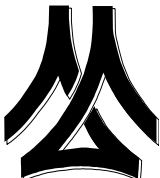


Vana Säreveere silla koormuskatsetused ja teaduslikud analüüsid ning hüdroisoleerivate betoonide ja betoon-pinna hüdrofoobsete pinnakaitsevahendite teaduslik uuring

Lõpparuanne: Osa 2



TÖÖVÕTULEPING nr 15-00242/011



MAANTEEAMET

Tallinn 2015

EESSÕNA

Käesoleva uuringu eesmärkideks on uurida betooni kapillaarset veeimavust vähendavate lisandite toimet betoonile ja anda ülevaade sildade hüdroisolatsiooniks kasutatavate materjalide nõuetest koos soovituslike suurustega.

Aruande on koostanud Sander Sein ja Sten Hoolma Tallinna Tehnikaülikoolist Maanteeameti tellimusel.

Sisukord

1. SISSEJUHATUS	4
2. Hüdroisoleerivate lisandite võrdluskatsed.....	6
2.1 Betooni keemilistest lisanditest üldiselt	6
2.1.1 Veeimavust vähendavad betoonilisandid.....	7
2.2 Varasemad uuringud	8
2.3 Uuritavad lisandid.....	10
2.4 Katseplaan	11
2.4.1 Lisandite viimine betoonisegusse	13
2.4.2 Katsekehade valmistamine.....	14
2.5 Katsetamine ja katsetoodikate tutvustus	16
2.5.1 BETOONISEGU TÖÖDELDAVUSE ehk KONSISTENTSI MÄÄRAMINE.....	16
2.5.2 BETOONISEGU ÕHUSISALDUSE MÄÄRAMINE.....	17
2.5.3 BETOONI SURVETUGEVUSE MÄÄRAMINE	18
2.5.4 Surve alla oleva vee sissetungimissügavuse määramine.....	19
2.5.5 Betooni veepidavusklassi määramine.....	20
2.6 Katsetulemused ja nende analüüs	22
2.6.1 BETOON C25/30.....	23
2.6.2 BETOON C30/37	26
2.6.3 BETOON C35/45.....	29
2.6.4 BETOON C40/50.....	32
2.6.5 BETOON C30/37 KK4	37
2.6.6 BETOON C35/45 KK4	41
2.6.7 BETOON C25/30*– lisandid manustati pulbri kujul	44
2.6.8 BETOON C40/50* – Kasutati Semtu Semflow MC superplastifikaatorit ..	48
2.6.9 KOONDANALÜÜS SUSPENSIOONINA MANUSTATUD LISANDITEGA BETOONIDE VEE SISSETUNGIVUSSÜGAVUSTE PÕHJAL	51
2.7 KATSETULEMUSTE KOKKUVÕTE	55
3. Eestis kasutusel olevad hüdroisolatsiooni süsteemid	57
3.1 2012 – 2015. aastatel Eestis kasutatud süsteemid	58
4 Hüdroisolatsioonide standardikohased nõuded	59
4.1 Süsteem nr 1 nõuded	59
4.2 Süsteem nr 2 nõuded	60
4.3 Süsteem nr 3 nõuded	60
4.4 Pinnakaitsevahendid	63
5 Lähiriikides kasutusel olevad süsteemid ja nõuded	64
5.1 Süsteemide kirjeldused	64

5.1.1	Läti.....	64
5.1.2	Leedu.....	66
5.1.3	Soome	66
5.1.4	Rootsi	67
5.1.5	Taani.....	67
5.1.6	Norra.....	67
5.2	Nõuete analüüs	68
5.2.1	Nõuded Hüdrolatsioonrullmaterjalidele	68
5.2.2	Nõuded vedelatele hüdrolatsioonidele	73
5.2.3	Nõuded valuasfaldile	75
5.2.4	Nõuded Pinnakaitsevahenditele	75
5.2.5	Turul olevate toodete vastavus nõuetele	77
5.3	Hüdrofobiseerivate materjalide kokkuvõte.....	77
6	Kokkuvõte.....	77
7	Kasutatud kirjandus	77
	Lisa 1.Betoonilisandite Katseplaan	81
	Lisa 2. Katsetuste ajagraafik.....	82
	LISA 3. KATSETULEMUSED	83
	LISA 4. TOIMIVUSDEKLARATSIOONID	84
	LISA 5 Katseprotokollid.....	90

1. SISSEJUHATUS

Töö eesmärk: *Eestis kasutatud hüdrololeerimise ja pinnakaitsevahendite materjalide vastupidavuse teadusanalüüsi* eesmärk on välja selgitada viimasel ajal kasutatud erinevate silla hüdrolatsioonide ja materjalide ja pinnakaitsevahendite sobivust ning tuua välja nende kasutamisetepanekud. Katsetada ja võrrelda hüdrolfoobseid vettupidavaid ja nii öelda tavalisi betoone. Tulemused on vajalikud nii tellijatele (Maanteeamet, kohalikud omavalitsused jt), projekteerijatele, ehitajatele kui ka järelevalve teostajatele.

Vastavalt tellimusele koosneb töö kahest erinevast osast [1]:

1. Uurida katseliselt (vastavalt EVS-EN 12390-8) betooni kapillaarset veeimavust vähendavate lisandite mõju erinevatele normaalbetoonidele.
2. Anda ülevaade Eestis ja naaberriikides viimastel aastatel kasutusel olevatest betoonpinna hüdrolfoobsete omadustega hüdrolatsioonide materjalidest. Võrrelda omavahel eri riikide nõudeid ja analüüsida süsteemide sobilikkust Eesti kliimasse.

Antud aruandes esitatakse ülevaade katsetatavatest materjalidest, katsetest ja antakse ülevaade tulemustest koos analüüsiga. Analüüsi eesmärgiks on välja selgitada kas ja kui suur mõju avaldavad betooni veekindlusele Eestis peamiselt kasutatavad betooni veekindlust suurendavad lisandid *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36*, mis vastavad standardile EVS-EN 934-2:2009 „Betooni, mördi ja süstmördi keemilised lisandid. Osa 2: Betooni keemilised lisandid. Määratlused, nõuded, vastavus, tähistus ja sildistus“.

Lisaks esitatakse ülevaade Eestis ja naaberriikides aastal 2016 kasutusel olnud hüdroisolatsiooni materjalide nõuetest koos võrdluse ja analüüsiga. Analüüsi eesmärgiks on välja pakkuda sobilikud nõuded Eesti kliimasse. Analüüs on teostatud vastavalt teetööde tehnilistes kirjeldustes välja toodud süsteemidele.

2. HÜDROISOLEERIVATE LISANDITE VÕRDLUSKATSED

Uurimus viidi läbi selleks, et selgitada katseliselt välja hüdroisolatsioonmaterjalide asemel soovitatud betoonide veekindlaks muutmiseks kasutatavate lisandite toime. Omavahel võrreldi kolme Eestis kõige enam kasutatud betooni veeimavust vähendavat EVS-EN 934-2 kohast keemilist lisandit, katsetades neid erinevate tugevusklasside betoonidega.

Vastavalt standardile EVS-EN 206:2014 saab betoone liigitada kolmel eri viisil [5]:

- Keskkonnatingimuste põhised keskkonnaklassid
- Betoonisegu omaduste klassid
- Kivistunud betooni omaduste klassid

Antud uurimuses on lisandite mõju uuritud kõikide liigituste alusel. Lähteülesandes oli paika pandud liigitus keskkonnaklasside järgi ja katseplaanis kirjeldatud betoonisegu ja kivistunud betooni omadusi eri liigitustes.

2.1 BETOONI KEEMILISTEST LISANDITEST ÜLDISELT

Betoonisegudes kasutatavaid keemilisi lisandeid, nende omadusi ja nendele esitatavaid nõudeid määratletakse vastavalt standardile EVS-EN 934-2:2009+A1:2012 – “Betooni, mördi ja süstmördi keemilised lisandid. Osa 2: Betooni keemilised lisandid. Määratlused, nõuded, vastavus, tähistus ja sildistus.” [12]

Betooni keemiline lisand on aine, mida lisatakse betoonile segamise käigus, muutmaks betoonisegu ja/või kivistunud betooni omadusi. Lisandeid manustatakse koguses, mis ei ületa 5% betoonisegus sisalduva tsemendi massist. [12]

Lisandid liigitatakse vastavalt toimele järgnevalt: [12]

- veevajadust vähendav / plastifitseeriv lisand, mis võimaldab, mõjutamata töödeldavust, vähendada betoonisegu veesisaldust või võrdsel veesisaldusel suurendada selle töödeldavust või saavutada üheaegselt mõlemat.
- veevajadust suurel määral vähendav / superplastifitseeriv lisand, mis võimaldab, mõjutamata töödeldavust, oluliselt vähendada betoonisegu veesisaldust või võrdsel veesisaldusel oluliselt suurendada selle töödeldavust või saavutada üheaegselt mõlemat.
- veehoidvust suurendav lisand, mis vähendab vee eraldumist betoonisegust.

- õhku manustav lisand, mille toimetel tekivad segamise käigus väikesed ühtlaselt jaotuvad õhumullid betoonisegus.
- tardumist kiirendav lisand, mis kiirendab segu plastsest olekust tahkesse minemist.
- kivistumist kiirendav lisand, mis kiirendab betooni tugevuse kasvu kivistumise algfaasis, mõjutades või mitte mõjutades tardumisaega.
- tardumist aeglustav lisand, mis aeglustab segu plastsest olekust tahkesse minemist.
- tardumist aeglustav / veevajadust vähendav/plastifitseeriv lisand, mis samaaegselt vähendab veevajadust (põhitoime) ja aeglustab tardumist (kõrvaltoime).
- tardumist aeglustav / veevajadust suurel määral vähendav/superplastifitseeriv lisand, mis samaaegselt vähendab suurel määral veevajadust (põhitoime) ja aeglustab tardumist (kõrvaltoime).
- tardumist kiirendav / veevajadust vähendav/plastifitseeriv lisand, mis samaaegselt vähendab veevajadust (põhitoime) ja kiirendab tardumist (kõrvaltoime).
- veeimavust vähendav lisand, mis vähendab kivistunud betooni kapillaarset veeimavust.

2.1.1 VEEIMAVUST VÄHENDAVALD BETOONILISANDID

Veeimavust vähendavate lisandite näol on üldiselt tegemist lisanditega, mis sulgevad betooni kapillaarsüsteemi ja vähendavad seeläbi veeimavust. Betoonivalmistajate jaoks on läbi aegade olnud betooni tähtsaimaks omaduseks selle tugevus, nüüdseks on sama oluliseks faktoriks ka betooni vastupidavus. Katselised uuringud ja praktika on näidanud, et betooni vastupidavust ei ole võimalik saavutada vaid optimaalse vesitsementteguriga või kasutades seguvalmeid, millega saadakse kõrgtugevaid betoone. Agressiivsetes keskkondades laguneb betoon eelkõige selle tõttu, et vesi saab tungida betooni ja sel viisil transportida sinna ka ühendeid, mis aitavad betooni lagunemisele ja armatuurterase korrodeerumisele kaasa. [26]

Betooni veeimavust vähendavad lisandid saab jaotada kolme kategooriasse:

1. Hüdrofoobsed või vett tõrjuvad kemikaalid, mida saadakse seepidest, rasvhapetest, taimsetest õlidest või naftast. Need materjalid moodustavad vett-tõrjuva kihi poorides, kuid jätavad poorid avatuks.
2. Suure jahvatuspeenusega kuivained, mis võivad olla inertsed või keemiliselt aktiivsed fillerid nagu talk, savi, silikaatidel põhinevad pulbrid,

süivesinikvaigud või kivisöetõrva pigid. Need materjalid teevad betooni tihedamaks ja seeläbi takistavad füüsiliselt vee liikumist poorides.

3. Patenditud keemiliselt aktiivsed ühendid, mis on segatud sideaine ja liivaga. Need on hüdrofiilsed materjalid, mis suurendavad kaltsiumsilikaathüdraatide (C-S-H) kontsentratsiooni tsemendipastas või tekitavad kristalseid poore ja mikropragusid sulgevaid ühendeid, mis ei lase veel tungida betooni. Kristalliseerumisprotsessi käigus tekivad pikenevad nõeljad kristallid, mis on olemuselt mahus suurenevad ja mis üksteisest läbikasvamise teel sulgevad nii betooni kivinemisprotsessidel tekkivad mahukahanemispraod kui ka ekspluatatsioonis tekkivad staatilised praod. [27]

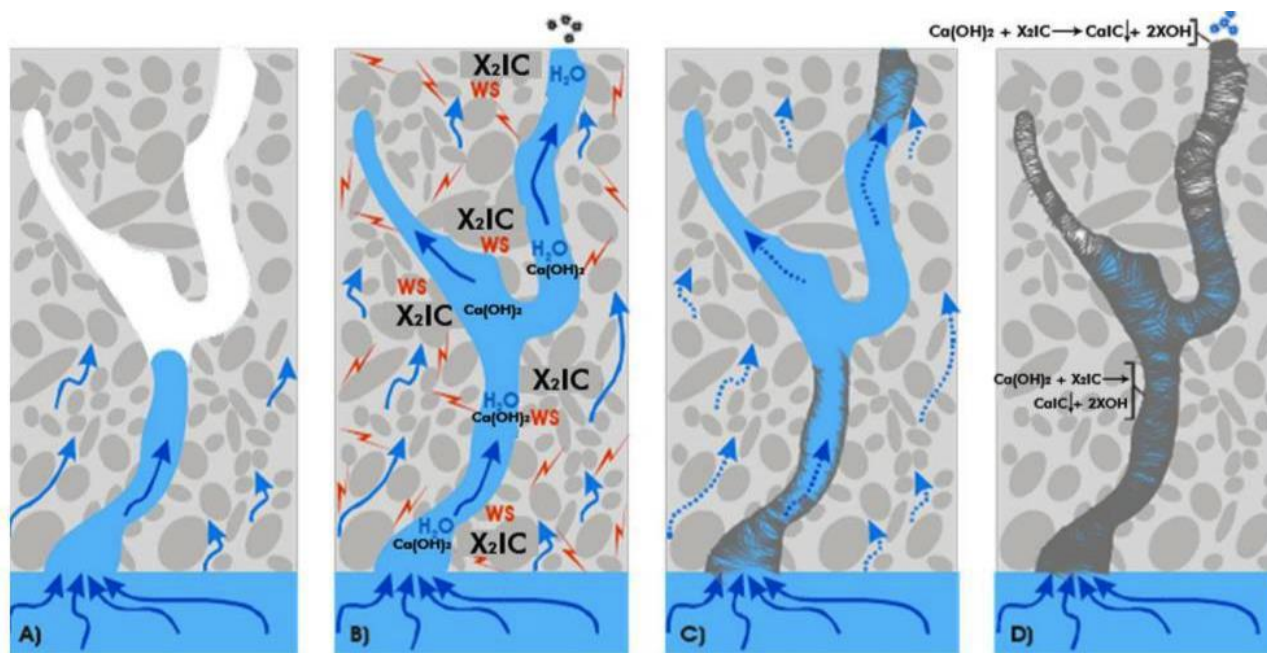
2.2 VARASEMAD UURINGUD

Kristalliliste betooni veeimavust vähendavate lisandite toimimisviisid pole veel täielikult läbi uuritud. Varasemalt on katseid tehtud peamiselt lisanditootjate poolt, vaadeldud on lisandite toimet ja palju on rõhku pandud lisandite tööpõhimõttele.

Ameerika Betooniinstituudi (ACI –American Concrete Institute) komitee 212 aruandes väidetakse, et kristalliseerumise põhimõttel töötavad betooni veeimavust vähendavad keemilised lisandid (M_xR_x) reageerivad trikaltsiumsilikaadiga (C_3S) ja veega, moodustades modifitseeritud kaltsiumsilikaathüdraate ja poore sulgeva sadestise ($M_xC_aR_x^*(H_2O)_x$) nagu on toodud järgnevas keemilises võrrandis. [34]

K. Sisomphon et al. läbi viidud mörtide pindmiste pragude iseparaneva toime uuringus väidetakse, et kristallilised betooni veeimavust vähendavad keemilised lisandid reageerivad niiskuse toimel kaltsiumhüdroksiidiga ($Ca(OH)_2$), moodustades poore sulgeva kristallstruktuuri. [24]

Joonisel 1 on toodud lisandi kaltsiumhüdroksiidiga reageerimise protsessi kirjeldus.



X_2IC = Veeimavust vähendava lisandi aktiivne komponent, WS = Veeimavust väh. lisand

Joonis 1. Kristallstruktuuri teke betooni kapillaarpoorides. [28]

Selgitus joonisele 1 (vasakult paremale):

1. Vesi siseneb betooni kapillaarsüsteemi.
2. Betooni poorides olev vesi reageerib betoonis oleva kaltsiumhüdroksiidiga ($Ca(OH)_2$) ja lisandis (WS) leiduva aktiivse komponendiga (X_2IC).
3. Tekkivate reaktsioonide tulemusena hakkab moodustuma pikenevate nõeljate üksteisest läbikasvavate kristallidega struktuur.
4. Tekkinud kristallstruktuur on sulgenud kapillaarpoori.

Kristallstruktuuri moodustumise protsessi reaktsioonivõrrandeid ei ole võimalik täpsemalt lahti kirjutada, kuna kõikide betooni kapillaarset veeimavust vähendavate lisandite retseptid ja keemiline koostis on tootjate patenditud valemitega ja ei ole avalik info.

2015. aastal uuriti Tallinna Tehnikakõrgkooli lõputöös esmakordselt Eestis enamkasutatavaid lisandite toimet normaalbetoonis. Töö käigus oli eesmärk hinnata lisandite mõju järgnevatele betooni omadustele: töödeldavus, õhusisaldus, survetugevus ja veepidavus. Lisaks prooviti selgitada betooni pragude sulgemise toimet koos eraldi välja töötatud katsemetoodikaga. [28] Katsed viidi läbi sarnaselt antud uurimustööga portland-komposiitsemendiga, kuid erineva tsemendi tugevusklassiga – kasutati CEM 42,5.

Standardsete katsetena läbiviidud veepidavuse katsed tõestasid lisandite omadust muuta betoon pikemaajalisel vees kivilnemisel vettpidavamaks. Nii EVS-EN 12390-8 kui GOST 12370.5 järgselt viidi läbi katsed kahes vanuses. Katsetulemused kajastasid 30-

päevaselt lisanditega läbiviidud tulemustes teatavat veepidavuse vähenemist etaloniga võrreldes. 86 päeva vanuselt ületasid aga kõik lisanditega tulemused etaloni näitajat. [28]

2.3 UURITAVAD LISANDID

Käesolevas uurimistöös vaadeldi betooni veeimavust vähendavaid lisandeid *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36*, mis vastavad standardile EVS-EN 934-2:2009+A1:2012. Nimetatud kolme lisandi valikukriteeriumiks oli enamkasutatavus Eesti ehitusturul betooni veeimavust vähendavate lisanditena.

Penetron Admix (foto 1), *Xypex Admix C-1000* (foto 1) ja *Betocrete C-36* (foto 1) on mittemürgised pulbrilised lisandid, mis viiakse betoonisegusse valmistamise käigus suspensiooni kujul. Lisandid reageerivad betoonis leiduvate ühenditega ning moodustavad poore, kapillaare ja mikropragusid jäädavalt sulgeva kristallstruktuuri, vähendades seeläbi vee sissetungivust betooni. Lisandid annavad betoonile iseparandava toime, mille tulemusel ekspluatatsioonis tekkivad kuni 0,4mm praod sulguvad. Tootjad väidavad, et nende lisandid ei tööta aurutõkkena ja ei soodusta korrosiooni tõket ega kahjusta armatuuri.[29], [30], [31]

Vee sissetungivust vähendavaid lisandeid kasutatakse betoonides, millega rajatakse elektrijaamade jahutustorne, veetöötlusjaamade ja veepuhastusjaamade reservuaare, tunnelid ja metroosid, betoonist torusid, maa-alused garaaže, parkimismaju, vundamente, keldreid, sildasid, viadukte, sekundaarsed tõkestusstruktuure (nt Keemiatehaste kemikaalide hoiustamise alad), monteeritavaid betoonelemente jm. [26],[29],[30]

Penetron Admix'i tootja väidab, lisaks eelnevale, et nende lisandit kasutades on võimalik betooni eluiga pikendada kuni 60 aasta võrra. Samuti suurendab lisand betooni survetugevust, kaitseb betooni karboniseerumisest, kloriididest ja sulfaatidest põhjustatud korrodeerumise eest. [26]



Foto 1. Pakendid vasakult paremale: *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ka *Betocrete C-36*.

2.4 KATSEPLAAN

Täpsete doseerimiskoguste määramiseks võeti ühendust lisandite maaletoojatega ja küsiti neilt betooni tugevusklassidele vastavad kogused. Täpsed kogused on välja toodud Katseplaanis (Lisa 1).

Katsetuste läbiviimiseks valmistati normaalbetoonid kuue erineva betooniretsepti järgi (tabel 1) – neli tavabetooni retsepti (C25/30, C30/37, C35/45 ja C40/50) ning kaks õhku sisseviiva lisandiga *Semtu Mischoel K* külmakindlat betooni (KK4 C30/37 ja KK4 C35/45). Kõik betoonid valmistati AS'i Rudus originaalretseptide järgi. Betoonid C25/30, C30/37, C35/45, KK4 C30/37 ja KK4 C35/45 valmistati Lagedi betoonitehases ning C40/50 valmistati Vao betoonitehases. Kõik valmistatud betoonid kuulusid töödeldavusklassi S4 (koonuse vajum 160...210mm). Betoonide töödeldavuse tagamiseks lisati segusõlmes betoonidele plastifikaatorit *Mapei Dynamon XTend*. Kõikide betooniretseptide korral kasutati Kunda Nordic portland-põlevkivitsementi CEM II/A-T 52,5 N (Lisa 9). Kasutatud peen- ja jämetäitematerjalide spetsifikatsioonid on toodud lisa 4 välja toodud toimivusdeklaratsioonides.

2.4.1 LISANDITE VIIMINE BETOONISEGUSSE

Võrreldavate katsetulemuste saamiseks on oluline tagada betoonisegu homogeensus enne vormidesse paigaldamist. Kuna segudesse manustatava tootjate poolt määratud veeimavust vähendava lisandi kogus on vaid ca 1% betoonisegus oleva tsemendi massist, viiakse lisand betoonisegusse suspensioonina (vaata Foto 2). Selline menetlusviis aitab vältida pulbrilise lisandi klompide teket ning tagab ühtlase jaotumise betoonisegus. Eriti oluline on see lisandi *Betocrete C-36* puhul, sest võrreldes *Penetron Admix*'i ja *Xypex Admix C-1000*'ga võtab *Betocrete C-36*'e lahustumine vees väga palju aega. *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000* segunevad veega momentaanselt, *Betocrete C-36*'st suspensiooni saamine võtab aega ca 15 minutit, sealjuures tuleb iga paari minuti tagant purki tugevasti raputada, et vesi jõuaks kuivaineni ja saaks seda märgama hakata.

Katsetatavate lisandite tootjad on määranud vee koguse, millega suspensiooni valmistada. Selleks, et kõikidesse valmistatavatesse betoonisegudesse suspensiooniga lisatav vee kogus oleks sama suur, valiti koguseks 350 ml, millest *Penetron Admix*'i ja *Xypex Admix C-1000* puhul kulus 200 ml suspensiooni valmistamiseks ja 150 ml purgi loputamiseks. *Betocrete*'i puhul olid vastavad näitajad 175 ml ja 175 ml, sest hõlpsamaks lahustumiseks vajab *Betocrete* rohkem vett, kuna koguseliselt on kuivainet võrreldes teiste lisanditega rohkem (vaata foto 2).



Foto 2. Kaalutud kogustega lisandid (vasakult paremale *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000*, *Betocrete C-36*) suspensiooni valmistamiseks ja valmis suspensioon (*Betocrete C-36*)

2.4.2 KATSEKEHADE VALMISTAMINE

Võrreldavate katsetulemuste saamiseks peavad katsetused olema läbi viidud sarnastes tingimustes ja lisandiga manustatava vee kogus peab olema võrdelises suhtes betoonisegu kogusega. Betoonisegud valmistati AS'i Rudus Lagedi või Vao betoonisõlmedes ning transporditi mikserautoga Lagedi katselaborisse. Enne betoonisegu koguse mõõtmist gravitatsioonisegistisse niisutati 8 l mõõteanum, segutõstmiskühvliid, gravitatsioonisegistist ja seguvann, kuhu masinast väljuv segu valgus. Seejärel mõõdeti vajalik kogus segusõlmest tulnud betoonisegu gravitatsioonisegistisse (vaata Foto 3). Vahetult pärast segumasina käimalülitamist lisati etalonsegule 450 ml vett (kuna keemiliste lisanditega valmistatavatele betoonidele lisati suspensiooniga vett, lisati katsetatava betoonisegu mahuga võrdelises koguses vett ka etalonsegudele, et lisanduva vee kogus oleks igal juhul võrdne) ja lisanditega segudele lisandisuspensioon. Gravitatsioonisegistist töötükkel lisandi või lisavee manustamisel oli 2 minutit, pärast mida lasti segul masinast seguvanni valguda. Seguvannis oleval betoonisegul mõõdeti konsistents ja õhusisaldus.



Foto 3. Gravitatsioonisegistist ja segu gravitatsioonisegistis

Katsekehade vormide ettevalmistamisel, täitmisel, tihendamisel, pinna silumisel ning hoidmisel lähtuti standardist EVS-EN 12390-2:2009 – „Kivistunud betooni katsetamine. Osa 2: Tugevuskatse katsekehade valmistamine ja hoidmine“. [13]

1. Vältimaks betooni nakkumist vormide külge, määrati vormid vormiõliga.
2. Vormid täideti betooniga ja tihendati kahes kihis. Esimese kihi paksuseks oli ca pool vormi kõrgust, kuid mitte rohkem kui 100mm. Tihendamisel oli oluline jälgida, et sisevibraatori otsik ei satuks kokkupuutesse vormi põhja ega külgedega. Tihendamisaeg tuli hoida minimaalne, vältimaks betooni kihistumist, tsemendipiima eraldumist ja manustatud õhu kadu. Betoon oli täielikult tihenendunud kui betooni pinnalt suurte õhumullide eraldumine lakkas ja pind muutus suhteliselt tasaseks ning läikivaks. Igat kihti tihendati 15-20 sekundi vältel kokku viiest punktist – neli nurkades ja üks keskel. Betooni tihendamiseks kasutati sisevibraatorit otsikuläbimõõduga 26 mm.

