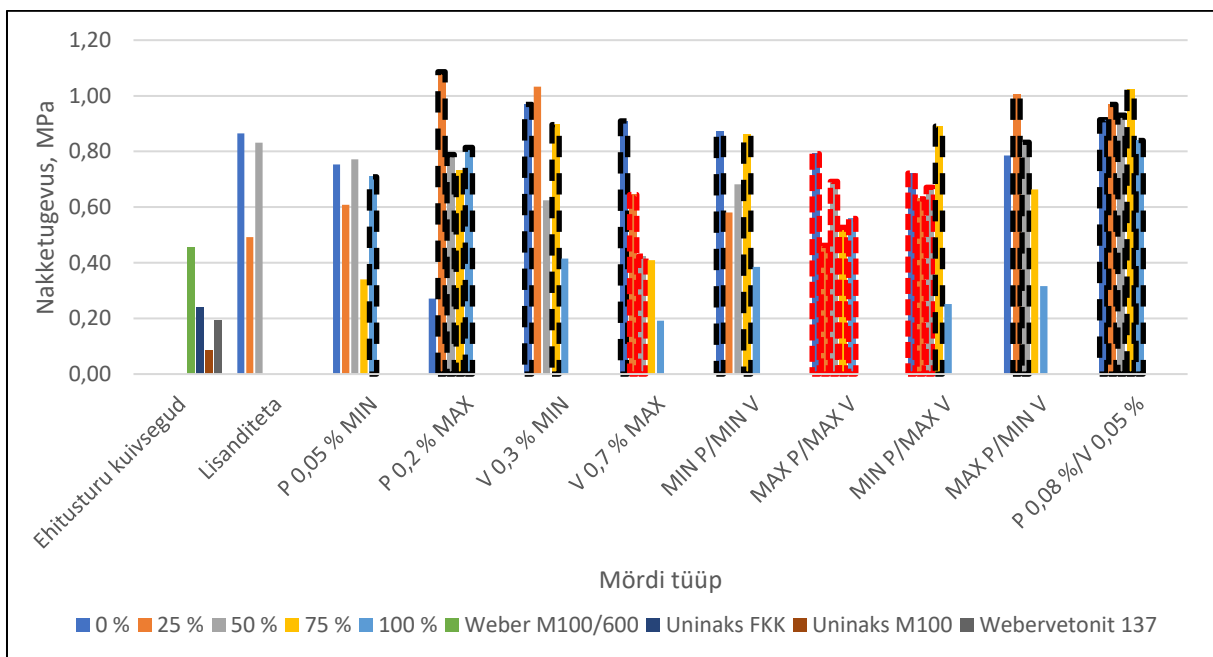
Lisandid	PSKL-i kogus segus, %					Ehitusturu kuivsegud			
	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %	Weber M100/600	Uninak s FKK	Uninak s M100	Webervet onit 137
Ehitusturu kuivsegud						26,9	9,0	9,5	4,1
Lisanditeta	41,7	45,2	39,1	35,4	35,4				
P 0,05 % MIN	44,6	49,1	44,0	41,5	38,4				
P 0,2 % MAX	51,0	54,5	58,7	58,6	52,2				
V 0,3 % MIN	10,8	11,2	11,3	10,2	10,6				
V 0,7 % MAX	4,0	6,1	5,4	4,6	4,5				
MIN P/MIN V	13,3	10,9	10,8	8,6	10,0				
MAX P/MAX V	6,0	4,8	5,5	4,9	5,1				
MIN P/MAX V	6,5	4,9	4,9	5,0	5,4				
MAX P/MIN V	13,2	10,4	11,2	10,3	11,3				
P 0,08 %/V 0,05 %	23,6	25,3	28,6	31,7	23,9				
P 0,08 %/V 0,05 % 137 mm					27,7				

3.8 Kivistunud mördi nakketugevuse määramine

Kivistunud mördi nakketugevuste tulemused on välja toodud tabelis 3.17 ning joonisel 3.30. Katsete algandmed on leitavad lisast L2.6 tabelist L2.10 (veeimavuse katsekehad tehti koos nakketugevuse katsekehadega) ning lisast L2.8.

Tabel 3.17 Katsetatud mörtide nakketugevused, MPa

Lisandid	PSKL-i kogus segus, %									Ehitusturu kuivsegud								
	0 %	PP	25 %	PP	50 %	PP	75 %	PP	100 %	PP	Weber M100/600	PP	Uninaks FKK	PP	Uninaks M100	PP	Weberbetonit 137	PP
Ehitusturu kuivsegud										0,46	A	0,24	A	-	-	0,19	A	
Lisanditeta	0,86	A	0,49	A	0,83	A	-	-	-	-								
P 0,05 % MIN	0,75	A	0,61	A	0,77	A	0,34	A	0,71	C								
P 0,2 % MAX	0,27	A	1,09	C	0,79	C	0,73	C	0,81	C								
V 0,3 % MIN	0,97	C	1,03	A	0,62	A	0,90	C	0,42	A	PP	lühend sõnale purunemispilt						
V 0,7 % MAX	0,91	C	0,65	B	0,42	B	0,41	A	0,19	A								
MIN P/MIN V	0,87	C	0,58	A	0,68	A	0,86	C	0,39	A								
MAX P/MAX V	0,79	B	0,46	B	0,69	B	0,53	B	0,56	B								
MIN P/MAX V	0,72	B	0,63	B	0,67	B	0,89	C	0,25	A								
MAX P/MIN V	0,79	A	1,01	C	0,83	C	0,66	A	0,32	A								
P 0,08 %/V 0,05 %	0,91	C	0,97	C	0,93	C	1,02	C	0,84	C								



Joonis 3.30 Kivistunud mörtide nakketugevused

Joonisel 3.30 on tähistatud musta punktiirjoonega purunemispilt C, punase punktiirjoonega purunemispilt B ning ilma punktiirjooneta purunemispilt A. Joonisel on segud liigitatud lisandite alusel ning liiguvad tulpdiagrammidena vasakult paremale PSKL-i suurenemise järjekorras.

Vaadates tabelit 3.17 on näha, et 23 katsekeha tuli lahti aluspinna küljest (purunemispilt A), 10 katsekehal tuli mört lahti iseenda küljest (purunemispilt B) ning 18 katsekehal tuli aluspind iseenda küljest lahti (purunemispilt C). See tähendab, et mördi nakketugevus on leitud 23-le katsekehale ning ülejäänud 28-le katsekehale on leitud nakketugevuse madalam piirväärtus. Tabelist 3.17 ning lisast L2.8 tabelist L2.14 on nähtavad ka ebaõnnestunud katsed.

Vaadates tabelist 3.17 katseid, kus purunes aluspind, on näha, et aluspinnaks võetud Silroci silikaattellise enda nakketugevus jääb vahemikku 0,65-1,09 MPa. See on pea 4-7 korda rohkem kui Silroci toimivusdeklaratsioonil deklareeritud 0,15 MPa [47]. Siiski ei olnud katsetatav aluspind piisavalt tugev, et määrata mörtide tegelikke nakketugevusi. Tulevikus tuleks võtta segudele tugevam aluspind, et vähendada nakketugevuste madalamate piirväärtuste tulemusi.

3.8.1 Nakketugevuste võrdlus purustatud silikaatkivist liiva sisalduse alusel

Vaadates joonist 3.30, peegeldub vähesel määral trendijoon, et PSKL-i koguse suurendamisega segus väheneb segu nakketugevus. Trendijoont on näha erinevatel lisanditega tehtud segudel, kus 50 %, 75 % ning 100 % PSKL-i sisaldusega tehtud segudel nakke tugevus langeb – näiteks V 0,7 % MAX lisandiga tehtud segu. Üldiselt on näha, et 100 % PSKL-i sisaldusega tehtud katsekehad on kordades nõrgema nakketugevusega kui vähesema PSKL-i sisaldusega tehtud katsekehad. Sarnase tulemuseni jõudis oma uuringus ka Neno [8], kes leidis, et purustatud betooni koguse suurendamisel segus, väheneb kivinenud mördi nakketugevus.

Võrreldes TalTechi rakendusuurings [1] saadud kleepesegu nakketugevust (kasutati 45 % PSKL-i ning fraktsiooni 0/2 mm + 0,02 % plastifikaatorit ning 0,05 % veehoidvuse lisandit) käesoleva magistritööle sarnase seguga (50 % PSKL-i + 0,08 % plastifikaatorit ning 0,05 % veehoidvuse lisandit) on näha nakketugevuse suuruste sarnasust. TalTechi uurings saadi nakketugevuseks 1,38 MPa ning segu purunemispilt oli B. Magistritöös saadi nakketugevuseks 0,93 MPa ning segu purunemispilt oli C. Kui aluspind oleks magistritöös olnud suurema nakketugevusega, oleks saadud tulemused võrreldavamad.

Põhjus, miks PSKL-i sisaldust suurendades nake väheneb on seetõttu, et segu terastikulisse koostisesse lisandub suuremaid PSKL-i teri, mis ei nakku hästi aluspinnaga. Hea nakke saavutamiseks aluspinnaga on vaja peeneteralist täitematerjali, mis suudaks end jaotada aluspinnale laiali selliselt, et kontaktpind mördi terade ja aluspinna vahel oleks maksimaalne. Mida vähem tühimikke jääb kontaktpinda, seda parem on nake aluspinna ning mördi vahel.

Eelnevalt kajastatud põhjus hea nakke saavutamiseks kajastub ka jooniselt 3.30, kus on näha, et 0 % ning 25 % PSKL-i sisaldusega segude nakketugevused on suuremad, kui suurema PSKL-i sisaldusega segudel. Mõlemal katsetatud segu tüübil saadi kõikidest katsetatud variatsioonidest 6 madalamat piirväärtust nakketugevusele.

Märkimisväärne on 75 % PSKL-iga tehtud katsekehade nakketugevus, kus kuuel katsekehal on nakketugevus madalama piirväärtusega. Jooniselt on näha, et 75 % PSKL-iga tehtud segude nakketugevus on väga suur vaatamata lisandi sisaldusele. Sama võib väita ka 0 % PSKL-iga tehtud segude kohta. Esimeseks põhjuseks, miks eelnevalt mainitud segude nakketugevused võivad olla mistahes lisandiga tehtud segudes kõrged võib peituda nende terastikulises koostises, kus osakesed jaotavad ennast maksimaalselt aluspinnale. Teiseks põhjuseks võib olla PSKL-i terade väiksem tühiklikus aluspinna ning PSKL-i terade vahel, mis tähendab suuremat nakketugevust.

Tabelis 3.18 on välja toodud magistritöös saadud nakketugevused ning ehitusturul müüdavate kuivsegude tootjate poolt deklareeritud väärtused. Kahjuks ei olnud Weberi müürisegule ning Uninaksi müürisegule nakketugevust deklareeritud.

Tabel 3.18 Ehitusturu mörtide nakketugevuste võrdlus

Kuivsegu tüüp	Nakketugevus, MPa	
	Magistritöö väärtused	Deklareeritud väärtused
Weber M100/600	0,46	-
Uninaks FKK	0,24	0,5 [57]
Uninaks M100	0,09	-
Webervetonit 137	0,19	0,5 [56]

Tabelist kajastub, et magistritöös saadud krohvisegude nakketugevus on kordades madalam kui deklareeritud väärtus. Autor arvab, et see võib olla peatükis 3.6 mainitud põhjusest, et magistritöös kasutati teisi segu veevajadusi. Teistsugune veevajadus muutis segu toimivust nendes tingimustes, kus viidi läbi katsed deklareeritud väärtuse saamiseks. Lisaks sellele teostati magistritöö nakketugevuse katsed suure veeimavusega silikaatkivi peal. Kahjuks ei ole teada, millise aluspinna pealt määrasid tootjad toodete nakketugevuse väärtused.

Üldjoones on näha, et kõik segud tulid aluspinna küljest lahti (purunemispilt A) ning on kõik nõrgemad kui PSKL-iga tehtud segude nakketugevused. Kõige paremini konkureerib magistritöö segudega Weberi M100 müürisegu. Autor arvab, et see võib olla seotud peatükis 3.2 kajastatud Weberi müürisegu kõige suurema puistetihedusega, kus osakesed jaotavad ennast nii aluspinnal, kui ka segus sees selliselt, et tühimikke jääb segusse ning aluspinnale kõige vähem. PSKL-iga tehtud segude suurem nakketugevus võib olla põhjustatud magistritöö segude tsemendi üledimensioneeringust. Mida rohkem on sideainet segus, seda parem nakketugevus saavutatakse.

Ehitusturul müüdavate toodete tsemendi kogust täitematerjalide kohta on muudetud selliselt, et tema kasutamine oleks majanduslikult efektiivne, sest tsement on kõige kallim osa kuivsegust. Samuti on arvestatud ehitusturul müüdavate toodete tsemendi kogust selliselt, et ta suudaks ära katta minimaalselt kõik kuivsegus olevad terad.

3.8.2 Nakketugevuse võrdlus lisandite alusel

Võrreldes jooniselt 3.30 nakketugevusi lisandite alusel on näha, et plastifikaatori maksimaalsel lisamisel kõikide segude nakketugevused kasvavad. Plastifikaatorit lisades muutub ka purunemispilt. Ilma lisanditeta segudes ning plastifikaatori minimaalsel kogusel oli purunemispildiks adhesiivne purunemine, peale plastifikaatorit lisades on purunemispildiks kohesiivne purunemine alusmaterjali sees. Põhjus, miks plastifikaatorit lisades nakketugevused suurenevad on seetõttu, et plastifikaatorit kasutades suureneb tsementkivi tugevus ning seetõttu ka nakketugevus.

