



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Ehituse ja arhitektuuri instituut

BETONKONSTRUKTSIOONIDE TÖÖVUUKIDE HÜDROISOLEERIMINE

WATERPROOFING OF CONSTRUCTION JOINTS IN CONCRETE STRUCTURES

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Andreas Kanal

Üliõpilaskood 207016

Juhendaja: Tanel Tuisk

Tallinn 2024

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

19. detsember 2024

Autor:

.....

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

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

Juhendaja:

.....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....":20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees:

.....

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS

Mina, **Andreas Kanal**,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
BEToonKONSTRUKTSIOONIDE TÖÖVUUKIDE HÜDROISOLEERIMINE,

mille juhendaja on Tanel Tuisk

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

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

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

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

19.12.2024

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: **ANDREAS KANAL**

Üliõpilaskood **207016**

Õppekava: **EAEI02 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine**

Peeriala: Ehitusjuhtimine

Lõputöö teema:

BETONKONSTRUKTSIOONIDE TÖÖVUUKIDE HÜDROISOLEERIMINE

WATERPROOFING OF CONSTRUCTION JOINTS IN CONCRETE STRUCTURES

Juhendaja: **Tanel Tuisk**

Tanel.tuisk@taltech.ee

Lõputöö konsultandid:

Tiitel või ametikoht, Ees- ja Perekonnanimi	Kontakt (e-post või telefon)	Allkiri ja kuupäev
Primostar OÜ tegevjuht, Indrek Uusalu	Indrek.uusalu@primostar.ee	

Lõputöö põhieesmärgid:

- Ülevaade erinevatest betooni ning betoonkonstruktsioonide töövuukide veepidavuse tagamise võimalustest.
- Eestis kasutatavate hüdroisolatsiooni toodete katsetamine maksimaalsele veesurvele 11 erineval katsekehal.
- Hüdroisolatsiooni toodete omavaheline võrdlus.

Töö keel: eesti keel

Lõputöö etapid ja ajakava:

Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1. Katsete planeerimine	31.05.2024
2. Katsekehade valmistamine kahes etapis	20.09.2024
3. Katsekehade katsetamine kahes etapis	15.11.2024
4. Teoreetilise osa kirjutamine	29.09.2024
5. Katselise osa kirjutamine, analüüs	24.11.2024
6. Lõppvormistus, kaitsmistootluse esitamine, plagiaadikontroll	24.11.2024
Kokkuvõtte eesti keeles	24.11.2024
Kokkuvõtte inglise keeles	24.11.2024

Lõputööde ülevaatus, mille läbimine on kaitsmise eelduseks

21.11.2024

Esitlusmaterjalid kaitsmisel: Powerpoint esitlus ja jaotusmaterjalid

Lõputöö esitamise tähtaeg: 9. detsember 2024

Plagiaadikontrolli läbinud lõputöö digiallkirjastatakse autori, juhendaja(te), konsultandi(tide) ja kaitsmiskomisjoni esimehe poolt. Paberil pole vaja allkirju koguda.

Lõputöö ülesanne välja antud: 25.03.2024

Juhendaja: **Tanel Tuisk**

Ülesande vastu võtnud: **Andreas Kanal**

Avalikustamise piirangu tingimused: puuduvad

SISUKORD

AUTORIDEKLARATSIOON.....	2
LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS	3
SISUKORD	7
EESSÕNA	9
TABELITE LOETELU	10
SISSEJUHATUS	11
1. TEOREETILINE OSA	13
1.1 Betooni veepidavus	13
1.1.1 Vesi-tsementteguri mõju betooni veepidavusele	13
1.1.2 Kivinemistingimuste mõju betooni veepidavusele	15
1.1.3 Täitematerjalide terastikulise koostise ja tsemendi tüübi mõju betooni veepidavusele.....	18
1.1.4 Lisandite mõju betooni veepidavusele.....	20
1.1.5 Betooni paigalduse ja järelhoolduse mõju betooni veepidavusele	21
1.1.6 Betooni veepidavuse parendamise meetodid peale segu paigaldamist.....	24
1.2 Betonkonstruktsioonide liitekohtade veepidavus.....	25
1.2.1 Metallist töövugiprofiilide kasutamine betonkonstruktsioonide töövukide veepidavuse tagamiseks.....	25
1.2.2 PVC vuugilintide kasutamine betonkonstruktsioonide töö- ja deformatsioonivuukide veepidavuse tagamiseks	29
1.2.3 Paisuvate vuugilintide kasutamine beton-konstruktsioonide töövukide veepidavuse tagamiseks.....	31
1.2.4 Injekteerimise ja injekteerimisvoolikute kasutamine betonkonstruktsioonide töövukide veepidavuse tagamiseks	33
1.3 Veepidavuse katsetamise meetodid.....	35
1.3.1 Betooni veepidavuse määramine EVS-EN 12390-8:2019 järgi.....	35
1.3.2 Betooni veepidavuse määramine ASTM C1585-20 järgi	36
1.3.3 Betooni veepidavuse määramine GOST 12730. 5-84 järgi.....	37
1.3.4 Betonkonstruktsioonide liitekohtade veepidavuse määramine EAD järgi (metallist vuugilindid).....	38
1.3.5 Betonkonstruktsioonide liitekohtade veepidavuse määramine EAD järgi (paisuvad vuugilindid).....	39
2. KATSELINE OSA.....	41
2.1 Eesmärk ja katseplaan	41