3. Vormi pind tasandati hoolikalt siluti servaga saagivaid liigutusi tehes.

Valmistatud katsekehad jäeti vastavalt standardile EVS-EN 12390-2 esimeseks 24-ks tunniks vormidesse. Kivistumine toimus temperatuuril $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ja kile all (vaata Foto 3). Pärast vormist vabastamist hoiti katsekehi vahetult kuni katsetamiseni niiskuskambris temperatuuril $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ja relatiivsel niiskusel $\geq 95\%$ (vaata Foto 4).



Foto 4. Valmistatud katsekehad lahtiselt ja kile all



Foto 5. AS Rudus Lagedi tehase niiskuskamber

2.5 KATSETAMINE JA KATSEMETOODIKATE TUTVUSTUS

Selleks, et tulemused oleks omavahel võrreldavad teostati vastavalt standardile EVS-EN 206:2014 liigitustele järgivad katsed:

- Betoonisegu töödeldavus vastavalt standardile EVS-EN 12350-2:2009 – “Betonisegu katsetamine. Osa 2: Vajumiskatse”
- Betoonisegu õhusisaldus standardile EVS-EN 12350-7:2009 – “Betonisegu katsetamine. Osa 7: Betoonisegu õhusisaldus. Rõhumeetodid”.
- Kivistunud betooni survetugevus vastavalt standardile EVS-EN 12390-3:2009 – „Kivistunud betooni katsetamine. Osa 3: Katsekehade survetugevus“
- Vee sissetungimissügavus vastavalt standardile EVS-EN 12390-8:2009. Vee sissetungimissügavus määratakse 3 paralleel katsekehale vastavalt standardile ja lisaks 98-104 päeva vanuselt, et näha lisandite mõju pikemal ajavahemikul.
- Veepidavus vastavalt GOST 12370.5-84. Veepidavus määratakse ilma lisandita katsekehadele 28 ja 98-104 päeva vanuselt, et leida korelatsioon veepidavuse ja sissetungimissügavuse vahel.

Betonisegu ja kivistunud betooni survetugevuse katsed teostati AS Rudus Lagedi laboris. Vee sissetungimissügavuse ja veepidavuse katsed teostati TTÜ Ehitustootluse Instituudi Ehitusmaterjalide Teadus- ja Katselaboratooriumis (akrediteeringu nr L004)..

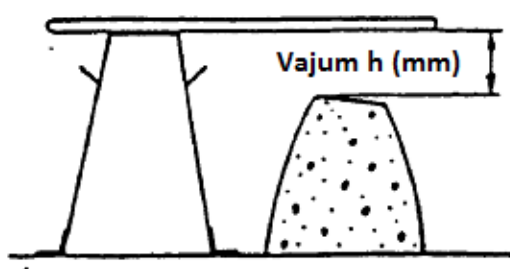
Ülevaade katsetest ja proovikehade arvust on välja toodud katseplaanis (Lisa 1).

2.5.1 BETOONISEGU TÖÖDELDAVUSE EHK KONSISTENTSI MÄÄRAMINE

Betonisegu töödeldavust määratakse koonuse vajumi meetodil vastavalt standardile EVS-EN 12350-2:2009 – “Betonisegu katsetamine. Osa 2: Vajumiskatse”. Betonisegu paigaldatakse ja tihendatakse tüvikoonuse kujulisse vormi. Betonisegu konsistentsi ehk töödeldavuse arvuline väärtus saadakse betoonisegu koonuse vajumi mõõtmisel pärast vormi eemaldamist. [13]



Foto 6. Koonus, tihendusvarras ja alusplaat



vajumisklass	Vajum mm
S1	10...40 mm
S2	50...90 mm
S3	100...150 mm
S4	160...210 mm

Joonis 2. Koonuse vajum ja vajumisklassid [32]

2.5.2 BETOONISEGU ÕHUSISALDUSE MÄÄRAMINE

Betoonisegu õhusisaldust katsetuste käigus määratakse rõhumõõturiga (foto 7) vastavalt standardile EVS-EN 12350-7:2009 – “Betoonisegu katsetamine. Osa 7: Betoonisegu õhusisaldus. Rõhumeetodid”. Rõhumõõturis surutakse teadaolev maht õhku kokku teadaoleval rõhul ning betoonisegu õhusisaldus loetakse mõõтури skaalalt protsentides. [15]

Sõltuvalt betoonisegu töödeldavusest ja tihendamismeetodist, täidetakse rõhumõõтури anum ühes või enamas kihis. Standardist EVS-EN 12350-7 lähtudes piisab betoonisegu vajumiklassi S3 (100-150mm) või suurema puhul ühes kihis täitmisest. AS-is Rudus katsetatud betoonisegud kuulusid vajumiklassi S4 (160-210mm), mille korral piisab

küll ühes kihis täitmisest, kuid nende katselaboris välja kujunenud metoodika põhjal täideti ja tihendati anum siiski kolmes kihis.



Foto 7. Rõhumõõtur betooni õhusisalduse määramiseks

2.5.3 BETOONI SURVETUGEVUSE MÄÄRAMINE

Betoonist katsekehade survetugevus määratakse vastavalt standardile EVS-EN 12390-3:2009 – „Kivistunud betooni katsetamine. Osa 3: Katsekehade survetugevus“. Katsekehasid koormatakse purunemiseni EVS-EN 12390-4:2002 – „Kivistunud betooni katsetamine. Osa 4: Survetugevus. Katsemasinatele esitatavad nõuded“ standardile vastavas survekatsemasinas (foto 8). Registreeritakse suurim koormus, mida katsekeha vastu võtab kilonjuuntontites ja tulemuste põhjal arvutatakse betooni survetugevus. [16]



Foto 8. Survekatsemasin vasakul ja masinale esitatud parameetrid, mida arvestatakse survetugevuse arvutamisel paremal

2.5.4 SURVE ALLA OLEVA VEE SISSETUNGIMISSÜGAVUSE MÄÄRAMINE

Vee sissetungimissügavust 150x150x150 mm mõõtmetega kuubilistesse katsekehadesse määratakse vastavalt standardile EVS-EN 12390-8:2002 – “Kivistunud betooni katsetamine. Osa 8: Surve all oleva vee sissetungimissügavus.” [17]

Katse üldise põhimõtte järgi rakendatakse kivistunud betooni pinnale veesurve. Seejärel katsekeha lõhestatakse ja mõõdetakse, kui sügavale on vesi katsekehas tunginud. Katseseade on välja toodud joonisel 3 ja fotol 9.

Katsetamist alustatakse, kui katsekehade vanus on vähemalt 28 päeva. Veesurvet ei tohi rakendada katsekeha silutud pinnale. Katsekeha asetatakse seadmesse ja rakendatakse veesurve (500 ± 50) kPa (72 ± 2) h vältel. Katse ajal tuleb perioodiliselt jälgida, kas vesi pole imunud katsekeha vabadele pindadele. Vee läbiimbumise korral tuleb kaaluda, kas katse tulemust lugeda või mitte, ja vee läbiimbumise fakt registreerida.

Pärast ettenähtud aja vältel veesurve all hoidmist võetakse katsekeha seadmest välja. Pinnalt, millele veesurvet rakendati, pühitakse üleliigne vesi ära ja katsekeha lõhestatakse risti selle pinnaga. Lõhestamise ja ülevaatuse ajal hoitakse katsetatud pinda allpool. Niipea kui lõhestatud pind on sedavõrd kuivanud, et sissetunginud vee piir on selgelt eristatav, tuleb see katsekehal ära märkida. Veepiiri maksimaalne kaugus katsetatud pinnast mõõdetakse ja registreeritakse millimeetri täpsusega. Katsetulemuseks ongi vee maksimaalne sissetungimissügavus.

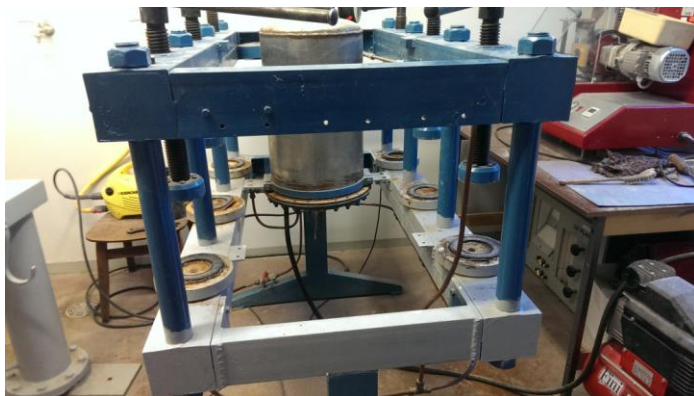
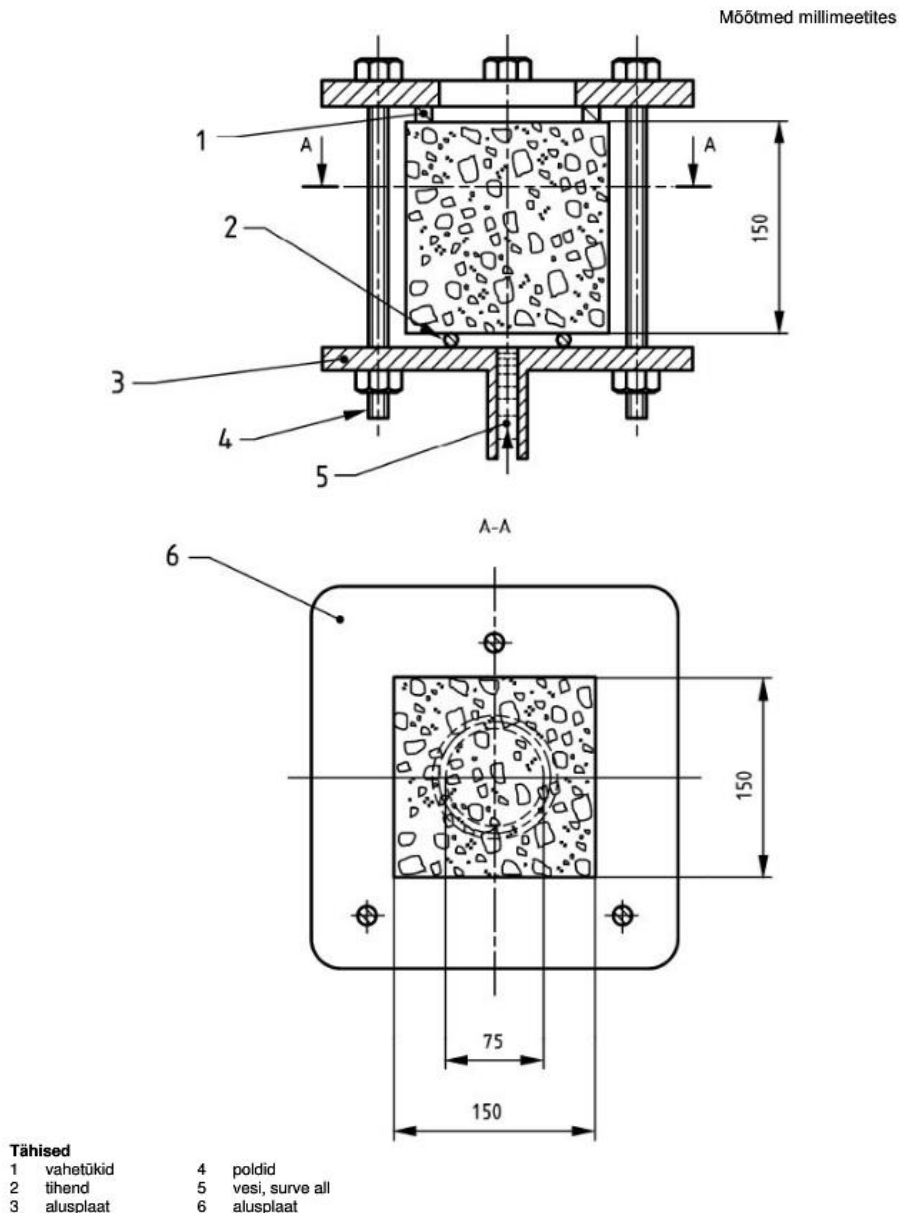


Foto 9. Katseseade vee sissetungimissügavuse määramiseks EVS-EN 12390-8:2002 järgi [15]



Joonis 3. Katseseadme näidis[17]

2.5.5 BETOONI VEEPIDAVUSKLASSI MÄÄRAMINE

GOST 12730.5-84 järgse betooni veepidavuse määramise meetodika järgi alustatakse katsetamist, kui katsekehade vanus on vähemalt 28 päeva. Käesoleva uurimistöö raames katsetati katsekehasid 28-32 päeva vanuselt. Katsekehasid kivistati tingimustel $20 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ ja $95 (\pm 5) \% \text{ RH}$. Enne katse algust lasti katsekehadel 24h õhu käes kuivada. Katsetamiseks võeti silindriline katsekeha, asetati see terashülssi, valati hülssi ja katsekeha vaheline ruum vaha täis. Selline menetlusviis tagas katsekeha külgede hermeetilisuse ja võimaldab veel katsekehast väljuda vaid ülemise pinna kaudu. Katsekehadele rakendati

veerõhku alumisel pinnal ning seda tõsteti astmeliselt (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; ja 1,6 MPa). Katse läbiviimiseks võib kasutada erinevate mõõtmetega katsekehasid. Katsekehade mõõtmetest sõltub katse kestus igal rõhuastmel (vaata Tabel 3) [4]

Tabel 3. Katse kestuse igal rõhuastmel sõltuvus katsekeha mõõtmetest [4]

Silindrilise katsekeha $h = \varnothing$, [mm]	150	100	50	30
Katse kestus igal rõhuastmel, [h]	16	12	6	4

Käesolevas uurimistöös katsetati silindrilisi katsekehasid mõõtmetega $h = \varnothing = 150$ mm, seega katse kestus igal rõhuastmel oli 16 tundi. Betooni veepidavuse klassi hindamiskriteeriumiks on niiske laigu tekkimine katsekeha ülemisele pinnale. Katseseadmesse (foto 10) asetati korraga 6 katsekeha. Veepidavus oli vastaval rõhuastmel tagatud kui neljal katsekehal kuuest ei olnud tekkinud veelaidu katsekeha ülemisele pinnale. Betooni veepidavuse klassid on rõhuastmete kaupa toodud tabelis 4.[4]

Tabel 4. Betooni veepidavuse margid rakendatavate rõhuastmete kaupa

Katsekehadele rakendatav rõhk, [MPa]	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
Betooni veepidavuse klass	W2	W4	W6	W8	W10	W12	W14	W16



Foto 10. Katseseade betooni veepidavusklassi määramiseks GOST 12730.5-84 järgi

2.6 KATSETULEMUSED JA NENDE ANALÜÜS

Katsete peamine eesmärk on võrrelda vee sissetungimissügavust vastavalt katsestandardile EVS-EN 12390-8:2009. Kuna veepidavuse katsete puhul vaadatakse ainult tingimusele vastavust, siis parema tulemuste tõlgendamise eesmärgil võrreldakse lisaks omavahel katsetulemusi EVS ja GOST metoodika alusel. Survetugevuse katsetamise eesmärk on kindlaks määrata, et betooni klass vastas tegelikule ja leida lisandite mõju survetugevusele.

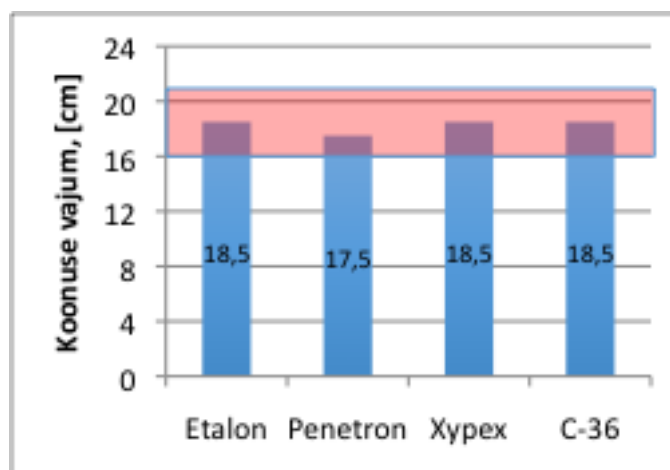
Lisandite mõju uuritakse tugevusklassi põhiselt. See tähendab, et võrreldaks näiteks tugevusklassi C35/45 X0 vee sissetungimissügavuse tulemusi etalon ja lisanditega katsekehadel. Tugevusklasside põhjal saadud tulemusi võrreldakse teiste tugevusklassidega, et teada saada lisandi mõju vastavalt tsemendikogusele, täitematerjali tüübile jne. Lisaks eelnevale on andmed kahe betooni katseseeria kohta, mille puhul ühel juhul viidi lisandid segusse pulbrilisel kujul, mitte suspensioonina (betoon C25/30*), teisel juhul manustati AS'i Rudus Vão betoonisõlmes tehtud segule töödeldavuse parandamiseks *Mapei Dynamon XTend* superplastifikaatori (kasutati kõikide teiste betoonide korral) asemel *Semtu Semflow MC* superplastifikaatorit (betoon C40/50*).

Katsetulemused on iga katsetuse kohta esitatud koondtabelina (vt lisa 3) ja iga üksikkatse tulemused toodud katseprotokollidels (vt lisa 5). Koondtabelis olevate väärtuste põhjal on koostatud graafikud betooni kapillaarset veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõjust betoonisegu töödeldavusele ja õhusisaldusele ning lisandite mõjust kivistunud betooni survetugevusele ja vee sissetungivusele. Vee sissetungivuskatseteks oli igas katseseerias kõikide katsetatavate lisandite ja etaloni jaoks 6 katsekeha (3 katsekeha 28-päevaseks vee sissetungivuse määramiseks ja 3 katsekeha 100-päevaseks vee sissetungivuse määramiseks). Vee sissetungivuste tulemused on kõikide katsetatud betoonide korral esitatud 3 katsekeha (28-päeva või 100-päeva vanuste) vee sissetungivuste miinimumi ja maksimumi järgi. Vee sissetungivuste koondanalüüsis on võrdluseks kasutatud kõiki katsekehasid. Katsetulemuste analüüs on teostatud survetugevusklasside kaupa (peatükid 2.6.1 – 2.6.8). Esmalt on analüüsitud tavabetoone, seejärel külmakindlusklassi KK4 nõudeid täitvaid betoone ja viimasena lisakatseseeriatesse kuuluvaid betoone, mille puhul ühel juhul manustati betoonile veeimavust vähendavad lisandid pulbri kujul (C25/30*) ja teisel juhul manustati betoonisõlmes valmistatavale betoonile superplastifikaatori *Mapei Dynamon XTend* asemel superplastifikaatorit *Semtu Semflow MC* (C40/50*).

2.6.1 BETOON C25/30

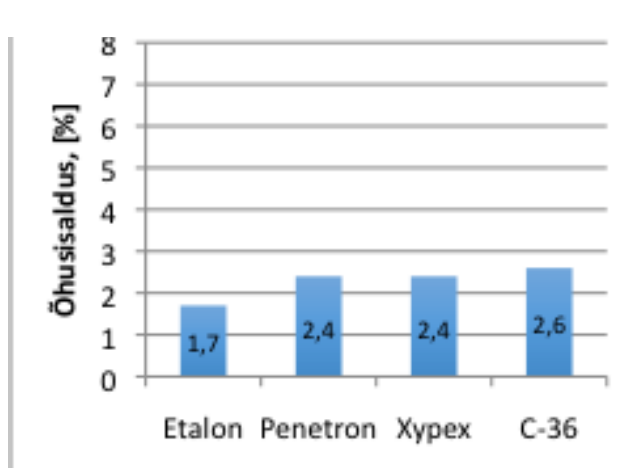
Graafikult 1 näeme, et betooni C25/30 korral vähenes *Penetron Admix* lisandiga segu koonuse vajum 1 cm. *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* lisanditega segu koonuse vajum ei muutunud. Tulemustest saame järeldada, et betooni C25/30 korral vähendab *Penetron Admix* betoonisegu töödeldavust vähesel määral ning lisandid *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* ei mõjuta betoonisegu töödeldavust. Kõikide lisandite kasutamisel on betoonisegude töödeldavused jäänud soovitud töödeldavusklassi S4 vahemikku.

Graafik 1 Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C25/30 segu töödeldavusele. Punasega on märgitud töödeldavusklassi S4 piirväärtuste vahemik.

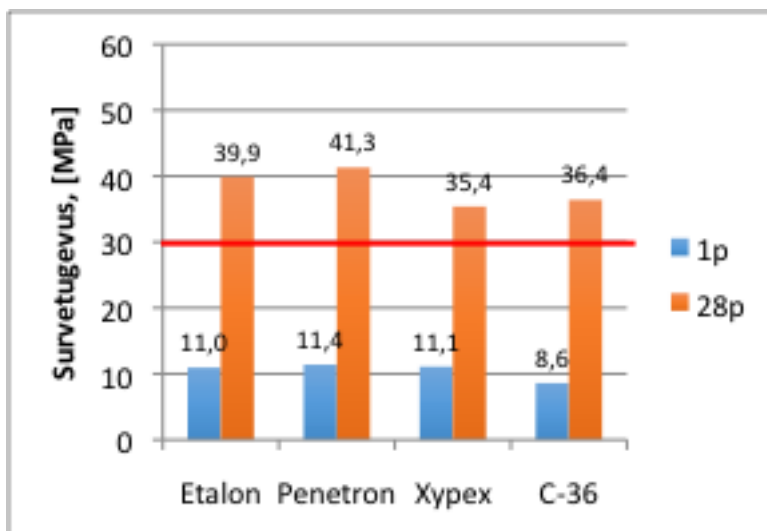


Graafikult 2 näeme, et betooni C25/30 korral suurendasid kõik katsetatud lisandid betoonisegu õhusisaldust. Võrreldes etaloniga suurendas *Penetron Admix* õhusisaldust 41% , *Xypex Admix C-1000* 41% ning *Betocrete C-36* 53%. Tulemuste põhjal saame järeldada, et betooni C25/30 korral toimivad katsetatavad lisandid ka õhku manustavate lisanditena. Betooni külmakindluse kasvu seisukohalt on lisanduv õhk hea, kuid suurenev poorsus vähendab betooni survetugevust (iga lisaprotsent õhku betoonisegus vähendab kivistunud betooni survetugevust ligikaudu 4% võrra).

Graafik 2. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C25/30 õhusisaldusele



Graafik 3. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C25/30 survetugevusele. Punasega on märgitud tugevusklassi nõudele vastav survetugevus kuubiliste katsekehade korral

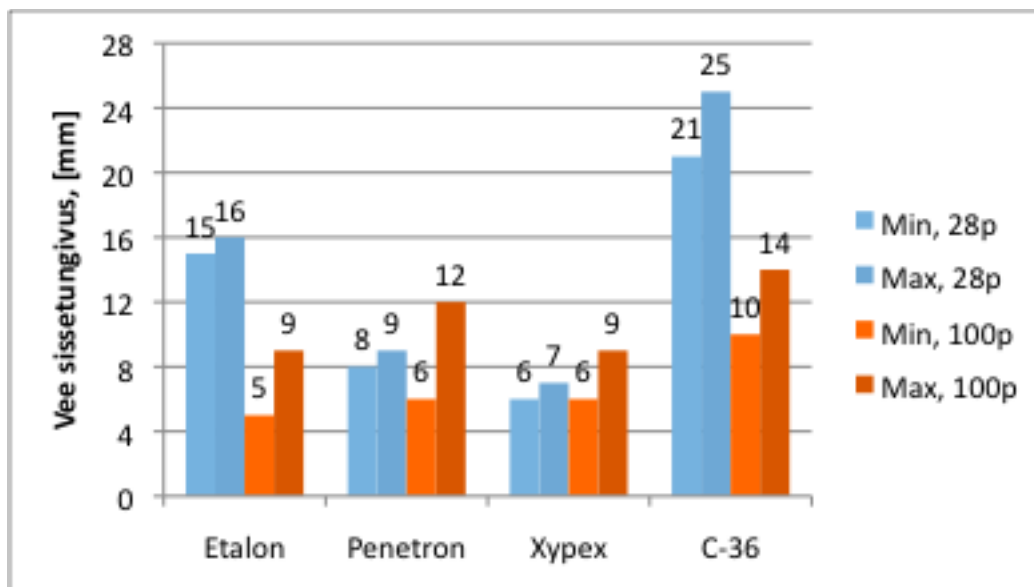


Graafikult 3 näeme, et betooni C25/30 korral on Penetron Admix'iga katsekehade varajane (1p) survetugevus 4% suurem kui etalonil, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel 1% suurem kui etalonil ja Betocrete C-36'ga katsekehadel 22% väiksem kui etalonil.

28 päeva vanuste katsekehade survetugevus võrreldes etaloniga on Penetron Admix'iga katsekehadel 4% suurem, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel 11% väiksem ja Betocrete C-36'ga katsekehadel 9% väiksem.

Katsetulemustest näeme, et betooni C25/30 korral rahuldasi kõikide lisanditega betoonide survetugevused antud katseseerias survetugevusklassi nõudeid. Ühtlasi saame järeldada, et betooni C25/30 korral suurendab Penetron Admix marginaalselt nii varajast kui 28-päevast survetugevust. Xypex Admix C-1000 küll suurendab marginaalselt varajast survetugevust, kuid vähendab oluliselt 28-päevast survetugevust. Betocrete C-36 vähendab väga suurel määral varajast survetugevust ning suurel määral 28-päevast survetugevust. Väiksemate survetugevusnäitajate põhjuseid võib olla mitu. Graafikul 2 toodud lisandite mõjust suurenenud õhusisaldused võivad survetugevust vähendada. Varajane survetugevus võib olla väiksem juhul kui kasutatav veeimavust vähendav lisand toimib ka tardumist aeglustava lisandina. 28-päevast survetugevust võivad mõjutada reaktsioonid veeimavust vähendava lisandiga.

Graafik 4. Betooni C25/30 vee sissetungivussügavused



Graafikult 4 näeme, et surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C25/30 korral vähenes *Penetron Admix* kasutamisel 47%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 60% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 40%.

Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C25/30 korral vähenes *Penetron Admix* kasutamisel 44%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 56% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 56%.

Surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C25/30 korral suurenes *Penetron Admix* kasutamisel 20%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 20% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 100%.

Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C25/30 korral suurenes *Penetron Admix* kasutamisel 33%, *Xypex Admix C-1000* kasutamisel ei muutunud ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 56%.