Lisades veehoidvuse lisandit näeme, et enamuse segude nakketugevused vähenevad. See võib olla põhjustatud veehoidvuse lisandi toimest, hoida mördis vett, mis ei lase imbuda veel alusmaterjali sisse. See takistab omakorda ka tsemendi imbumist alusmaterjali sisse ning nake halveneb. Kasutades veehoidvuse lisandi minimaalset kogust on nakketugevused võrreldavad plastifikaatori maksimaalse koguse juures, kuid purunemispildid on valdaval enamusel adhesiivsed. Veehoidvuse lisandi maksimaalsel kasutamisel peegeldub samuti nakketugevuste vähenemine ning purunemispiltide muutumine.

Lisandite kombinatsioonil muutub purunemispilt kohesiivseks ning purunemine toimub mördis sees. Määravaks saab segu tõmbetugevus, mitte nakketugevus. MAX P/MAX V lisandite kombinatsiooni kasutamisel on kõikide segude purunemise pildiks kohesiivne purunemine mördis sees. Sarnaselt sellele on ka MIN P/MAX V purunemispildiks kohesiivne purunemine mördis. Põhjus, miks mört tuleb iseenda küljest lahti eelnevalt mainitud lisandite kombinatsioonil on seletatav läbi eelmiste peatükkide saadud tulemuste. Mainitud segud on väga suurte makropooridega, mistõttu on nad ka sisemiselt struktuurilt nõrgad. Nakke katsetamisel ei suuda mört iseendaga hoida piisavat naket ning puruneb.

Kõige suuremad tulemused on saavutatud P 0,08 %/V 0,05 % lisandite kogusega tehtud segudel, kus kõikide segude purunemispilt on kohesiivne purunemine alusmaterjalis ehk saavutatud on mörtide nakketugevuste madalam piirväärtus. Täheleb, et nende segude tegelik nake on suurem, kui saadud tulemused. Märkimisväärne on ka kõikide segude nakketugevuse sarnasus, kus ükski saadud tulemus ei ole üksteisest suuremal määral erinev. 100 % PSKL-iga tehtud segul on siiski näha nõrgemat naket, aga seda eelnevalt

mainitud põhjusel, et PSKL-i terastikulises koostises on palju suure mõõduga terasid, mis vähendavad naket aluspinnaga.

JÄRELDUSED

- 1) Lõugpurustist saadud ning fraktsioneeritud PSKL-i terastikuline koostis ei ole stabiilselt homogeenne ning segregeerub 20 liitristesse anumatesse talletamisel;
- 2) Mida suuremas osas asendatakse kuivsegudes kasutatud traditsioonilist täitematerjali PSKL-iga, seda väiksemaks tema puistetihedus kujuneb. Puistetihedus väheneb seetõttu, et PSKL-i terastikulisel koostisel on palju suure mõõdulisi teri, mis jätavad kuivsegus üksteise vahele palju tühimikke;
- 3) PSKL-i veeimavus on kuivsegudes kasutatavast kvartsiivast mitukümmend korda suurem. See tähendab, et mida rohkem asendada kvartsiivaga PSKL-iga, seda suurem veeimavus on lõplikul kivilinenud segul. PSKL-i suur veeimavus vähendab üldist vesikuivainetegurit ning imab segus oleva vaba vee endasse, mis vähendab töödeldavust;
- 4) Mida rohkem kasutatakse segus PSKL-i, seda suurem on tema veevajadus, et tagada soovitud töödeldavus;
- 5) Lisanditeta PSKL-ist valmistatud mörtide konsistentsi kadu on kiirem, mida rohkem segus kasutada PSKL-i. PSKL-i osakaalu suurendamisega, suurendatakse vettimavate osakeste olemasolu segus, mistõttu segu seistes imendub vaba vesi PSKL-i terade sisse ning segu töödeldavus väheneb;
- 6) PSKL-i koguse suurendamisega segus suureneb ka lõpliku kivilinenud mördi veeimavus. Kivilinenud mördi veeimavuse suurenemine on tingitud PSKL-i suure veeimavuse ning PSKL-i terastikulise koostise tõttu. PSKL-i terastikulisel koostisel on esindatud fraktsioonid 0,5-4 mm suuremal määral kui kvartsiival ning seetõttu jätavad nad lõplikku kivilinenud mördi rohkem tühimikke, kuhu vesi saab minna;
- 7) PSKL-iga tehtud katsekehade paindetugevus suureneb kuni 50 % PSKL-i kasutamiseni ning väheneb PSKL-i koguse suurendamisel kuni 100 %-ni. See võib olla põhjustatud 50 % PSKL-i terastikulisest koostisest, kus osakesed moodustavad ühtse skeleti ning kivistunud segu töötab paindele terviklikuna;
- 8) Mida rohkem kasutatakse segus PSKL-i, seda väiksem on kivistunud mördi survetugevus. Survetugevuse vähenemine on põhjustatud PSKL-i terade enda tihedusest ning PSKL-i terastikulisest koostisest, kus suuremad PSKL-i osakesed jätavad segusse tühimikke ning teevad segu poorsemaks ning nõrgemaks;
- 9) Suurendades PSKL-i kogust segus, väheneb mördi nakketugevus. Nakketugevus väheneb seoses PSKL-i väikese puistetiheduse ning terastikulisel koostisel olevate suuremõõduliste terade arvelt. Suured terad ei saavuta piisavat kontaktpinda aluspinnaga, mis vähendab mördi üldist nakketugevust.

SUMMARY

This master's thesis (from now on thesis) presents the influence of aggregate made from silicate masonry units to mortar characteristics. The idea for this thesis came from 2022 TalTech's applied research [1] where it was studied if it was possible to take different construction materials from an empty apartment that was scheduled for demolition and use those materials again for different or same purpose.

In the applied research it was found that using crushed silicate masonry units in mortars can produce mixtures that are comparable with dry mixture products found on the construction market. From that research the idea for this thesis was founded and a plan for different experiments was put in place. The experiments were conducted in TalTech's Construction Material laboratory.

The experiments consisted of replacing traditional sand in mortars with crushed silicate bricks (from now on CSB) in ratios of 0 %, 25 %, 50 %, 75 % and 100 %. The silicate masonry units were obtained from AS Kunda Nordic cement factory's old silo that had been demolished in late summer of 2022. After obtaining the masonry units, they were crushed using a jaw crusher and screened to particle size 0/4 mm. The screened aggregates were homogenized for more even distribution of particles in the container. The traditional sand used in the thesis was Männiku quarries I and II mixed sand.

At first dry mixtures with cement were mixed using different ratios of CSB. After that different additives were added where necessary. Additives that were used in the mortars were powdered superplasticizer and powdered water retention additive.

The experiments done in this thesis were: particle size distribution (by sieve analysis), loose bulk density, CSB water absorption, water demand of a fresh mortar, loss of consistensy of a fresh mortar in time, water absorption of hardened mortar, flexural and compressive strength of hardened mortar, adhesive strength of hardened mortar.

It was found that the particle size distribution for CSB is much more filled with larger particles than traditional sand. Also the particle size distribution is different in different parts of the container and can significantly affect the water demand of a fresh mortar for the same ratio of CSB used.

Furthermore it was seen that the loose bulk density of a CSB is lower the more CSB is used in a dry mixture. Reason being that the larger particles of CSB create voids and are much less dense than traditional sand, which makes the mass to volume ratio lower.

Another finding showed that the water absorption of CSB is greatly higher than traditional sand used in mortars. This means that the water demand of a fresh mortar where CSB is used is much higher than those where traditional sand is used. The large water absorption of CSB also affects the workability of the mortar.

The water absorption of a hardened mortar made with CSB is also higher the more you use CSB in the mixture. CSB has more larger particles between 0,5-4 mm than traditional sand used in mortars, which creates voids in the hardened body and increases the water absorption of the body.

It was found that the flexural strength of a hardened mortar made with CSB increases till 50 % of CSB usage. After that the flexural strength decreases the more you use CSB in the mixture. The increase in flexural strength might be caused by the particle size distribution of the aggregate, where particles form a more united skeleton that behaves better under flexural loading conditions.

Penultimately it was observed that the more CSB is used in the mixture, the less is the compressive strength of the hardened mortar. The decrease in compressive strength of the mortar when replacing traditional sand with CSB is because of the particle size distribution of CSB. Like it was said before, larger particles in CSB create more voids, which create a weaker hardened mortar. Moreover, the particles of CSB are less dense than traditional sand, which also decreases the compressive strength of the final hardened mortar.

Lastly it was seen that adding more CSB to the mixture of the mortar, decreases the adhesive strength of the mortar. The adhesive strength decreases because of the small loose bulk density of the CSB aggregate and the existence of large particles in the CSB particle size distribution. Large particles don't achieve great contact with the surface of the base, where mortar is applied. That decreases the overall adhesive strength of the hardened mixture.

All in all, it can be said that using CSB in dry mortar mixtures as a traditional sand replacement is possible but needs more research. The hardened mixtures would need many other physical experiments done like cold resistance, stickiness, 24 h water absorption and many more. In the future it would also be crucial to see how much cement can be reduced in the overall dry mixture, to make it more economically efficient.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] S. Ilomets, M. Kiviste, T. Tuisk, ja K. Paalandi, „Tühjenenud korterelamu lammutamisel tekkivate materjalide korduskasutuse ja ringlussevõtu rakendusuuring - 1. etapi vaheraport“, Tallinn, 2022. Vaadatud: 10. mai 2023. [Online]. Available at: https://eehitus.ee/wp-content/uploads/2022/04/Kivioli_lammutusuuringu_1_etapi_aruanne_20220325_Li_sadega.pdf
- [2] R. Becqué, E. Mackres, ja J. Layke, „Accelerating building efficiency“, mai 2016. Vaadatud: 10. mai 2023. [Online]. Available at: <https://publications.wri.org/buildingefficiency/>
- [3] Keskkonnaagentuur, „Kokkuvõte jäätmete taaskasutamisest 2021. a“, 2021. https://jats.keskkonnainfo.ee/failid/2021_4_recovery.pdf (vaadatud 10. mai 2023).
- [4] J. Idnurm ja K. Kull, „Eesti ringmajanduse tulevikupotentsiaali ja vajalike meetmete uuring. Lisa 1 - Ehitussektor“, Tallinn, 2021. Vaadatud: 10. mai 2023. [Online]. Available at: <https://www.technopolis-group.com/wp-content/uploads/2021/08/Ehitussektor3.pdf>
- [5] Q. Huang, X. Zhu, G. Xiong, C. Wang, D. Liu, ja L. Zhao, „Recycling of crushed waste clay brick as aggregates in cement mortars: An approach from macro- and micro-scale investigation“, *Constr Build Mater*, kd 274, lk 122068, märts 2021, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.122068.
- [6] F. Bektas, K. Wang, ja H. Ceylan, „Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability“, *Constr Build Mater*, kd 23, nr 5, lk 1909–1914, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.006>.
- [7] J. M. Khatib, „Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate“, *Cem Concr Res*, kd 35, nr 4, lk 763–769, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.017>.
- [8] C. Neno, J. de Brito, ja R. Veiga, „Using fine recycled concrete aggregate for mortar production“, *Materials Research*, kd 17, nr 1, lk 168–177, okt 2013, doi: 10.1590/S1516-14392013005000164.

- [9] T.-C. Ling, C.-S. Poon, ja S.-C. Kou, „Feasibility of using recycled glass in architectural cement mortars“, *Cem Concr Compos*, kd 33, nr 8, lk 848–854, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.05.006>.
- [10] T. Omur, N. Miyan, N. Kabay, ja H. Özkan, „Utilization and optimization of unweathered and weathered basic oxygen furnace slag aggregates in cement based mortar“, *Journal of Building Engineering*, kd 64, lk 105634, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105634>.
- [11] C. Fang, J. Feng, S. Huang, J. Hu, W. Wang, ja N. Li, „Mechanical properties and microscopic characterization of mortar with recycled aggregate from waste road“, *Case Studies in Construction Materials*, kd 17, lk e01441, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01441>.
- [12] A. M. Brandt, *Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance*, 1. tr. 1995.
- [13] K. E. Grahame, S. W. Cranford, C. M. Shillaber, ja M. J. Eckelman, *Essentials of Civil Engineering Materials*, 1st tr. San Diego: Cognella Academic Publishing, 2020.
- [14] „Black porous basalt stone on a white background“. <https://www.dreamstime.com/black-porous-basalt-stone-white-background-image175588561> (vaadatud 10. mai 2023).
- [15] „Granite Rocks: What Is Granite Rock And How Is It Formed?“, 16. mai 2019. <https://www.geologypage.com/2019/05/granite-rocks.html> (vaadatud 10. mai 2023).
- [16] F. P. Zhou, F. D. Lydon, ja B. I. G. Barr, „Effect of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of high performance concrete“, *Cem Concr Res*, kd 25, nr 1, lk 177–186, 1995, doi: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)00125-I](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)00125-I).
- [17] A. S. Ezeldin ja P.-C. Aitcin, „Effect of coarse aggregate on the behavior of normal and high-strength concretes“, *Cement, concrete and aggregates*, kd 13, nr 2, lk 121–124, 1991.
- [18] G. Giaccio, C. Rocco, D. Violini, J. Zappitelli, ja R. Zerbino, „High-strength concretes incorporating different coarse aggregates“, *Materials Journal*, kd 89, nr 3, lk 242–246, 1992.