2.1.1	Katsetatavad materjalid	41
2.1.2	Detailne katseplaan	46
2.2	Katsekehade valmistamine	52
2.2.1	Armeerimine.....	56
2.2.2	Betoneerimine.....	60
2.2.3	Järelhooldus ja kivinemistingimused.....	66
2.3	Katsete läbiviimine ja katsetulemused	67
2.3.1	Paisuvad vuugilindid	68
2.3.2	Metallist töovuugiprofiiliga katsekehad 1-6.....	69
2.3.3	Paisuva/ilma vuugilindiga(-ta) katsekehad 7-10	71
2.3.4	Tõstemehhanismiga katsekeha 11	73
2.4	Katsetulemuste analüüs	74
2.4.1	Paisuvad vuugilindid	76
2.4.2	Metallist töovuugiprofiiliga katsekehad 1-6.....	82
2.4.3	Paisuva/ilma vuugilindiga(-ta) katsekehad 7-10	89
2.4.4	Tõstemehhanismiga katsekeha 11	93
2.4.5	Katsetulemuste kokkuvõte.....	96
	JÄRELDUSED	100
	SUMMARY	102
	KASUTATUD KIRJANDUS.....	104
	LISAD	108
	Lisa 1 Paisuvate vuugilintide märg/kuiv tsüklid	109
	Lisa 2 Paisuvate vuugilintide paisumismaht.....	110
	Lisa 3 Katsekehade 1-11 katsepäevikud.....	111

EESSÕNA

Magistritöö eesmärgiks on Eestis kasutusel olevate betoonkonstruktsioonide töövuukide hüdrolatsioonilahenduste toimivuse uurimine kinnise betoonmahuti meetodil. Erinevate lahendustega katsekehade valmistamiseks kasutatud materjalid tarniti Primostar OÜ ning Astrotel OÜ poolt. Antud tooted on kasutusel erinevatel ehitusobjektidel Eestis ja ka mujal maailmas. Betooni tootjaks olid Betoonimeister AS ja Rudus AS.

Töö koosneb teoreetilisest ja katselisest osast. Teoreetiline osa annab ülevaate betooni ning betoonkonstruktsioonide töövuukide veepidavuse tagamise võimalustest ja parendusmeetmetest. Katselises osas kontrollitakse Eestis kasutatavate hüdrolatsioonitoodete toimivust ning testitakse neid maksimaalsele veesurvele, analüüsitakse tulemusi ja tehakse nende põhjal järeldused.

Autor soovib tänada juhendaja Tanel Tuisku koostöö ja juhendamise eest; tööandja Nordecon AS-i võimaluse eest tegeleda lõputööga vajadusel ka tööpäeviti ning erinevate töövahendite soetamise eest. Veel soovib autor tänada Primostar OÜ-d erinevate materjalide tarnimise, töö teostamiseks kasutusse antud ruumide ja tehnilise ning logistilise abi eest; Astrotel OÜ-d materjalide eest; Betoonimeister AS-i ning Rudus AS betooni, ruumide ja abivalmi personali eest ning Rifezar OÜ-d tehnilise abi eest.