Katsetulemustest saame järeldada, et betooni C25/30 korral 28-päeva vanustel katsekehadel on lisandid *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000* toonud esile lisandi toimele omase vee sissetungivust vähendava efekti. 100 päeva vanustel katsekehadel on lisandite *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000* korral surve all oleva vee sissetungivussügavused pisut suuremad kui ilma lisandita katsekehal, seega saab öelda, et lisandi toimele omast vee sissetungivust vähendavat efekti ei ilmnenu. Lisandi *Betocrete C-36* korral ei ilmnenu lisandi toimele omast veeimavust vähendavat efekti

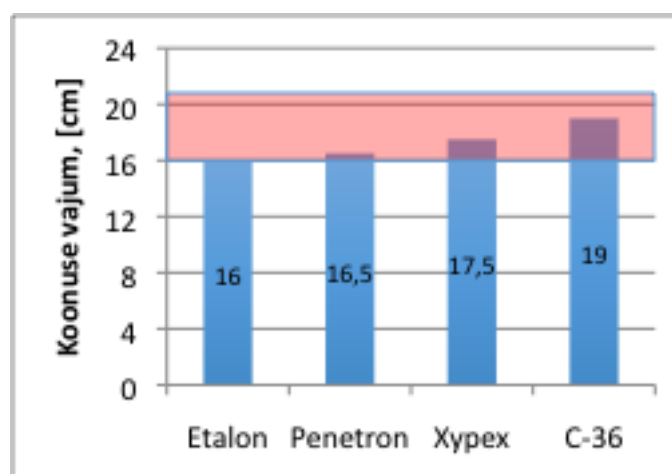
kummalgi

juhul.

2.6.2 BETOON C30/37

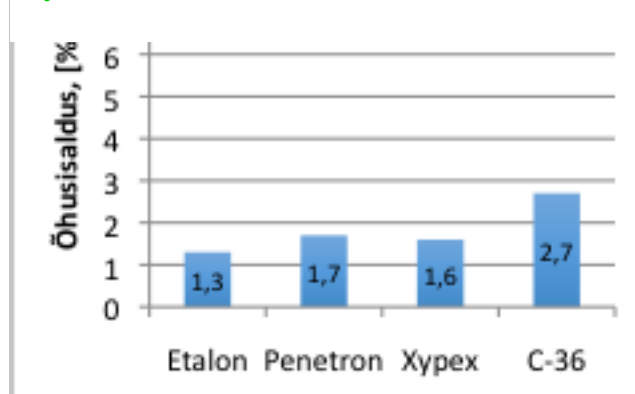
Graafikult 5 näeme, et betooni C30/37 korral suurenes koonuse vajum kõikidel veeimavust vähendavate lisanditega segudel. Kuna segusõlmest tulnud betoonisegu koonuse vajum oli vaid 16 cm, lisati keemiliste lisanditega segudele töödeldavuse parandamiseks plastifikaatorit 50...75g. Kuna lisatud plastifikaatori kogus ei olnud igal juhul võrdne ja etalonsegule plastifikaatorit ei lisatud, ei saa betooni C30/37 korral esitada täpseid arvvaartusi keemiliste lisandite põhjustatud betoonisegu töödeldavuse muutuste kohta.

Graafik 5. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C30/37 segu töödeldavusele. Punasega on märgitud töödeldavusklassi S4 piirväärtuste vahemik.

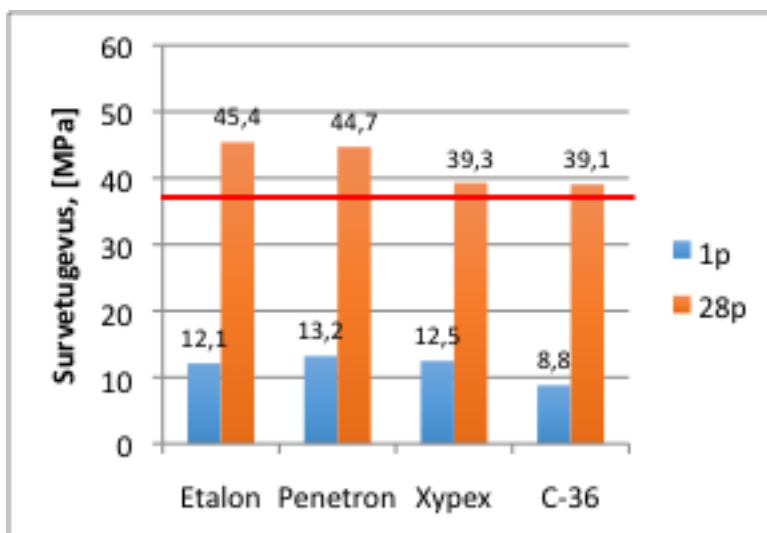


Graafikult 6 näeme, et betooni C30/37 korral suurendasid kõik katsetatud lisandid betoonisegu õhusisaldust. Võrreldes etaloniga tõstis *Penetron Admix* õhusisaldust 31% , *Xypex Admix C-1000* 23% ning *Betocrete C-36* 108%. Tulemuste põhjal saame järeldada, et betooni C30/37 korral toimivad katsetatavad lisandid ka õhku manustavate lisanditena. Sama toimet sai täheldada ka betooni C25/30 korral.

Graafik 6. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C30/37 õhusisaldusele



Graafik 7. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C30/37 survetugevusele.

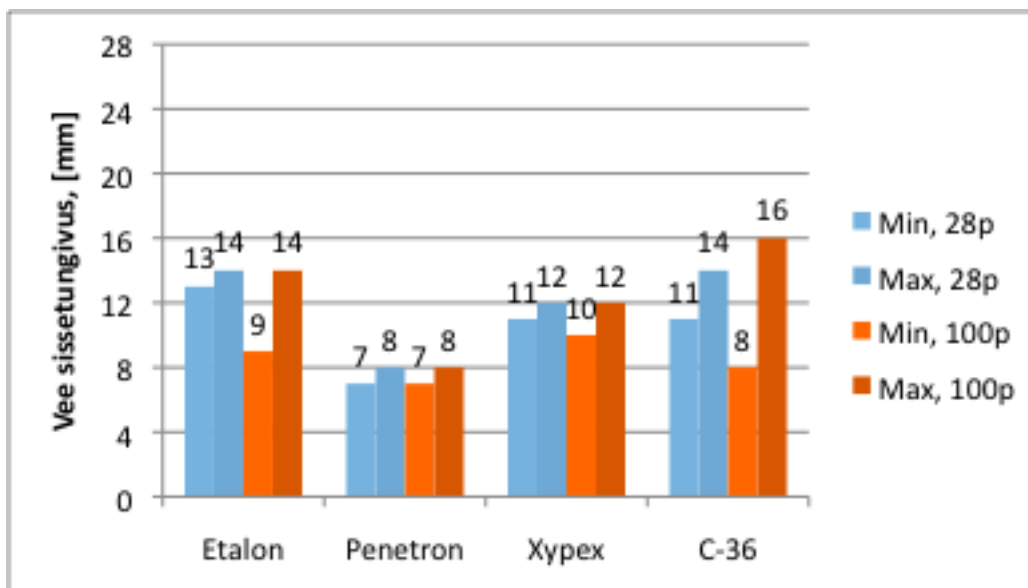


Graafikult 7 näeme, et betooni C30/37 korral on Penetron Admix'iga katsekehade varajane (1p) survetugevus 9% suurem kui etalonil, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel 3% suurem kui etalonil ja Betocrete C-36'ga katsekehadel 27% väiksem kui etalonil.

28 päeva vanuste katsekehade survetugevus võrreldes etaloniga on Penetron Admix'iga katsekehadel 2% väiksem, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel 13% väiksem ja Betocrete C-36'ga katsekehadel 14% väiksem.

Katsetulemustest näeme, et betooni C30/37 korral rahuldasi kõikide lisanditega betoonide survetugevused antud katseseerias survetugevusklassi nõudeid. Ühtlasi saame järeldada, et betooni C30/37 korral suurendab Penetron Admix oluliselt varajast survetugevust, kuid vähendab marginaalselt 28-päevast survetugevust. Xypex Admix C-1000 küll suurendab marginaalselt varajast survetugevust, kuid vähendab 28-päevast survetugevust. Betocrete C-36 vähendab väga suurel määral varajast survetugevust ning suurel määral 28-päevast survetugevust.

Graafik 8. Betooni C30/37 vee sissetungivussügavused



Graafikult 8 näeme, et surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C30/37 korral vähenes *Penetron Admix* kasutamisel 46%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 15% ja vähenes *Betocrete C-36* kasutamisel 15%.

Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C30/37 korral vähenes *Penetron Admix* kasutamisel 56%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 14% ja *Betocrete C-36* kasutamisel ei muutunud.

Surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C30/37 korral vähenes *Penetron Admix* kasutamisel 22%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 11% ja vähenes *Betocrete C-36* kasutamisel 11%.

Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C30/37 korral vähenes *Penetron Admix* kasutamisel 43%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 15% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 14%.

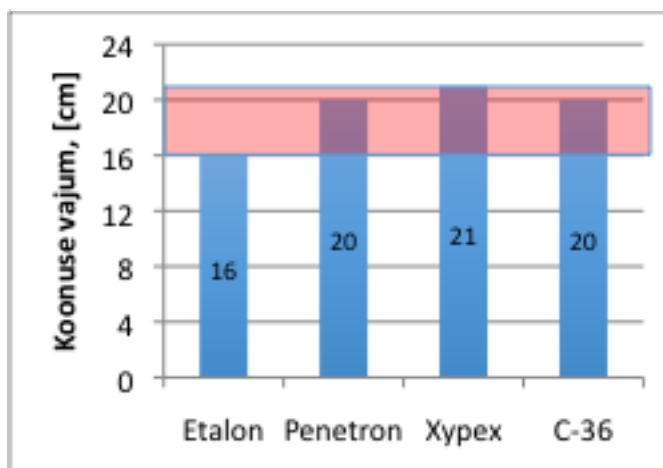
Katsetulemustest saame järeldada, et betooni C30/37 korral 28-päeva vanustel katsekehadel on lisandid *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* toonud esile lisandi toimele omase vee sissetungivust vähendava efekti. 100 päeva vanustel etalonkatsekehadel ja lisandiga *Betocrete C-36* katsekehadel on surve all oleva vee minimaalne ja maksimaalne sissetungivussügavus väga erinevad. Kuna surve all oleva vee sissetungivust vaadeldi igal juhul eri katsekehadesse, ei saa võtta aluseks minimaalse ja maksimaalse sissetungimissügavuse keskväärtust. Seda arvesse võttes saab anda

hinnangu vaid lisandiga *Penetron Admix* valmistatud katsekehadele, millel ilmnis mõlemal juhul vee sissetungivust vähendav efekt. Kui aga võtta aluseks minimaalse ja maksimaalse sissetungimissügavuse keskväärtused, saab öelda, et lisand *Xypex Admix C-1000* tõi esile marginaalse vee sissetungivust vähendava efekti ja lisand *Betocrete C-36* korral vee sissetungivust vähendavat efekti ei ilmnenu.

2.6.3 BETOON C35/45

Graafikult 9 näeme, et betooni C35/45 korral suurenes koonuse vajum kõikidel veeimavust vähendavate lisanditega segudel. Kuna segusõlmest tulnud betoonisegu koonuse vajum oli vaid 16 cm, lisati keemiliste lisanditega segudele töödeldavuse parandamiseks plastifikaatorit. Kuna etalonsegule plastifikaatorit ei lisatud, ei saa betooni C30/37 korral esitada täpseid arvvaartusi keemiliste lisandite põhjustatud betoonisegu töödeldavuse muutuste kohta. Küll aga saab täheldada, et sama plastifikaatorikoguse juures on lisandiga *Xypex Admix C-1000* betoonisegu koonuse vajum väiksem kui teiste lisanditega valmistatud betoonidel.

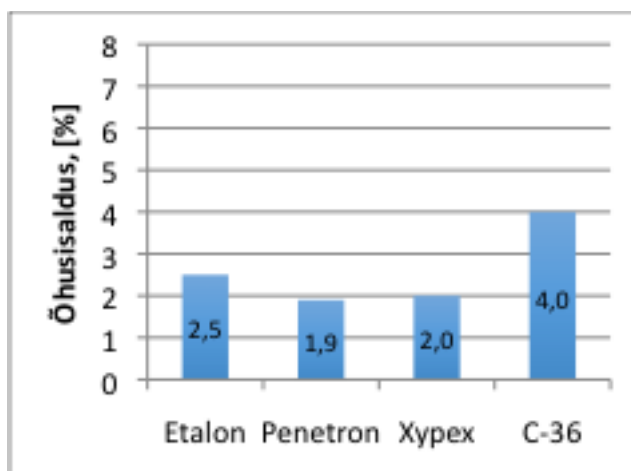
Graafik 9. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C35/45 segu töödeldavusele. Punasega on märgitud töödeldavusklassi S4 piirväärtuste vahemik



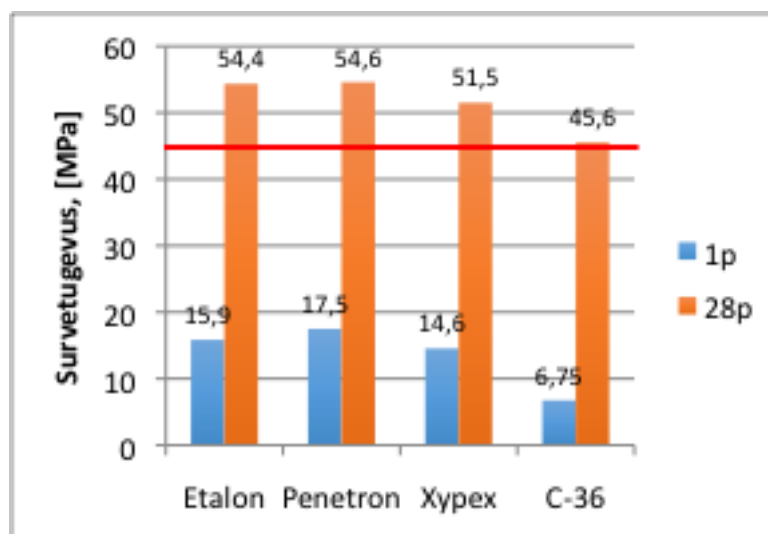
Graafikult 10 näeme, et betooni C35/45 korral kaks lisandit vähendasid ja üks lisand suurendas betoonisegu õhusisaldust. Võrreldes etaloniga vähendas *Penetron Admix* õhusisaldust 24% , *Xypex Admix C-1000* vähendas õhusisaldust 23% ning *Betocrete C-36* suurendas õhusisaldust 60%. Kuna ühegi teise suspensioonina manustatud lisanditega katseseeria korral lisandid *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000* õhusisaldust ei vähendanud, on põhjust arvata, et mingil põhjusel oli betooni C35/45 etalonsegus ebatavaliselt palju õhku sees ning tegelikult on lisandite *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000* mõju betooni C35/45 õhusisaldusele marginaalne. Katsetulemuste põhjal saame

järeldada, et betooni C35/45 korral toimib katsetatav lisand *Betocrete C-36* õhku manustava lisandina. Sarnaselt betoonidele C25/30 ja C30/37, suurendas veeimavust vähendav lisand *Betocrete C-36* õhusisaldust enim.

Graafik 10. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C35/45 õhusisaldusele



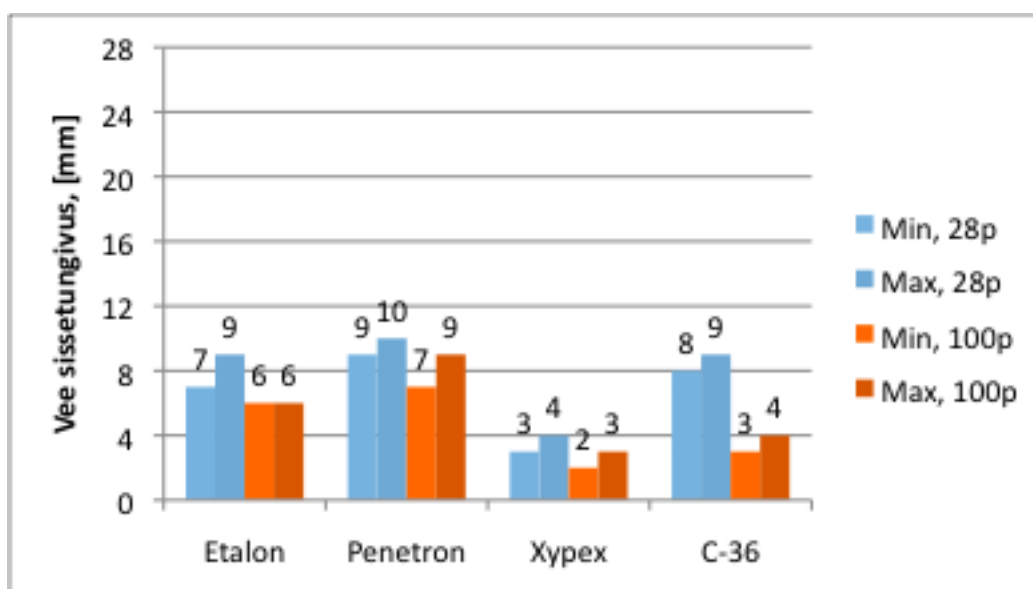
Graafikult 11 näeme, et betooni C35/45 korral on Penetron Admix'iga katsekehade varajane (1p) survetugevus 10% suurem kui etalonil, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel 8% väiksem kui etalonil ja *Betocrete C-36*'ga katsekehadel 57% väiksem kui etalonil. 28 päeva vanuste katsekehade survetugevus võrreldes etaloniga on Penetron Admix'iga katsekehadel samaväärne, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel 5% väiksem ja *Betocrete C-36*'ga katsekehadel 16% väiksem.



Graafik 11. Veeimavust vähendavate lisandite mõju betoonile C35/45

Katsetulemustest näeme, et betooni C35/45 korral rahuldasi kõikide lisanditega betoonide survetugevused antud katseseerias survetugevusklassi nõudeid. Ühtlasi saame järeldada, et betooni C35/45 korral suurendab *Penetron Admix* oluliselt varajast survetugevust ja marginaalselt 28-päevast survetugevust. *Xypex Admix C-1000* vähendab mõlemal juhul arvestataval määral survetugevust. *Betocrete C-36* vähendab tohutul määral varajast ja suurel määral 28-päevast survetugevust. Võrreldes tulemusi õhusisalduse (graafik 5.3-2) muutustega, on *Penetron Admix*'iga segu survetugevus suurenenud, kuna õhusisaldus vähenes. *Xypex Admix C-1000* lisandiga segu korral sellist

Graafik 12. Betooni C35/45 vee sissetungivussügavused



seaduspärasust ei ilmnenud. *Betocrete C-36* lisandi kasutamisel suurenes õhusisaldus ja vähenes survetugevus.

Graafikult 12 näeme, et surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C35/45 korral suurenes *Penetron Admix*'i kasutamisel 29%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 57% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 14%.

Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C35/45 korral suurenes *Penetron Admix*'i kasutamisel 11%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 56% ja *Betocrete C-36* kasutamisel ei muutunud.

Surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C35/45 korral suurenes *Penetron Admix* kasutamisel 17%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 67% ja vähenes *Betocrete C-36* kasutamisel 50%.

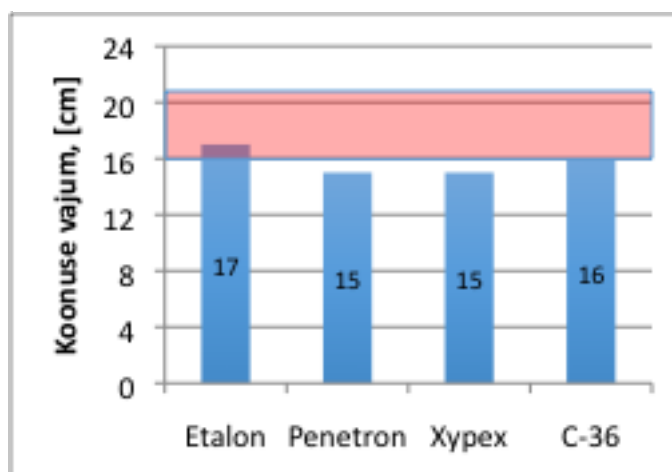
Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C35/45 korral suurenes *Penetron Admix* kasutamisel 50%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 50% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 33%.

Katsetulemustest saame järeldada, et betooni C35/45 korral 28-päeva vanustel katsekehadel on lisand *Xypex Admix C-1000* toonud esile lisandi toimele omase vee sissetungivust vähendava efekti. Lisanditega *Penetron Admix* ja *Betocrete C-36* 28-päeva vanuste katsekehade korral lisandi toimele omast vee sissetungivust vähendavat efekti ei ilmnenud. 100 päeva vanustel katsekehadel on lisandid *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* toonud esile lisandi toimele omase vee sissetungivust vähendava efekti. Lisandi *Penetron Admix* kasutamisel vee sissetungivust vähendavat efekti ei ilmnenud.

2.6.4 BETOON C40/50

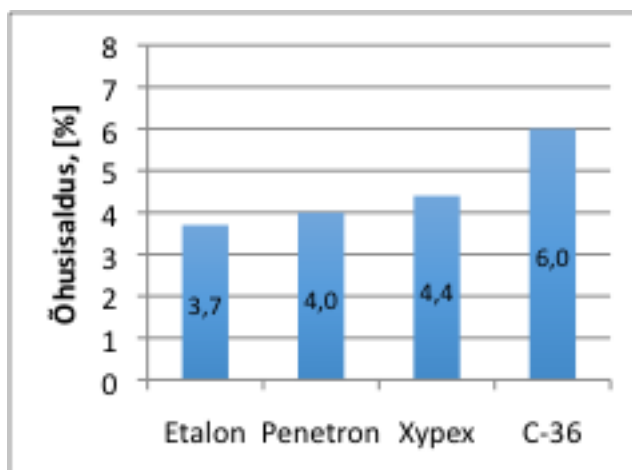
Graafikult 13 näeme, et betooni C40/50 korral vähenesid kõikide lisandiga segude koonuse vajumid. *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000* lisanditega segude koonuse vajumid vähenesid 2 cm võrra. *Betocrete C-36* lisandiga segu koonuse vajum vähenes 1 cm võrra. Tulemustest saame järeldada, et betooni C40/50 korral vähendavad kõik katsetatavad lisandid segu töödeldavust. See võib olla tingitud betooni C40/50 madalast vesitsementtegurist ($W/C=0,34$). Lisandite *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000* toimel langesid betoonisegude töödeldavused töödeldavusklassi S3.

Graafik 13. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C40/50 segu töödeldavusele. Punasega on märgitud töödeldavusklassi S4 piirväärtuste vahemik.



Graafikult 14 näeme, et betooni C40/50 korral suurendasid kõik lisandid betoonisegu õhusisaldust. Võrreldes etaloniga suurendas *Penetron Admix* õhusisaldust 8% , *Xypex Admix C-1000* suurendas õhusisaldust 19% ning *Betocrete C-36* suurendas õhusisaldust 62%. Tulemuste põhjal saame järeldada, et C40/50 korral toimivad kõik katsetatud lisandid ka õhku manustava lisandina. Nagu betoonide C25/30, C30/37 ja C35/45 korral,

Graafik 14. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C40/50 õhusisaldusele

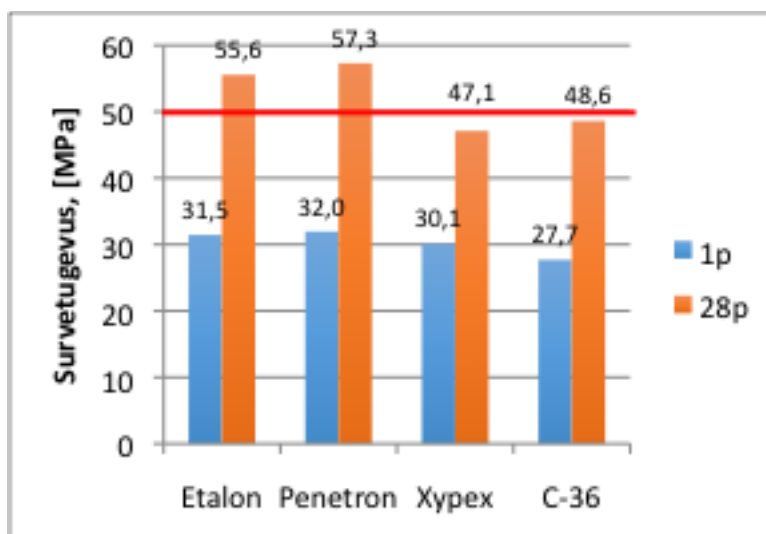


suurendab lisand *Betocrete C-36* oluliselt rohkem õhusisaldust kui lisandid *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000*.

Graafikult 15 näeme, et betooni C40/50 korral on *Penetron Admix*'iga katsekehade varajane (1p) survetugevus 2% suurem kui etalonil, *Xypex Admix C-1000*'ga katsekehadel 4% väiksem kui etalonil ja *Betocrete C-36*'ga katsekehadel 12% väiksem kui etalonil.

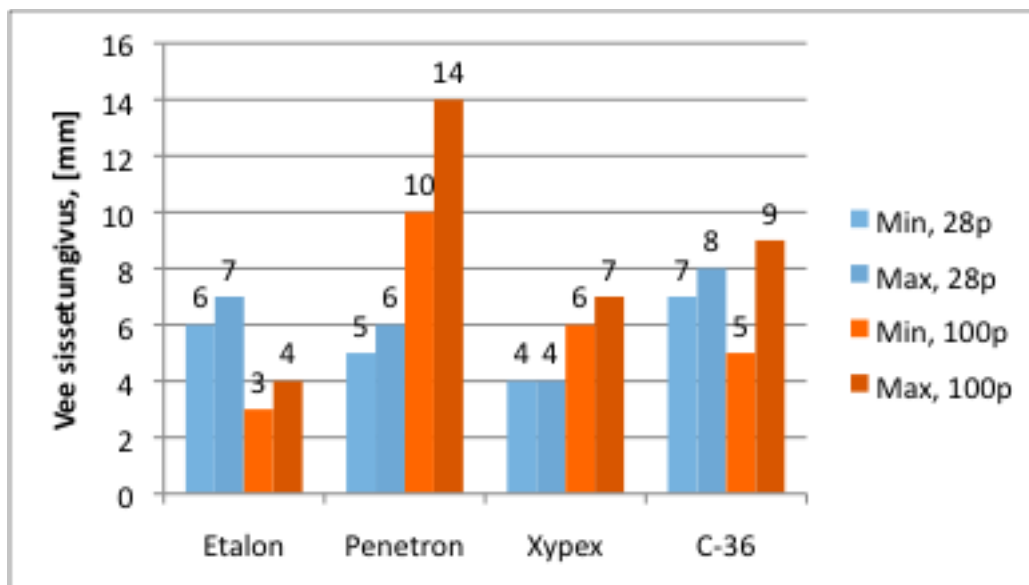
28 päeva vanuste katsekehade survetugevus võrreldes etaloniga on *Penetron Admix*'iga katsekehadel 3% suurem, *Xypex Admix C-1000*'ga katsekehadel 15% väiksem ja *Betocrete C-36*'ga katsekehadel 13% väiksem.