- [19] M. Alexander, A. Bentur, ja S. Mindess, *Durability of concrete: Design and construction*. CRC Press, 2017.
- [20] H. Yang, E. Zhu, ja L. Liu, „Analysis of the Effect of Pore Structure on the Mechanical Properties of Concrete Based on the Meso Numerical Model”, *Applied Sciences*, kd 12, nr 11, 2022, doi: 10.3390/app12115428.
- [21] F. T. Hodgson, *Concrete, Cements, Mortars, Artificial Marbles, Plasters and Stucco: How to Use and How to Prepare Them*. Amsterdam: Fredonia Books, 2003.
- [22] A. Everett ja C. M. H. Barritt, *Materials*, 5. tr. 1998.
- [23] L.-M. Raado, *Ehitusmaterjalid*. Tallinn: Sihtasutus Professor Karl Öigeri Stipendiumifond, 2018.
- [24] G. Calis, S. A. Yildizel, S. Erzin, ja B. A. Tayeh, „Evaluation and optimisation of foam concrete containing ground calcium carbonate and glass fibre (experimental and modelling study)”, *Case Studies in Construction Materials*, kd 15, dets 2021, doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00625.
- [25] R. Otsman, *Ehitusmaterjalid*. Tallinn: Valgus, 1976.
- [26] „Classification of Aggregates based on Grain Size, Shape, Specific Gravity, Geological Origin”, 2020. <https://www.civilalliedgyan.com/2020/04/classification-of-aggregates.html> (vaadatud 10. mai 2023).
- [27] M. B. Revuelta, *Construction Materials: Geology, Production and Applications*. Springer Nature, 2021.
- [28] „EVS-EN 13139:2005 Mördi täitematerjalid”. Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2005.
- [29] „EVS-EN 933-1:2012 Täitematerjalide geomeetriliste omaduste katsetamine. Osa 1: Terastikulise koostise määramine. Sõelumismeetod”. Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2012.
- [30] „EVS-EN 933-3:2012 Täitematerjalide geomeetriliste omaduste katsetamine. Osa 3: Tera kuju määramine. Plaatsustegur”. Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2012.

- [31] „EVS-EN 1097-6:2022 Täitematerjalide mehaaniliste ja füüsikaliste omaduste katsetamine. Osa 6: Terade tiheduse ja veeimavuse määramine“. Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus.
- [32] E. Uustalu, *Betoonilisandid*. Tallinn, 1997.
- [33] H. Pärnamägi, *Ehitusmaterjalid*. Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2002.
- [34] B. A. Wills ja T. J. Napier-Munn, *Wills' mineral processing technology: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery*, 7th tr. Elsevier Ltd, 2006.
- [35] M. Kamani ja R. Ajalloeian, „The effect of rock crusher and rock type on the aggregate shape“, *Constr Build Mater*, kd 230, lk 117016, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117016>.
- [36] „Jaw Crusher“, *saVRee*. Vaadatud: 10. mai 2023. [Online]. Available at: <https://savree.com/en/encyclopedia/jaw-crusher>
- [37] „Gyratory Crusher“, *saVRee*. Vaadatud: 10. mai 2023. [Online]. Available at: <https://savree.com/en/encyclopedia/gyratory-crusher>
- [38] „Cone Crusher“, *saVRee*. Vaadatud: 10. mai 2023. [Online]. Available at: <https://savree.com/en/encyclopedia/cone-crusher>
- [39] „thyssenkrupp impact crushers for the aggregates and mining industries“. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fd3l3mf3td7ua7ox.cloudfront.net%2Fen%2Fproduct-portfolio%2Fimpact-crushers&psig=AOvVaw3uYp0WIIb5O4csPpfuQvXp&ust=1683790959328000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjRxqFwoTCJjgv6Kg6v4CFQAAAAAdAAAAABAD> (vaadatud 10. mai 2023).
- [40] „EVS-EN 196-1:2016 Tsemendi katsetamine. Osa 1: Tugevuse määramine“. Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2016.
- [41] „EVS-EN 1015-1:2004+A1:2007/AC:2022 Müürimörtide katsemeetodid. Osa 1: Terastikulise koostise määramine (sõelanalüüs)“. Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2009.
- [42] „EVS-EN 1097-3:2000 Täitematerjalide mehaaniliste ja füüsikaliste omaduste katsetamine. Osa 3: Puistetiheduse ja tühiklikkuse määramine“. Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2000.

- [43] „EVS-EN 1015-2:2004+A1:2007 Müürimörtide katsemeetodid. Osa 2: Mördiproovide võtmine ja katsemörtide valmistamine“. Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2009.
- [44] „EVS-EN 1015-18:2005 Müürimörtide katsemeetodid. Osa 18: Kivistunud mördi kapillaarse veeimavuse koefitsendi määramine“. Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2005.
- [45] „EVS-EN 1015-11:2019 Müürimörtide katsemeetodid. Osa 11: Kivistunud mördi painde- ja survetugevuse määramine“. Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2019.
- [46] „EVS-EN 1015-12:2016 Müürimörtide katsemeetodid. Osa 12: Kivistunud krohvimördi ja aluspinna nakketugevuse määramine“. Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2016.
- [47] Matuizy, „Toimivusdeklaratsioon Nr. 22012 Silikaatmüürikivid silroc BRICK 65 20 MPa“. 2022. Vaadatud: 10. mai 2023. [Online]. Available at: https://bauroc.ee/uploads/sites/2/2022/11/SILROC-brick65_20-DoP-No-22012_EE_22.pdf
- [48] Saint-Gobain Eesti AS, „webervetonit 137“. https://www.ee.weber/fassaadid/fassaadide-ehitamine-ja-renoveerimine/webervetonit-137#tab-tehnilised_andmed (vaadatud 10. mai 2023).
- [49] Uninaks AS, „Kiudkrohv NAKS FKK“. <https://uninaks.ee/toode/kiudkrohv/> (vaadatud 10. mai 2023).
- [50] Uninaks AS, „Müürisegu NAKS M100“. <https://uninaks.ee/toode/muurisegu-m100-2/> (vaadatud 10. mai 2023).
- [51] Saint-Gobain Eesti AS, „weber M100/600“. <https://www.ee.weber/muurisegud-ja-tavabetonid/muurisegud-ja-betonid/weber-m100600> (vaadatud 10. mai 2023).
- [52] AS Teede Tehnokeskus laboratoorium, „Katseprotokoll nr 3047/11“, 2011. http://www.cba.ee/img/ehitusliiv_new.pdf (vaadatud 10. mai 2023).
- [53] AS Teede Tehnokeskus laboratoorium, „Katseprotokoll nr 641/09“, 2009. <http://liiv24.ee/img/seguliiv.pdf> (vaadatud 10. mai 2023).
- [54] AS Teede Tehnokeskus, „Katseprotokoll nr 2964/21“. 2021.

- [55] Saint-Gobain Ehitustooted AS, „TOIMIVUSDEKLARATSIOON/DECLARATION OF PERFORMANCE nr DoP-EE-20“. 2013. Vaadatud: 10. mai 2023. [Online]. Available at: https://www.ee.weber/files/ee/2022-05/Dop_M100_600.pdf
- [56] Saint-Gobain Ehitustooted AS, „TOIMIVUSDEKLARATSIOON/ DECLARATION OF PERFORMANCE nr DoP-EE-69“. 2013. Vaadatud: 10. mai 2023. [Online]. Available at: https://www.ee.weber/files/ee/2018-03/weber.vetonit_137_01.pdf
- [57] AS Uninaks, „DECLARATION OF PERFORMANCE No. UN 204-01.02.2021“. 2021. Vaadatud: 10. mai 2023. [Online]. Available at: <https://uninaks.ee/wp-content/uploads/2017/08/T-Kiudkro-GB.pdf>
- [58] AS Uninaks, „TOIMIVUSDEKLARATSIOON nr 1504-UN001-27.02.2023“. 2023. Vaadatud: 10. mai 2023. [Online]. Available at: <https://uninaks.ee/wp-content/uploads/2017/08/T-MS100-EE-4.pdf>
- [59] AS Uninaks, „Katseprotokoll No 423/21“. 2021. Vaadatud: 10. mai 2023. [Online]. Available at: <https://uninaks.ee/wp-content/uploads/2017/08/MS100-survetugevus-veeimavus-kloriidide-11.06.2021.pdf>

LISAD

Lisa 1 Katseplaan

Tabel L1.1 Katseplaan

Katse nr.	Tsem/Täite materjal	Plastifikaator		Veehoidvuse lisand		Katsed laboratoorse seguga										
	1:3	min kogus	max kogus	min kogus	max kogus	TM terastikuline koostis	TM puistetihedus	Veevajadus (raputuslaual) 150 mm	Konsistentsi kadu (raputuslaual)	Segu veehoidvus	Segu kleepuvus	Painde- ja survetugevus	Nakketugevus	Veeimavus		
1	0%					x	x	x	x	x	x	x	x	x		
2		+						x	x	x	x	x	x	x	x	x
3			+					x	x	x	x	x	x	x	x	x
4					+				x	x	x	x	x	x	x	x
5								+	x	x	x	x	x	x	x	x
6		+			+				x	x	x	x	x	x	x	x
7			+					+	x	x	x	x	x	x	x	x
8		+						+	x	x	x	x	x	x	x	x
9			+		+				x	x	x	x	x	x	x	x
10									x	x	x	x	x	x	x	x
11	25%	+				x	x	x	x	x	x	x	x	x		
12			+					x	x	x	x	x	x	x	x	
13					+				x	x	x	x	x	x	x	
14								+	x	x	x	x	x	x	x	
15		+			+				x	x	x	x	x	x	x	
16			+					+	x	x	x	x	x	x	x	
17		+						+	x	x	x	x	x	x	x	
18			+		+				x	x	x	x	x	x	x	
19	50%	+				x	x	x	x	x	x	x	x	x		
20			+					x	x	x	x	x	x	x	x	
21					+				x	x	x	x	x	x	x	
22								+	x	x	x	x	x	x	x	
23								+	x	x	x	x	x	x	x	
24		+			+				x	x	x	x	x	x	x	
25			+					+	x	x	x	x	x	x	x	
26		+						+	x	x	x	x	x	x	x	
27		+		+		x	x	x	x	x	x	x				
28	75%	+				x	x	x	x	x	x	x	x	x		
29			+					x	x	x	x	x	x	x	x	
30					+				x	x	x	x	x	x	x	
31								+	x	x	x	x	x	x	x	
32								+	x	x	x	x	x	x	x	
33		+			+				x	x	x	x	x	x	x	
34			+					+	x	x	x	x	x	x	x	
35		+						+	x	x	x	x	x	x	x	
36		+		+		x	x	x	x	x	x	x				
37	100%	+				x	x	x	x	x	x	x	x	x		
38			+					x	x	x	x	x	x	x	x	
39					+				x	x	x	x	x	x	x	
40								+	x	x	x	x	x	x	x	
41								+	x	x	x	x	x	x	x	
42		+			+				x	x	x	x	x	x	x	
43			+					+	x	x	x	x	x	x	x	
44		+						+	x	x	x	x	x	x	x	
45					+			+	x	x	x	x	x	x	x	
46	0%	0,08%		0,05%	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x		
47	25%				-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
48	50%				-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
49	75%				-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
50	100%				-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
51	Uninaks NAKS M100/600 müürkuivsegu				x	x	x	x	x	x	x	x	x			
52	Uninaks NAKS FKK krohvisegu				x	x	x	x	x	x	x	x	x			
53	Weberi krohvisegu webervetonit137				x	x	x	x	x	x	x	x	x			
54	Weber M100/600 müürkuivsegu				x	x	x	x	x	x	x	x	x			

Lisa 2 Katsete algandmed

L2.1 Kuivsegude terastikuliste koostiste algandmed

Tabel L2.1 PSKL-i terastikulised koostised

Lõugpurustist välja heidetud PSKL														
27.09					14.10					24.10				
Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %
0	13,8	7,0	100,0	0,0	0	15,5	7,8	100,0	0,0	0	11,2	5,6	100,0	0,0
0,125	19,4	9,8	93,0	7,0	0,125	18,5	9,3	92,2	7,8	0,125	16,7	8,4	94,4	5,6
0,25	36,9	18,7	83,2	16,8	0,25	41,4	20,8	82,9	17,1	0,25	36,0	18,1	86,0	14,0
0,5	47,6	24,1	64,5	35,5	0,5	49,1	24,6	62,2	37,8	0,5	50,8	25,6	67,9	32,1
1	41,1	20,8	40,4	59,6	1	37,2	18,7	37,6	62,4	1	45,4	22,8	42,3	57,7
2	36,8	18,6	19,6	80,4	2	33,9	17,0	18,9	81,1	2	37,0	18,6	19,5	80,5
4	1,9	1,0	1,0	99,0	4	3,8	1,9	1,9	98,1	4	1,7	0,9	0,9	99,1
Jääkide mass, g	197,50				Jääkide mass, g	199,40				Jääkide mass, g	198,80			
Katse jaoks kaaluti, g	200,4				Katse jaoks kaaluti, g	200				Katse jaoks kaaluti, g	199,4			
Homogeniseeritud PSKL														
Pealt 1					Pealt 2					Keskelt 1				
Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %
0	5,8	2,9	100,0	0,0	0	3,7	1,9	100,0	0,0	0	4,7	2,4	100,0	0,0
0,125	25,4	12,8	97,1	2,9	0,125	24,2	12,2	98,1	1,9	0,125	27,8	14,1	97,6	2,4
0,25	49,8	25,1	84,3	15,7	0,25	49,3	24,9	85,9	14,1	0,25	57,1	28,9	83,6	16,4
0,5	45,3	22,8	59,3	40,7	0,5	45,8	23,2	60,9	39,1	0,5	51,3	25,9	54,7	45,3
1	35,2	17,7	36,5	63,5	1	35,5	18,0	37,8	62,2	1	33,3	16,8	28,7	71,3
2	34,0	17,1	18,8	81,2	2	35,2	17,8	19,8	80,2	2	21,9	11,1	11,9	88,1
4	3,3	1,7	1,7	98,3	4	3,9	2,0	2,0	98,0	4	1,6	0,8	0,8	99,2
Jääkide mass, g	198,80				Jääkide mass, g	197,60				Jääkide mass, g	197,70			
Katse jaoks kaaluti, g	200,3				Katse jaoks kaaluti, g	199,8				Katse jaoks kaaluti, g	200,2			
Keskelt 2					Põhjust 1					Põhjust 2				
Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %
0	5,8	2,9	100,0	0,0	0	10,6	5,3	100,0	0,0	0	8,7	4,4	100,0	0,0
0,125	34,2	17,3	97,1	2,9	0,125	22,2	11,2	94,7	5,3	0,125	26,1	13,2	95,6	4,4
0,25	40,7	20,5	79,8	20,2	0,25	32,7	16,5	83,5	16,5	0,25	36,8	18,6	82,5	17,5
0,5	46,9	23,7	59,3	40,7	0,5	41,6	21,0	67,0	33,0	0,5	45,7	23,0	63,9	36,1
1	36,5	18,4	35,6	64,4	1	40,9	20,6	46,0	54,0	1	39,2	19,8	40,8	59,2
2	31,6	16,0	17,2	82,8	2	44,3	22,4	25,3	74,7	2	37,6	19,0	21,1	78,9
4	2,4	1,2	1,2	98,8	4	5,9	3,0	3,0	97,0	4	4,2	2,1	2,1	97,9
Jääkide mass, g	198,10				Jääkide mass, g	198,20				Jääkide mass, g	198,30			
Katse jaoks kaaluti, g	200				Katse jaoks kaaluti, g	200,2				Katse jaoks kaaluti, g	200			