TABELITE LOETELU

Tabel 1.1.3.1: Harilike tsementide jaotus EVS-EN 197-1: 2011 järgi [10]	18
Tabel 1.1.4.1: Kristallilise lisandiga ja ilma valmistatud katsekehade karakteristikud[15]	20
Tabel 1.1.5.1: Betooni pealispinna kvaliteediklassid vastavalt gaasi läbilaskvuskoefitsiendile [21].	22
Tabel 1.1.5.2: Betooni gaasi läbilaskvuse sõltuvus järelhoolduse kvaliteedist ja teostamise ajast [21].	23
Tabel 1.3.2.1: Katsekeha kaalumise ajahetked ASTM C1585-20 katse järgi [37]	36
Tabel 2.1.1.1: Betocrete CP360WP kulu 1 m ³ betooni kohta [40]	41
Tabel 2.1.2.1: Katsekehade nr 1-6 valmistamisel kasutatud materjalid	47
Tabel 2.1.2.2: Proovikeha 11 valmistamisel kasutatud materjalid	51
Tabel 2.3.4.1: Katsekehade 1-10 katseandmete kogum	75
Tabel 2.3.4.2: Katsekeha 11 katseandmete kogum	76
Tabel 2.4.1.1: BeSealed Polybar RP+ mahumuutus 3 nädala jooksul	79
Tabel 2.4.1.2: BeSealed Bentobar 20x25 mahumuutus 3 nädala jooksul	80
Tabel 2.4.1.3: WFP Swelling Rubber Profile mahumuutus 3 nädala jooksul	82
Tabel 2.4.5.1: Töövuukide hüdroisolatsioonitoodete veepidavuse võrdlus tootelehtedega	97
Tabel 2.4.5.2: Töövuukide hüdroisolatsioonitoodete toimivus katsel erinevate veesammaste juures.....	98
Tabel 2.4.5.3: Paisuvate vuugilintide mahumuutuste võrdlus tootelehtedega	98
Tabel 2.4.5.4: Paisuvate vuugilintide kuiv/märg tsüklite taluvuse katsetabel	109
Tabel 2.4.5.5: Paisuvate vuugilintide paisumiskatse katsetabel	110
Tabel 2.4.5.6: Katsekeha 1 katseandmete päevik	111
Tabel 2.4.5.7: Katsekeha 2 katseandmete päevik	112
Tabel 2.4.5.8: Katsekeha 3 katseandmete päevik (joogivesi)	113
Tabel 2.4.5.9: Katsekeha 3 katseandmete päevik (5% soolavesi)	114
Tabel 2.4.5.10: Katsekeha 4 katseandmete päevik	115
Tabel 2.4.5.11: Katsekeha 5 katseandmete päevik	116
Tabel 2.4.5.12: Katsekeha 6 katseandmete päevik (joogivesi)	117
Tabel 2.4.5.13: Katsekeha 6 katseandmete päevik (5% soolavesi)	118
Tabel 2.4.5.14: Katsekeha 7 katseandmete päevik	119
Tabel 2.4.5.15: Katsekeha 8 katseandmete päevik	120
Tabel 2.4.5.16: Katsekeha 9 katseandmete päevik	121
Tabel 2.4.5.17: Katsekeha 10 katseandmete päevik	123
Tabel 2.4.5.18: Katsekeha 11 katseandmete päevik	124

SISSEJUHATUS

Betoonkonstruktsioonide töövuukide hüdroisoleerimine ning üldine veepidavus on erinevate hoonete ja rajatiste ehitamisel väga olulised aspektid, kui ehitatakse näiteks pinnaseveetasemest madalamale või vette. Konstruktsioonide veepidavuse tagamine on tihti probleemiks ka uusehitistel, kuna töövuukide hüdroisoleerimise võimaluste osas valitakse keskkonda mitte sobivad lahendused.

Ehitise tellijale on oluline, et ehitist saaks kasutada ilma tõrgeteta ning ehitajale on oluline, et peale hoone valmimist ei peaks koheselt alustama garantiikorras remonttöödega. Tellija tavapäraselt ei ole huvitatud olukorrast, kus näiteks maa-aluse parkla põranda vahelt lekib parkimisplatsile vett. Samuti ei ole ehitaja huvitatud selliste probleemide lahendamisele aja ja raha kulutamisest, mida oleks saanud ehituse käigus õigeid otsuseid tehes ära hoida. Kuna töö autor on selliste probleemidega varasemalt kokku puutunud, tundus antud teema valik magistritööks aktuaalne.

Antud magistritöö eesmärgiks on uurida erinevaid töövuukide hüdroisoleerimise võimalusi ning määrata maksimaalsed veerõhud, kus Eestis tüüpiliselt kasutusel olevad lahendused toimivad. Lisaks uuritakse keskkonna mõju lahendustele ning veepidavust tõstva lisandi mõju betooni veepidavusele.

Magistritöö põhiosa koosneb kahest peatükist, millest esimene kirjeldab töö teoreetilist tausta ning teine katselist osa. Teoreetilises taustas kirjeldatakse erinevate tegurite mõju betooni veepidavusele, erinevaid töövuukide veepidavuse tagamise võimalusi ning erinevaid betooni ja betoonkonstruktsioonide veepidavuse katsetamise meetodeid. Katselises osas seletatakse lahti katseplaani, katsekehade valmistamine ning kasutatavad materjalid, katsete läbiviimine ning analüüsitakse autori poolt läbi viidud katsete tulemusi. Katselisele osale järgnevad katsetulemuste põhjal tehtud järeldused. Lisades on välja toodud katsete protokollimise päevikud.

Katselise osa katsekehadeks on armeeritud seest tühjad betoonkuubikud, mis on valatud kahes osas – seinte ja põrandaplaadi vahel on hüdroisoleeritud töövuuk. Katsekehas olevasse tühimikku avaldatakse veesurve ning määratakse visuaalsel vaatlusel antud töövuugi lekked. Lekete iseloomu ning veesurve alusel määratakse hüdroisolatsiooni lahenduse toimivus kindla veesamba juures. Osad katsekehad lammutatakse pärast katset, et määrata keskkonnamõju hüdroisolatsioonilahendusele või lisandi mõju betoonile.