Graafik 15. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C40/50 survetugevusele. Punasega on märgitud tugevusklassi nõudele vastav survetugevus kuubiliste katsekehade korral



Katsetulemustest näeme, et betooni C40/50 korral ei rahuldanud lisanditega *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* betoonide survetugevused antud katseseerias survetugevusklassi nõudeid. Ühtlasi saame järeldada, et C40/50 korral suurendab *Penetron Admix* marginaalselt nii varajast kui 28-päevast survetugevust. *Xypex Admix C-1000* vähendab varajast survetugevust marginaalselt ja 28-päevast survetugevust suurel määral. *Betocrete C-36* vähendab suurel määral nii varajast kui 28-päevast survetugevust. Sidudes tulemusi õhusisalduse (graafik 14) katsetulemustega, on loogiline, et suurema õhusisalduse korral on tekkiva tehiskivi poorsus suurem ja seega survetugevus väiksem. Lisandi *Penetron Admix* kasutamisel ei ilmne sellist seaduspärasust ja vaatamata õhusisalduse kasvule on kasvanud ka survetugevus. Võib oletada, et kuna *Penetron Admix*'i näol on tegemist ainsa kolmanda generatsiooni kristallilise veeimavust vähendava lisandiga, on selle tootearenduse käigus lahendatud survetugevuse languse probleem. Tootja väidet, et *Penetron Admix* suurendab betoonisegu survetugevust, võib normaalbetoonide C25/30, C30/37, C35/45 ja C40/50 korral paika pidavaks lugeda.

Graafik 16. Betooni C40/50 vee sissetungivussügavused



Graafikult 5.4-4 näeme, et surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C40/50 korral vähenes *Penetron Admix* kasutamisel 17%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 33% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 17%.

Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C40/50 korral vähenes *Penetron Admix* kasutamisel 14%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 43% ja *Betocrete C-36* kasutamisel suurenes 14%.

Surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C40/50 korral suurenes igal juhul. Vee sissetungivus suurenes *Penetron Admix* kasutamisel 233%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 100% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 67%.

Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C40/50 korral suurenes samuti igal juhul. Vee sissetungivus suurenes *Penetron Admix* kasutamisel 250%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 75% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 125%.

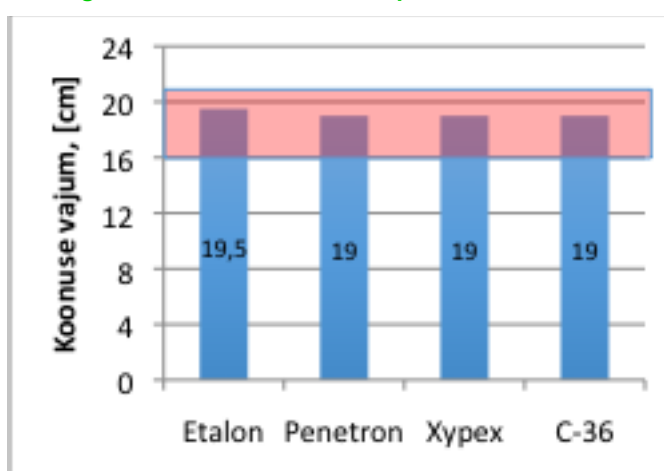
Katsetulemustest saame järeldada, et betooni C40/50 korral 28-päeva vanustel katsekehadel on lisandid *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000* toonud esile lisandi toimele omase vee sissetungivust vähendava efekti ja lisand *Betocrete C-36* mitte. 100 päeva vanustel katsekehadel ei ole ükski katsetatav lisand toonud esile vee sissetungivust vähendavat efekti. Lisandi *Penetron Admix* kasutamisel saadud rõhu all oleva vee minimaalne ja maksimaalne sissetungivus (10 ja 14 mm vastavalt) on suhteliselt väikesed, kuid sellegi poolest on tegu anomaalse nähtusega, sest võrreldes teiste sama seeria katsetulemustega on need sissetungivussügavuste väärtused väga suured. Ühtlasi ei tundu loogiline, et 100-päeva vanuste katsekehade vee sissetungivussügavused on

suuremad kui 28-päeva vanustel katsekehadel, kuna 100-päeva vanustes katsekehades on veeimavust vähendava lisandi toimet saanud kristallstruktuur moodustuda oluliselt kauem. Katsetatud lisandite toimet betooni C40/50 korral tuleks veel uurida, et saada aru, kas saadud seletamatud tulemused on põhjustatud võimalikest vigadest katsekehade valmistamisel ja tihendamisel või mõnest muust faktorist. Käesoleva katseseeria tulemusi saab võrrelda peatükis 5.8 toodud tulemustega, milles kasutatavas betoonis oli küll manustatud *Semtu Semflow* plastifikaatorit *Mapei Dynamon XTend* plastifikaatori asemel, kuid betooni survetugevusklass oli sama.

2.6.5 BETOON C30/37 KK4

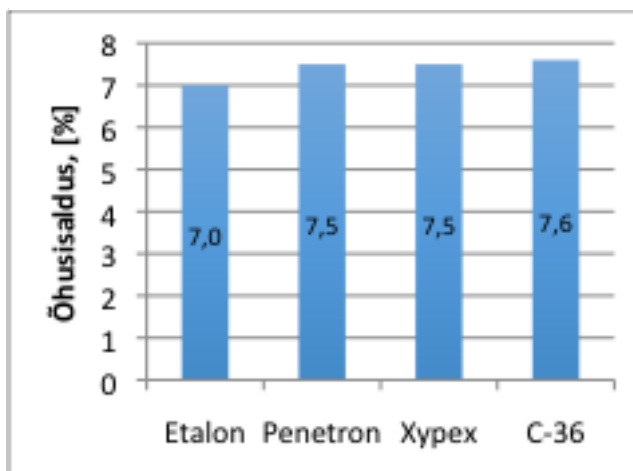
Graafikult 17 näeme, et betooni C30/37 KK4 korral vähenesid kõikide lisandiga segude koonuse vajumid 0,5 cm. Tulemustest saame järeldada, et C30/37 KK4 korral vähendavad kõik katsetatavad lisandid marginaalselt segu töödeldavust. Kuna lisandiga *Betocrete C-36* valmistati segu kõige hiljem, võib arvata, et mainitud lisand vähendab töödeldavust vähem kui lisandid *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000*. Kuna betooni C30/37 segu katsetamisel manustati täiendavalt plastifikaatorit, ei saa paralleelsele tuua sama survetugevusklassiga, kuid erinevate täitematerjalidega (C30/37 korral kasutati paekillustikku ja C30/37 KK4 korral kasutati graniitkillustikku) segude korral. Lisanditega segude töödeldavuse langus võib olla põhjendatav külmakindlusklassi KK4 kuuluva segu väikese vesitsementteguriga ($W/C=0,40$). Kõikide lisandite kasutamisel on betoonisegude töödeldavused jäänud soovitud töödeldavusklassi S4 vahemikku.

Graafik 17. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C30/37 KK4 segu töödeldavusele. Punasega on märgitud töödeldavusklassi S4 piirväärtuste vahemik.



Graafikult 18 näeme, et betooni C30/37 KK4 korral suurendasid kõik lisandid marginaalselt betoonisegu õhusisaldust. Võrreldes etaloniga suurendas *Penetron Admix* õhusisaldust 7% , *Xypex Admix C-1000* suurendas õhusisaldust 7% ning *Betocrete C-36* suurendas õhusisaldust 9%. Tulemuste põhjal saame järeldada, et betooni C30/37 KK4 korral toimivad kõik katsetatud lisandid ka õhku marginaalselt manustava lisandina. Võrreldes C30/37 betooniseguga, on õhusisaldused oluliselt suuremad, sest C30/37 KK4 betoonisegule lisati segusõlmes õhku sisseviivat lisandit *Semtu Mischoel K* 0,034% tsemendi massist külmakindlusklassi KK4.

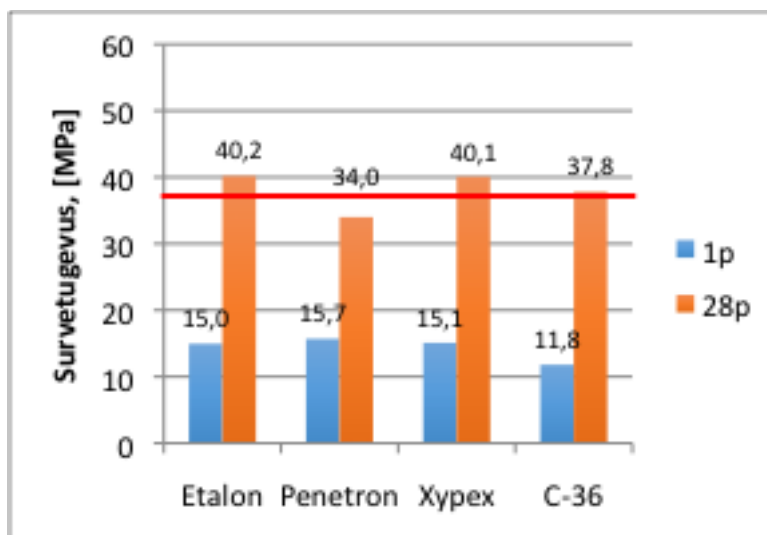
Graafik 18. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C30/37 KK4 õhusisaldusele



Graafikult 5.5-3 näeme, et betooni C30/37 KK4 korral on Penetron Admix'iga katsekehade varajane (1p) survetugevus 5% suurem kui etalonil, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel 1% suurem kui etalonil ja Betocrete C-36'ga katsekehadel 21% väiksem kui etalonil.

28 päeva vanuste katsekehade survetugevus võrreldes etaloniga on Penetron Admix'iga katsekehadel 15% väiksem, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel samaväärne ja Betocrete C-36'ga katsekehadel 6% väiksem.

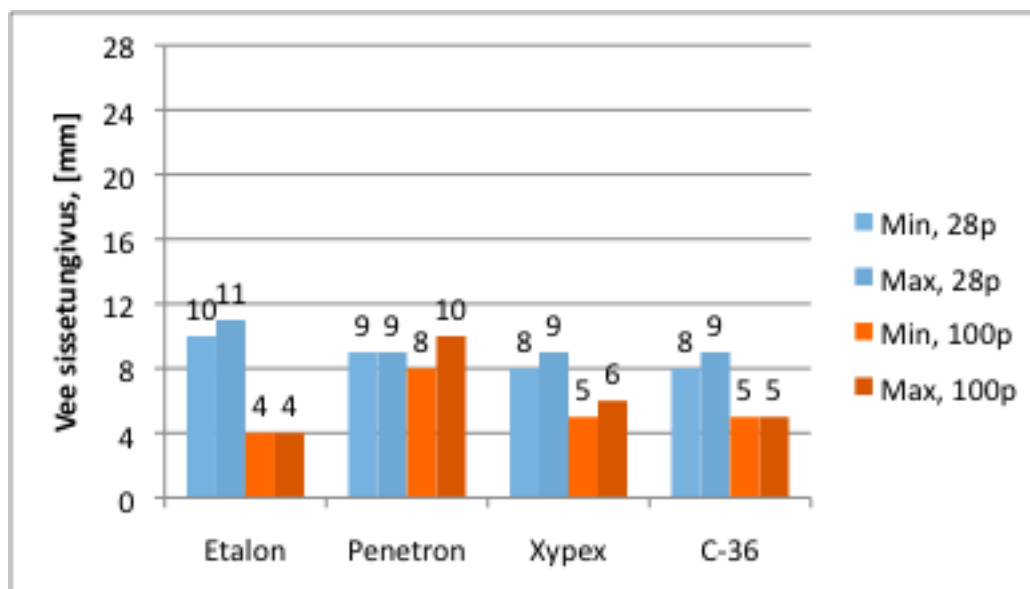
Graafik 19. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C30/37 KK4 survetugevusele. Punasega on märgitud tugevusklassi nõudele vastav survetugevus kuubiliste katsekehade korral



Katsetulemustest näeme, et betooni C30/37 KK4 korral ei rahuldanud lisandiga Penetron Admix katsekehade survetugevused antud survetugevusklassi nõudeid. Saadud tulemust on keeruline põhjendada, kuna teiste katseseeriade korral on Penetron Admix lisandi kasutamisel 28-päevane survetugevus olnud etalonkatsekehade survetugevustega samas suurusjärgus. Katsetulemustest saame järeldada, et betooni C30/37 KK4 korral suurendavad lisandid Penetron Admix ja Xypex Admix C-1000 segude varajast

survetugevust marginaalselt ning lisand *Betocrete C-36* vähendab varajast survetugevust suurel määral. *Xypex Admix C-1000* kasutamine ei muuda 28-päevast survetugevust, küll aga vähendab lisandi *Penetron Admix* kasutamine suurel määral ja lisandi *Betocrete C-36* kasutamine vähesel määral 28-päevast survetugevust. Kuna õhusisaldused kõigi lisanditega segude korral olid samas suurusjärgus, võiks arvata, et survetugevusnäitajad võiksid samuti olla samas suurusjärgus. Katsetulemuste põhjal sellist seaduspärasust ei esinenud. Saame järeldada, et katsetatavate lisanditega betoonisegude tugevuslike omaduste kujunemine sõltub paljuski lisanditega toimuvatest keemilistest protsessidest ja seega lisandi keemilisest koostisest, ning õhusisalduse muutus on vaid osa sellest. Võrreldes betoonide C30/37 KK4 ja C30/37 (ptk 5.2) 28-päevaseid survetugevusnäitajaid näeme, et etalonkatsekehade ja lisandiga *Penetron Admix* katsekehade survetugevused on betooni C30/37 KK4 korral oluliselt väiksemad. Lisandite *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* kasutamisel on nii betooni C30/37 KK4 kui betooni C30/37 korral survetugevusnäitajad samas suurusjärgus. Fakt, et samasuguse õhusisalduse juures on katsetatavate lisanditega katsekehade survetugevused erinevad ning erinevate täitematerjalide korral ei teki langevat või tõusvat trendi survetugevustes, annab omakorda kinnitust, et betooni tugevuslike omaduste kujunemine on suuresti seotud katsetatavate lisandite keemilise koostisega, mitte kontrollitavate parameetritega nagu õhusisaldus või kasutatavad täitematerjalid.

Graafik 20. Betooni C30/37 KK4 vee sissetungivussügavused



Graafikult 20 näeme, et surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C30/37 KK4 korral vähenes *Penetron Admix* kasutamisel 10%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 20% ja vähenes *Betocrete C-36* kasutamisel 20%.

Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C30/37 KK4 korral vähenes *Penetron Admix*i kasutamisel 18%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 18% ja vähenes *Betocrete C-36* kasutamisel 18%.

Surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C30/37 KK4 korral suurenes igal juhul. Vee sissetungivus suurenes *Penetron Admix*i kasutamisel 100%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 25% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 25%.

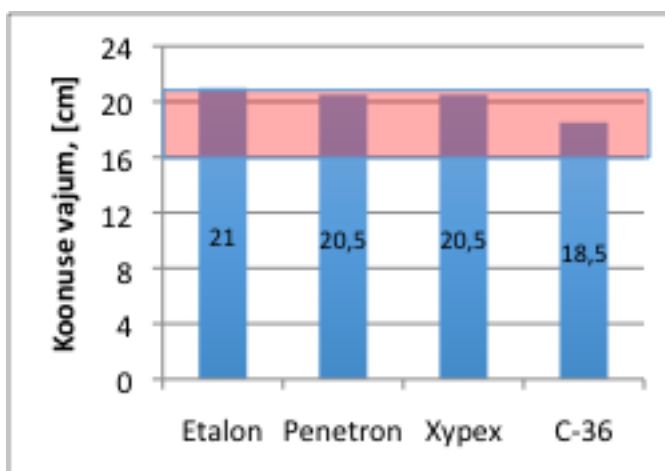
Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C30/37 KK4 korral suurenes samuti igal juhul. Vee sissetungivus suurenes *Penetron Admix*i kasutamisel 150%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 50% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 25%.

Katsetulemustest saame järeldada, et betooni C30/37 KK4 korral 28-päeva vanustel katsekehadel on lisandid *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* toonud esile vee sissetungivust vähendava efekti. 100 päeva vanustel katsekehadel ei ole üksi katsetatav lisand toonud esile vee sissetungivust vähendavat efekti. Lisandi *Penetron Admix* kasutamisel on, sarnaselt C40/50 betoonile (ptk 5.4), saadud rõhu all oleva vee minimaalne ja maksimaalne sissetungivus võrreldes teiste lisanditega valmistatud katsekehadea anomaalselt suur. Katsetatud lisandite toimet betooni C30/37 KK4 korral tuleks veel uurida, et saada aru, kas saadud tulemused on põhjustatud võimalikest vigadest katsekehade valmistamisel ja tihendamisel või mõnest muust faktorist. Käesoleva katseseeria tulemusi saab võrrelda peatükis 5.2 toodud katsetulemustega betooni C30/37 kohta. Võrreldes C30/37 KK4 ja C30/37 betoonide vee sissetungivusi, ei teki kindlaid tendentse, et graniitkillustikuga valmistatud betoonil oleks surve all oleva vee sissetungivus suurem või väiksem kui paekillustikuga valmistatud betoonil. Sel põhjusel ei saa öelda, et ühe või teise täitematerjaliga valmistatud betoon on uuritavate lisandite kasutamise perspektiivist eelistatum või otstarbekam.

2.6.6 BETOON C35/45 KK4

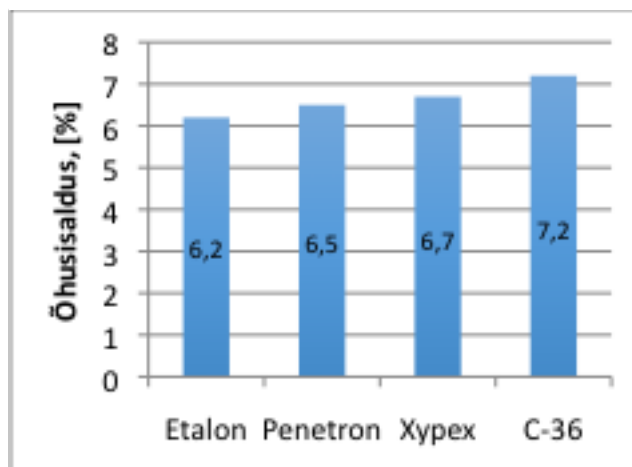
Graafikult 21 näeme, et betooni C35/45 KK4 korral vähenesid kõikide lisandiga segude koonuse vajumid. *Penetron Admix*'i ja *Xypex Admix C-1000* korral vähenes koonuse vajum 0,5 cm, *Betocrete C-36* lisandi kasutamisel 2,5 cm. Tulemustest saame järeldada, et betooni C35/45 KK4 korral vähendavad lisandid *Penetron Admix*'i ja *Xypex Admix C-1000* segu töödeldavust marginaalselt ning lisand *Betocrete C-36* märgatavalt. Erinevalt teiste katsetatavate segudega on lisandiga *Betocrete C-36* valmistatud betooni C35/45 KK4 segu koonuse vajum suurem. Kuna betooni C35/45 segu katsetamisel manustati täiendavalt plastifikaatorit, ei saa paralleelsele tuua sama survetugevusklassiga, kuid erinevate täitematerjalidega (C35/45 korral kasutati paekillustikku ja C35/45 KK4 korral kasutati graniitkillustikku) segude korral. Nagu betoonide C40/50 ja C30/37 KK4 korral, võib lisanditega segude töödeldavuse langus olla põhjendatav külmakindlusklassi KK4 kuuluva segu väikese vesitsementteguriga ($W/C=0,38$). Kõikide lisandite kasutamisel on betoonisegude töödeldavused jäänud soovitud töödeldavusklassi S4 vahemikku.

Graafik 21. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C35/45 KK4 segu töödeldavusele. Punasega on märgitud töödeldavusklassi S4 piirväärtuste vahemik.



Graafikult 22 näeme, et betooni C35/45 KK4 korral suurendasid kõik lisandid betoonisegu õhusisaldust. Võrreldes etaloniga suurendas *Penetron Admix* õhusisaldust 5% , *Xypex Admix C-1000* suurendas õhusisaldust 8% ning *Betocrete C-36* suurendas õhusisaldust 16%. Tulemuste põhjal saame järeldada, et betooni C35/45 KK4 korral toimivad kõik katsetatud lisandid ka õhku manustava lisandina. Võrreldes C35/45 betooniseguga, on õhusisaldused oluliselt suuremad, sest C35/45 KK4 betoonisegule lisati segusõlmes õhku sisseviivat lisandit *Semtu Mischoel K* 0,027% tsemendi massist külmakindlusklassi KK4 tagamiseks (seguretseptid on toodud ptk.-s 3, tabel 3.1).

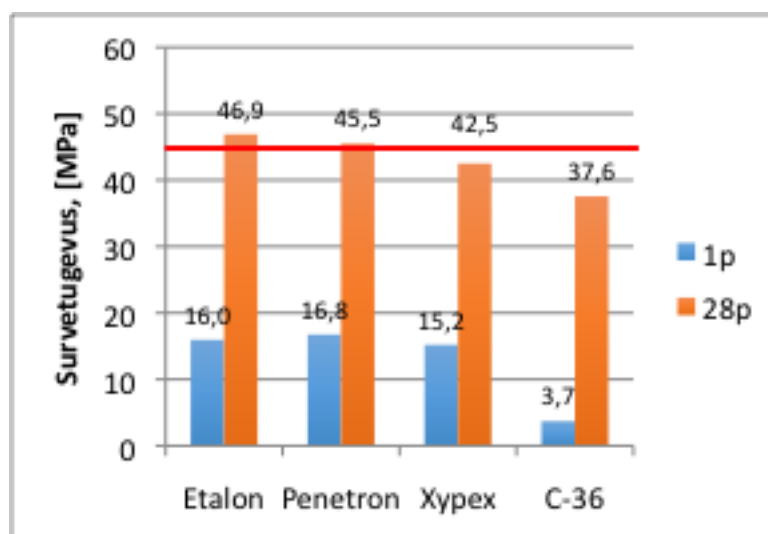
Graafik 22. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C35/45 KK4 õhusisaldusele



Graafikult 23 näeme, et betooni C35/45 KK4 korral on Penetron Admix'iga katsekehade varajane (1p) survetugevus 5% suurem kui etalonil, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel 5% väiksem kui etalonil ja Betocrete C-36'ga katsekehadel 77% väiksem kui etalonil.

28 päeva vanuste katsekehade survetugevus võrreldes etaloniga on Penetron Admix'iga katsekehadel 3% väiksem, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel 9% väiksem ja Betocrete C-36'ga katsekehadel 20% väiksem.

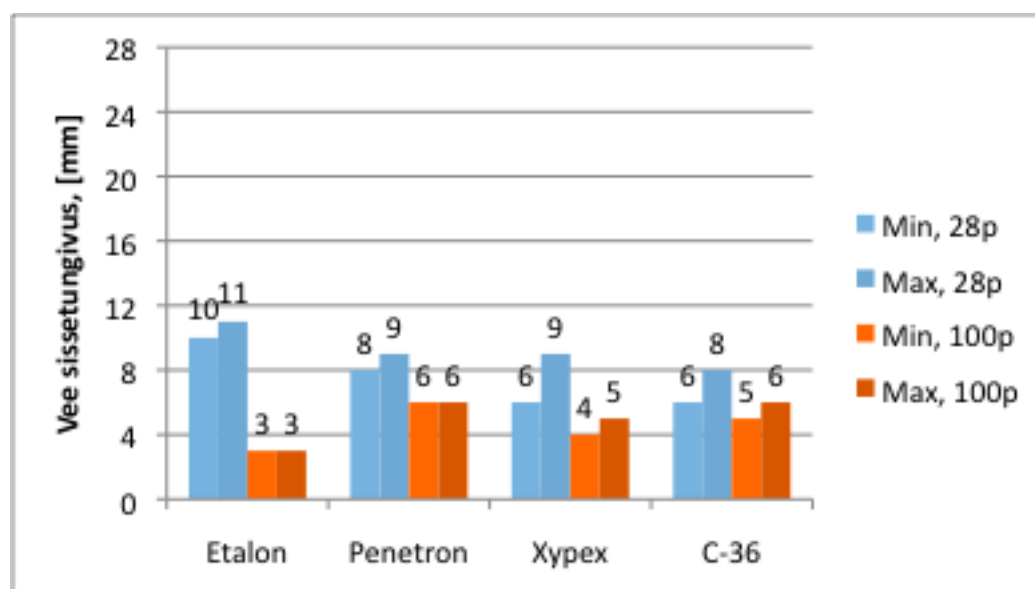
Graafik 23. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C35/45 KK4 survetugevusele. Punasega on märgitud tugevusklassi nõudele vastav survetugevus kuubiliste katsekehade korral.



Katsetulemustest näeme, et betooni C35/45 KK4 korral ei rahuldanud lisanditega Xypex Admix C-1000 ja Betocrete C-36 betoonide survetugevused antud katseseerias

survetugevusklassi nõudeid. Ühtlasi saame järeldada, et betooni C35/45 KK4 korral suurendab lisand *Penetron Admix* segu varajast survetugevust marginaalselt, lisand *Xypex Admix C-1000* vähendab varajast survetugevust marginaalselt ning lisand *Betocrete C-36* vähendab varajast survetugevust tohutult suurel määral. Lisandi *Penetron Admix* kasutamine vähendab 28-päevast survetugevust marginaalselt, lisandi *Xypex Admix C-1000* kasutamine vähendab suurel määral 28-päevast survetugevust ja lisandi *Betocrete C-36* kasutamine vähendab väga suurel määral 28-päevast survetugevust. Võrreldes betoonide C35/45 KK4 ja C35/45 28-päevaseid survetugevusnäitajaid näeme, et betooni C35/45 KK4 korral on nii etalonkatsekehade kui kõikide katsetatud lisanditega katsekehade survetugevused betooni C35/45 katsekehade survetugevustest sama suurusjärgu võrra väiksemad (7,5...9,1 MPa). Samuti on olemas võrdeline seos betooni C35/45 KK4 betoonisegu õhusisalduse tõusu ja kivistunud betooni survetugevuse langu

Graafik 24. Betooni C35/45 KK4 vee sissetungivussügavused



vahel.