Tabel L2.2 Tsemendiga kuivsegude terastikulised koostised

Tsemendiga sõelutud katseproovide terastikulised koostised														
Tsemendiga 0% PSKL-i					Tsemendiga 25% PSKL-i					Tsemendiga 50% PSKL-i				
Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %
0	10,0	5,1	100,0	0,0	0	8,6	4,3	100,0	0,0	0	7,1	3,6	100,0	0,0
0,125	39,7	20,1	94,9	5,1	0,125	42,8	21,6	95,7	4,3	0,125	45,9	23,2	96,4	3,6
0,25	70,3	35,5	74,9	25,1	0,25	61,9	31,3	74,1	25,9	0,25	53,5	27,0	73,2	26,8
0,5	73,9	37,4	39,3	60,7	0,5	63,2	31,9	42,8	57,2	0,5	52,5	26,5	46,3	53,7
1	3,6	1,8	2,0	98,0	1	10,9	5,5	10,9	89,1	1	18,2	9,2	19,7	80,3
2	0,0	0,0	0,2	99,8	2	9,4	4,8	5,4	94,6	2	18,9	9,5	10,6	89,4
4	0,3	0,2	0,2	99,8	4	1,2	0,6	0,6	99,4	4	2,1	1,1	1,1	98,9
Jääkide mass, g	197,80				Jääkide mass, g	197,93				Jääkide mass, g	198,05			
Katse jaoks kaaluti, g	200,1				Katse jaoks kaaluti, g	-				Katse jaoks kaaluti, g	-			
Tsemendiga 75% PSKL-i					Tsemendiga 100% PSKL-i					Sõelutud proovid Arvutuslikult arvutatud tulemused				
Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %					
0	5,7	2,9	100,0	0,0	0	4,2	2,1	100,0	0,0					
0,125	49,0	24,7	97,1	2,9	0,125	52,1	26,3	97,9	2,1					
0,25	45,0	22,7	72,4	27,6	0,25	36,6	18,5	71,6	28,4					
0,5	41,8	21,1	49,7	50,3	0,5	31,1	15,7	53,2	46,8					
1	25,4	12,8	28,6	71,4	1	32,7	16,5	37,5	62,5					
2	28,3	14,3	15,8	84,2	2	37,7	19,0	21,0	79,0					
4	3,0	1,5	1,5	98,5	4	3,9	2,0	2,0	98,0					
Jääkide mass, g	198,18				Jääkide mass, g	198,30								
Katse jaoks kaaluti, g	-				Katse jaoks kaaluti, g	200,1								

Tabel L2.3 Ehitusturu kuivsegude terastikulised koostised

Ehitusturul müüdavate kuivsegude terastikulised koostised										
Müürikuivsegu Weber M100/600					Müürikuivsegu NAKS M100					
Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	
0	5,0	2,5	100,0	0,0	0	5,1	2,6	100,0	0,0	
0,125	32,5	16,4	97,5	2,5	0,125	40,9	20,7	97,4	2,6	
0,25	89,5	45,1	81,1	18,9	0,25	102,6	51,8	76,8	23,2	
0,5	28,5	14,4	36,0	64,0	0,5	42,1	21,3	24,9	75,1	
1	28,8	14,5	21,7	78,3	1	6,5	3,3	3,7	96,3	
2	14,2	7,2	7,2	92,8	2	0,8	0,4	0,4	99,6	
4	0,0	0,0	0,0	100,0	4	0,0	0,0	0,0	100,0	
Jääkide mass, g	198,50				Jääkide mass, g	198,00				
Katse jaoks kaaluti, g	200,1				Katse jaoks kaaluti, g	200,3				
Krohvisegu Weber webervetonit 137					Kiudkrohv Naks FKK					
Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	Sõela avad, mm	Jääk sõelal, g	Osajääk a, %	Kogujääk A, %	Läbind, %	
0	28,5	14,4	100,0	0,0	0	14,7	7,4	100,0	0,0	
0,125	79,1	40,0	85,6	14,4	0,125	44,6	22,3	92,6	7,4	
0,25	71,8	36,3	45,6	54,4	0,25	98,4	49,3	70,3	29,7	
0,5	17,5	8,8	9,3	90,7	0,5	35,9	18,0	21,0	79,0	
1	0,9	0,5	0,5	99,5	1	5,0	2,5	3,0	97,0	
2	0,0	0,0	0,0	100,0	2	1,0	0,5	0,5	99,5	
4	0,0	0,0	0,0	100,0	4	0,0	0,0	0,0	100,0	
Jääkide mass, g	197,80				Jääkide mass, g	199,60				
Katse jaoks kaaluti, g	200				Katse jaoks kaaluti, g	200				

L2.2 Puistetiheduse katse algandmed

Tabel L2.4 Ilma tsemendita kuivsegude puistetihedus

Segu	Täitematerjali mass 1 l anumas		Täitematerjali mass 1 l anumas (anuma mass maha võetud)		Puistetihedus, kg/m ³	
0% PSKL-i	1736,4	1737	1520,00	1521	1513,94	1515
	1739,6		1523,20		1517,13	
	1735,6		1519,20		1513,15	
25% PSKL-i	1722,3	1726	1505,90	1509	1499,90	1503
	1727,2		1510,80		1504,78	
	1727,6		1511,20		1505,18	
50% PSKL-i	1691,3	1695	1474,90	1478	1469,02	1472
	1693,5		1477,10		1471,22	
	1699,1		1482,70		1476,79	
75% PSKL-i	1639,6	1641	1423,20	1424	1417,53	1418
	1639,3		1422,90		1417,23	
	1642,8		1426,40		1420,72	
100% PSKL-i	1588,9	1592	1372,50	1376	1367,03	1370
	1595,7		1379,30		1373,80	
	1591,9		1375,50		1370,02	
Anuma mass	216,3	g				
Anuma maht	0,001	m ³				

Tabel L2.5 Tsemendiga kuivsegude puistetihedus

Segu	Täitematerjali mass 1 l anumas		Täitematerjali mass 1 l anumas (anuma mass maha võetud)		Puistetihedus, kg/m ³	
0% PSKL-i	1718,20	1715	1501,80	1498	1495,82	1492
	1711,00		1494,60		1488,65	
	1715,30		1498,90		1492,93	
25% PSKL-i	1590,60	1598	1374,20	1382	1368,73	1376
	1599,50		1383,10		1377,59	
	1603,60		1387,20		1381,67	
50% PSKL-i	1578,70	1571	1362,30	1355	1356,87	1349
	1567,90		1351,50		1346,12	
	1566,60		1350,20		1344,82	
75% PSKL-i	1504,50	1504	1288,10	1287	1282,97	1282
	1501,30		1284,90		1279,78	
	1505,20		1288,80		1283,67	
100% PSKL-i	1420,40	1423	1204,00	1206	1199,20	1202
	1416,00		1199,60		1194,82	
	1431,90		1215,50		1210,66	

Müürisegu Weber M100/600	1803,20	1800	1586,80	1583	1580,48	1577
	1796,00		1579,60		1573,31	
	1800,40		1584,00		1577,69	
Müürisegu NAKS M100	1643,30	1638	1426,90	1421	1421,22	1416
	1635,70		1419,30		1413,65	
	1634,60		1418,20		1412,55	
Kiudkrohv NAKS FKK	1689,60	1694	1473,20	1477	1467,33	1471
	1695,40		1479,00		1473,11	
	1695,50		1479,10		1473,21	
Krohvisegu Weber webervetonit137	1521,30	1521	1304,90	1304	1299,70	1299
	1516,90		1300,50		1295,32	
	1523,40		1307,00		1301,79	
Anuma mass	216,3	g				
Anuma maht	0,001	m ³				

L2.3 Purustatud silikaatkivist liiva veemavuse katse algandmed

Tabel L2.6 PSKL-i veemavus

M₁, g	M₄, g	WA24, %
582	560	3,93

L2.4 Veevajaduse katse algandmed

Tabel L2.7 Veevajaduse katsekehade algandmed

Ilma lisanditeta						P 0,05% MIN					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1000	1000	1000	1000	1000	Kuivsegu, g	1000	1000	1000	1000	1000
Tsement, g	250	250	250	250	250	Tsement, g	250	250	250	250	250
						Plastifikaator, g	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Vesi, g	192,5	167,5	160	151,25	152,5	Vesi, g	176,3	152,5	147,5	146,25	147,5
Eeldatav V/Ts	0,77	0,67	0,64	0,605	0,61	Eeldatav V/Ts	0,705	0,61	0,59	0,585	0,59
Eeldatav V/Ks	0,193	0,168	0,160	0,151	0,153	Eeldatav V/Ks	0,176	0,153	0,148	0,146	0,148
Konsistents, mm	149	149	148	151	150	Konsistents, mm	153	150	153	148	150
	152,5	151	150,5	150	151	Konsistents, mm	149	152,5	151	146	149
Keskmine konsistents, mm	151	150	149	151	151	Keskmine konsistents, mm	151	151	152	147	150
P 0,2 % MAX						V 0,3 % MIN					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1000	1000	1000	1000	1000	Kuivsegu, g	1000	1000	1000	1000,8	1000
Tsement, g	250	250	250	250	250	Tsement, g	250	250	250	250,2	250
Plastifikaator, g	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	Veehoidvuse lisand, g	3	3	3	3	3
Vesi, g	148,8	131,8	125,0	122,5	123,8	Vesi, g	245,0	235,0	212,5	213,9	200,0
Eeldatav V/Ts	0,595	0,527	0,5	0,49	0,495	Eeldatav V/Ts	0,98	0,94	0,85	0,855	0,8
Eeldatav V/Ks	0,149	0,132	0,125	0,123	0,124	Eeldatav V/Ks	0,245	0,235	0,213	0,214	0,200
Konsistents, mm	150	150,5	147	150	153	Konsistents, mm	150	150	148	151	147
	149,5	141	148	150	148,5	Konsistents, mm	155	152	149	153	147
Keskmine konsistents, mm	150	146	148	150	151	Keskmine konsistents, mm	153	151	149	152	147

V 0,7 % MAX						Min P/Min V					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1000	1000	1000	1000	1000	Kuivsegu, g	1000	996,325	1000	996,375	1000
Tsement, g	250	250	250	250	250	Tsement, g	250	249,0813	250	249,0938	250
Veehoidvuse lisand, g	7	7	7	7	7	Veehoidvuse lisand, g	3	3	3	3	3
						Plastifikaator, g	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Vesi, g	362,5	332,5	312,5	305	287,5	Vesi, g	240,0	234,1	212,5	209,2	197,5
Eeldatav V/Ts	1,45	1,33	1,25	1,22	1,15	Eeldatav V/Ts	0,96	0,94	0,85	0,84	0,79
Eeldatav V/Ks	0,363	0,333	0,313	0,305	0,288	Eeldatav V/Ks	0,240	0,235	0,213	0,210	0,198
Konsistents, mm	149	151	145	152	152	Konsistents, mm	154	150	154	147	154,5
	150,5	148	151	146,5	152		143	153	148,5	152	153
Keskmine konsistents, mm	150	150	148	149	152	Keskmine konsistents, mm	149	152	151	150	154
Max P/Max V						Min P/Max V					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1000	1000	1000	996,36	1000	Kuivsegu, g	1000	1000	1000	1000	1000
Tsement, g	250	250	250	249,09	250	Tsement, g	250	250	250	250	250
Veehoidvuse lisand, g	7	7	7	7	7	Veehoidvuse lisand, g	3	3	3	3	3
Plastifikaator, g	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	Plastifikaator, g	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Vesi, g	362,5	340,0	312,5	303,9	287,5	Vesi, g	362,5	340	312,5	305	295
Eeldatav V/Ts	1,45	1,36	1,25	1,22	1,15	Eeldatav V/Ts	1,45	1,36	1,25	1,22	1,18
Eeldatav V/Ks	0,363	0,340	0,313	0,305	0,288	Eeldatav V/Ks	0,363	0,340	0,313	0,305	0,295
Konsistents, mm	153	150	151	148	149	Konsistents, mm	149	148	150,5	150	144
	154	148	146	145	149		151,5	148,5	146	145	141
Keskmine konsistents, mm	154	149	149	147	149	Keskmine konsistents, mm	150	148	148	148	143
Max P/Min V						0,08 % P/ 0,05 % V					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1000	1000	1000	1000	1000	Kuivsegu, g	1000	1000	1000	1000	1000
Tsement, g	250	250	250	250	250	Tsement, g	250	250	250	250	250
Veehoidvuse lisand, g	3	3	3	3	3	Veehoidvuse lisand, g	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Plastifikaator, g	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	Plastifikaator, g	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Vesi, g	245	235	212,5	212,5	200	Vesi, g	185	162,5	150	152,5	160
Eeldatav V/Ts	0,98	0,94	0,85	0,85	0,8	Eeldatav V/Ts	0,74	0,65	0,6	0,61	0,64
Eeldatav V/Ks	0,245	0,235	0,213	0,213	0,200	Eeldatav V/Ks	0,185	0,163	0,150	0,153	0,160
Konsistents, mm	152	149,5	151	148,5	152	Konsistents, mm	148,5	153,5	151	150	157
	151	152	147,5	155	153		145	153	145,5	145,5	153
Keskmine konsistents, mm	152	151	149	152	153	Keskmine konsistents, mm	147	153	148	148	155
Ehitusturu kuivsegud											
	Weber M100	webervet onit 137	Uninaks M100	Uninaks FKK							
Kuivsegu, g	1000	1000	1000	1000	V/Ts	Vesitsementtegur					
Tsement, g	-	-	-	-	V/Ks	Vesikuivsegutegur					
Vesi, g	147	330	198	170							
Eeldatav V/Ts	-	-	-	-							
Eeldatav V/Ks	0,147	0,33	0,198	0,170							
Konsistents, mm	148	147,5	150	155							
	149	145	145	150							
Keskmine konsistents, mm	149	146	148	152,5							