Võtmesõnad: metallist töövuugiprofilid, paisuvad töövuugilindid, betooni veepidavuse lisandid, magistritöö

1. TEOREETILINE OSA

1.1 Betooni veepidavus

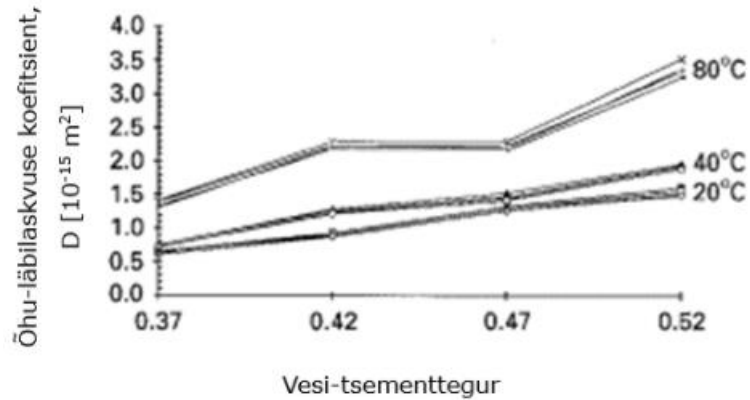
Betooni veepidavus on hüdrotehnilise betooni üks põhiomadusi. Oluliseks saab see peamiselt siis, kui betooni kasutatakse maa-alustes konstruktsioonides. Sel juhul peab betoon vett pidama vastavalt konstruktsiooni sügavusele. Mida sügavamal asub konstruktsioon, seda suurem on veesurve, ehk seda suurema intensiivsusega pressib vesi läbi konstruktsiooni. Betooni loetakse vett pidavaks, kui vastavalt EVS-EN 12390-8 sooritatud katsel on vee katsekehasse tungimise sügavus vähem kui 100 mm [1].

Betooni veepidavust mõjutavad erinevad tegurid: vesi-tsementtegur, kivinemistingimused, täitematerjalid, paigaldustehnoloogia ja lisandid. Veepidavust saab hiljem parandada vaikude ning tsementsuspensioonide ja -pastade injekeerimise teel. Veepidavust saab vastavalt Venemaa standardile GOST 12730.5-84 iseloomustada veepidavusmarkidega W2-W12, mis näitavad, kui suure veesurve (bar) juures suudab betoon vett pidada [2].

1.1.1 Vesi-tsementteguri mõju betooni veepidavusele

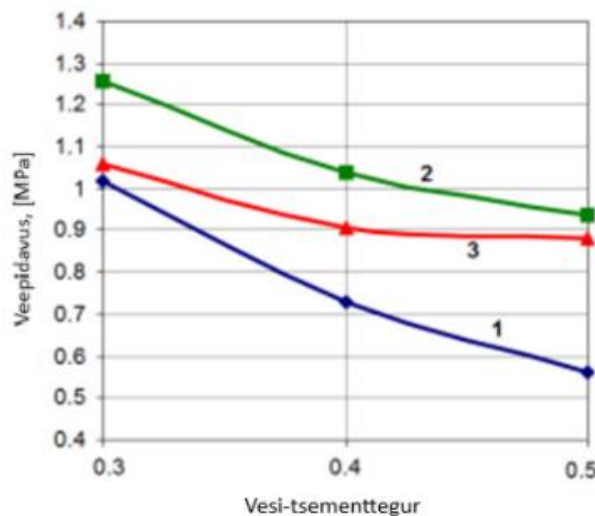
Vesi-tsementtegur on üks olulisi betoonisegu karakteristikuid. Vesi-tsementtegur on betoonisegu efektiivse vee ja tsemendi sisalduse suhe. Vesi-tsementteguri suurendamine põhjustab betoonis poorsuse ja mahukahanemispragude teket, sest betoonisegusse jääb rohkem vett, mis tsemendiga ei reageeri ning kivinemisprotsessi käigus välja kuivades jätab maha tühimikud, ehk poorid[3]. Need omakorda vähendavad betooni survetugevust ja suurendavad vee/õhuläbilaskvust. Järgnevalt vaatleme neid seoseid kahe uuringu põhjal.

Betooni õhu-läbilaskvus ja vee-läbilaskvus, ehk õhupidavus ja veepidavus on otseselt seotud, kuna õhk liigub läbi betooni sama moodi nagu vesi, läbi pooride ja pragude. Betooni õhu-läbilaskvuse ja vesi-tsementteguri ning õhu-läbilaskvuse ja kivinemiskeskonna temperatuuri suhte kohta on teinud uurimuse Hispaania teadlased M. A. Sanjuán ja R. Muñoz-Martínez [4]. Uuringu tulemusi ilmestab joonis (Joonis 1.1.1.1), kus on näha, et vesi-tsementteguri suurenedes suureneb betooni õhu-läbilaskvuse koefitsient [$D_{air} (10^{-15} m^2)$]. Joonisel näidatud temperatuurid ilmestavad katsekehade kivinemiskeskondade temperatuure. On näha, et mida kõrgem on kivinemiskeskonna temperatuur, seda suurem on betooni õhu-läbilaskvuse koefitsient.