Graafikult 24 näeme, et surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C35/45 KK4 korral vähenes *Penetron Admix*i kasutamisel 20%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 40% ja vähenes *Betocrete C-36* kasutamisel 40%.

Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C35/45 KK4 korral vähenes *Penetron Admix*i kasutamisel 18%, vähenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 18% ja vähenes *Betocrete C-36* kasutamisel 27%.

Surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C35/45 KK4 korral suurenes igal juhul. Vee sissetungivus suurenes *Penetron Admix* kasutamisel 100%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 33% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 67%.

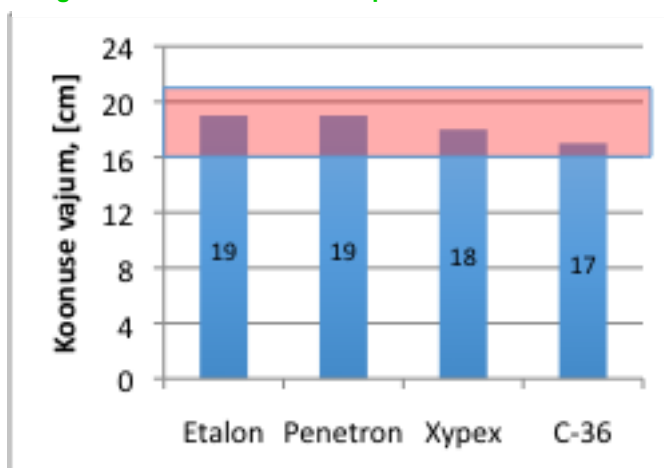
Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C35/45 KK4 korral suurenes samuti igal juhul. Vee sissetungivus suurenes *Penetron Admix* kasutamisel 100%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 67% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 100%.

Katsetulemustest saame järeldada, et betooni C35/45 KK4 korral 28-päeva vanustel katsekehadel on lisandid *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* toonud esile lisandi toimele omase vee sissetungivust vähendava efekti. 100 päeva vanustel katsekehadel ei ole ükski katsetatav lisand toonud esile vee sissetungivust vähendavat efekti. Võrreldes C35/45 KK4 ja C35/45 betoonide vee sissetungivusi, ei teki kindlaid tendentse, et graniitkillustikuga valmistatud betoonil oleks surve all oleva vee sissetungivus suurem või väiksem kui paekillustikuga valmistatud betoonil. Sel põhjusel ei saa öelda, et ühe või teise täitematerjaliga valmistatud betoon on uuritavate lisandite kasutamise perspektiivist eelistatum või otstarbekam.

2.6.7 BETOON C25/30*– LISANDID MANUSTATI PULBRI KUJUL

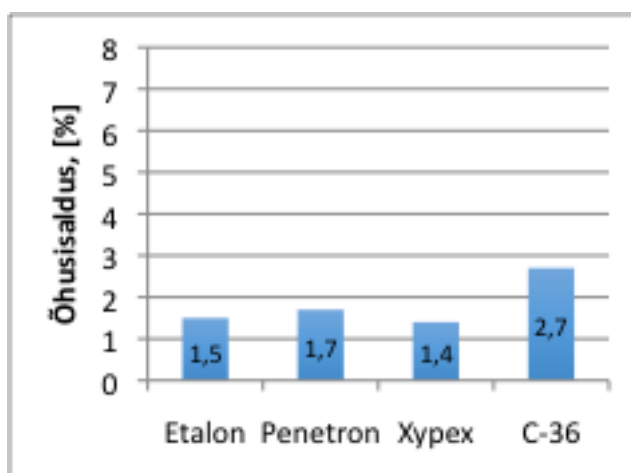
Graafikult 25 näeme, et betooni C25/30* korral ei muutunud *Penetron Admix* lisandiga segu koonuse vajum. *Xypex Admix C-1000* lisandiga segu koonuse vajum vähenes 1 cm võrra ja *Betocrete C-36* lisanditega segu koonuse vajum muutus 2 cm võrra. Tulemustest saame järeldada, et betooni C25/30* korral ei muuda *Penetron Admix* betoonisegu töödeldavust. *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* lisandid vähendavad pulbri kujul manustatult vähesel määral betoonisegu töödeldavust. Võrreldes peatükis 5.1 toodud betooni C25/30 segu töödeldavusi, kus lisandid manustati suspensioonina, käesolevaga, on näha, et pulbrilisel kujul vähendavad lisandid *Xypex Admix C-1000* ja

Graafik 25. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C25/30* segu töödeldavusele. Punasega on märgitud töödeldavusklassi S4 piirväärtuste vahemik.



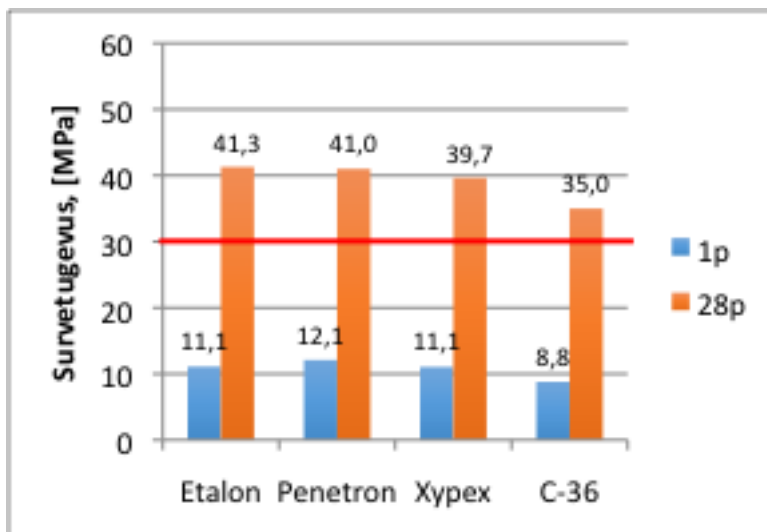
Betocrete C-36 betoonisegu töödeldavust rohkem kui suspensioonina manustamisel. Töödeldavuse langus on antud juhul põhjendatav sellega, et lisandite pulbrite märgamiseks vajalik vesi on võetud betoonisegus oleva vee arvelt. Arvestades seda, kuidas lisandid veega segunesid suspensioonide valmistamisel ja seda, millise viskoossusega olid saadavad suspensioonid (*Penetron Admix*'i korral väga vedel, *Xypex Admix C-1000* korral pisut paksem ja *Betocrete C-36* korral üsna paks), on katsetulemused loogilised. Kõikide lisandite kasutamisel on betoonisegude töödeldavused jäänud soovitud töödeldavusklassi S4 vahemikku.

Graafik 26. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C25/30* õhusisaldusele



Graafikult 26 näeme, et betooni C25/30* korral suurendasid *Penetron Admix* ja *Betocrete C-36* betoonisegu õhusisaldust ning *Xypex Admix C-1000* vähendas seda. Võrreldes etaloniga suurendas *Penetron Admix* õhusisaldust 13% , *Xypex Admix C-1000* vähendas õhusisaldust 7% ning *Betocrete C-36* tõstis õhusisaldust 80%. Tulemuste põhjal saame järeldada, et betooni C25/30* korral toimivad *Penetron Admix* ja *Betocrete C-36* ka õhku manustavate lisanditena. Võrreldes tulemusi peatükis 5.1 toodud tulemustega suspensioonina manustatud lisandite korral on näha, et *Penetron Admix*'i ja *Xypex Admix*'i korral on pulbri kujul manustatud lisanditega katse korral õhusisaldused väiksemad.

Graafik 27. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C25/30* survetugevusele. Punasega on märgitud tugevusklassi nõudele vastav survetugevus kuubiliste katsekehade korral.

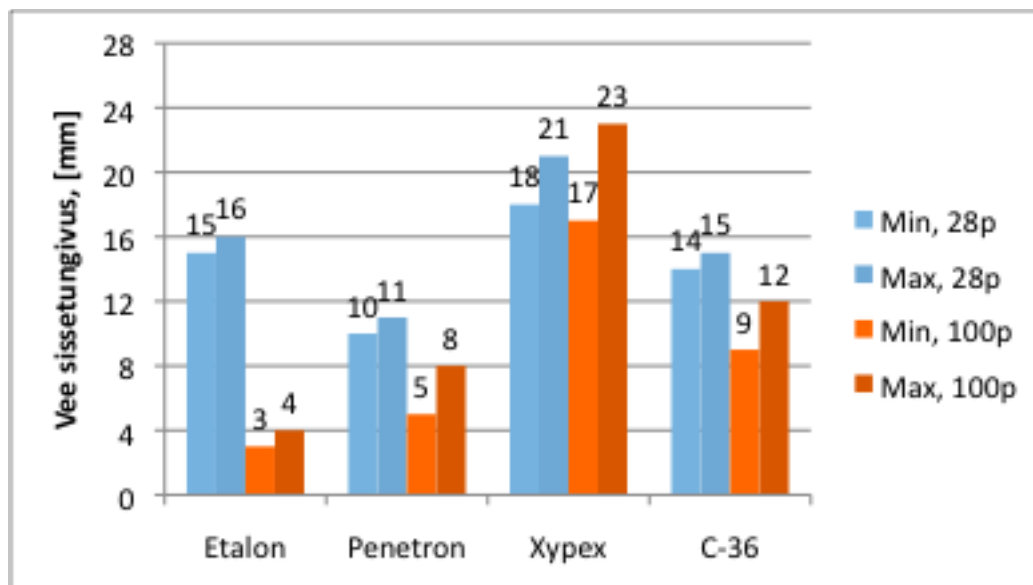


Graafikult 27 näeme, et betooni C25/30* korral on Penetron Admix'iga katsekehade varajane (1p) survetugevus 9% suurem kui etalonil, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel samaväärne etaloniga ja Betocrete C-36'ga katsekehadel 21% väiksem kui etalonil.

28 päeva vanuste katsekehade survetugevus võrreldes etaloniga on Penetron Admix'iga katsekehadel 1% väiksem, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel 4% väiksem ja Betocrete C-36'ga katsekehadel 15% väiksem.

Katsetulemustest näeme, et betooni C25/30* korral rahuldasi kõikide lisanditega betoonide survetugevused antud katseseerias survetugevusklassi nõudeid. Ühtlasi saame järeldada, et betooni C25/30* korral suurendab Penetron Admix vähesel määral varajast ja vähendab marginaalselt 28-päevast survetugevust. Xypex Admix C-1000 ei muuda varajast survetugevust, kuid vähendab marginaalselt 28-päevast survetugevust. Betocrete C-36 vähendab suurel määral varajast survetugevust ning suurel määral 28-päevast survetugevust. Survetugevuse langus õhusisalduse suurenemise tõttu on toimunud lisanditega Penetron Admix ja Betocrete C-36 katsekehadel. Olenemata õhusisalduse langusest lisandi Xypex Admix C-1000 manustamisel, vähenes ka survetugevus. Võrreldes tulemusi peatükis 2.6.1 toodud tulemustega, kus lisand manustati suspensiooni kujul, ei ole survetugevusnäitajates olulisi muudatusi toimunud.

Graafik 28. Betooni C25/30* vee sissetungivussügavused



Graafikult 28 näeme, et surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C25/30* korral vähenes *Penetron Admix* kasutamisel 33%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 20% ja vähenes *Betocrete C-36* kasutamisel 7%.

Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C25/30* korral vähenes *Penetron Admix* kasutamisel 31%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 31% ja vähenes *Betocrete C-36* kasutamisel 6%.

Surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C25/30* korral suurenes *Penetron Admix* kasutamisel 67%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 467% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 200%.

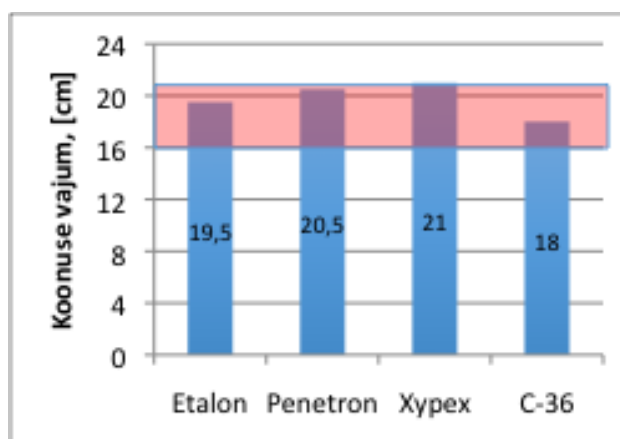
Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C25/30* korral suurenes *Penetron Admix* kasutamisel 100%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 475% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 200%.

Katsetulemustest saame järeldada, et betooni C25/30* korral 28-päeva vanustel katsekehadel töid lisandid *Penetron Admix* ja *Betocrete C-36* esile vee sissetungivust vähendava efekti. 100 päeva vanustel katsekehadel ei ole ühegi lisandi kasutamisel ilmnunud katsetatavatele lisanditele omast vee sissetungivust vähendavat efekti. Võrreldes tulemusi peatükis 2.6.1 toodutega, saab öelda, et surve all oleva vee sissetungivused 100-päeva vanustel katsekehadel on pulbri kujul manustatud lisanditega väiksemad (välja arvatud *Xypex Admix C-1000* lisandi korral, mil nii 28-päevaste kui 100-päevaste katsekehade vee sissetungivused olid anomaalselt suured).

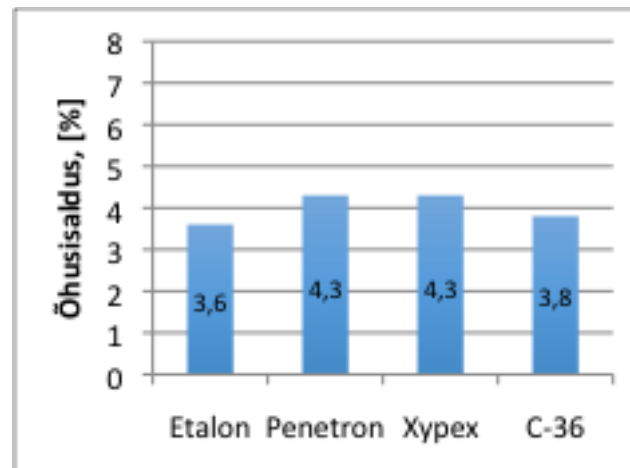
2.6.8 BETOON C40/50* – KASUTATI SEMTU SEMFLOW MC SUPERPLASTIFIKAATORIT

Graafikult 29 näeme, et betooni C40/50* korral suurenes *Penetron Admix* lisandiga segu koonuse vajum 1 cm ja *Xypex Admix C-1000* lisandiga segu koonuse vajum 1,5 cm. *Betocrete C-36* lisandiga segu koonuse vajum vähenes 1,5 cm võrra. Tulemustest saame järeldada, et *Semtu Semflow MC* plastifikaatoriga käitub betoon C40/50* lisandite toimet erinevalt kui *Mapei Dynamon XTend* plastifikaatori korral. *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000* omavad koostoides *Semtu Semflow MC* plastifikaatoriga plastifitseerivat toimet. Lisandi *Betocrete C-36* korral sellist toimet ei esinenud ning lisand vähendas betoonisegu töödeldavust. Kõikide lisandite kasutamisel on betoonisegude töödeldavused jäänud soovitud töödeldavusklassi S4 vahemikku.

Graafik 29. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C40/50* segu töödeldavusele. Punasega on märgitud töödeldavusklassi S4 piirväärtuste vahemik



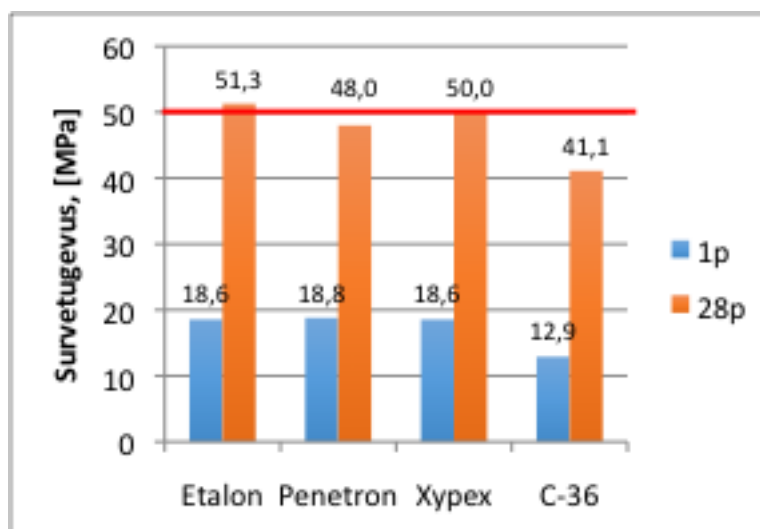
Graafikult 30 näeme, et betooni C40/50* korral suurendasid kõik lisandid betoonisegu õhusisaldust. Võrreldes etaloniga suurendas *Penetron Admix* õhusisaldust 19% , *Xypex Admix C-1000* suurendas õhusisaldust 19% ning *Betocrete C-36* suurendas õhusisaldust 6%. Tulemuste põhjal saame järeldada, et betooni C40/50* korral toimivad kõik katsetatud lisandid ka õhku manustava lisandina. Võrreldes tulemusi peatükis 5.4 toodud *Mapei Dynamon XTend* plastifikaatoriga valmistatud betoonidega, on suurim erinevus lisandiga *Betocrete C-36* segu õhusisalduses (ptk 5.4 betooni korral suurenes õhusisaldus *Betocrete C-36* kasutamisel võrreldes etaloniga 62%).



Graafikult 5.8-3 näeme, et betooni C40/50 korral on Penetron Admix'iga katsekehade varajane (1p) survetugevus 1% suurem kui etalonil, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel samaväärne etaloniga ja Betocrete C-36'ga katsekehadel 31% väiksem kui etalonil.

28 päeva vanuste katsekehade survetugevus võrreldes etaloniga on Penetron Admix'iga katsekehadel 6% väiksem, Xypex Admix C-1000'ga katsekehadel 3% väiksem ja Betocrete C-36'ga katsekehadel 20% väiksem.

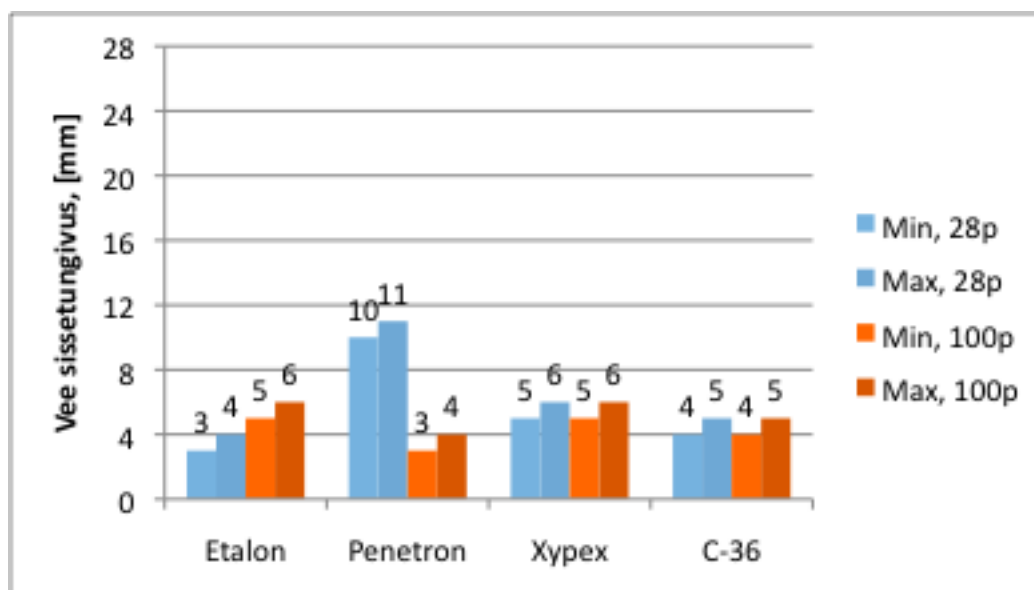
Graafik 31. Veeimavust vähendavate keemiliste lisandite mõju betooni C40/50* survetugevusele. Punasega on märgitud tugevusklassi nõudele vastav survetugevus kuubiliste katsekehade korral.



Katsetulemustest näeme, et betooni C40/50* korral ei rahuldanud lisanditega Penetron Admix ja Betocrete C-36 valmistatud segude katsekehade survetugevused antud katseseerias survetugevusklassi nõudeid. Saame järeldada, et C40/50* korral plastifikaatoriga Semtu Semflow MC suurendab Penetron Admix marginaalselt varajast survetugevust ning langetab vähesel määral 28-päevast survetugevust. Xypex Admix C-

1000 ei mõjuta varajast survetugevust, kuid vähendab marginaalselt 28-päevast survetugevust. *Betocrete C-36* vähendab väga suurel määral nii varajast kui 28-päevast survetugevust. Sidudes tulemusi õhusisalduse (graafik 5.8-2) katsetulemustega, saab järeldada, et suurema õhusisalduse korral on tekkiva tehiskivi poorsus suurem ja seega survetugevus väiksem. Lisandi *Betocrete C-36* kasutamisel peaks õhusisaldust silmas pidades 28-päevane survetugevus olema suurem kui teiste lisandite kasutamisel, kuid ei ole. Kõikide katsetulemuste põhjal saab väita, et lisand *Betocrete C-36* vähendab betoonide pikaajalist survetugevust. Võrreldes katsetulemusi peatükis 5.4 tooduga näeme, et saavutatud survetugevused on lisandite *Penetron Admix* ja *Betocrete C-36* kasutamisel kõrgemad betooni C40/50 korral (kasutati plastifikaatorit *Mapei Dynamon Xtend*) ning lisandi *Xypex Admix C-1000* kasutamisel betooni C40/50* korral (kasutati plastifikaatorit *Semtu Semflow MC*). Lisadest 4 ja 8 näeme, et betooni C40/50 korral oli vesitsementtegur 0,34 ja C40/50* korral 0,43. Betooni C40/50* suurema vesitsementteguuri tõttu on ilmselt kogu katseseeria survetugevusnäitajad madalamad kui betooni C40/50 korral. Sel põhjusel ei saa üheselt väita, et paremad survetugevusnäitajad saavutatakse ühe või teise superplastifikaatori kasutamisel.

Graafik 32. Betooni C40/50* vee sissetungivussügavused



Graafikult 32 näeme, et surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C40/50* korral suurenes *Penetron Admix*i kasutamisel 233%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 67% ja suurenes *Betocrete C-36* kasutamisel 33%.

Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **28-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C40/50* korral suurenes *Penetron Admix*i kasutamisel 175%, suurenes *Xypex Admix C-1000* kasutamisel 50% ja vähenes *Betocrete C-36* kasutamisel 25%.

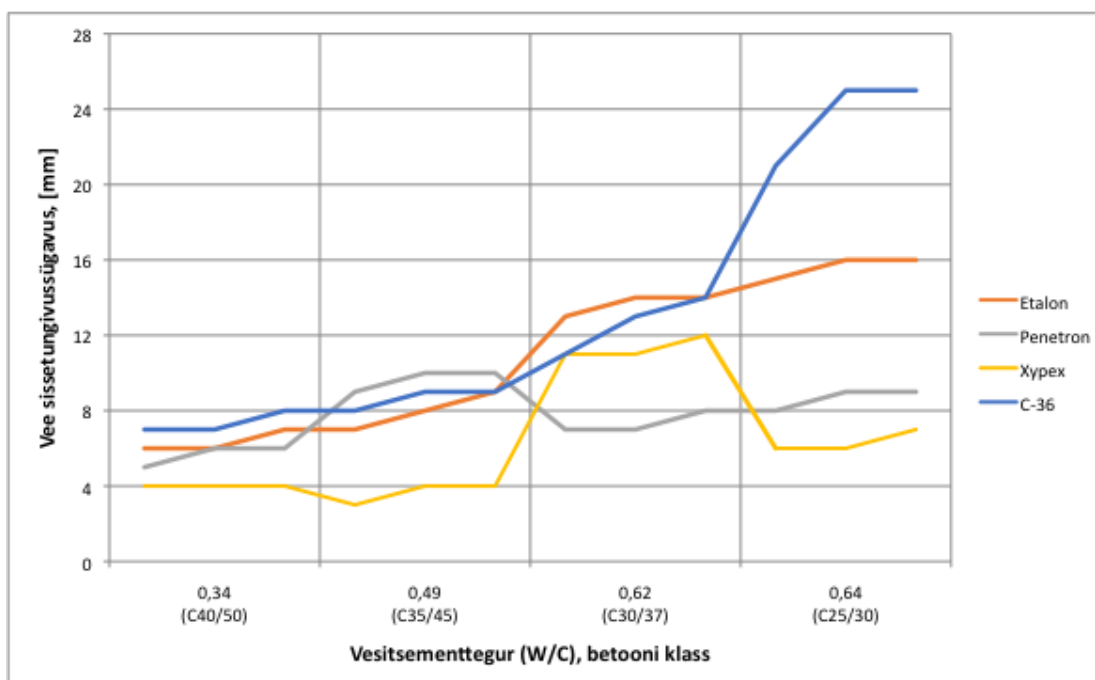
Surve all oleva vee **minimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C40/50* korral vähenes *Penetron Admix*i kasutamisel 40%, s *Xypex Admix C-1000* kasutamisel jäi samaväärseks ja vähenes *Betocrete C-36* kasutamisel 20%.

Surve all oleva vee **maksimaalne** sissetungivus võrreldes etaloniga **100-päeva** vanustesse katsekehadesse betooni C40/50* korral vähenes *Penetron Admix*i kasutamisel 33%, *Xypex Admix C-1000* kasutamisel jäi samaväärseks ja vähenes *Betocrete C-36* kasutamisel 17%.

Katsetulemustest saame järeldada, et betooni C40/50* korral 28-päeva vanustel katsekehadel ei ole üksi lisand toonud esile lisandite toimele omast vee sissetungivust vähendavat efekti. 100-päeva vanustel katsekehadel ilmnes vee sissetungivust vähendav efekt lisandite *Penetron Admix* ja *Betocrete C-36* kasutamisel. Võrreldes peatükis 5.4 toodud katseandmetega, on paremad 100-päeva vanuste katsekehade surve all oleva vee sissetungivuse katsetulemused saavutatud kõikide katsetatud lisandite korral käesolevas katses, kus betoonisõlmes lisati segule plastifikaatorit *Semtu Semflow MC*.