L2.6 Kivistunud mördi veemavuse algandmed

Tabel L2.9 Kivistunud mördi katsekehade veemavuse algandmed

Kuivsegu	Mass ilma parafiinita, g	Mass parafiiniga, g	M_1 - mass pärast 10 min, g	M_2 - mass pärast 90 min, g	C , kg/(m ² ·min ^{0,5})	$C_{m,0,5}$ kg/(m ² ·min ^{0,5})	Veemavus massiprotsendi järgi, %	Keskmine veemavus massiprotsendi järgi, %
0% PSKL-i	242,8	247,2	249,4	252,9	0,35	0,348	2,3	2,2
	257,4	263,4	265,4	269,1	0,37		2,2	
	234,57	238,85	240,94	244,53	0,359		2,4	
	268,01	272,39	274,5	277,99	0,349		2,1	
	Ebaõnnestus	248,82	250,88	254,23	0,335		-	
	261,41	266,28	268,29	271,56	0,327		2,0	
25% PSKL-i	261,61	266,96	269,24	273,22	0,398	0,383	2,4	2,5
	243,71	248,84	251,16	254,9	0,374		2,5	
	253,92	258,22	260,42	264,07	0,365		2,3	
	240,91	245,12	247,52	251,52	0,4		2,7	
	254,13	258,71	261,05	264,64	0,359		2,3	
	233,82	239,7	242,12	246,12	0,4		2,7	
50% PSKL-i	254,96	261,02	263,46	267,48	0,402	0,387	2,5	2,7
	225,35	229,29	231,89	235,81	0,392		2,9	
	248,13	250,14	252,58	256,38	0,38		2,5	
	227,97	229,54	232	235,77	0,377		2,7	
	247,69	250,67	253,28	257,06	0,378		2,6	
	228,04	230,46	233,15	237,09	0,394		2,9	
75% PSKL-i	240,97	244,97	247,7	251,66	0,396	0,407	2,8	3,0
	229,11	233,18	235,92	240,03	0,411		3,0	
	228,06	232,78	235,68	239,74	0,406		3,1	
	245,55	251,17	254,1	258,18	0,408		2,9	
	220,87	226,15	229,2	233,32	0,412		3,2	
	254,24	260,89	264,19	268,26	0,407		2,9	
100% PSKL-i	217,9	222,1	225	230,1	0,51	0,463	3,7	3,5
	230,8	234,2	237,2	242,2	0,5		3,5	
	241,06	247,58	251,01	255,36	0,435		3,2	
	210,62	214,44	217,75	222,21	0,446		3,7	
	224,65	226,8	230,14	234,57	0,443		3,5	
	228,99	230,37	233,88	238,34	0,446		3,5	
0% Pmin	252,26	254,69	256,83	259,5	0,267	0,266	1,9	1,9
	255,64	257,43	259,59	262,32	0,273		1,9	
	246,23	249,19	251,43	254,16	0,273		2,0	
	265,07	267,64	269,88	272,65	0,277		1,9	
	236,44	238,28	240,46	243,07	0,261		2,0	
	267,82	269,81	271,9	274,32	0,242		1,7	
25% Pmin	240,15	244,02	246,41	249,19	0,278	0,283	2,2	2,1
	269,65	274,55	276,91	279,66	0,275		1,9	
	253,95	259,07	261,56	264,38	0,282		2,1	
	245,54	246,98	249,48	252,38	0,29		2,2	
	250,07	251,55	254,03	256,95	0,292		2,2	
	253,6	254,87	257,34	260,13	0,279		2,1	
50% Pmin	251,12	254	256,61	259,94	0,333	0,335	2,4	2,4
	241,88	244,72	247,3	250,67	0,337		2,5	
	244,45	247,04	249,67	253,23	0,356		2,5	
	250,73	253,88	256,51	260,05	0,354		2,5	
	259,28	262,87	265,26	268,41	0,315		2,1	
	236,6	240,05	242,5	245,62	0,312		2,4	
75% Pmin	254,03	255,15	257,77	260,6	0,283	0,295	2,1	2,3
	241,42	242,85	245,51	248,37	0,286		2,3	
	225,9	227,07	229,85	232,92	0,307		2,6	
	262,22	263,68	266,42	269,45	0,303		2,2	
	260,9	262,74	265,58	268,49	0,291		2,2	
	249,88	251,84	254,77	257,74	0,297		2,4	
100% Pmin	232,77	235,11	238,43	242,04	0,361	0,332	3,0	2,8
	237,93	241,15	244,45	247,98	0,353		2,9	
	233,53	237,5	240,73	243,96	0,323		2,8	
	232,8	237,04	240,28	243,54	0,326		2,8	
	229,86	234,98	238,03	241,13	0,31		2,7	
	234,42	239,72	242,92	246,11	0,319		2,7	

0% Pmax	251,64	256,77	257,79	259,79	0,2	0,205	1,2	1,3
	251,03	256,8	257,85	259,76	0,191		1,2	
	246,43	253,51	254,73	256,83	0,21		1,3	
	256,64	263,19	264,37	266,44	0,207		1,3	
	266,56	272,5	273,74	275,89	0,215		1,3	
	234,5	238,26	239,48	241,53	0,205		1,4	
25% Pmax	246,12	249,8	250,99	253,14	0,215	0,205	1,4	1,3
	257,05	260,71	261,94	264,05	0,211		1,3	
	260,31	264,9	265,97	268,03	0,206		1,2	
	241,77	245,86	247,07	249,04	0,197		1,3	
	262,52	268,75	269,99	272,04	0,205		1,3	
	237,28	241,64	242,94	244,93	0,199		1,4	
50% Pmax	251,5	255,59	257,03	259,36	0,233	0,233	1,5	1,5
	250,24	253,75	255,16	257,46	0,23		1,5	
	249,72	253,86	255,33	257,63	0,23		1,5	
	265,55	270,14	271,63	274,01	0,238		1,5	
	250,91	254,77	256,33	258,67	0,234		1,6	
	252,14	256,55	258,06	260,38	0,232		1,5	
75% Pmax	240,57	244,62	246,41	249,07	0,266	0,265	1,8	1,8
	262,72	267,78	269,5	272,13	0,263		1,7	
	258,61	263,14	265,02	267,67	0,265		1,8	
	248,21	254,28	255,99	258,66	0,267		1,8	
	239,55	245,98	247,76	250,45	0,269		1,9	
	260,78	265,94	267,68	270,3	0,262		1,7	
100% Pmax	250,96	256,47	259,09	261,54	0,245	0,245	2,0	2,0
	242,14	246,32	248,8	251,26	0,246		2,0	
	248,02	251,31	253,67	256,06	0,239		1,9	
	239,69	241,35	243,72	246,1	0,238		2,0	
	253,72	256,51	258,86	261,36	0,25		1,9	
	244,86	247,05	249,46	251,97	0,251		2,0	
0% Vmin	181,14	183,08	184,91	187	0,209	0,201	2,2	2,1
	191,06	192,77	194,58	196,64	0,206		2,0	
	186,38	187,79	189,55	191,62	0,207		2,1	
	184,6	186,18	188,04	190,03	0,199		2,1	
	182,61	184,52	186,33	188,21	0,188		2,0	
	177,62	179,13	180,93	182,92	0,199		2,1	
25% Vmin	171,93	174,41	176,37	178,73	0,236	0,237	2,5	2,5
	174,58	177,29	179,24	181,64	0,24		2,5	
	164,65	167,24	169,24	171,72	0,248		2,7	
	179,5	183,12	185,09	187,59	0,25		2,5	
	170,91	174,83	176,62	178,87	0,225		2,4	
	173,99	178,41	180,14	182,35	0,221		2,3	
50% Vmin	165,16	170,88	172,68	174,99	0,231	0,227	2,5	2,4
	173,32	179,22	181,02	183,33	0,231		2,4	
	172,54	178	179,79	182,03	0,224		2,3	
	168,37	171,77	173,52	175,78	0,226		2,4	
	165,91	168,55	170,31	172,54	0,223		2,4	
	180,73	183,49	185,29	187,55	0,226		2,2	
75% Vmin	162,7	164,9	166,57	169,16	0,259	0,252	2,6	2,5
	175,44	178,42	179,99	182,43	0,244		2,3	
	163,15	166,58	168,24	170,69	0,245		2,5	
	162,51	166,04	167,58	170,05	0,247		2,5	
	164,06	168,44	170,22	172,82	0,26		2,7	
	172,02	177,21	178,88	181,44	0,256		2,5	
100% Vmin	159,87	163,71	166,26	169,17	0,291	0,280	3,4	3,2
	166,32	169,27	171,81	174,71	0,29		3,3	
	159,12	162,05	164,32	167,01	0,269		3,1	
	157,32	159,69	161,99	164,7	0,271		3,2	
	158,18	160,98	163,37	166,23	0,286		3,3	
	162,58	166,17	168,49	171,23	0,274		3,1	
0% Vmax	153,27	155,62	157,89	161,78	0,389	0,422	4,0	4,4
	151,45	154,16	156,63	160,42	0,379		4,1	
	144,08	146,35	149,32	154,42	0,51		5,6	
	169,69	172,59	175,57	180,56	0,499		4,7	
	148,86	152,92	155,31	158,99	0,368		4,1	
	161,56	165,75	168,15	172,02	0,387		3,9	
25% Vmax	161,22	166,13	168,41	171,57	0,316	0,319	3,4	3,6
	141,83	145,69	148,11	151,36	0,325		4,0	
	149,08	152,78	155,07	157,92	0,285		3,4	
	151,27	156,25	158,51	161,48	0,297		3,5	
	151,61	157,5	159,84	163,28	0,344		3,8	
	155,76	161,62	164,03	167,47	0,344		3,8	
50% Vmax	152,02	156,42	158,32	160,65	0,233	0,245	2,8	2,9
	147,22	151,06	152,97	155,23	0,226		2,8	
	142,39	144,5	146,36	148,55	0,219		2,8	
	152,77	155,18	157,06	159,25	0,219		2,7	
	150,2	152,51	154,43	157,22	0,279		3,1	
	149,54	151,85	153,9	156,85	0,295		3,3	
75% Vmax	139,03	141,93	143,78	145,91	0,213	0,252	2,9	3,3
	137,69	139,89	141,82	143,98	0,216		3,0	
	136,4	139,24	141,47	144,04	0,257		3,5	
	147,37	150,19	152,36	155,05	0,269		3,3	
	128,33	131,01	133,25	135,88	0,263		3,8	
	147,63	152,26	154,64	157,6	0,296		3,6	
100% Vmax	139,08	143,85	146,53	149	0,247	0,249	3,7	3,7
	129,75	132,06	134,35	136,47	0,212		3,4	
	128,98	131,51	134,06	136,94	0,288		4,2	
	139,54	142,18	144,86	147,75	0,289		4,0	
	130,72	133,34	135,77	138,01	0,224		3,6	
	141,21	143,75	146,16	148,48	0,232		3,3	