Joonis 1.1.1.1: Betooni õhu-läbilaskvuse ja vesi-tsementteguri suhe erinevatel temperatuuridel kivinenud katsekehade puhul [4]

Vesi-tsementteguri ja betooni veepidavuse vahelist seost lendtuhka sisaldava betooni puhul on uurinud koos Ukraina ja Poola teadlased L. Dvorkin, O. Bordiuzhenko, D. Mierzwiński, T. Tracz, ja M. Sitarz [5]. Uuringu tulemusi ilmestab joonis (Joonis 1.1.1.2). Joonisele on kantud veepidavuse katse tulemused kolme erineva lendtuha sisaldusega betoonisegu puhul erinevate vesi-tsementtegurite juures. Sinine joon tähistab betooni lendtuha sisaldusega 50 kg/m³, roheline joon tähistab betooni lendtuha sisaldusega 150 kg/m³ ja punane joon tähistab betooni lendtuha sisaldusega 250 kg/m³. Maksimaalse veepidavusklassi W12 saavutas betoon lendtuha sisaldusega 150 kg/m³ ja vesi-tsementteguriga 0,3. Sama betoon saavutas veepidavusklassi W8, kui vesi-tsementtegur tõsteti 0,5-ni. Kõige väiksem veepidavusklass katse käigus oli W4, mille saavutas betoon lendtuha sisaldusega 50 kg/m³ ja vesi-tsementteguriga 0,5. Katse tulemused näitavad, et ühest ja samast betoonisegust toodetud katsekehade veepidavus väheneb, kui segus suurendatakse vesi-tsementtegurit.



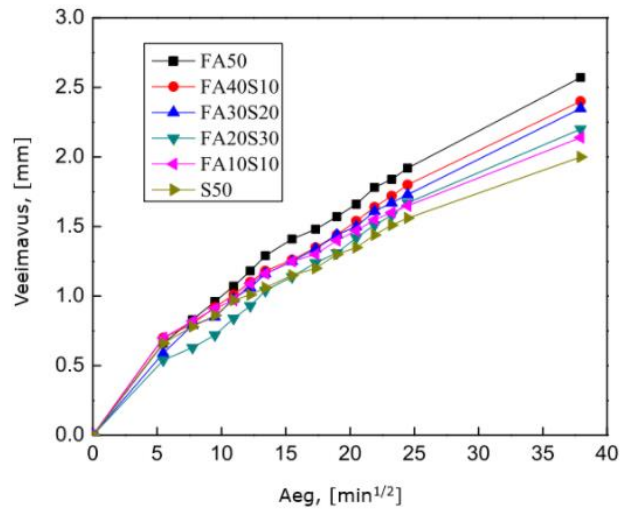
Joonis 1.1.1.2: Betooni veepidavuse ja vesi-tsementteguri suhe [5]

1.1.2 Kivinemistingimuste mõju betooni veepidavusele

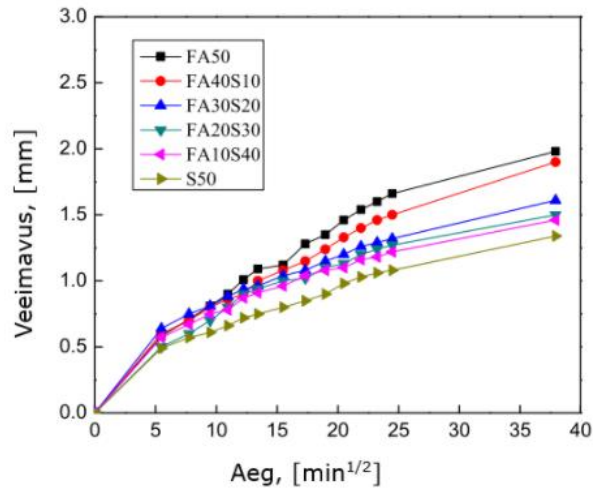
Betoonhitiste kivinemiskeskond sõltub peamiselt betoonivalu ajast, aasta-ajast ja ilmast. Kvaliteetse betoonhitise valmimiseks tuleb betoneerijatel peale betoonivalu tegeleda järelhooldusega vastavalt väliskeskkonnale. Värskest paigaldatud betoon tuleb katta kilega ning külmade ilmadega tuleb betooni soojendada. Et tsemendil oleks vett, millega reageerida, tuleb betooni veega kastma hakata kohe pärast tardumist. Ajaliselt hiljemalt järgmisel hommikul peale betoonivalu. Vett pidavate konstruktsioonide puhul tuleb betooni kasta 1-2 nädalat, et ei tekiks pragusid mahukahanemisest [6]. Veel on võimalik betooni järelhooldust teostada kasutades pritsitavaid vedelaid järelhooldusaineid, mille eesmärk on betooni pinnale moodustada niiskust mitte läbilaskev kiht. Nii reageerib samuti rohkem betoonisegus sisalduvat vett tsemendiga, kuna vee välja kuivamine on takistatud [7].

Betooni kivinemise normaaltingimusteks loetakse kivinemist temperatuuril 20 °C ja relatiivsel õhuniiskusel RH 95%. Liialt soojades, madala õhuniiskusega tingimustes tsemendi hüdratatsiooni reaktsiooni kiirus ja betooni kivistumine kiirenevad. Betoon hakkab „kuivama“, ehk vesi kuivab betoonist välja jättes endast maha poorid ja mikropraod. Betooni tihedus ning veepidavus vähenevad, tsemendil ei ole vett millega reageerida [8].