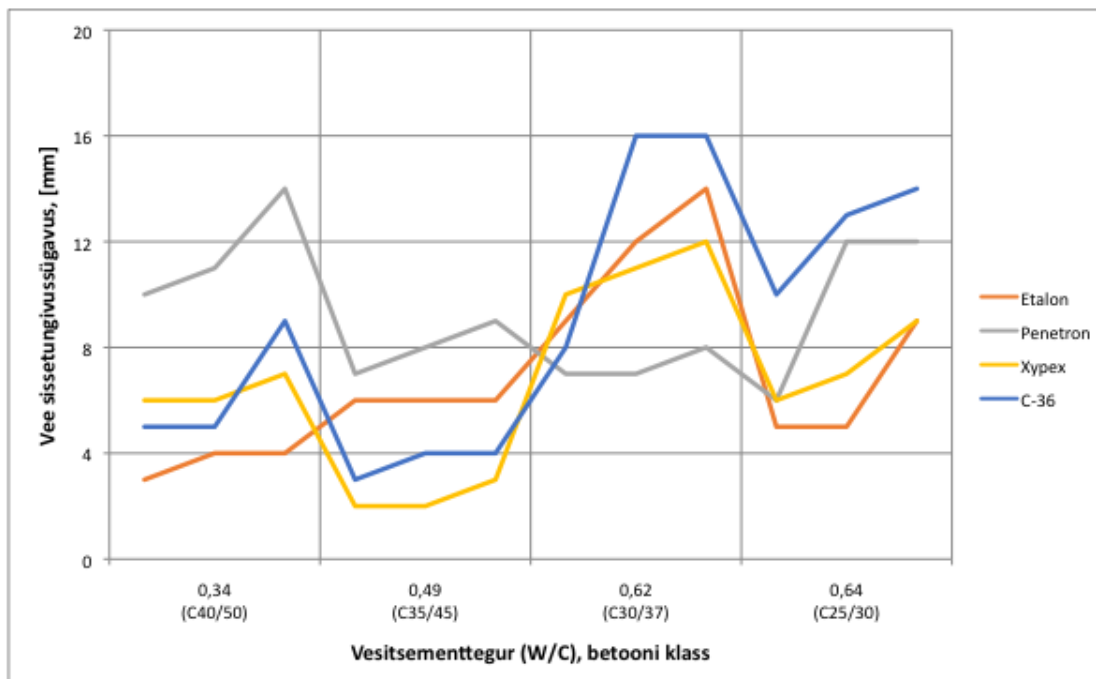
2.6.9 KOONDANALÜÜS SUSPENSIOONINA MANUSTATUD LISANDITEGA BETOONIDE VEE SISSETUNGIVUSSÜGAVUSTE PÕHJAL

Vee sissetungivussügavuste koondanalüüsis on käsitletud katseseeriaid, mille korral betooni veeimavust vähendavad keemilised lisandid manustati segudesse suspensioonina. Tavabetoone ja külmakindlusklassi KK4 nõudeid tagavaid betoone on käsitletud eraldi. Vee sissetungivussügavused on esitatud joongraafikutel (graafikud 33...36) ning on järjestatud betoonisegude vesitsementtegurite järgi väiksemast suuremani. Vesitsementtegurite järgi jaotamine ei ole võrreldav EVS-EN 206 välja toodud piirväärtustega, sest segu retseptid erinesid lisaks vesitsementtegurile ka täitematerjali kogustes.



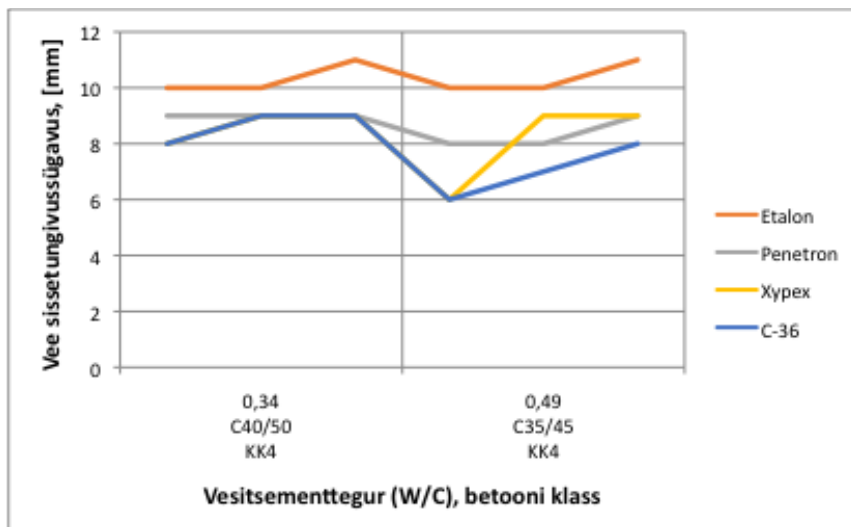
Graafikult 33 näeme, et 28-päevaste katsekehade korral on võrreldes etaloniga lisandi *Penetron Admix* kasutamisel standardi EVS-EN 12390-8:2009 järgsed vee sissetungivused vähenenud vesitsementtegurite 0,34; 0,62 ja 0,64 korral. Suurem vee sissetungivust vähendav efekt on lisandi *Penetron Admix* kasutamisel avaldunud suuremate vesitsementtegurite korral. Lisandi *Xypex Admix C-1000* kasutamisel on võrreldes etaloniga vee sissetungivused vähenenud iga vesitsementteguri korral. Lisandi *Betocrete C-36* kasutamisel on võrreldes etaloniga vee sissetungivused vähenenud ainult vesitsementteguri 0,62 korral. Vesitsementteguri 0,64 korral on võrreldes etaloniga lisand *Betocrete C-36* oluliselt suurendanud vee sissetungivust betooni. Lisas 3 toodud katsetulemuste koondtabelitest on näha, et kõik tavabetoonid (C25/30, C30/37, C35/45 ja C40/50) on täitnud ka GOST 12730.5-84 järgse veepidavusklassi W16 nõude.

Graafik 34. Tavabetoonide 100-päeva vanuste katsekehade vee sissetungivussügavused



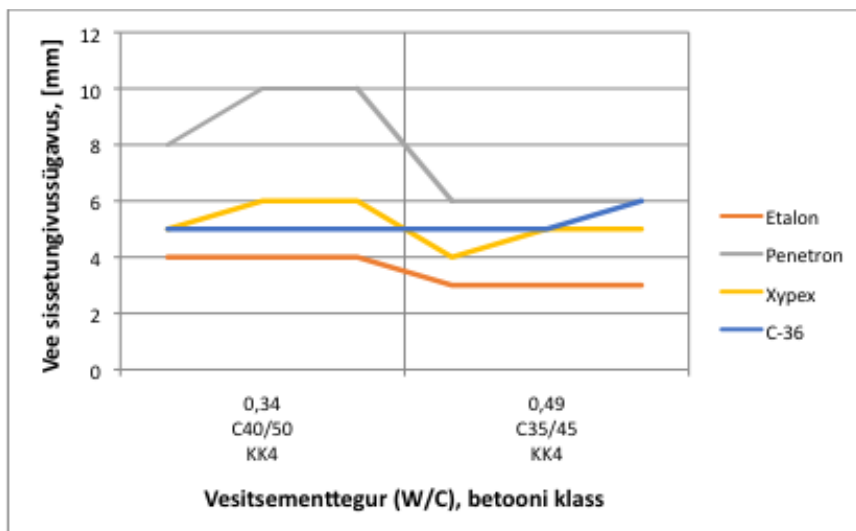
Graafikult 34 näeme, et 100-päevaste katsekehade korral on võrreldes etaloniga lisandi *Penetron Admix* kasutamisel vee sissetungivus vähenenud vaid vesitsementteguri 0,62 korral. Vesitsementteguri 0,34 korral on lisandi *Penetron Admix* kasutamisel vee sissetungivus võrreldes etaloniga oluliselt suurenenud. Lisandi *Xypex Admix C-1000* kasutamisel on võrreldes etaloniga vee sissetungivused vähenenud vesitsementtegurite 0,49 ja 0,62 korral. Lisandi *Betocrete C-36* kasutamisel on võrreldes etaloniga vee sissetungivused vähenenud ainult vesitsementteguri 0,49 korral. Võrreldes etalonkatsekehade vee sissetungivusi lisanditega katsekehade omadega näeme, et vesitsementtegurite 0,34 ja 0,64 korral on kõik katsetatud lisandid suurendanud vee sissetungivust. Katsetulemuste põhjal saab öelda, et ühegi katsetatud lisandiga ei teki selgeid trende vee sissetungivuse vähenemise osas iga vesitsementteguri korral. Samuti ei saa öelda, et mõni lisand toimiks paremini suurte või väikeste vesitsementtegurite juures. Erinevate vesitsementtegurite korral on kõik katsetatud lisandid käitunud erinevalt.

Graafik 35. Külmakindlusklassi KK4 nõudeid täitvate betoonide 28-päeva vanuste katsekehade vee sissetungivussügavused



Graafikult 35 näeme, et võrreldes etaloniga on 28-päeva vanustel katsekehadel lisandite *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* kasutamine toonud esile vee sissetungivust vähendava efekti. Tulemustest saame järeldada, et 28-päevaste katsekehade korral täidavad katsetatud veeimavust vähendavad lisandid oma eesmärgi. Lisas 3 toodud katsetulemuste koondtabelitest on näha, et KK4 külmakindlusklassiga betoonid on täitnud ka GOST 12730.5-84 järgse veepidavusklassi W16 nõude.

Graafik 36. Külmakindlusklassi KK4 nõudeid täitvate betoonide 100-päeva vanuste katsekehade vee sissetungivussügavused



Graafikult 36 näeme, et võrreldes etaloniga ei ole 100-päeva vanustel katsekehadel lisandite *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* kasutamine toonud esile vee sissetungivust vähendavat efekti. Tulemustest saame järeldada, et 100-päevaste katsekehade korral ei täida katsetatud veeimavust vähendavad lisandid oma eesmärgi.

2.7 KATSETULEMUSTE KOKKUVÕTE

Betooni kapillaarset veeimavust vähendavate lisandite *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* katsetamisel erinevate normaalbetoonidega selgus, et lisaks betooni veeimavuse muutusele ilmnemisele muutused ka betoonisegu töödeldavuses, õhusisalduses ja kivistunud betooni survetugevuses. **Esitatud katsetulemused kehtivad betoonide korral, milles on kasutatud Kunda Nordic põlevkivitsementi CEM II/A-T 52,5N ning ei pruugi rakenduda betoonidele, milles on kasutatud teisi tsemente.**

Katsetatud lisandite *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* mõju betoonisegude töödeldavusele oli üldjuhul negatiivne. Erinevusena saab tuua betooni C40/50*, mis valmistati plastifikaatoriga *Semtu Semflow MC* ja mille korral lisandid *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000* plastifitseerisid segu arvestataval määral.

Õhusisalduse suurenemist põhjustasid kõik katsetatavad suspensioonina lisatud lisandid betoonide C25/30, C30/37, C40/50, C30/37 KK4 ja C35/45 KK4 korral. Kõrvalekallet kirjeldatud tendentsist võis täheldada betooni C35/45 korral, kus lisandite *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000* mõju oli betoonisegus olevale õhule marginaalselt vähendav. Võib arvata, et mingil põhjusel oli betooni C35/45 etalonsegus liiga palju õhku ning tegelikkuses lisandid *Penetron Admix* ja *Xypex Admix C-1000* siiski antud survetugevusklassiga betooni õhusisaldust ei vähenda. Betooni C35/45 korral suurendas lisand *Betocrete C-36* betoonisegu õhusisaldust. Betooni C25/30* korral, kui lisandid manustati pulbri kujul, vähenes betoonisegu õhusisaldus vaid lisandi *Xypex Admix C-1000* kasutamisel.

Katsetatud lisandid *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* mõjutasid katsetatud betoonide survetugevusi erinevalt:

- Lisand *Penetron Admix* suurendas igal juhul betoonide varajast survetugevust. 28-päevane survetugevus suurenes betoonide C25/30, C35/45 ja C40/50 korral ja vähenes betoonide C25/30*, C30/37, C40/50*, C30/37 KK4 ja C35/45 KK4 korral. Lisandiga *Penetron Admix* valmistatud 28-päevaste katsekehade survetugevus vähenes betoonide C30/37 KK4 ja C40/50* korral nii palju, et betoonid ei suutnud enam tagada tugevusklassidele esitatud nõudeid.

- Lisand *Xypex Admix C-1000* suurendas varajast survetugevust betoonide C25/30, C30/37, KK4 C30/37 korral, ei muutnud varajast survetugevust betoonide C25/30* ja C40/50* korral ja vähendas varajast survetugevust betoonide C35/45, C40/50 ja C35/45 KK4 korral. Lisandi *Xypex Admix C-1000* kasutamisel langes igal juhul katsetatavate betoonide 28-päevane survetugevus. Lisandiga *Xypex Admix C-1000* valmistatud 28-päevaste katsekehade survetugevus vähenes betoonide C35/45 KK4 ja C40/50 korral nii palju, et betoonid ei suutnud enam tagada tugevusklassidele esitatud nõudeid.

- Lisand *Betocrete C-36* vähendas kõikide katsetatud betoonide varajast ja 28-päevast survetugevust. Lisandiga *Betocrete C-36* valmistatud 28-päevaste katsekehade survetugevus vähenes betoonide C35/45 KK4, C40/50 ja C40/50* korral nii palju, et betoonid ei suutnud enam tagada tugevusklassidele esitatud nõudeid.

Surve all oleva vee sissetungivuskatsete tulemuste alusel kuulusid kõik katsetatud betoonid GOST 12730.5-84 kohaselt veepidavusklassi W12. Katselaboris tõsteti veerõhku veel kahe astme võrra rõhuni 1,6 MPa, mille juures oli kõikide betoonide veepidavus tagatud ning katsetatud betoonidele anti standardist suurem veepidavusklass W16. Katsetulemuste põhjal olid EVS 12390-8:2009 kohaselt kõiki katsetatud betoonid veekindlad (vee sissetungivus < 100 mm), kuna minimaalne vee sissetungivus katsekehadesse oli 2 mm ja maksimaalne 25 mm. Tegemist on väga väikeste vee sissetungivussügavustega, millest saab järeldada, et katsetatavad betoonid olid hea kvaliteediga ja hästi tihendatud. Kuna amplituud on väike, tunduvad katsetulemused kohati väga kaootilised ja kindlaid seaduspärasusi lisandite toimimisest ei tekkinud. Sellegi poolest saab väita, et rohkem kui poolte betoonide korral vähendasid katsetatavad lisandid 28-päevast vee sissetungivust, kuid 100-päevaste katsekehade surve all oleva vee sissetungivused olid enamikul juhtudest väikseimad etalonkatsekehadel, millele lisandeid ei manustatud. Sel põhjusel saab väita, et katsetatud lisandite *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* kasutamine hästi tihendatud normaalbetoonide korral ei ole betooni vee sissetungivuse vähendamise seisukohalt oluline ega õigustatud.

Küll aga tasub arvestada, et katsetatud lisanditel on ka teine oluline funktsioon, milleks on betoonile iseparandavate omaduste andmine. Selleks et aru saada, kas katsetatud lisandite kasutamine võimaldab loobuda hüdroisolatsioonist betooni veekindlaks muutmisel, tuleks lähemalt uurida, kuidas käituvad lisandid *Penetron Admix*, *Xypex Admix C-1000* ja *Betocrete C-36* betoonides, mida allutatakse külmumise-sulamise tsüklitele. Intervallid peaksid olema standardsest EVS 814 katsest erinevad, et kristalliseerumise teel avalduva iseparandava efektiga saaks külmumisest tekkinud mikropraod sulguda. Juhul kui betoon külmumise-sulamise tsüklite tõttu puruneb ja lisandite esile toodav kristalliseerumise teel parandav efekt ei suuda tagada betooni terviklikkust, on üheselt selge, et hüdroisolatsiooni paigaldamine betooni veekindluse tagamiseks on asendamatu.

Betoon puruneb põhiliselt kahel põhjusel. Esimeseks põhjuseks on see, et betooni tunginud vesi põhjustab külmumise-sulamise tsüklite käigus betooni purunemist. Teiseks põhjuseks on see, et betooni tunginud vesi jõuab armatuurterasseni, mis tõttu armatuurteras korrodeerub ning kaob nake betooni ja armatuurterase vahel, mille tulemusena betoonkonstruktsioon nõrgeneb või puruneb. Seda silmas pidades oleks mõistlik muuta EVS 12390-8:2009 kohast veekindlusnõuet 100 mm ning siduda veekindluse piirväärtused armatuurterase betoonkaitsekihi paksustega, mis määratakse konstruktsioonidele lähtuvalt keskkonnaklassist.

3. EESTIS KASUTUSEL OLEVAD HÜDROISOLATSIOONI SÜSTEEMID

Varasemalt on Eestis uuritud hüdroisolatsioone 2009. aastal. Uurimistöö „Sildade hüdroisolatsiooni ja kaitsekihi lahenduste võrdlus“ raames tutvustati sellel ajal kasutusel olnud hüdroisolatsiooni süsteeme ja nendeks olid [2]:

- Rullmaterjalid, kõige laiemat kasutust leidnud. Päritolult on rullmaterjal tavaline katuseembraan, mida tootjad on arendanud, et vastata kõrgematele tehnoloogilistele nõuetele ning standarditele. Sellised rullmaterjalid võeti kasutusele 1980-ndate keskel Soomes. Rullembraani võib paigaldada nii ühe- kui ka kahekihilisena. Materjal keevitatakse alusele, kasutades reapõletit.
- Rullmaterjalide kõrval kasutatakse ka vedelal kujul külmpaigaldatavat süsteemi. Esmakordselt tutvustati sellist süsteemi juba 1970-ndate lõpus Suurbritannias, kuid oma lõpliku väljanägemise sai toode 1980-ndatel aastatel. Materjal on vedelal kujul liibiga külmalt paigaldatav membraan, mis kaetakse kaitsetahvlitega.
- Valdavalt Põhjamaades leiab kasutust ka mastiksfalt. Materjal paigaldatakse üksteise suhtes risti olevate kihtidena. Eestis on sellist süsteemi kasutatud väga vähestes kohtades.

Mujal maailmas leiab kasutust ka neljas süsteem. Pihustatav vedelmembraan on sillateki hüdroisolatsiooni uue generatsiooni paigaldusviis, mis on arendatud viimase 25 aasta jooksul rahuldavaks suurenenud tehnoloogilisi nõudmisi. Eestis sellist süsteemi 2009. aastal kasutatud ei olnud. [2]

Antud uurimustöö raames käsitletakse hüdroisolatsiooni süsteeme vastavalt teetööde tehniliste kirjelduste 19.01.2016 kehtima hakanud versioonile [35]:

- **Süsteem nr 1** – polümeer- või mastiksfalt, mille kihi paksus on vähemalt 10mm. Paigaldatakse üldjuhul kuumalt. Vältida materjali ülekuumutamist.
- **Süsteem nr 2** – armeeritud modifitseeritud bituumenist rullmaterjal (sarrustatud bituumenpabil) vastavalt standardile EVS-EN 14695 peavad teehitusmaterjalide põhiomaduste määrase järgsed deklareeritavad väärtused olema järgmised:

Lisaks peavad rullmaterjalil olema tagatud järgmised nõuded:

- min. paksus (EVS-EN 1849-1) ühekihilistel vähemalt 5,0 mm ja kahekihilise süsteemi min. paksus kokku vähemalt 7,5mm;

- min. pinnaühiku mass (EVS-EN 1849-1) ühekihilistel vähemalt 5900g/m², kahekihilistel kokku vastavalt 8500 g/m²;
 - Paindlikus madalamatel temperatuuridel katsetatud (EVS-EN 1109) järgi -20°C juures;
 - Voolamine kõrgetel temperatuuridel ühekihilistel vähemalt 115 kraadi ja kahekihilistel 100 kraadi.
 - Tugikanga all peab bituumenist kihi paksus olema vähemalt: ühekihilisel 3 mm ja kahekihilisel 2,5mm. SBS bituumenist kiht.
- **Süsteem nr 3** - vedelal kujul hüdroisolatsioonmaterjal (näiteks epod jms.), mis kantakse aluspinnale käsitsi või pihustades, kuumalt või külmalt, mis õhuga reageerides moodustab kaetavale pinnale kihi. Lisaks on võimeline taluma kuuma asfaldi paigaldamisest tingitud kõrgeid temperatuure ning silla konstruktsioonist tulenevaid liikumisi. Vedelad hüdroisolatsioonid paigaldatakse vastavalt tootja juhistele, üldjuhul vähemalt kahes kihis. Vedelad hüdroisolatsioonid peavad vastama järgmistele omadustele:
 - paigaldatud hüdroisolatsiooni süsteemi kulunorm ilma kruntkihita vähemalt 800g/m²;
 - paigaldatud materjalil peab olema pragude sildamisvõime säilitama elastsuse madalamatel temperatuuridel taludes mehaanilist koormust.

Erinevus 2009. aastal teostatud uuringu ja teetööde tehniliste kirjelduste vahe seisneb süsteemide nummerdamises. Uuringus on pihustatavat vedelmembraani käsitletud eraldi süsteemina nr.4 , kuid teetööde tehnilises kirjelduses käsitsi paigaldatava vedelmembraaniga ühtse süstemina nr 3.

Varasemalt on teetööde tehnilises kirjelduses kajastatud ka betoonilisandeid. Täpsemalt on kirjeldatud neid, kui süsteem nr. 4, mis oli antud uurimuse esimeses peatükis lähemalt uuritav hüdroisoleeriv betooni lisand, mis on viimastel aastatel Eestis sillaehtuses kasutust leidnud.

3.1 2012 – 2015. AASTATEL EESTIS KASUTATUD SÜSTEEMID

Vahemikus 2012-2015 on Eestis ehitatud või remonditud umbes 140 rajatist, millest umbes 90 on kasutatud uusi hüdroisolatsiooni materjale (sh betoonilisandeid). Järgnevalt on toodud loetelu eri materjalidest mida on peamiselt Eestis viimasel 3 aastal kasutatud:

- SBS rullmaterjal ESHADIEN SP6
- 2-kihiline SBS rullmaterjal (KMS 170/3000 JA KPS 170/4000)

- Vedelmembraan KBL 20/100
- SBS rullmaterjal DeckProof C5
- Kahekihiline rullmaterjal Deckproof C4 ja C5
- Bituumenpapp Supermost

Üldiselt on Eestis kasutusel kõik sarnaste omadustega hüdroisolatsioonimaterjalid, mida on lähemalt uuritud 2009. aastal Ramboll Eesti AS poolt koostatud uurimustöös „Sildade hüdroisolatsiooni ja kaitsekihi lahenduste võrdlus“ ning seetõttu on aluseks võetud seal välja toodud materjalid koos kaasajastatud andmetega. AS Ramboll Eesti uuringus oli toodud välja järgnevad tooted [2]:

4 HÜDROISOLATSIOONIDE STANDARDIKOHASED NÕUDED

Töö üks eesmärkidest oli anda ülevaade Põhjamaades ning Balti riikides kasutatavate betooni lisandite, hüdroisolatsiooni materjalide ja hüdroisoleerivate omadustega pinnakaitsele esitatavate nõuete ja lahenduste kohta. Kuna paljud hüdroisolatsioonide nõuded süsteem 1 ja süsteem 2 kohta on tootestandardites toodud, siis uuritavate riikide nõuded põhinevad nendel standarditel. Üle-euroopaline standard puudub käsitsi paigaldatavatele vedelmembraanidele, kuid on välja töötatud EOTA (*European Organisation for Technical Approvals*) poolt heaks kiidetud juhend ETAG 033, millest paljud toote pakkujad juhinduvad.

Antud peatükis välja toodud nõudeid hakatakse analüüsima ja võrdlema eri tootjate välja pakutud nõuetega.

4.1 SÜSTEEM NR 1 NÕUDED

Süsteem nr 1 puhul on sisuliselt tegemist poümeermoodifitseeritud bituumeniga mastiksfaltiga ehk valuasfaltiga, millesse ei ole pandud täitematerjali nagu teedele paigaldatavas segus [8]. Standardi EVS-EN 12970 kohaselt on mastiks asfalt osa hüdroisolatsioonist, kui see vastab standardis toodud nõuetele (terakoostis, sideaine jms.). Seega tuleks antud süsteemis juhinduda standardis toodud nõudeid.

Vastavalt Majandus- ja taristuministri määrusele nr 74 kehtivad antud kihile samad nõuded, mis tavalisele valuasfaldille (EVS-EN 13108-7 kohane toode) [7], seega võib juhinduda ka nendest:

- terastikuline koostis – katsemeetod EVS-EN 12697-2
- lahustuva sideaine sisaldus – katsemeetod EVS-EN 12697-1
- kulumiskindlus (ainult kulumiskihtides) – katsemeetod EVS-EN 12697-16

- deformatsioonikindlus – katsemeetod EVS-EN 12697-20 või EVS-EN 12697-21

Tegemist on asfaltseguga ja selle nõudeid täpsemalt ei analüüsitud

4.2 SÜSTEEM NR 2 NÕUDED

Süsteem nr 2 puhul on tegemist erinevate materjalidega, millele kehtivad eri nõuded. Majandus- ja taristuministri määruse nr 74 kohaselt peavad süsteem nr. 2 kohasele sarrustatud bituumenpapile (EVS-EN 14695 kohane toode) kehtima järgnevad nõuded [7]:

- veepidavus – katsemeetod EVS-EN 14694
- veeimavus – katsemeetod EVS-EN 14223
- tõmbetugevus – katsemeetod EVS-EN 12311-1
- nakketugevus – katsemeetod EVS-EN 13596
- pragude katmise võime – katsemeetod EVS-EN 14224
- ühilduvus – katsemeetod EVS-EN 14691
- paindlikkus madalal temperatuuril – katsemeetod EVS-EN 1109
- vastupanu hõõrdele – katsemeetod EVS-EN 13653
- vastupanu kuumuse mõjule – katsemeetod EVS-EN 14693
- vastupanu tihendamisele – katsemeetod EVS-EN 14692
- termiline vananemine – katsemeetod EVS-EN 1296
- voolamine kõrgetel temperatuuridel – katsemeetod EVS-EN 1110

Lisaks võib välja tuua polümeeridega modifitseeritud Rootsi sillastandardi BRO 94 (vaata Tabel 5)

4.3 SÜSTEEM NR 3 NÕUDED

Süsteem nr 3 puhul on tegemist vedelmembraanidega, mida võib paigaldada käsitsi või pihustades. Tegelikult koosnevad need materjalid järgnevatest kemikaalidest [8]:

- Akrüülid
- Epoksüvärvid
- Polüestrid
- Polüuread
- Polüuretaanid
- Vees lahustuvad polümeerid

Vastavalt ETAG 33 peaks süsteem nr. 3-le kehtima järgnevad nõuded[9]:

- Nakketugevus - katsemeetod EVS-EN 13596, kahjustuse tüübid toodud standardis EVS-EN ISO 4624
- Pragude katmise võime - katsemeetod EVS-EN 14224
- Vastupidavus kloriididele (vajadusel) – katsemeetod EOTA TR 022
- Vastupidavus dünaamilistele koormustele (löök, väsimus, tihendamine, puurimine) – katsemeetod EVS-EN 14692
- Vastupanu kuumuse mõjule - katsemeetod EVS-EN ISO 527-2
- Vastupanu hõõrdele - katsemeetod EVS-EN 13653
- Veepidavus – katsemeetod EVS-EN 14694
- Ohtlike kemikaalide teke
- Ühilduvus kattekihiga – katsemeetod EVS-EN 13596, kahjustuse tüübid toodud standardis EVS-EN ISO 4624
- Vastupanu kattekihi hõõrdele – katsemeetod EVS-EN 13653
- Libedus (tooted, mis jäävad pealiskihiks) – katsemeetod EVS-EN 13036-4
- Vastupidavus keskkonnale (vesi, kuumus, kütused, kloriidid, bituumen, UV, kulumine, külmumine) – katsemeetodid EVS-EN 14223, EVS-EN ISO 175, EOTA TR 011, CEN/TS 12633:2014
- Temperatuurpiirid – kaetud pragude katmise võime ja nakketugevuse katsetega
- Voolavus pooridesse – katsemeetod EVS- EN ISO 3219
- Voolavus (Vertikaalne)
- Ettenähtud paksus
- Keskkonna mõjud
- Kihi kvaliteet (niiskus, vanus) – kihi niiskus vastavalt EVS-EN 13578

Välja toodud nõuded ei pea tingimata täitma, vaid tegemist on kõikide nõuetega ja tootja peab otsustama, kas tegemist on vajaliku nõudega või mitte [8]. Lõpparuandes analüüsitakse kõiki nõudeid ja leitakse valikust vajalikud.