0% Pmin Vmin	175,87	178,58	180,44	182,19	0,175	0,175	2,1	2,1
	182,4	184,39	186,25	187,98	0,173		2,0	
	165,93	167,32	169,32	171,07	0,175		2,3	
	189,65	191,39	193,46	195,17	0,171		2,0	
	172,46	174	175,88	177,59	0,171		2,1	
	181,54	183,13	185,09	186,92	0,183		2,1	
25% Pmin Vmin	170,49	172,14	174,12	176,28	0,216	0,218	2,4	2,4
	168,69	170,79	172,67	174,81	0,214		2,4	
	161,59	163,87	165,82	168,08	0,226		2,6	
	179,29	181,69	183,49	185,73	0,224		2,3	
	171,3	174,99	176,95	179,04	0,209		2,4	
	171,76	175,47	177,55	179,74	0,219		2,5	
50% Pmin Vmin	194,38	197,41	199,66	202,04	0,238	0,232	2,4	2,6
	152,75	155,62	157,97	160,39	0,242		3,1	
	178,59	183,27	185,29	187,51	0,222		2,4	
	161,57	165,63	167,58	169,8	0,222		2,6	
	179,2	183,93	186,04	188,34	0,23		2,5	
	159,47	163,44	165,49	167,84	0,235		2,8	
75% Pmin Vmin	160,87	165	167,27	169,88	0,261	0,256	3,0	2,9
	169,68	173,63	175,97	178,53	0,256		2,9	
	161	165,51	167,69	170,24	0,255		2,9	
	169,34	174,08	176,3	178,9	0,26		2,8	
	160,86	165,21	167,42	169,9	0,248		2,9	
	167,84	173,34	175,47	178,02	0,255		2,8	
100% Pmin Vmin	158,21	162,43	164,52	167,12	0,26	0,269	3,0	3,1
	158,32	162,25	164,35	166,94	0,259		3,0	
	156,31	161,34	163,48	166,2	0,272		3,1	
	156,32	161,24	163,34	166,07	0,273		3,1	
	159,95	165,7	167,8	170,57	0,277		3,0	
	156,55	161,41	163,66	166,42	0,276		3,2	
0% Pmax Vmax	161,55	165,52	167,96	171,59	0,363	0,347	3,8	3,6
	164,9	167,2	169,68	173,5	0,382		3,8	
	162,24	164,98	167,18	170,46	0,328		3,4	
	157,64	159,79	161,84	164,98	0,314		3,3	
	155,89	157,74	159,89	163,25	0,336		3,5	
25% Pmax Vmax	162,17	165,07	167,4	170,96	0,356	0,388	3,6	4,2
	141,98	144,5	147,08	150,96	0,388		4,5	
	162,61	165,63	168,4	172,4	0,4		4,2	
	146,1	148,71	151,29	155,05	0,376		4,3	
	164,48	167,32	169,75	173,24	0,349		3,6	
50% Pmax Vmax	150,36	154,19	156,82	160,87	0,405	0,288	4,4	3,5
	158,94	162,96	165,59	169,71	0,412		4,2	
	150,45	154,39	156,88	160,14	0,326		3,8	
	149,15	153,33	155,91	159,22	0,331		3,9	
	151,92	155,64	157,92	160,59	0,267		3,3	
75% Pmax Vmax	142,55	145,47	147,63	150,32	0,269	0,304	3,4	3,9
	143,62	146,69	149	151,72	0,272		3,5	
	151,28	154,35	156,62	159,25	0,263		3,2	
	139,83	143,52	146,16	149,6	0,344		4,3	
	147,22	150,86	153,51	156,92	0,341		4,1	
100% Pmax Vmax	137,59	140,92	143,45	146,63	0,318	0,370	4,2	4,8
	141,54	144,6	147,17	150,43	0,326		4,1	
	135,49	140,22	142,37	144,87	0,25		3,4	
	143,71	148,85	151,04	153,49	0,245		3,2	
	131,1	134,53	137,16	140,45	0,329		4,5	
0% Pmin Vmax	134,16	139,12	141,69	144,99	0,33	0,330	4,4	3,8
	137,9	142,59	145,19	149	0,381		4,6	
	127,28	132,05	134,77	138,61	0,384		5,2	
	136,05	140,91	143,77	147,75	0,398		5,0	
	132,77	138,17	140,9	144,9	0,4		5,1	
25% Pmin Vmax	146,07	152,8	155,48	158,7	0,322	0,302	4,0	3,6
	169,07	176,57	179,31	182,47	0,316		3,5	
	149,81	155,87	158,57	161,85	0,328		4,0	
	165,95	170,73	173,43	176,7	0,327		3,6	
	158,25	161,1	163,67	167,02	0,335		3,7	
50% Pmin Vmax	158,96	161,67	164,4	167,9	0,35	0,245	3,9	3,2
	143,07	145,2	147,48	150,27	0,279		3,5	
	159,16	161,54	163,76	166,43	0,267		3,1	
	152,36	154,72	157,1	159,76	0,266		3,3	
	150,35	152,96	155,27	157,88	0,261		3,3	
75% Pmin Vmax	154,27	157,31	160,15	163,81	0,366	0,333	4,2	4,4
	152,84	156,32	159,15	162,88	0,373		4,3	
	133,65	137,16	139,23	141,64	0,241		3,4	
	147,88	153,21	155,37	157,76	0,239		3,1	
	142,8	147,13	149,09	151,45	0,236		3,0	
100% Pmin Vmax	151,97	155,57	157,76	160,09	0,233	0,339	3,0	5,0
	130,75	134,9	137,24	139,87	0,263		3,8	
	163,52	169,86	172,18	174,77	0,259		3,0	
	141,43	146,96	149,94	153,29	0,335		4,5	
	143,5	149,6	152,56	156,08	0,352		4,5	
75% Pmin Vmax	137,28	144,04	147,11	150,5	0,339	0,333	4,7	4,4
	148,94	154,83	157,85	161,28	0,343		4,3	
	144,83	151,4	154,29	157,48	0,319		4,2	
	140,07	145,35	148,24	151,33	0,309		4,3	
	148,46	155,37	158,95	162,52	0,357		4,8	
100% Pmin Vmax	124,74	130,61	134,18	137,69	0,351	0,339	5,7	5,0
	129,87	135,53	138,64	141,92	0,328		4,9	
	137,97	144,05	147,19	150,22	0,303		4,5	
	150,55	155,14	158,61	162,12	0,351		4,6	
	123,95	129,29	132,54	135,96	0,342		5,4	

0% Pmax Vmin	176,56	178,85	180,35	182,43	0,208	0,215	2,0	2,0
	183,18	184,99	186,44	188,55	0,211		1,9	
	186,94	188,89	190,41	192,57	0,216		2,0	
	170,91	172,5	174,05	176,28	0,223		2,2	
	177,57	179,53	181,06	183,22	0,216		2,1	
25% Pmax Vmin	180,68	182,57	184,03	186,17	0,214	0,227	2,0	2,4
	162,34	164,41	166,36	168,75	0,239		2,7	
	187,74	190,26	192,22	194,57	0,235		2,3	
	170	172,4	174,25	176,51	0,226		2,4	
	171,42	173,92	175,78	177,98	0,22		2,4	
50% Pmax Vmin	166,82	171,3	173,16	175,37	0,221	0,211	2,4	2,5
	183,51	187,54	189,35	191,56	0,221		2,2	
	166,33	170,07	172,01	174,18	0,217		2,5	
	166,92	170,89	172,9	174,99	0,209		2,5	
	170,5	174,57	176,58	178,69	0,211		2,4	
75% Pmax Vmin	161,33	164,92	166,95	169,04	0,209	0,242	2,6	2,8
	162,77	167,92	170,04	172,19	0,215		2,6	
	171,46	175,42	177,48	179,55	0,207		2,4	
	156,41	159,35	161,64	164,06	0,242		3,0	
	169,78	172,81	175,01	177,46	0,245		2,7	
100% Pmax Vmin	154,7	157,09	159,26	161,58	0,232	0,265	2,9	3,2
	168,23	171,26	173,34	175,67	0,233		2,6	
	163,28	166,77	169,04	171,54	0,25		2,9	
	165,6	169,26	171,53	174,03	0,25		2,9	
	155,5	159,56	161,8	164,49	0,269		3,2	
0% 0,08 P/0,05 V	160,44	164,94	167,25	169,82	0,257	0,189	3,0	1,8
	154,91	158,95	161,4	164,11	0,271		3,3	
	161,25	167,45	169,87	172,57	0,27		3,2	
	160,71	166,66	169,09	171,69	0,26		3,1	
	156,26	163,59	166,15	168,76	0,261		3,3	
25% 0,08 P/0,05 V	223,39	225	226,77	228,52	0,175	0,191	1,6	1,8
	207,53	208,92	210,94	212,69	0,175		1,8	
	221,82	223,3	225,29	227,28	0,199		1,8	
	214,93	216,52	218,53	220,57	0,204		1,9	
	220,73	223,2	225,16	227,06	0,19		1,7	
50% 0,08 P/0,05 V	225,73	228,13	230,15	232,05	0,19	0,209	1,7	1,9
	211,17	214	215,93	217,9	0,197		1,8	
	222,66	225,26	227,15	229,11	0,196		1,7	
	205,5	209,12	210,99	212,84	0,185		1,8	
	217,95	221,5	223,48	225,26	0,178		1,7	
75% 0,08 P/0,05 V	219,2	223,3	225,12	227,04	0,192	0,249	1,7	2,1
	217,4	220,93	222,76	224,72	0,196		1,7	
	223,99	226,44	228,42	230,55	0,213		1,8	
	205,27	206,76	208,9	210,92	0,202		2,0	
	210,08	211,71	213,76	215,89	0,213		2,0	
100% 0,08 P/0,05 V	225,52	227,13	229,08	231,15	0,207	0,372	1,8	3,1
	211,26	213,03	214,92	217	0,208		1,9	
	223,14	224,98	226,91	229	0,209		1,8	
	213,27	214,44	216,49	218,94	0,245		2,1	
	221,92	223,32	225,21	227,74	0,253		2,0	
Naks FKK	225,43	227,26	229,32	231,9	0,258	0,337	2,1	2,5
	211,49	213,39	215,35	217,94	0,259		2,2	
	209,23	211,39	213,4	215,78	0,238		2,1	
	226,13	228,4	230,44	232,85	0,241		2,0	
	180,33	186,06	188,41	192,19	0,378		3,4	
Naks M100	216,61	223,13	225,47	229,13	0,366	0,644	2,8	5,3
	185,14	190,26	192,61	196,42	0,381		3,3	
	209,9	215,39	217,76	221,53	0,377		2,9	
	179,6	184,82	187,16	190,81	0,365		3,3	
	217,52	222,77	225,06	228,71	0,365		2,7	
Weber M100	248,63	253,08	255,68	258,94	0,326	0,341	2,4	2,9
	246,59	251,99	254,67	258,1	0,343		2,5	
	216,94	221	223,7	227,14	0,344		2,8	
	281,02	285,67	288,25	291,77	0,352		2,2	
	233,84	238,59	241	244,2	0,32		2,4	
W137	250,04	255,48	258,28	261,67	0,339	0,432	2,5	4,2
	224,42	229,29	234,33	240,81	0,648		5,1	
	208,24	213,34	218,4	224,96	0,656		5,6	
	218,92	223,34	228,52	235,14	0,662		5,4	
	217,09	222,77	227,9	234,5	0,66		5,4	
	226,23	232,69	237,43	243,6	0,617	0,341	4,8	2,9
	203,25	207,65	212,37	218,59	0,622		5,4	
	211,61	213,32	216,25	219,6	0,335		3,0	
	229,55	231,79	234,63	238,09	0,346		2,7	
	215,11	217,98	220,88	224,16	0,328		2,9	
	222,06	225,22	228,12	231,52	0,34	0,432	2,8	4,2
	224,85	228,71	231,87	235,26	0,339		2,9	
	215,61	220,72	223,98	227,54	0,356		3,2	
	163,04	166	168,54	172,75	0,421		4,1	
	169,09	171,17	173,9	178,16	0,426		4,1	
	167,92	169,92	172,77	177,34	0,457	0,432	4,4	4,2
	166,31	168,07	170,94	175,59	0,465		4,5	
	163,72	165,61	168,27	172,35	0,408		4,1	
	168,55	170,5	173,31	177,43	0,412		4,1	

Tabel L2.10 Veeimavuse katseks kasutatud katsekehade algandmed

Ilma lisanditeta						P 0,05% MIN					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	2000	2000	2000	2000	2000	Kuivsegu, g	2000	2000	200	2000	2000
Tsement, g	500	500	500	500	500	Tsement, g	500	500	500	500	500
						Plastifikator, g	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Vesi, g	385	335	320	302,5	315	Vesi, g	352,5	305	292,5	292,5	295
Eeldatav V/Ts	0,77	0,67	0,64	0,605	0,63	Eeldatav V/Ts	0,705	0,61	0,585	0,585	0,59
Eeldatav V/Ks	0,193	0,168	0,160	0,151	0,158	Eeldatav V/Ks	0,176	0,153	1,463	0,146	0,148
P 0,2 % MAX						V 0,3 % MIN					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	2000	2000	200	2000	2000	Kuivsegu, g	1800	1800	1800	1800	1800
Tsement, g	500	500	500	500	500	Tsement, g	450	450	450	450	450
Plastifikator, g	1	1	1	1	1	Veehoidvuse lisand, g	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Vesi, g	297,5	263,5	245,0	242,5	247,5	Vesi, g	441,0	423,0	382,5	384,8	360,0
Eeldatav V/Ts	0,595	0,527	0,49	0,485	0,495	Eeldatav V/Ts	0,98	0,94	0,85	0,855	0,8
Eeldatav V/Ks	0,149	0,132	1,225	0,121	0,124	Eeldatav V/Ks	0,245	0,235	0,213	0,214	0,200
V 0,7 % MAX						Min P/Min V					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1800	1800	1800	1800	1800	Kuivsegu, g	1760	1760	1760	1760	1760
Tsement, g	450	450	450	450	450	Tsement, g	440	440	440	440	440
Veehoidvuse lisand, g	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	Veehoidvuse lisand, g	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28
						Plastifikator, g	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Vesi, g	362,5	332,5	312,5	305	287,5	Vesi, g	240,0	234,1	212,5	209,2	197,5
Eeldatav V/Ts	1,45	1,36	1,25	1,22	1,18	Eeldatav V/Ts	0,96	0,94	0,85	0,84	0,79
Eeldatav V/Ks	0,363	0,340	0,313	0,305	0,295	Eeldatav V/Ks	0,240	0,235	0,213	0,210	0,198
Max P/Max V						Min P/Max V					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1800	1800	1800	1800	1800	Kuivsegu, g	1760	1760	1760	1760	1760
Tsement, g	450	450	450	450	450	Tsement, g	440	440	440	440	440
Veehoidvuse lisand, g	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	Veehoidvuse lisand, g	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32
Plastifikator, g	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	Plastifikator, g	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Vesi, g	652,5	612,0	562,5	549,0	517,5	Vesi, g	638,0	598,4	550,0	536,8	519,2
Eeldatav V/Ts	1,45	1,36	1,25	1,22	1,15	Eeldatav V/Ts	1,45	1,36	1,25	1,22	1,18
Eeldatav V/Ks	0,363	0,340	0,313	0,305	0,288	Eeldatav V/Ks	0,363	0,340	0,313	0,305	0,295

Max P/Min V						0,08 % P/ 0,05 % V					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1800	1800	1800	1800	1800	Kuivsegu, g	2000	2000	2000	2000	2000
Tsement, g	450	450	450	450	450	Tsement, g	500	500	500	500	500
Veehoidvuse lisand, g	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	Veehoidvuse lisand, g	1	1	1	1	1
Plastifikator, g	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	Plastifikator, g	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Vesi, g	441,0	423,0	382,5	382,5	360,0	Vesi, g	405,0	320,0	300,0	305,0	312,5
Eeldatav V/Ts	0,98	0,94	0,85	0,85	0,8	Eeldatav V/Ts	0,81	0,64	0,6	0,61	0,625
Eeldatav V/Ks	0,245	0,235	0,213	0,213	0,200	Eeldatav V/Ks	0,203	0,160	0,150	0,153	0,156
Ehitusturu kuivsegud											
	Weber M100	weberve tonit 137	Uninaks M100	Uninaks FKK							
Kuivsegu, g	2000	2000	2000	2000	V/Ts	Vesitsementtegur					
Tsement, g	-	-	-	-	V/Ks	Vesikuivsegutegur					
Vesi, g	294	660	396	335							
Eeldatav V/Ts	-	-	-	-							
Eeldatav V/Ks	0,147	0,33	0,198	0,168							