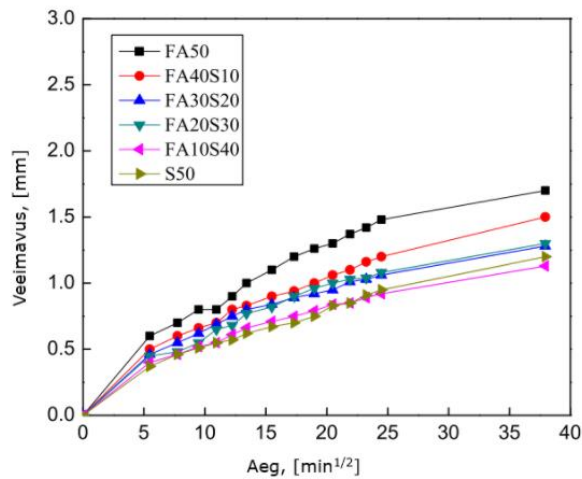
Kuna veeimavus ja veepidavus on korrelatsioonis siis on kohane esitada Hiina teadlaste B. Liu, G. Luo ja Y. Xie uurimus. Uurimistöös selgitati kivinemistingimuste mõju mineraalsete lisanditega betooni läbilaskvusele [7]. Nad võrdlesid erinevatest betoonisegudest tehtud katsekehade veeimavusi vastavalt kivinemiskeskondadele. Katsekehad kivinesid erinevates keskkondades erineva hulga päevi. Keskkondadeks olid näiteks õhu käes (30 °C, RH80%) ja vastavalt 3-28 päeva standardtingimustes (20 °C, RH 95%). Mõõdeti katsekehade veeimavust (mm) ajaühikus ($\text{min}^{1/2}$). Mida suurem on katsekeha veeimavus, seda rohkem on katsekehas avatud poore, mille kaudu saab läbi liikuda vesi. Ehk suurem veeimavus viitab väiksemale veepidavusele. Katsetulemusi ilmestavad joonised (Joonis 1.1.2.1, Joonis 1.1.2.2, Joonis 1.1.2.3, Joonis 1.1.2.4). Joonistel olevad tähised näitavad lisandite sisaldust betoonisegus. FA.. tähistab lendtuha sisaldust [%] betoonisegu sideainest ning S.. tähistab granuleeritud kõrgahjuräbu sisaldust [%] betoonisegu sideainest.



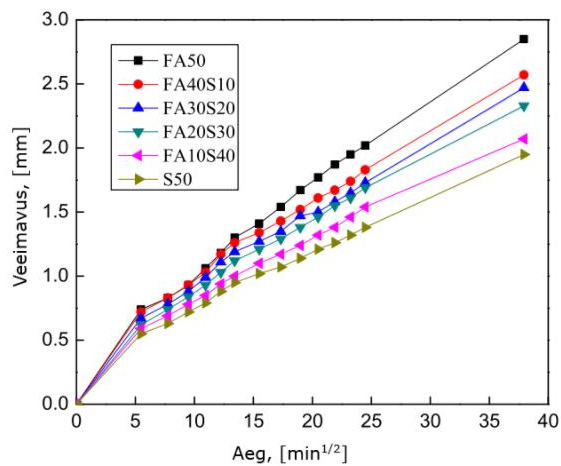
Joonis 1.1.2.1: Õhu käes (30 °C, RH80%) kivinenud katsekehade veemavus vastavalt betooni koostisele [9]



Joonis 1.1.2.2: 3 päeva normaaltingimustel (20 °C, RH95%) kivinenud katsekehade veemavus vastavalt koostisele [9]



Joonis 1.1.2.3: 28 päeva normaaltingimustel kivinenud katsekehade veepidavus vastavalt koostisele [9]



Joonis 1.1.2.4: 20 °C, RH60% tingimustes kivinenud katsekehade veepidavus vastavalt koostisele [9]

Katsetulemustest on näha, et suurim veeimavus oli 20 °C, RH60% keskkonnas kivinenud katsekehadel ning pea sama suur oli see ka õhu käes kivinenud katsekehadel. Juba 3 päeva kivinemist normaaltingimustel vähendas betooni veeimavust märgatavalt. Kõige väiksem oli veeimavus katsekehadel, mis olid kivinenud 28 päeva normaaltingimustes. Betooni poorstruktuur tiheneb ning veepidavus suureneb, kui kivinemiskeskkonna suhteline õhuniiskus hoitakse võimalikult kõrge ja õhutemperatuuri hoitakse maksimaalselt 20 °C juures (normaaltingimus) [9].

1.1.3 Täitematerjalide terastikulise koostise ja tsemendi tüübi mõju betooni veepidavusele

Betooni tootmisel kasutatakse sideainena erinevaid tsemente. Vastavalt EVS-EN 197-1:2011 jagunevad tsemendid viieks põhigrupiks [10]:

CEM I – Portlandtsement

CEM II – Portland-komposiittsement

CEM III – Räbutsement

CEM IV – Putsolaantsement

CEM V – Komposiittsement

Põhigrupid jagunevad omakorda koostisosade järgi vastavalt tabelile (Tabel 1.1.3.1).