Tabel 5. Polümeeridega modifitseeritud hüdroisolatsiooni materjalide nõuded Rootsi sillastandardi BRO 94 alusel [2]

Omadus		Norm	Märkused	
1	Paksus	≥ 5 mm	Üksikud mõõtetulemused võivad erineda nominaalsuurest $\pm 0,5$ mm (ilma graanuliteta)	
2	1 m ² kaal		Mõõtmiste keskmine vaartus võib erineda $\pm 10\%$ (koos graanulitega) $\pm 15\%$ (ilma graanuliteta)	
3	Tõmbetugevus	≥ 800 N	23°C, 100 mm/min -23°C, 10 mm/min	Kinnituskohdade vahe: 100 mm laius: 50 mm
4	Pikenemine	$\geq 40\%$ $\geq 20\%$	23°C, 100 mm/min -23°C, 10 mm/min	Mõlema suuna kohta samad nõuded
5	Liitekohtade tõmbetugevus	≥ 650 N	23°C, 100 mm/min -23°C, 10 mm/min Liitepikkus 50 mm	Mõlema suuna kohta samad nõuded
6	Painduvus	-20°C -10°C	Pärast kunstlikku vanandamist 6 kuud, 70°C	Ø 30 mm Üksikud praod sügavusega $\leq 0,5$ mm on lubatavad
7	Mõõtmete stabiilsus	$\leq 0.40\%$ $\leq 0.25\%$	Muutus Jääv pikenemine	Peale 28 päeva 70°C juures
8	Kuumakindlus	1.0 mm	Peale 2 tundi 100°C juures	
9	Vastupanu - veele - jäätumisvastasele soolale - leelisele	Max kaalumuutus 1.0% (ilma graanuliteta). Ei mingeid nähtavaid muutusi materjalis või tugikangas		Peale 6 kuud toatemperatuuri juures
10	Vastupanu läbisurumisele ja vee dünaamilisele survele	Ei tohi lekkida	Kõrgus: 200 mm Kaal: 1,0 kg 90° koonus 0,5 MPa 1000 tsükli	Graanulid tuleb eemaldada
11	Bituumen - pehmenemispunkt (RoB) - pehmenemispunkti muutus - keemiline sobivus	$\geq 120^\circ\text{C}$, max 20°C Peale 6 kuud 70°C juures max 10°C Peale 3 kuud 50°C juures (koos tihendusmastiksiga)		
12	Krunt - vett tõrjuv omadus	Peab olema vett tõrjuv		
13	Materjali nakkuvus - betooniga - asfaltbetooniga - mastiksfaltiga - tihendusmastiksiga	$\geq 1,0$ N/mm ² $\geq 0,5$ N/mm ² $\geq 1,0$ N/mm ² $\geq 1,0$ N/mm ²	Peale vanandamist: Temp šokk; Jäätumisvastane sool (10dl); 70°C, (21 p) Külmutus-sulatus tsükleid 7 Rakend temp 150°C Rakend temp 240°C Peale temp šokki 150°C	Koormus: 200 N/s Katse piirkond: Ø 50 mm Katsed toatemperatuuril
14	Nihketugevus	≥ 0.15 N/mm ² , peale 10 mm "libistamist"	Peale 3 kuud 50°C juures	Nihke kiirus: 10 mm/min Pind: 2x (150 mm x 115 mm) Vert surge: 0,07 N/mm ² Katsed toatemperatuuril
15	Pragunemine	Ei pragune peale 1000 tsükli. Nakkuvuse kadu < 0,5 mm Ei pragune peale 500 tsükli. Nakkuvuse kadu < 0,5 mm	Peale vanandamist: Temp šokk; Jäätumisvastane sool (10dl); 70°C, (21 p) Külmutus-sulatus tsükleid 7	Katse temp: -20°C Amplituud: (0,5-0,7) mm Sagedus: 1 Hz

4.4 PINNAKAITSEVAHENDID

Eestis kasutusel olevad pinnakaitstesüsteemid jagatakse standardi EVS-EN 1504-2 kohaselt meetodi järgi [10]:

- hüdrofoobimine – betooni mittemärguva pinna töötlemiseks. Pooride ja kapillaaride sisepinnad on kaetud, kuid ei ole täidetud (vaata Joonis 1). Betooni pinnale kelmet ei teki. Välisilma muutub väga vähe või üldse mitte. Aktiivühendid võivad olla näiteks silaanid või siloksaanid.



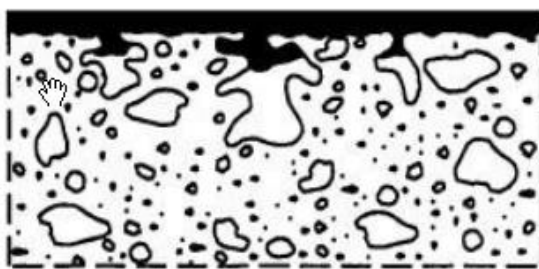
Joonis 1. Tüüpilise hüdrofoobitud pinna skemaatiline kujutis [10]

- immutamine – betooni töötlemine pinna poorsuse vähendamiseks ja pinna tugevdamiseks. Poorid ja kapillaarid on osaliselt või täielikult täidetud. Töötlemise tulemusena moodustub betooni pinnale õhuke katkendlik kelme (vaata Joonis 2). Sideained võivad olla näiteks orgaanilised polümeerid.



Joonis 2. Tüüpilise immutatud pinna skemaatiline kujutis [10]

- pindamine – töötlus betooni pinnale pidave kaitsekihi (pinde) moodustamiseks (vaata Joonis 3). Paksus on tavaliselt 0,1 mm kuni 5,0 mm. Erijuhtudel võib olla nõutav suurem paksus kui 5 mm. Sideained võivad olla näiteks orgaanilised polümeerid, orgaanilised polümeerid koos tsemendi kui filleriga või polümeerdispersiooniga modifitseeritud hüdrauliline tsement.



Joonis 3. Tüüpilise pinde (pideva õhukese kaitsekihi) skemaatiline kujutis[10]

Nõuded vastavalt standardile on:

- Kapillaarne veeimavus ja vee läbilaskvus – katsemeetod EVS-EN 1062-3
- Veeauru läbilaskvus - katsemeetod EVS EN ISO 7783-1 ja 2
- CO₂ läbilaskvus – katsemeetod EVS-EN 1062-6
- Nake äratõmbekatsel – katsemeetod EVS-EN 1542

5 LÄHIRIIKIDES KASUTUSEL OLEVAD SÜSTEEMID JA NÕUDED

Lähiriikide lahenduste uurimisel on aluseks võetud 2009. aastal valminud uurimustöö, kus on Põhjamaade levinud lahendused lahti kirjutatud. Lisaks on uuritud otse viimaselt ajal levima hakanud süsteemide kohta. Kui riigis on kehtestatud eri nõuded, siis on need vastava riigi all välja toodud.

Antud peatükis olevaid nõudeid hakatakse võrdlema standardis toodud nõuetega ja analüüsitakse nende sobivust Eesti kliimasse.

5.1 SÜSTEEMIDE KIRJELDUSED

5.1.1 LÄTI

Läti Maanteeametil on 2012 aastal välja antud juhend „Sillateki hüdroisolatsioon ja pealiskate. Projekteerimise ja ehitamise suunised“, mis põhineb Norra juhendil „Handbook 026E“. Juhendist selgub, et hüdroisolatsiooni vajadus on jaotatud kolme rühma [19]:

- Tekiplaadid ilma täiendava hüdroisolatsioonita (A1)
- Tekiplaadid osalise hüdroisolatsiooniga (A2)
- Tekiplaadid täieliku hüdroisolatsiooniga (A3)

Valdavalt kasutatakse Lätis rullmembraane nagu Eestiski, kuid laialdast kasutust leiab ka epoksiidvaik masktiksfaldiga.

5.1.1.1 A1 klassi konstruktsioon

Konstruktsioonis on ette antud segu SMA 11 paksusega 24-40 mm ja krundi tüüp PmBE60 kulunormiga 0,2-0,5 kg/m²

Seega nõuded on kehtestatud asfaltsegule katsestandarditega (EVS-EN 12697) ja bituumentile mõeldud standarditega.

Eraldi on välja toodud, et selline lahendus ei kaitse tekiplaati ja kahjustuste tekkele tuleb tähelepanu pöörata.

5.1.1.2 A2 Klassi konstruktsioon

Antud klass sisaldab kahte erinevat veekindlust suurendavat lahendust, mille puhul krunditakse sillatekk eesmärgiga takistada vee infiltratsiooni betooni. Nõuded kehtestatakse samuti tootestandarditega. Antud klass jaotatakse järgnevalt:

- A 2-1 – hüdroisolatsiooniks on madala viskoosusega epoksiidvaik
- A 2-2 – veekindluse tagab polümeermoodifitseeritud bituumen PmBE60

Neid lahendusi kasutatakse tavaliselt mitmekihilistena ja ühte tüüpi kaetakse ka teisega.

5.1.1.3 A3 klassi konstruktsioon

Antud klass sisaldab 3 erinevat konstruktsiooni tüüpi. Tüüpide jaotus on kõige lähedasem Eesti eri süsteemidele. Tüübid jaotatakse:

- A 3-1 Epoksiidvaik mastiksfaltiga
Nõuded on kehtestatud vastavalt standardile LVS EN 1504-2
 - Viskoossus LVS EN ISO 3219
 - Tihedus LVS EN ISO 2811-1
 - Segu viskoossus LVS EN ISO 3219
 - Valgumise aeg LVS EN ISO 9514
 - Lenduvate osakeste sisaldus LVS EN ISO 3251
 - Kõvadus LVS EN ISO 868
 - Nakketugevus LVS EN 1542
- A 3-2 Rullisolatsioon
Nõuded on kehtestatud vastavalt standardile LVS EN 14695
 - Visuaalsed omadused - katsemeetod LVS EN 1850-1

- Paksus - katsemeetod LVS EN 1849-1
- Tõmbetugevus - katsemeetod LVS EN 12311-1
- Temperatuuripaisumine - Katsemeetod LVS EN 14695
- Paindumine madalatel temperatuuridel - katsemeetod LVS EN 1109
- Mõõtmete säilimine kõrgel temperatuuril - katsemeetod LVS EN 1107-1
- Nakketugevus - katsemeetod LVS EN 13596
- Nihketugevus - katsemeetod LVS EN 13653

Kaetava mastiksfaldi nõuded on vastavuses standardiga LVS EN 12970

- A 3-3 Mastiksfalt

Mastiksfaldi puhul jälgitakse segu koostise 3 näitajat: Bituumeni hulk, 0-2 mm fraktsiooni hulk ja muude täiteainete hulk.

Iga välja toodud näitajaga käivad kaasas ka kindlad piirväärtused, mis on lõpparuandes välja toodud. Neid näitajaid hakatase võrdlema juhul, kui katsemetoodikad on Eesti kliimasse sobilikud.

5.1.2 LEEDU

Sarnaselt Läti Maanteeametile võeti ka Leedus vastu uus hüdroisolatsioonide juhend 2012. aastal. Peamiselt kasutatakse Leedus kahekihilisi rullmembraane, kuid samas kehtivad nõuded ka ühe ja enam kui kahekihilistele rullmembraanidele. Koostatud juhendis on keskendutud kahekihilistele rullmembraanidele, millest võib järeldada, et enamasti kasutatakse ikkagi rullmembraane. Vastavalt juhendile peab hüdroisolatsioon vastama järgmistele nõuetele [20]:

- Pinna ettevalmistus tase vastavalt LST EN ISO 12944-4
- Nakketugevus – katsemetoodika LST EN 13596
- Mullide teke – vaadeldakse
- Kihidevaheline nake – katsemetoodika LST EN 13596
- Üldnõuded – LST EN 13707+A2

Ülejäänud nõuded puudutavad peamiselt paigaldamist, alus- ja kaitsekihtide nõudeid.

5.1.3 SOOME

Valdavalt kasutatakse kahekihilisi rullmembraane (80%), mida võib paigaldada kolmel erineval viisil: liimimisega, keevitamisega ja iseliimuvad või liimuva sideainega

paigaldatavad. Kasutust leiavad ka pihustatav vedelmembraan ja mastiksfalt SBS võrguga. [2], [14]

Kehtestatud nõuded on välja toodud juhendis InfraRYL 2006 osa 3:Sillat, kuid need põhinevad suurel määral Euroopas kehtivate standarditega (EN 14695, EN 12970; ETAG 033), mille piirväärtuseid on rahvusliku lisaga muudetud [36].

Süsteem 1-le ehk mastiks asfaldile on kehtestatud nõuded Soome Asfaldinormidega „Asfaldinormit 2011“, kus on soovitatud kasutada polümeerbituumenit pehmenemistäpiga 70 või 75. Mõlemal bituumenile on elastne taastuvus 75. Soovituslik bituumeni sisaldus 7,5-11,5%(massist segus). Kasutada on lubatud bituumeneid PMB 75/130-70.

5.1.4 ROOTSI

Peamiselt kasutatakse ühekihilist rullmembraani (SBS, APP), kuid kasutust leiab käsitsi paigaldatav vedelmembraan ja asfaltmastiks.

Kuna Eesti kehtivad nõuded sildade hüdroisolatsiooni materjalidele baseeruvad Rootsi sillastandardis BRO 94 kehtestatud nõuetele, siis nõuetes erinevusi ei ole. Küll on rootslased nõuetele oma piirmäärad kehtestanud, mis erinevad standardites toodud nõuetest. Näiteks mastiksfaldi nõuded põhinevad standardil EN 13108-6/EN 12970 ja rullmembraanide nõuded standardile SS EN 14695, mis on täpselt samad, mis Eestis.

Rootslased teinud väga palju uurimistööd asendamaks praegused vedelmembraanid keskkonnasõbralikemaga [2], [14]. Välja on töötatud kindlad nõude, mis baseeruvad ETAG 033-el.

Asfaltmastiksi puhul on ainsaks nõudeks ette antud polümeermodifitseeritud bituumeni PMB 75/130-70 kasutamine.

5.1.5 TAANI

Kasutatakse ainult kahekihilisi rullmembraane, mille nõuded on kirjas juhendis AAB afsnit 10, mis põhineb omakorda standardil EN 14695. 2010. aastal alustati ka vedelmembraanide katsetamisega, kuid hetkel nende kohta kehtivaid nõudeid ei ole.

5.1.6 NORRA

Norra on uuritud riikides ainuke, kes ei kuulu Euroopa liitu. Seetõttu ei põhine nende nõuded Euroopa standarditel. Norras kasutatakse kolme eri süsteemi, nendeks on [14]:

- Rullmembraan (1-2 kihiline SBS)
- Mastiksfalt 12 mm koos rullmembraaniga
- Vedelmembraan MMA, PUA ja PU.

Kõik hüdroisolatsiooni nõuded on kirjeldatud Norra Maanteeameti käsiraamatus „Handbook 026 (026E)“, mille kõige värskem versioon on välja antud 2009. aastal.

Kuna Läti juhend põhineb Norra omal, siis nõuded ja katsetametodid kattuvad Läti omadega. Sarnaselt Lätile on kokku 3 erinevat lahendust A1-A3.

5.2 NÕUETE ANALÜÜS

Selleks, et saada selge ülevaade eri süsteemide nõuetest, koostati iga süsteemi jaoks eraldi tabel koos standardikohaste nõuetega.

Võrdluse lõpptulemusena koostatakse nimekiri soovitatud nõuetest koos piirväärtustega igale hüdroisolatsiooni süsteemile ja pinnakaitse süsteemile.

5.2.1 NÕUDED HÜDROISOLATSIOONRULLMATERJALIDELE

Eestis enamlevinud hüdroisolatsiooni materjalid on rullmaterjalid ja matid. Seetõttu on esmalt analüüsitud nendele kehtestatud nõudeid.

Tabel 6. Süsteem 2 nõuded standardis EVS-EN 14695

Omadus	Katsestandard	Ühik	Tingimus
Paksus	EVS-EN 1849-1	mm	Tootja deklareeritud väärtus
Veepidavus	EVS-EN 14694	-	Vastavus
Veeimavus	EVS-EN 14223	%	Tootja esitatud piirväärtus
Nakketugevus	EVS-EN 13596	N/mm ²	
Pragude sildamisvõime	EVS-EN 14224	°C	
Ühilduvus kuumutamisel	EVS-EN 14691	%	
Painduvus madalatel temperatuuridel	EVS-EN 1109	°C	
Nihketugevus	EVS-EN 13653	N/mm ²	
Bituumenrullmaterjali käitumine mastiks-asfaldiga katmisel	EVS-EN 14693	%, mm, -	Tootja deklareeritud
Rullmaterjali vastupanu asfaldikihi tihendamisele	EVS-EN 14692	-	
Termiline vanadamine pikaajalisel kõrgendatud	EVS-EN 1296		Tootja deklareeritud

temperatuuril			väärtus
Voolavuskindlus kõrgendatud temperatuuridel	EVS-EN 1110	°C	Tootja esitatud piirväärtus
Nähtavad defektid	EVS-EN 1850-1	—	Defektid
Pikkus	EVS-EN 1848-1	m	Tootja esitatud piirväärtus
Laius	EVS-EN 1848-1	m	
Sirgsus	EVS-EN 1848-1	—	Vastavus
Mass pinnaühiku kohta	EVS-EN 1849-1	kg/m ²	Tootja deklareeritud väärtus
Esmane pinna mineraalkaitse kogus	EVS-EN 12039:1999 lisa B	g/m ²	Tootja deklareeritud väärtus
Tõmbeomadused : suurim tõmbejõud	EVS-EN 12311-1	N/50 mm	Tootja deklareeritud väärtus
Tõmbeomadused: pikenemine	EVS- EN 12311-1	%	
Mõõtmete stabiilsus	EVS-EN 1107-1 või EVS-EN 14695 lisa B	%	Tootja esitatud piirväärtus

Standardis välja toodud nõuetest on näha, et 21st suurusest on 11 väärtust on tootja poolt esitatud piirväärtused ja 6 väärtust tootja poolt deklareeritud ning standardiga on kehtestatud ainult 4 nõuet (nähtavad defektid, sirgsus, veepidavus ja vastupanu asfaldikihi tihendamisele). See tähendab, et riikidel on võimalus kehtestada omalt poolt lisatingimusi 17le väärtusele.

Standardis kehtestatud nõuetest lähemalt:

- Vastupanu asfaldikihi tihendamisele vastavalt EVS-EN 14692 – standardis on välja toodud kaks eri meetodikat, aukude teke jälgimine visuaalselt ja vastupanu hindamine veekindluse katse kaudu vastavalt EVS-EN 1928 (Meetod A, 100 kPa ja 24h). Katse tulemusena antakse hinnang, kas materjal on kindel või ei ole. [39]
- Veepidavus vastavalt EVS-EN 14694 – standardis on välja toodud üks meetodika, mille kohaselt tuleb proovikehale rakendada dünaamilist veesurvet ja kui proovikeha ei leki, siis on katse läbitud. [40]
- Nähtavad defektid vastavalt EVS-EN 1850-1 – standardis on välja toodud neli erinevat kahjustust, mida ei tohi proovikehal esineda. Kahjustused on: mullid, praod, augud, mineraalide puudumine (ainult puistega mattide puhul). [41]
- Sirgsus vastavalt standardile EVS-EN 1848-1. Sirgsus tähendab antud standardi mõistes pikema külje hälvete puudumist sirgest joonest. Sirge joon märgitakse maha kriidiga ja hälbeid mõõdetakse 1 mm täpsuse joonlauaga. [42] Kahjuks pole standardis selgelt välja toodud lubatud hälvet, ainult selgitatud, et täpsus ei tohi ületada 5 mm.

Järgnevalt on välja toodud tabelid Balti riikides ja Põhjamaades kehtestatud nõuetele (tabelid 7 ja 8). Kuna enamikes riikides (v.a Eesti ja Soome) on kehtestatud ühtsed nõuded nii ühe-, kui kahekihilistele mattidele, siis analüüsitud on ainult ühekihilisi matte ja kahekihiliste nõuded on eraldi välja toodud tabelis 9.

Tabelis 7 on välja toodud ainult need nõuded, mis riikidel on kehtestatud. Erisusena tuleb välja tuua asjaolu, et kui Eestis ja Lätis on tootestandard sama, siis Leedus on peavad tooted vastama standardile EN 13707, mis on sisult ja ülesehituselt väga sarnane standardile EN 14695, kuid on mõeldud katusekateteks kasutatavatele hüdroisolatsioonidele ja sissejuhatuses on selgelt välja toodud, et antud standard ei kata tooteid, mis on mõeldud kõrgele temperatuuril paigaldatavate katete alla. [44]

Sarnastest omadustest tasub välja tuua nakketugevust, mis on kõikides riikides nõutud. Leedus kehtestatud lisaks standardikohasele katsele (23 °C juures) ka nõutud tulemused 30°C ja alla 8°C puhul. Lisaks tuleb ära märkida mass pinnaühiku kohta, mis on Lätis määramata ja Leedus 78% madalam kui Eestis.

Arvestades Balti riikide nõudeid, siis tasub Eestis kaaluda mõõtmete stabiilsuse nõude kehtestamist.

Tabel 7. Balti riikides kehtestatud piirväärtused ühekihilistele mattidele

Omadus	Ühik	Eesti	Läti/Norra (A 3-2)	Leedu (EN 13707+A2)
Paksus	mm	5	4,5	
Veeimavus	%	1		
Nakketugevus	N/mm ²	0,5	0,5	0,4
Painduvus madalatel temperatuuridel	°C	-20	-20	
Nihketugevus	N/mm ²		0,7	
Voolavuskindlus kõrgendatud temperatuuridel	°C	115		
Mass pinnaühiku kohta	kg/m ²	5900		1300
Tõmbeomadused : suurim tõmbejõud	N/50 mm	800	800	
Tõmbeomadused: pikenemine	%		30	
Mõõtmete stabiilsus	%		-0,4<x<0,25	

Tabelis 8 on välja toodud ainult need nõuded, mis on Põhjamaades kehtestatud.

Lisaks Balti riikides kehtestatud nõuetele on Põhjamaades, peamiselt Soomes, kehtestatud lisanõudeid nagu terminiline vanandamine, esmane pinna mineraalne kogus, veepidavus, katte tõmbetugevus, rebimiskindlus ja torkekindlus.

Võrreldes kõikides riikides kehtestatud nõudeid, siis selgelt eristub Taani, kus on kehtestatud piirang ainult materjali paksusele. Kui võrrelda omavahel Rootsi ja Soome nõudeid, siis Rootsis on kehtestatud karmimad nõuded nakke-, nihke-, tõmbetugevusele, voolavuskindlusele ja mõõtmete stabiilsusele. Soome puhul on nõudeid rohkem karmimad nõuded on painduvusele madalatel temperatuuridel ja paksusel.

Võrreldes Põhjamaade kõige rangemaid nõudeid Eesti nõuetega, siis pigem kuuluvad Eesti nõuded karmimate hulka. Arvestades Põhjamaade nõudeid, siis tasub Eestis kaaluda nõuete kehtestamist nihketugevusele ja veepidavusele.

Tabel 8. Põhjamaades kehtestatud piirväärtused ühekihilistele mattidele

Omadus	Ühik	Soome	Rootsi	Taani
Paksus	mm	5-7	5*	4,5
Veeimavus	%	1	1	
Nakketugevus	N/mm ²	0,5	0,8 (0,6)	
Pragude sildamisvõime	°C	Ei kahjusta		
Painduvus madalatel temperatuuridel	°C	-25	-20	
Nihketugevus	N/mm ²	0,15	0,2	
Termiline vanadamine pikaajalisel kõrgendatud temperatuuril	Aeg, h	80		
Voolavuskindlus kõrgendatud temperatuuridel	°C	80	115	
Mass pinnaühiku kohta	kg/m ²	4,5	10	
Esmane pinna mineraalkaitse kogus	g/m ²	30%		
Tõmbeomadused : suurim tõmbejõud	N/50 mm	750	800	
Tõmbeomadused: pikenemine	%	15	40	
Möötmete stabiilsus	%	0,3	-0,5<0,3	
Veepidavus	kPa	500		
Katte tõmbetugevus	N/50 mm	500		
Rebimiskindlus	N	300		
Torkekindlus -10C, dünaamiline	mm	20		

5.2.2 NÕUDED VEDELATELE HÜDROISOLATSIOONIDELE

Vastavalt ETAG 033 on katsestandarditega kehtestatud järgnevad nõuded [9]:

Tabel 9. ETAG 033 nõuded

Omadus	Katsemeetod
Nakketugevus	EVS-EN 13596
Vastupidavus kloriididele (vajadusel)	EOTA TR 022
Vastupanu kuumuse mõjule	EVS-EN ISO 527-2
Veepidavus	EVS-EN 14694
Ühilduvus kattekihiga	EVS-EN 13596
Libedus (tooted, mis jäävad pealiskihiks)	EVS-EN 13036-4
Temperatuuripiirid	Kaetud pragude katmise võime ja nakketugevuse katseteg
Pragude katmise võim	EVS-EN 14224
Vastupidavus dünaamilistele koormustele (löök, väsimus, tihendamine, puurimine)	EVS-EN 14692
Vastupanu hõõrdele	EVS-EN 13653
Vastupanu kattekihi hõõrdele	EVS-EN 13653
Vastupidavus keskkonnale (vesi, kuumus, kütused, kloriidid, bituumen, UV, kulumine, külmumine)	EVS-EN 14223, EVS-EN ISO 175, EOTA TR 011, CEN/TS 12633:2014
Voolavus pooridesse	EVS- EN ISO 3219
Kihi kvaliteet (niiskus, vanus)	EVS-EN 13578

Kuna paljudes riikides alles uuritakse vedelhüdrosolatsioonide kasutusvõimalusi, siis kõikidel riikidel nõudeid kehtestatud ei ole. Selged nõuded on välja töötanud Rootsi (vaata Tabel 10) ja Norra/Läti (Tabel 11).