L2.7 Kivistunud mördi painde- ja survetugevuse algandmed

Tabel L2.11 Kivistunud mördi paindetugevuse katse algandmed

Kuivsegu	Purustav jõud, kN	Keskmine purustav jõud, kN	Paindetugevus, MPa	Keskmine paindetugevus, Mpa	Kuivsegu	Purustav jõud, kN	Keskmine purustav jõud, kN	Paindetugevus, MPa	Keskmine paindetugevus, Mpa
0% PSKL-i	2,4	2,7	5,63	6,3	0% Vmin	1,55	1,6	3,63	3,7
	2,95		6,91			1,725		4,04	
	2,775		6,50			1,425		3,34	
25% PSKL-i	2,658	2,5	6,23	5,9	25% Vmin	1,7	1,6	3,98	3,8
	2,475		5,80			1,675		3,93	
	2,368		5,55			1,55		3,63	
50% PSKL-i	3,05	2,8	7,15	6,6	50% Vmin	1,8	1,6	4,22	3,8
	2,6		6,09			1,575		3,69	
	2,825		6,62			1,525		3,57	
75% PSKL-i	2,575	2,6	6,04	6,0	75% Vmin	1,2	1,4	2,81	3,2
	2,4		5,63			1,41		3,30	
	2,725		6,39			1,475		3,46	
100% PSKL-i	2,475	2,6	5,80	6,1	100% Vmin	1,45	1,4	3,40	3,3
	2,775		6,50			1,425		3,34	
	2,6		6,09			1,375		3,22	
0% Pmin	2,825	2,8	6,62	6,6	0% Vmax	1,05	1,0	2,46	2,4
	2,65		6,21			0,95		2,23	
	2,925		6,86			1,075		2,52	
25% Pmin	3,1	3,1	7,27	7,2	25% Vmax	1,225	1,2	2,87	2,7
	2,95		6,91			1,125		2,64	
	3,2		7,50			1,15		2,70	
50% Pmin	3,25	3,1	7,62	7,2	50% Vmax	0,85	0,9	1,99	2,1
	2,8		6,56			0,925		2,17	
	3,2		7,50			0,94		2,20	
75% Pmin	3,2	3,2	7,50	7,4	75% Vmax	0,95	0,9	2,23	2,0
	3,025		7,09			0,825		1,93	
	3,25		7,62			0,8		1,88	
100% Pmin	2,65	2,8	6,21	6,5	100% Vmax	0,9	0,9	2,11	2,1
	2,95		6,91			0,95		2,23	
	2,69		6,30			0,875		2,05	
0% Pmax	2,55	2,7	5,98	6,3	0% Pmin Vmin	1,95	1,8	4,57	4,1
	2,65		6,21			1,6		3,75	
	2,8		6,56			1,75		4,10	
25% Pmax	2,89	3,3	6,77	7,7	25% Pmin Vmin	1,5	1,5	3,52	3,4
	3,4		7,97			1,575		3,69	
	3,55		8,32			1,275		2,99	
50% Pmax	3,925	4,1	9,20	9,7	50% Pmin Vmin	1,35	1,5	3,16	3,5
	4,175		9,79			1,6		3,75	
	4,275		10,02			1,5		3,52	
75% Pmax	4,075	3,7	9,55	8,7	75% Pmin Vmin	1,225	1,2	2,87	2,9
	3,75		8,79			1,1		2,58	
	3,35		7,85			1,35		3,16	
100% Pmax	3,425	3,2	8,03	7,6	100% Pmin Vmin	1,5	1,4	3,52	3,3
	3,05		7,15			1,35		3,16	
	3,225		7,56			Ebaõnnestus		-	

Kuivsegu	Purustav jõud, kN	Keskmine purustav jõud, kN	Paindetugevus, MPa	Keskmine paindetugevus, Mpa	Kuivsegu	Purustav jõud, kN	Keskmine purustav jõud, kN	Paindetugevus, MPa	Keskmine paindetugevus, Mpa
0% Pmax Vmax	1,075	1,1	2,52	2,6	0% 0,08 P/0,05 V	2,35	2,1	5,51	5,0
	1,125		2,64			4,51			
	1,075		2,52			4,98			
25% Pmax Vmax	0,975	0,9	2,29	2,0	25% 0,08 P/0,05 V	2,325	2,3	5,45	5,4
	0,875		2,05			5,33			
	0,75		1,76			5,45			
50% Pmax Vmax	1	0,9	2,34	2,2	50% 0,08 P/0,05 V	2,5	2,6	5,86	6,0
	0,925		2,17			5,68			
	0,85		1,99			6,45			
75% Pmax Vmax	0,85	0,9	1,99	2,0	75% 0,08 P/0,05 V	2,25	2,5	5,27	5,8
	0,9		2,11			6,04			
	0,8		1,88			6,04			
100% Pmax Vmax	0,9	0,9	2,11	2,1	100% 0,08 P/0,05 V	1,925	2,1	4,51	4,9
	0,9		2,11			5,04			
	0,85		1,99			5,16			
0% Pmin Vmax	1,35	1,4	3,16	3,3	Naks FKK	1,8	2,0	4,22	4,8
	1,4		3,28			4,92			
	1,5		3,52			5,21			
25% Pmin Vmax	0,8	0,9	1,88	2,1	Naks M100	1,225	1,2	2,87	2,8
	0,9		2,11			2,93			
	1		2,34			2,64			
50% Pmin Vmax	0,9	0,8	2,11	2,0	Weber M100	1,3	1,4	3,05	3,2
	0,75		1,76			3,40			
	0,875		2,05			3,11			
75% Pmin Vmax	1,125	1,0	2,64	2,4	W137	0,775	0,8	1,82	1,9
	0,95		2,23			2,11			
	1,05		2,46			1,76			
100% Pmin Vmax	1,2	1,1	2,81	2,6					
	1		2,34						
	1,075		2,52						
0% Pmax Vmin	1,85	1,9	4,34	4,3					
	1,9		4,45						
	1,8		4,22						
25% Pmax Vmin	1,3	1,2	3,05	2,8					
	1,15		2,70						
	1,075		2,52						
50% Pmax Vmin	1,375	1,4	3,22	3,3					
	1,475		3,46						
	1,35		3,16						
75% Pmax Vmin	1,525	1,4	3,57	3,4					
	1,4		3,28						
	1,4		3,28						
100% Pmax Vmin	1,55	1,4	3,63	3,2					
	1,25		2,93						
	1,3		3,05						

Tabel L2.12 Kivistunud mördi survetugevuse katse algandmed

Kuivsegu	Purustav jõud, kN	Keskmine purustav jõud, kN	Survetugevus, MPa	Keskmine survetugevus, MPa	Kuivsegu	Purustav jõud, kN	Keskmine purustav jõud, kN	Survetugevus, MPa	Keskmine survetugevus, MPa
0% PSKL-i	69,3	66,7	43,31	41,7	0% Pmax	84,5	81,6	52,81	51,0
	Ebaõnnestus		-			79,5		49,69	
	66,2		41,38			79,8		49,88	
	62,1		38,81			81,9		51,19	
	66,4		41,50			81,2		50,75	
	69,3		43,31			82,5		51,56	
25% PSKL-i	72,3	72,3	45,19	45,2	25% Pmax	81	87,2	50,63	54,5
	73,7		46,06			89,5		55,94	
	72,5		45,31			83,5		52,19	
	72,2		45,13			90,9		56,81	
	72,6		45,38			90,5		56,56	
	70,5		44,06			87,5		54,69	
50% PSKL-i	62,5	62,6	39,06	39,1	50% Pmax	97,2	93,9	60,75	58,7
	61,1		38,19			94,6		59,13	
	64,4		40,25			94,7		59,19	
	59,6		37,25			94,5		59,06	
	66,3		41,44			91		56,88	
	61,4		38,38			91,5		57,19	
75% PSKL-i	55	56,6	34,38	35,4	75% Pmax	97	93,7	60,63	58,6
	56,2		35,13			93,8		58,63	
	55,5		34,69			91,5		57,19	
	56,7		35,44			94,8		59,25	
	59,1		36,94			94,5		59,06	
	57		35,63			90,5		56,56	
100% PSKL-i	61,7	56,7	38,56	35,4	100% Pmax	79,5	83,6	49,69	52,2
	53,1		33,19			82,8		51,75	
	51,2		32,00			86		53,75	
	64		40,00			85,1		53,19	
	51,7		32,31			86,5		54,06	
	58,6		36,63			81,5		50,94	
0% Pmin	70	71,4	43,75	44,6	0% Vmin	16,5	17,3	10,31	10,8
	74,4		46,50			17,9		11,19	
	73,7		46,06			17,9		11,19	
	69,3		43,31			17,2		10,75	
	74		46,25			17,5		10,94	
	66,8		41,75			16,9		10,56	
25% Pmin	79,2	78,6	49,50	49,1	25% Vmin	18,9	18,0	11,81	11,2
	77,5		48,44			17		10,63	
	78,1		48,81			18		11,25	
	77,3		48,31			17,8		11,13	
	80,9		50,56			18		11,25	
	78,5		49,06			18		11,25	
50% Pmin	74,4	70,5	46,50	44,0	50% Vmin	18	18,1	11,25	11,3
	75		46,88			18,6		11,63	
	70,9		44,31			17,9		11,19	
	62,5		39,06			18,5		11,56	
	65		40,63			18,9		11,81	
	75		46,88			16,9		10,56	
75% Pmin	64,2	66,4	40,13	41,5	75% Vmin	17,5	16,4	10,94	10,2
	63,9		39,94			16,5		10,31	
	64,5		40,31			16,4		10,25	
	68,8		43,00			15,4		9,63	
	66,4		41,50			15,5		9,69	
	70,4		44,00			16,9		10,56	
100% Pmin	60	61,5	37,50	38,4	100% Vmin	18,5	17,0	11,56	10,6
	60		37,50			15,8		9,88	
	61,5		38,44			17		10,63	
	61,8		38,63			17		10,63	
	62,5		39,06			17		10,63	
	63,2		39,50			16,5		10,31	

Kuivsegu	Purustav jõud, kN	Keskmine purustav jõud, kN	Survetugevus, MPa	Keskmine survetugevus, MPa	Kuivsegu	Purustav jõud, kN	Keskmine purustav jõud, kN	Survetugevus, MPa	Keskmine survetugevus, MPa
0% Vmax	6	6,4	3,75	4,0	0% Pmax Vmax	9,3	9,7	5,81	6,0
	4,2		2,63			10,2		6,38	
	6,2		3,88			10,3		6,44	
	7,1		4,44			10,1		6,31	
	6,5		4,06			10		6,25	
	8,5		5,31			8		5,00	
25% Vmax	9,9	9,8	6,19	6,1	25% Pmax Vmax	7,9	7,8	4,94	4,8
	9,4		5,88			8,1		5,06	
	10		6,25			7,5		4,69	
	9,8		6,13			8,1		5,06	
	10		6,25			7		4,38	
	9,9		6,19			7,9		4,94	
50% Vmax	8,9	8,6	5,56	5,4	50% Pmax Vmax	9,3	8,8	5,81	5,5
	8,9		5,56			9,2		5,75	
	8,9		5,56			8		5,00	
	8,9		5,56			8,8		5,50	
	8		5,00			9		5,63	
	8		5,00			8,5		5,31	
75% Vmax	7,8	7,3	4,88	4,6	75% Pmax Vmax	6,8	7,8	4,25	4,9
	7,9		4,94			8		5,00	
	7,5		4,69			7,9		4,94	
	7,8		4,88			8		5,00	
	6,4		4,00			7,9		4,94	
	6,6		4,13			8		5,00	
100% Vmax	6,9	7,1	4,31	4,5	100% Pmax Vmax	8,1	8,2	5,06	5,1
	7,2		4,50			8,1		5,06	
	7,8		4,88			8,1		5,06	
	7,2		4,50			8,2		5,13	
	6,9		4,31			8,1		5,06	
	6,8		4,25			8,7		5,44	
0% Pmin Vmin	21	21,3	13,13	13,3	0% Pmin Vmax	10,5	10,3	6,56	6,5
	22,1		13,81			11		6,88	
	20,6		12,88			11		6,88	
	20,5		12,81			10		6,25	
	21,5		13,44			10		6,25	
	21,8		13,63			9,5		5,94	
25% Pmin Vmin	18,2	17,4	11,38	10,9	25% Pmin Vmax	7	7,8	4,38	4,9
	18		11,25			7,5		4,69	
	17,1		10,69			8		5,00	
	17,5		10,94			7		4,38	
	15,9		9,94			8,5		5,31	
	17,5		10,94			9		5,63	
50% Pmin Vmin	15,2	17,2	9,50	10,8	50% Pmin Vmax	7,5	7,8	4,69	4,9
	18		11,25			7		4,38	
	17,9		11,19			7		4,38	
	16,5		10,31			7,5		4,69	
	17,8		11,13			9		5,63	
	18		11,25			9		5,63	
75% Pmin Vmin	15	13,7	9,38	8,6	75% Pmin Vmax	8	8,0	5,00	5,0
	8,5		5,31			8,5		5,31	
	14,8		9,25			7		4,38	
	15,3		9,56			8,5		5,31	
	12,9		8,06			7		4,38	
	15,9		9,94			9		5,63	
100% Pmin Vmin	16,9	16,0	10,56	10,0	100% Pmin Vmax	9	8,6	5,63	5,4
	13,5		8,44			9		5,63	
	17,1		10,69			8,5		5,31	
	17,5		10,94			8		5,00	
	13,5		8,44			9		5,63	
	17,6		11,00			8		5,00	