Tabel 1.1.3.1: Harilike tsementide jaotus EVS-EN 197-1: 2011 järgi [10]

Põhi-tüübid	27 toote nimetused (harilike tsementide tüübid)		Koostis (% massist ^a)										Lisa-koostisosad	
			Põhikoostisosad											
			Klinker	Kõrg-ahju-räbu	Peen-räni	Putsolaan		Lendtuhk		Pöle-tatud põlev-kivi	Lubjakivi			
looduslik	tehislik	räniline				Kaltsiu-miline	L	LL						
			K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L	LL		
CEM I	Portlandtsement	CEM I	95–100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5	
CEM II	Portland-räbutsement	CEM II/A-S	80–94	6–20	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5	
		CEM II/B-S	65–79	21–35	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5	
	Portland-peenrännitsement	CEM II/A-D	90–94	–	6–10	–	–	–	–	–	–	–	0–5	
		Portland-putsolaantsement	CEM II/A-P	80–94	–	–	6–20	–	–	–	–	–	–	0–5
	Portland-putsolaantsement	CEM II/B-P	65–79	–	–	21–35	–	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM II/A-Q	80–94	–	–	–	6–20	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM II/B-Q	65–79	–	–	–	21–35	–	–	–	–	–	–	0–5
		Portland-lendtuhtitsement	CEM II/A-V	80–94	–	–	–	–	6–20	–	–	–	–	–
	CEM II/B-V		65–79	–	–	–	–	21–35	–	–	–	–	–	0–5
	CEM II/A-W		80–94	–	–	–	–	–	6–20	–	–	–	–	0–5
	CEM II/B-W		65–79	–	–	–	–	–	21–35	–	–	–	–	0–5
	Portland-põlevkivitsement	CEM II/A-T	80–94	–	–	–	–	–	–	–	6–20	–	–	0–5
		CEM II/B-T	65–79	–	–	–	–	–	–	–	21–35	–	–	0–5
	Portland-lubjakivitsement	CEM II/A-L	80–94	–	–	–	–	–	–	–	–	6–20	–	0–5
		CEM II/B-L	65–79	–	–	–	–	–	–	–	–	21–35	–	0–5
		CEM II/A-LL	80–94	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6–20	0–5
CEM II/B-LL		65–79	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21–35	0–5	
Portland-komposiittsement ^c	CEM II/A-M	80–88	←----- 12–20 ----->										0–5	
	CEM II/B-M	65–79	←----- 21–35 ----->											
CEM III	Räbutsement	CEM III/A	35–64	36–65	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM III/B	20–34	66–80	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM III/C	5–19	81–95	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
CEM IV	Putsolaantsement ^c	CEM IV/A	65–89	–	←----- 11–35 ----->					–	–	–	0–5	
		CEM IV/B	45–64	–	←----- 36–55 ----->					–	–	–	0–5	
CEM V	Komposiittsement ^c	CEM V/A	40–64	18–30	–	←----- 18–30 ----->			–	–	–	–	0–5	
		CEM V/B	20–38	31–49	–	←----- 31–49 ----->			–	–	–	–	0–5	

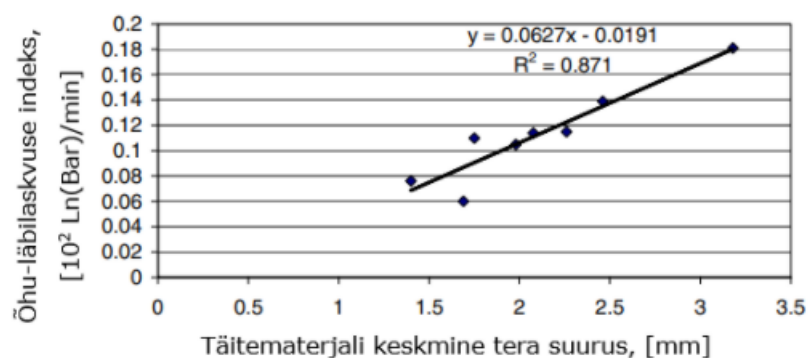
a Tabelis toodud väärtus kohtib põhi- ja lisakoostisosade summale.
b Peenränni sisaldus ei tohi ületada 10 %.
c Portland-komposiittsementide CEM II/A-M ja CEM II/B-M, putsolaantsementide CEM IV/A ja CEM IV/B ning komposiittsementide CEM V/A ja CEM V/B puhul tuleb tsemendi määratlemisel märkida nende põhikoostisosad (näiteid vt jaotisest 8).

Eestis turustatavad tsemenditüübid on CEM I, CEM I SR (sulfaadikindel tsement), CEM II/B-M, CEM II/A-M, CEM II/A-LL, CEM II/B-M (S-LL).

Lisaks veele, tsemendile ja erinevatele lisanditele kasutatakse betoonis täitematerjale, mis moodustavad betooni mahust 60-70%. Täitematerjalid jaotuvad filleriteks, peen- ja jämetäitematerjalideks, Nende jaotumist terade suuruse järgi nimetatakse täitematerjalide terastikuliseks koostiseks. Täitematerjalide terastikuline koostis betoonis peaks jaotuma ühtlaselt. Moodustuma peaks võimalikult tihe segu – jämetäitematerjali vahele jäävad tühimikud täidab peentäitematerjal ning selle vahele jäävad tühimikud täidab filler [11].