Tabel 10. Rootsis kehtestatud nõuded

Omadus	Piirväärtus
Pikenemine	40%
Pikenemine	20%
Liitekohtade tõmbetugevus	650 N
Painduvus	-20
Mõõtmete stabiilsus	0,40%
Kuumakindlus	1,0 mm
Vastupanu veele	1,00%
Vastupanu jäätumisvastasele soolale	1,00%
Vastupanu leelisele	1,00%
Vastupanu läbisurumisele	Ei tohi lekkida
Vastupanu vee dünaamilisele survele	Ei tohi lekkida
Bituumeni pehmenemispunkt	120°C
Bituumeni pehmenemispunkti muutus	70°C
Bituumeni keemiline sobivus	50°C
Krundi vett tõrjuv omadus	Peab olema vett tõrjuv
Materjali nakkuvus betooniga	1,0 N/mm ²
Materjali nakkuvus asfaltbetooniga	0,5 N/mm ²
Materjali nakkuvus mastiksasfaldiga	1,0 N/mm ²
Materjali nakkuvus tihendusmastiksiga	1,0 N/mm ²
Nihketugevus	0,15 N/mm ²
Pragunemine	1000 tsükli
Paksus	5 mm

Rootsis kehtestatud nõuded on sarnased rullhüdroisolatsioonile kehtestatud nõuetele.

Omadus	Ühik	Nõue	Katse-standard
		1 kiht	2 kiht
Viskoossus	mPa*s	Puudub	Puudub
Tihedus	g/cm ³	Puudub	Puudub
Viskoossus	mPa*s	500, 20C juures	500-200, 20C juures
Potlife	Minutid	Puudub	Puudub
Mittelenduvad osakesed	% massist	2,5	2,5
Kõvadus	Tugi D	35	35
Nake betooniga	N/mm ²	1,5	1,5

5.2.3 NÕUDED VALUASFALDILE

Valuasfalt on standardi EVS-EN 13108-8 kohane toode, millele puhul on Eestis kehtestatud nõuded vastavalt tabelile 11.

Tabel 11. Valuasfaldile esitatavad nõuded

Omadus	Katsestandard
Terastikuline koostis	EVS-EN 12697-2
Lahustuva sideaine sisaldus	EVS-EN 12697-1
Kulumiskindlus	EVS-EN 12697-16
Deformatsioonikindlus	EVS-EN 12697-21

Täpsemalt on neid omadusi kirjeldanud Soome ja Rootsi ning nende nõuded käsitlevad terastikulist koostist, kasutatavat bituumenit ja sideaine sisaldust....

5.2.4 NÕUDED PINNAKAITSEVAHENDITELE

Tabelis 12 on välja toodud kõik standardis EVS-EN 1504-2 soovituslikud nõuded ja Eestis on pinnakaitsevahenditele kehtestatud nõuded.

Omadus	Katsestandard	Hüdrofobise erimine	Immuta mine	Pinda mine
Lineaarne mahukahanemine	EVS-EN 12617-1			
Survetugevus	EVS-EN 12190			
Soojuspaisumistegur	EVS-EN 1771			
Kulumiskindlus	EVS-EN ISO 5470-1			
Nake võrelõikekatsel	EVS-EN 2409			
CO2 läbilaskvus	EVS-EN 1062-6			50m

Veeauru läbilaskvus	EVS-EN 7783-2	5m	5m
Kapillaarne veeimavus ja vee läbilaskvus	EVS-EN 1062-3	0,1	0,1
Nake pärast temperatuurimuutuste taluvuse katsetamist			
Külmutus-sulatustsüklite ja jätevastaste soolade koosmõju	EVS-EN 13687-1	20 tsüklit	50 tsüklit
Äikesevihmatsüklid (termolöök)	EVS-EN 13687-2		
Temperatuuritsüklid, jätevastaste sooladeta	EVS-EN 13687-3		
Vanandamine	EVS-EN 1062-11		
Termolöögikindlus	EVS-EN 13687-5		
Keemiline püsivus	EVS-EN ISO 2812-1		
Vastupanu kõrgele keemilisele agressiivsusele	EVS-EN 13529		
Pragude sildamisvõime	EVS-EN 1062-7		x
Löögikindlus	EVS-EN ISO 6272-1	20 Nm	20 Nm
Nake äratõmbekatsel	EVS-EN 1542		
Tuleohutusala liigitus	EVS-EN 13501-1		
Külmakindlus (massikao määramine)	EVS-EN 13581		
Libastumiskindlus	EVS-EN 13036-4		
Sissetungimissügavus	EVS-EN 1776	10 mm	
Käitumine pärast tekiskliimas konditsioneerimist	EVS-EN 1062-11		

Antistaatiline käitumine	EVS-EN 1081		
Nake märja betooniga	EVS-EN 13578		
Hüdrofoobitud pinna veeimavus ja leelisekindlus	EVS-EN 13580	7,50%	
Hüdrofoobitud pinna kuivamiskiirus	EVS-EN 13579	30%	

5.2.5 TURUL OLEVATE TOODETE VASTAVUS NÕUETELE

5.3 HÜDROFOBISEERIVATE MATERJALIDE KOKKUVÕTE

6 KOKKUVÕTE

7 KASUTATUD KIRJANDUS

1. Maanteeameti ja TTÜ Teedeinstituudi vaheline töövõtuleping nr 15-00242/011 „Vana Säreveere silla koormuskatsetused ja teaduslikud analüüsid ning hüdroisoleerivate betoonide ja betoonpinna hüdrofoobsete pinnakaitsevahendite teaduslik uuring“. 16.september 2015 a
2. „Sildade hüdroisolatsiooni ja kaitsekihi lahenduste võrdlus“ Ramboll Eesti AS „Maanteeamet, Tallinn 2009
3. EVS-EN 12390-8:2009 „Kivistunud betooni katsetamine. Osa 8: Surve all oleva vee sissetungimissügavus“
4. ГОСТ 12370.5-84 «Бетоны. Метод определения водонепроницаемости»
5. EVS-EN 206:2014 „Beton. Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus“ Eesti standard. Tallinn, Standardikeskus, 2014.
6. EVS-EN 13375:2004 „Flexible sheets for waterproofing - Waterproofing of concrete bridge decks and other concrete surfaces trafficable by vehicles - Specimen preparation“
7. Majandus- ja taristuministri 22.09.2014. a määrus nr 74 „Tee-ehitusmaterjalide ja -toodete esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord“ Lisa „Tee-ehitusmaterjalide põhiomadused ja nende määramise metoodika“
8. „Asphalt pavements on bridge decks“ EAPA Position paper, Brussels 2013

9. ETAG 033 „LIQUID APPLIED BRIDGE DECK WATERPROOFING KITS“ EOTA 2010
10. EVS-EN 1504-2:2007 „Betonkonstruktsioonide kaitsmiseks ja parandamiseks kasutatavad tooted. Määratlused, nõuded, kvaliteedikontroll ja vastavuse hindamine. Osa 3: Betooni pinnakaitsesüsteemid“
11. EVS-EN 12970:2001 „Mastic asphalt for waterproofing – Definitions, requirements and test methods“
12. EVS-EN 934-2:2009+A1:2012 „Betooni, mördi ja süstmördi keemilised lisandid. Osa 2: Betooni keemilised lisandid. Määratlused, nõuded, vastavus, tähistus ja sildistus“
13. EVS-EN 12390-2:2009 „Kivistunud betooni katsetamine. Osa 2: Tugevuskatse katsekehade valmistamine ja hoidmine.“ Tallinn, Standardikeskus, 2009.
14. EVS-EN 12350-2:2009“ Betoonisegu katsetamine. Osa 2: Vajumiskatse“. Eesti standard. Tallinn, Standardikeskus, 2009.
15. EVS-EN 12350-7:2009 „Betonisegu katsetamine. Osa 7: Betoonisegu õhusisaldus“. Eesti standard. Tallinn, Standardikeskus, 2009.
16. EVS-EN 12390-3:2009/AC:2011 „Kivistunud betooni katsetamine. Osa 3: Katsekehade survetugevus“. Eesti standard. Tallinn, Standardikeskus, 2011.
17. EVS-EN 12390-8:2002 „Kivistunud betooni katsetamine. Osa 8: Surve all oleva vee sissetungimissügavus“. Eesti standard. Tallinn, Standardikeskus, 2002
18. EVS-EN 12390-2:2009 „Kivistunud betooni katsetamine. Osa 2: Tugevuskatse katsekehade valmistamine ja hoidmine“. Eesti standard. Tallinn, Standardikeskus, 2009.
19. „Tilta klāja hidroizolācija un segums Projektēšanas un būvniecības vadlīnijās“ LV Celu, Lāti, Riia 2012.
20. EVS-EN 934-2:2009+A1:2012 „Betooni, mördi ja süstmördi keemilised lisandid. Osa 2: Betooni keemilised lisandid. Määratlused, nõuded, vastavus, tähistus ja sildistus“
21. „DĖL TILTŲ HIDROIZOLIACIJOS SLUOKSNIO, SUDARYTO IŠ DVIEJŲ BITUMINIŲ HIDROIZOLIACINIŲ LAKŠTŲ, NAUDOJAMŲ ANT BETONO, ĮRENGIMO TAISYKLIŲ ĮT DBH 12 PATVIRTINIMO“ LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ DIREKCIJOS PRIE SUSISIEKIMO MINISTERIJOS DIREKTORIAUS, Leedu, Vilnius 2012
22. Preliminär rapport utarbetad av konstruktionsgruppen inom Sveriges Bygguniversitet på uppdrag av Trafikverket“ Rootsi, Lulea 2011
23. „BETOONI KAPILLAARSET VEEIMAVUST VÄHENDAVATE LISANDITE MÕJU ERINEVALE NORMAALBETOONIDELE“ S.Hoolma, TTÜ 2016
24. „Effect of crystalline admixtures on the self-healing capability of early-age concrete studied by means of permeability and crack closing tests.“ Roig-Flores, M. et al. Construction and building materials. Volume 114, 2016.
25. Sisomphon, K. et al. *Self-healing of surface cracks in mortars with expansive additive and crystalline additive. Cement and Concrete Composites. Volume*

- 34, issue 4, 2012. [WWW]
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946512000133>
26. „Betoonis kasutatavate hüdrofobiseerivate lisaainete toime“ S.Õunloo, TTK 2015
27. EVS-EN 12390-2:2009 „Kivistunud betooni katsetamine. Osa 2: Tugevuskatse katsekehade valmistamine ja hoidmine.“ Tallinn, Standardikeskus, 2009.
28. Penetron'i kodulehekülg. [WWW]
https://www.penetron.com/uploads/resources/Penetron_Admix_021315.pdf
 (04.2016)
29. Concreteconstruction'i kodulehekülg. [WWW]
<http://www.concreteconstruction.net/admixtures/waterproof-concrete.aspx>
 (04.2016)
30. Sealtec'i kodulehekülg. [WWW] http://www.sealtec.co.il/files/FMF_139.pdf
 (05.2016)
31. Kivistunud betooni katsetamine. Osa 2: Tugevuskatse katsekehade valmistamine ja hoidmine. Eesti standard EVS-EN 12390-2:2009. Tallinn, Standardikeskus, 2009.
32. Xypex'i kodulehekülg. [WWW]
<http://www.xypex.com/docs/default-source/product-data/1015-11-admix-c-1000.pdf?sfvrsn=10> (04.2016)
33. Primostar'i kodulehekülg. [WWW]
<http://www.primostar.ee/ehitusvaldkonnad/15/> (04.2016)
34. National Concrete Accessories'i kodulehekülg. [WWW]
<http://www.nca.ca/product/xypex-c-1000-admix-48lbbx-9927> (04.2016)
35. Betoonisegu katsetamine. Osa 2: Vajumiskatse. Eesti standard EVS-EN 12350-2:2009. Tallinn, Standardikeskus, 2009.
36. AS'i Rudus kodulehekülg. [WWW]
<http://rudus.ee/betoon/betooni-kvaliteedikontroll/> (04.2016)
37. Betoonisegu katsetamine. Osa 7: Betoonisegu õhusisaldus. Eesti standard EVS-EN 12350-7:2009. Tallinn, Standardikeskus, 2009.
38. Kivistunud betooni katsetamine. Osa 3: Katsekehade survetugevus. Eesti standard EVS-EN 12390-3:2009/AC:2011. Tallinn, Standardikeskus, 2011.
39. Kivistunud betooni katsetamine. Osa 8: Surve all oleva vee sissetungimissügavus. Eesti standard EVS-EN 12390-8:2002. Tallinn, Standardikeskus, 2002
40. Kunda Nordic kodulehekülg. [WWW] <http://www.knc.ee/et/node/4187>
 (05.2016)
41. Teetööde tehniline kirjeldus. Maanteeamet 19.01.2016
42. *InfraRYL 2006 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2006. Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat. RT 14-10920. Rakennustieto Oy. Helsinki 2008.*
43. „Siltojen vedeneristysten SILKO-hyväksyntätutkimusohje“ Tiehallinto, Helsinki 2007.
44. „Tätskikt på broar“ TDOK 2013:0531, Trafikverket, 2014.

LISA 1.BETOONILISANDITE KATSEPLAAN

LISA 2. KATSETUSTE AJAGRAAFIK

LISA 3. KATSETULEMUSED

LISA 4. TOIMIVUSDEKLARATSIOONID

Tabel 12. Kunda Nordic põlevkivi kiirtsemendi andmed [XX]

Tsemendi standardtähistus		CEM II/A-T 52,5 N
Vastavus standardile		EVS-EN 197-1:2011
Tsemendi nimetus standardi järgi		Portland-
Tsemendi tugevusklass		52,5 N
Toimivuse sertifikaadi number		0956-1221.1102
Püsivuse sertifikaadi number		CPR-1221.1102
Toimivuse ja püsivuse sertifikaatide väljaandja ja tema number		BMC 0956
Toimivusdeklaratsioon		0956 CPR
Survetugevus, [MPa]	1	18
	2	31
	28	58
Tardumisaja algus, [min]		160
Portlandtsemendi klinker koos		82
Põletatud põlevkivi, [%]		18
Lubjakivi, [%]		-
Peenus, [m ² /kg]		410

Täht N tugevusklassi nimetuses märgib tsemendi harilikku

Katsetes kasutatud peenliiva toimivusdeklaratsioon

TOIMIVUSDEKLARATSIOON nr 004CPD20130701

1. Tootetuübi identifitseerimiskood: **EN 12620**, looduslik ehitusliiv D/2
2. Identifitseermise mark: **Kuusalu II**
3. Kasutusotstarve: **kasutamiseks betoonsegudes peentäitematerjalina**
4. Tootja: Kiu Soon OÜ
Vana-Narva mnt. 3 Kila alevik
74604 Harjumaa
Reg. nr. 10452140
Tel/fax: 607 2732; e-mail: info@kiusoon.ee
Tootmiskoht: Kuusalu karjäär, Harjumaa
5. Ei kohaldata
6. Enitustooto toimivuse püsivuse hindamise ja kontrollimise süsteem **2+**
7. Teavitatud TTÜ Sertifitseerimisasutus (reg. nr. 1504) teostas tehase ja tehase tootmisohje esmase ülevaatuse ning teostab tehase tootmisohje pidevat järelvalvet ja hindamist ning on andnud välja tootmisohje sertifikaadi nr. 1504-CPD-033/05 30.märtsil 2012. aastal.
8. Ei kohaldata
9. Deklareeritud toimivus

Põhiomadused		Toimivus	Harmoneeritud tehniline kirjeldus
Tera kuju, suurus ja tiheus	Tera suurus	0/2	EN 12620:2002+A1:2008
	Terastikuline koostis	G _F 85	
	Peenosised	f _s	
Koostisosad/ sisaldus	Huumuse sisaldus	Heledam etalonist	
Ohtlikud ained	Radioaktiivne kiirgus	I<1	

10. Punktides 1 ja 2 kindlaksmääratud toote toimivus on kooskõlas punktis 9 osutatud deklareeritud toimivusega. Käesolev toimivusdeklaratsioon on välja antud punktis 4 kindlaksmääratud tootja ainuvastutuse.

Tootja poolt ja nimel allkirjastanud:

KV. JUKA S. JÄRINEN
(nimi, amet)

Kuus, 07.09. 2013
(asukoht, kuupäev)

VÄRSTAMUS RUDUS AS- LE

PERJON 04. 2013.

KOOS: 2640, 28 t

perü: 07/2013

Nº 22



EÜ toimivusdeklaratsioon nr. 1

- 1) Tootetüübi kordumatu identifitseerimiskood: 0/4M1
- 2) Tüübnumber: 0/4
- 3) Tootja poolt ettenähtud kasutusotstarve: vt allpool
- 4) Tootja nimi ja kontaktaadress: vt allpool
- 5) Ei kohaldu
- 6) Ehitustoote toimivuse püsivuse hindamise ja kontrollimise süsteem: Süsteem 2+
- 7) Teavitatud asutus NR 1403 AS Teede Tehnokeskus teostas tehase ja tehase tootmisohje esmase ülevaatuse ning teostab tehase tootmisohje pidevat järelvalvet ja hindamist süsteemi 2+ kohaselt ning andis välja tootmisohje sertifikaadi 1403-CPR-0001
- 8) Ei kohaldu
- 9) Deklareeritud toimivus



AS Silikaat, Pärnu mnt 234, 11624 Tallinn, Eesti

04

1403-CPR-0001

Männiku karjääri täitematerjal

Ühtlustatud tehniline kirjeldus: EVS-EN 12620:2005+A1:2008

Betooni täitematerjalid

Põhiomadused	Ühik	Toimivus	Kategooria
1. Terasuurus (d/D)	-	0/4	G _F 85
2. Peenus peenusmooduli alusel	-	2,4 ... 3,4	CF
3. Sõela 0,063mm läbind	massi-%	≤ 2	f ₂
4. Orgaaniliste lisandite sisaldus	-	etalonist heledam	-
5. Puistetihedus kuivalt	Mg/m ³	1,50 ... 1,65	-
6. Niiskus (looduslik)	massi-%	2 ... 6	-
7. Kloriidide sisaldus	massi- %	≤ 0,01	-
8. Radiakt. kiirguse eriaakt. indeks I	-	≤ 1	-

- 10) Punktides 1 ja 2 kindlaksmääratud toote toimivus on kooskõlas punktis 9 osutatud deklareeritud toimivusega. Käesolev toimivusdeklaratsioon on välja antud punktis 4 kindlaksmääratud tootja ainuvastutusel.

Kontakt: Vaiko Hõlpus kvaliteedijuht/tehnoloog GSM: 53 267 441 E-mail:
Vaiko.Holpus@silikaat.ee

Vello Kunman juhatuse liige
 Tallinnas 06.04.2015

TOIMIVUSDEKLARATSIOON

1. Tootetüübi identifitseerimiskood: EN 12620, lubjakivikillustik 4/16 mm
2. Identifitseerimise märk: Tondi-Väo karjäär
3. Kasutusotstarve: kasutamiseks betoonisegude jämetäitematerjalina
4. Tootja: OÜ Väo Paas
Reg.nr. 10055887, Väo tee 30, Tallinn 11415
Tel. +372 6349 600, Fax +372 6349 601
vaopaas@vaopaas.ee, www.vaopaas.ee
5. Ei kohaldata
6. Ehitustoote toimivuse püsivuse hindamise ja kontrollimise süsteem 2+
7. Teavitatud TTÜ Sertifitseerimisasutus (reg.nr. 1504) teostas tehase ja tehase tootmisohje esmase ülevaatuse ning teostab tehase tootmisohje pidevat järelevalvet ja hindamist ning on andnud välja tootmisohje sertifikaadi nr. 1504-CPD-149/10 13.augustist 2012.a.
8. Ei kohaldata
9. Deklareeritud toimivus:

Põhiomadused		Toimivus	Harmoneeritud tehniline kirjeldus
Tera kuju, suurus ja tihedus	Tera suurus	4/16	EN 1260:2002+A1:2008
	Terastikuline koostis	$G_{c90/15}$	
	Kesksõela tüüpläbind (%)	25...70	
	Tera kuju	FI_{15}	
	Tera tihedus	2,8 Mg/m ³	
Puhtus	Peenosised	$f_{1,5}$	
Purunemiskindlus		LA_{30}	
Koostisosad/sisaldus	Kloriidid	0,005%	
Terade veeimavus		≤2% WA	
Ohtlikud ained	Radioaktiivsuse kiirgus	vastab	
Jämetäitematerjalide külmakindlus		F_1	

10. Punktides 1 ja 2 kindlaksmääratud toote toimivus on kooskõlas punktis 9 osutatud deklareeritud toimivusega. Käesolev toimivusdeklaratsioon on välja antud punktis 4 kindlaksmääratud tootja ainuvastutusel.

Tootja poolt ja nimel allkirjastanud:

Tõnis Haube, kvaliteedijuht
Tallinn, 10. november 2015. a.

[DIGITAALSELT ALLKIRJASTATUD]

Katsetes kasutatud graniitkillustikkude toimivusdeklaratsioonid [48]

TOIMIVUSDEKLARATSIOON		
Toim deklari nr. 9990		
Toote liik:	Parainen tardkivikillustik 2/8 mm	
Partii number:	9990	
Kasutus otstarve:	Betooni täitematerjal	
Tootja:	Rudus OY Pronssitie 1 FIN-00441 Helsinki	
Püsivusehindamise ja kontrollimise süsteem:	2+	
Teavitatud sertifitseerimisasutus numbriga 0416 on välja andnud sertifikaadi 0416-CPD-3467-03 alusel:		
a. On teostanud tootmisettevõtte ja tehase tootmisohje esmase ülevaatuse		
b. Teostab tehase tootmisohje pidevat järelvalvet ja hindamist		
Põhiomadused	Toimivus	Harmoniseeritud tehniline kirjeldus
Terasuurus	2/8 mm	EN 12620
Terastikuline koostis	G _c 85/20	
Terakuju	FI 20	
Terade tihedus	2,75 Mg/m ³ ± 0,05	
Veeimavus	WA ₂₄ 1	
Puhtus		
peenoste sisaldus	f _{1,5}	
peenoste kvaliteet	NPD	
Purustatud pindade sisaldus	C _{sc0%}	
Nake bituumensideainega	NPD	
Purunemiskindlus	LA30 (10/14)	
Kulumis kindlus		
Poleerimis kindlus (PSV)	NPD	
Kulumisväärtus (AAV)	NPD	
Kulumiskindlus naastrehtide toimele	NPD	
Vastupidavus termolöögile	NPD	
Mahu püsivus	NPD	
Ohtlikud ained		
radioaktiivne saastamine	I<1	
raske metallide vabastamine	NPD	
polüaromaatsete süsivesinike vabastamine	NPD	
heitkoguste muud ohtlikud ained	NPD	
Külmakindlus	F ₁	
Külmakindlus NaCl lahuses	4	
Petrograafiline		
Keemiline		
Eespool kirjeldatud toote toimivus vastab deklareeritud toimivusele. Käesolev toimivusdeklaratsioon tootja ainuvastutusel on välja antud kooskõlas määrusega (EL) nr 305/2011 eespool nimetatud		
Tootja poolt ja nimel allkirjastanud:		
Allkirjastamise koht	/Allkirj/	
Turku 11.03.2015	Juha Lehto	

A:

B:

TOIMIVUSDEKLARATSIOON		
Toim deklari nr. 9061		
Toote liik:	Parainen tardkivikillustik 8/16 mm	
Partii number:	9061	
Kasutus otstarve:	Betooni täitematerjal	
Tootja:	Rudus OY Pronssitie 1 FIN-00441 Helsinki	
Püsivusehindamise ja kontrollimise süsteem:	2+	
Teavitatud sertifitseerimisasutus numbriga 0416 on välja andnud sertifikaadi 0416-CPD-3467-03 alusel:		
a. On teostanud tootmisettevõtte ja tehase tootmisohje esmase ülevaatuse		
b. Teostab tehase tootmisohje pidevat järelvalvet ja hindamist		
Põhiomadused	Toimivus	Harmoniseeritud tehniline kirjeldus
Terasuurus	8/16 mm	EN 12620
Terastikuline koostis	G _C 85/20	
Terakuju	FI 15	
Terade tihedus	2,75 Mg/m ³ ± 0,05	
Veeimavus	WA ₂₄ 1	
Puhtus		
peenoste sisaldus	f ₁	
peenoste kvaliteet	NPD	
Purustatud pindade sisaldus	C _{100/0}	
Nake bituumensideainega	NPD	
Purunemiskindlus	LA30 (10/14)	
Kulumis kindlus		
Poleerimis kindlus (PSV)	NPD	
Kulumisväärtus (AAV)	NPD	
Kulumiskindlus naastrehvide toimele	NPD	
Vastupidavus termolöögile	NPD	
Mahu püsivus	NPD	
Ohtlikud ained		
radioaktiivne saastamine	I<1	
raske metallide vabastamine	NPD	
polüaromaatsete süsivesinike vabastamine	NPD	
heitkoguste muud ohtlikud ained	NPD	
Külmakindlus	F ₁	
Külmakindlus NaCl lahuses	4	
Petrograafiline		
Keemiline		
Eespool kirjeldatud toote toimivus vastab deklareeritud toimivusele. Käesolev toimivusdeklaratsioon tootja ainuvastutusel on välja antud kooskõlas määrusega (EL) nr 305/2011 eespool nimetatud		
Tootja poolt ja nimel allkirjastanud:		
Allkirjastamise koht	/Allkiri/	
Turku 11.03.2015	Juha Lehto	

LISA 5 KATSEPROTOKOLLID