Kuivsegu	Purustav jõud, kN	Keskmine purustav jõud, kN	Survetugevus, MPa	Keskmine survetugevus, MPa	Kuivsegu	Purustav jõud, kN	Keskmine purustav jõud, kN	Survetugevus, MPa	Keskmine survetugevus, MPa																				
0% Pmax Vmin	21,5	21,2	13,44	13,2	0% 0,08 P/0,05 V	37	37,8	23,13	23,6																				
	23		14,38			37		23,13																					
	20,5		12,81			39,5		24,69																					
	20,5		12,81			38,5		24,06																					
	21		13,13			37		23,13																					
	20,5		12,81			37,5		23,44																					
25% Pmax Vmin	17	16,6	10,63	10,4	25% 0,08 P/0,05 V	41	40,4	25,63	25,3																				
	16,5		10,31			39		24,38																					
	17,5		10,94			41,5		25,94																					
	17		10,63			40		25,00																					
	16		10,00			40,5		25,31																					
	15,5		9,69			40,5		25,31																					
50% Pmax Vmin	18	17,9	11,25	11,2	50% 0,08 P/0,05 V	46,5	45,8	29,06	28,6																				
	16,5		10,31			45,5		28,44																					
	19		11,88			50,5		31,56																					
	18,5		11,56			38		23,75																					
	18		11,25			48		30,00																					
	17,5		10,94			46		28,75																					
75% Pmax Vmin	17	16,5	10,63	10,3	75% 0,08 P/0,05 V	49,5	50,8	30,94	31,7																				
	18		11,25			52		32,50																					
	15		9,38			50		31,25																					
	16		10,00			51		31,88																					
	16		10,00			50		31,25																					
	17		10,63			52		32,50																					
100% Pmax Vmin	17,9	18,1	11,19	11,3	100% 0,08 P/0,05 V	39	38,2	24,38	23,9																				
	18		11,25			38		23,75																					
	18,5		11,56			38		23,75																					
	18,4		11,50			38		23,75																					
	18,9		11,81			38		23,75																					
	16,9		10,56			38		23,75																					
Naks FKK	43	43,0	26,88	26,9																									
	46		28,75																										
	40		25,00																										
	42,5		26,56																										
	42		26,25																										
	44,5		27,81																										
Naks M100	14,5	14,4	9,06	9,0																									
	15		9,38																										
	15		9,38																										
	14		8,75																										
	14		8,75																										
	14		8,75																										
Weber M100	16	15,3	10,00	9,5																									
	16		10,00																										
	14		8,75																										
	16,5		10,31																										
	15		9,38																										
	14		8,75																										
W137	6,5	6,6	4,06	4,1																									
	7		4,38																										
	6,5		4,06																										
	7		4,38																										
	6		3,75																										
	6,5		4,06																										

Tabel L2.13 Painde- ning survetugevuse katsekehade valmistamise algandmed

Ilma lisanditeta						P 0,05% MIN					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1700	1700	1800	2000	1700	Kuivsegu, g	1760	1760	1760	2000	1700
Tsement, g	425	425	450	500	425	Tsement, g	440	440	440	500	425
						Plastifikaator, g	0,22	0,22	0,22	0,25	0,21
Vesi, g	327,25	284,75	288	302,5	259,25	Vesi, g	310,2	268,4	261,8	292,5	250,75
Eeldatav V/Ts	0,77	0,67	0,64	0,605	0,61	Eeldatav V/Ts	0,705	0,61	0,595	0,585	0,59
Eeldatav V/Ks	0,193	0,168	0,160	0,151	0,153	Eeldatav V/Ks	0,176	0,153	0,149	0,146	0,148
P 0,2 % MAX						V 0,3 % MIN					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1700	1700	1700	1700	1700	Kuivsegu, g	1700	1600	1600	1600	1600
Tsement, g	425	425	425	425	425	Tsement, g	425	400	400	400	400
Plastifikaator, g	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	Veehoidvuse lisand, g	5,1	4,8	4,8	4,8	4,8
Vesi, g	252,9	224,0	208,3	208,3	210,4	Vesi, g	416,5	376,0	340,0	342,0	320,0
Eeldatav V/Ts	0,595	0,527	0,49	0,49	0,495	Eeldatav V/Ts	0,98	0,94	0,85	0,855	0,8
Eeldatav V/Ks	0,149	0,132	0,123	0,123	0,124	Eeldatav V/Ks	0,245	0,235	0,213	0,214	0,200
V 0,7 % MAX						Min P / Min V					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1600	1600	1600	1600	1600	Kuivsegu, g	1600	1600	1600	1600	1600
Tsement, g	400	400	400	400	400	Tsement, g	400	400	400	400	400
Veehoidvuse lisand, g	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	Veehoidvuse lisand, g	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
						Plastifikaator, g	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Vesi, g	362,5	332,5	312,5	305	287,5	Vesi, g	240,0	234,1	212,5	209,2	197,5
Eeldatav V/Ts	1,45	1,36	1,25	1,22	1,15	Eeldatav V/Ts	0,96	0,94	0,85	0,84	0,79
Eeldatav V/Ks	0,363	0,340	0,313	0,305	0,288	Eeldatav V/Ks	0,240	0,235	0,213	0,210	0,198
Max P / Max V						Min P / Max V					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1700	1600	1600	1600	1600	Kuivsegu, g	1600	1600	1600	1600	1600
Tsement, g	425	400	400	400	400	Tsement, g	400	400	400	400	400
Veehoidvuse lisand, g	11,9	11,2	11,2	11,2	11,2	Veehoidvuse lisand, g	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
Plastifikaator, g	0,85	0,8	0,8	0,8	0,8	Plastifikaator, g	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Vesi, g	616,3	544,0	500,0	488,0	460,0	Vesi, g	580,0	544,0	500,0	488,0	460,0
Eeldatav V/Ts	1,45	1,36	1,25	1,22	1,15	Eeldatav V/Ts	1,45	1,36	1,25	1,22	1,15
Eeldatav V/Ks	0,363	0,340	0,313	0,305	0,288	Eeldatav V/Ks	0,363	0,340	0,313	0,305	0,288

Max P/Min V						0,08 % P/ 0,05 % V					
	100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL		100 % PSKL	75 % PSKL	50 % PSKL	25 % PSKL	0 % PSKL
Kuivsegu, g	1600	1600	1600	1600	1600	Kuivsegu, g	1800	1800	1800	1800	1800
Tsement, g	400	400	400	400	400	Tsement, g	450	450	450	450	450
Veehoidvuse lisand, g	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	Veehoidvuse lisand, g	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Plastifikaator, g	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	Plastifikaator, g	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Vesi, g	392,0	376,0	340,0	340,0	320,0	Vesi, g	360,0	288,0	270,0	274,5	281,3
Eeldatav V/Ts	0,98	0,94	0,85	0,85	0,8	Eeldatav V/Ts	0,8	0,64	0,6	0,61	0,625
Eeldatav V/Ks	0,245	0,235	0,213	0,213	0,200	Eeldatav V/Ks	0,200	0,160	0,150	0,153	0,156
Ehitusturu kuivsegud					Konsistentsi kaotanud segu						
	Weber M100	webervetonit	Uninaks M100	Uninaks FKK		100 % silikaatliiv, 137 mm konsistents					
Kuivsegu, g	1800	1800	1800	1800	Kuivsegu, g	1800		V/Ts	Vesitsementtegur		
Tsement, g	-	-	-	-	Tsement, g	450		V/Ks	Vesikuivsegutegur		
Vesi, g	264,6	594	356,4	301,5	Vesi, g	364,5					
Eeldatav V/Ts	-	-	-	-	Eeldatav V/Ts	0,810					
Eeldatav V/Ks	0,147	0,33	0,198	0,168	Eeldatav V/Ks	0,203					

L2.8 Kivistunud mördi nakketugevuse alandmed

Tabel L2.14 Nakketugevuse katse alandmed

Segu	Purustav jõud, N	Nakketugevus, MPa	Keskmine nakketugevus, MPa	Purunemispilt	Segu	Purustav jõud, N	Nakketugevus, MPa	Keskmine nakketugevus, MPa	Purunemispilt
0% PSKL-i	1417	0,72	0,86	A	0% Vmin	2052	1,05	0,97	C
	1659	0,84		A 80/C 20		2129	1,08		C
	2018	1,03		A 80/C 20		1527	0,78		C
25% PSKL-i	1167	0,59	0,49	A	25% Vmin	2052	1,05	1,03	A 80/B 20
	899	0,46		A		1998	1,02		C
	833	0,42		A		2033	1,04		A 80/B 20
50% PSKL-i	1448	0,74	0,83	A	50% Vmin	1122	0,57	0,62	A 80/B 20
	1948	0,99		C		1366	0,70		A
	1504	0,77		A		1188	0,61		A 80/B 20
75% PSKL-i	Ebaõnnestus	-	-	Ebapiisav nake aluspinnaga	75% Vmin	2102	1,07	0,90	A
	-	-				1609	0,82		C
	-	-				1570	0,80		C
100% PSKL-i	Ebaõnnestus	-	-	Ebapiisav nake aluspinnaga	100% Vmin	838	0,43	0,42	A
	-	-				847	0,43		A
	-	-				760	0,39		A
0% Pmin	1398	0,71	0,75	A	0% Vmax	1892	0,96	0,91	C
	1373	0,70		A		1735	0,88		C
	1667	0,85		C		1732	0,88		B
25% Pmin	1126	0,57	0,61	A	25% Vmax	1927	0,98	0,65	C
	887	0,45		A		826	0,42		B
	1572	0,80		A		1047	0,53		B
50% Pmin	1943	0,99	0,77	C	50% Vmax	957	0,49	0,42	A
	1709	0,87		A		755	0,38		B
	895	0,46		A 80/C 20		784	0,40		B
75% Pmin	894	0,46	0,34	A	75% Vmax	729	0,37	0,41	A
	497	0,25		A		823	0,42		A
	613	0,31		A		858	0,44		A
100% Pmin	1267	0,65	0,71	A	100% Vmax	263	0,13	0,19	A
	1331	0,68		C		396	0,20		A
	1578	0,80		C		471	0,24		A
0% Pmax	401	0,20	0,27	A	0% Pmin Vmin	1569	0,80	0,87	C
	663	0,34		A		1894	0,96		A
	-	-		Ebapiisav nake aluspinnaga		1664	0,85		C
25% Pmax	2123	1,08	1,09	C	25% Pmin Vmin	1193	0,61	0,58	A
	2281	1,16		C		935	0,48		A
	1996	1,02		C		1293	0,66		A
50% Pmax	2218	1,13	0,79	C	50% Pmin Vmin	1377	0,70	0,68	A
	2159	1,10		C		1368	0,70		A
	271	0,14		C		1275	0,65		A
75% Pmax	1985	1,01	0,73	C	75% Pmin Vmin	1721	0,88	0,86	C
	1946	0,99		C		1721	0,88		C
	387	0,20		C		1625	0,83		C
100% Pmax	1577	0,80	0,81	C	100% Pmin Vmin	647	0,33	0,39	A
	1636	0,83		C		886	0,45		A
	1585	0,81		C		737	0,38		A

Segu	Purustav jõud, N	Nakketugevus, MPa	Keskmine nakketugevus	Purunemispilt	Segu	Purustav jõud, N	Nakketugevus, MPa	Keskmine nakketugevus,	Purunemispilt		
0% Pmax Vmax	1679	0,86	0,79	C	Weber M100	-	-	0,46	Ebaõnnestus		
	1647	0,84		B		1092	0,56		A		
	1339	0,68		B		699	0,36		B		
25% Pmax Vmax	973	0,50	0,46	B	Weber 137	634	0,32	0,24	A		
	859	0,44		B		419	0,21		A		
	893	0,45		B		370	0,19		A		
50% Pmax Vmax	1133	0,58	0,69	B	Naks FKK	167	0,09	0,09	A		
	1582	0,81		B		Ebaõnnestus	-		Ebapiisav nake aluspinnaga		
	1364	0,69		C		Ebaõnnestus	-		Ebapiisav nake aluspinnaga		
75% Pmax Vmax	701	0,36	0,53	B	Naks M100	328	0,17	0,19	A		
	1041	0,53		B		554	0,28		A		
	1364	0,69		B		256	0,13		A		
100% Pmax Vmax	1352	0,69	0,56	B	0% uus	1825	0,93	0,91	C		
	1050	0,53		B		1579	0,80		C		
	892	0,45		B		1981	1,01		C		
0% Pmin Vmax	1272	0,65	0,72	B	25% uus	1947	0,99	0,97	C		
	1762	0,90		B		2004	1,02		C		
	1220	0,62		B		1757	0,89		C		
25% Pmin Vmax	1472	0,75	0,63	B	50% uus	1632	0,83	0,93	C		
	1376	0,70		B		1821	0,93		C		
	862	0,44		B		2028	1,03		C		
50% Pmin Vmax	1155	0,59	0,67	B	75% uus	2324	1,18	1,02	C		
	1472	0,75		B		1794	0,91		C		
	1327	0,68		C		1902	0,97		C		
75% Pmin Vmax	1746	0,89	0,89	C	100% uus	1485	0,76	0,84	C		
	1597	0,81		B		1808	0,92		C		
	1905	0,97		C		1652	0,84		C		
100% Pmin Vmax	640	0,33	0,25	A							
	428	0,22		A							
	413	0,21		A							
0% Pmax Vmin	1686	0,86	0,79	A							
	1046	0,53		A							
	1893	0,96		A							
25% Pmax Vmin	1963	1,00	1,01	C							
	1764	0,90		C							
	2200	1,12		A							
50% Pmax Vmin	1651	0,84	0,83	C							
	1484	0,76		C							
	1772	0,90		C							
75% Pmax Vmin	1226	0,62	0,66	A							
	1406	0,72		C							
	1275	0,65		A							
100% Pmax Vmin	533	0,27	0,32	A							
	767	0,39		A							
	562	0,29		A							