Bangladeshi Tehnikaülikooli teadlased W. B. Ashraf ja M. A. Noor uurisid täitematerjali terastikulise koostise mõju betooni veepidavusele. Nad katsetasid erineva terastikulise koostise ning erineva tsemendi tüübiga 28 päeva vanuste katsekehade veepidavust erinevate vesi-tsementtegurite juures. Uurimusest selgus, et CEM II/B-M, ehk portlandkomposiittsemendiga toodetud katsekehade puhul on sama vesi-tsementteguri juures betooni veepidavus suurem, kui terastikuline koostis on ühtlane. CEM I, ehk portlandtsemendiga toodetud katsekehade puhul seevastu on veepidavus suurem ebahütlase terastikulise koostise juures. Kokkuvõttes oli betooni veepidavus suurem, kui kasutati tsementi CEM I [12].

Iirimaa teadlased L. Basheer, P.A.M. Basheer ja A.E. Long uurisid jämetäitematerjali mõju betooni läbilaskvusele, vastupidavusele ja mikrostruktuuri omadustele. Oma uuringu käigus jõudsid nad järelduseni, et mida suurem on keskmine täitematerjali terasuurus, seda suurem on betooni õhu läbilaskvus [13]. Uuringu tulemusi ilmestab joonis (Joonis 1.1.3.1).



Joonis 1.1.3.1: Täitematerjali keskmise tera suuruse ja õhu-läbilaskvuse suhe [13]

1.1.4 Lisandite mõju betooni veepidavusele

Betooni valmistamisel kasutatakse lisaks veele, tsemendile ja täitematerjalidele erinevaid lisandeid, et parandada või muuta betoonisegu omadusi, muuta paigaldusomadusi ja kivinemisaega, muuta betoon sobivaks keskkonnatingimustele.

Lisandid on jagatud rühmadeks nende omaduste järgi: plastifikaatorid, mis muudavad betoonisegu vedelamaks ilma vett lisamata, ehk vesi-tsementtegurit muutmata; superplastifikaatorid, mis on eelmisega samade omadustega, kuid efektiivsemad; tardumise ja kivinemise kiirendajad ning aeglustajad; õhu manustajad, mille abil moodustuvad betoonis ühtlaselt jaotuvad väikesed õhumullid; õhku väljaviivad lisandid, mis muudavad betooni tihedamaks, ehk suurendavad selle vedeliku- ja gaasipidavust [14].

Õhku välja viivaid lisandeid on erinevaid. Erinevused seisnevad peamiselt nende koostises ja doseerimises, mis on tootjate kaupa erinevad. Tänapäeval kasutatakse betooni veepidavuse tõstmiseks lisandeid, mis aitavad kristallidega kinni kasvatada betoonis kapillaare ja mahukahanemistest tingitud pragusid [15]; silikaatlisandeid, mis suurendavad betooni tihedust ja vähendavad poorsust [16]; lendtuhka ja kõrgahjuräbu, mis samuti vähendavad betooni poorsust ja suurendavad tihedust [17]; polümeerlisandeid, nagu näiteks lateksid ja akrüülid, mis tihendavad betooni struktuuri ja aitavad luua betoonis vett pidavaid kihte [18]; hüdrofoobseid lisandeid, mis katavad betooni poorid hüdrofoobse kihiga ja takistavad vee tungimist betooni [19].

Horvaatia teadlaste A. Gojević, I. Netinger Grubeša, A. Baričević, I. Banjad Pečur ja Sloveenia teadlase V. Ducman ühistööna valminud artiklis uuriti kristalliliste lisandite mõju betooni ise-tervenemisele ja läbilaskvusele. Katsekehad valmistati nii kristallilise lisandiga kui ka ilma kahe vesi-tsementteguri juures, 0,45 ja 0,55 ning tsemendina kasutati CEM I 42,5 R. Määrati katsekehade survetugevused vastavalt EN 12390-3 ja vee läbitungimissügavused vastavalt EN 12390-8. Tulemusi ilmestab tabel (Tabel 1.1.4.1), millelt on näha, et lisand ei mõjutanud oluliselt katsekehade survetugevust, kuid vähendas vee läbitungimissügavust [15].

Tabel 1.1.4.1: Kristallilise lisandiga ja ilma valmistatud katsekehade karakteristikud [15]

Karakteristik	V/T			
	0,45		0,55	
	-	Lisandiga	-	Lisandiga
Survetugevus [MPa]	50,9±1,4	49,3±0,8	44,6±1,8	43,5±1,1
Vee läbitungimissügavus [mm]	24±2	19±4	30±8	27±4

Vesitsementteguriga 0,55 ja kristallilise lisandiga katsekeha puhul vaadeldi ka visuaalselt ühe tekkinud praod paranemist, mida ilmestab foto (Foto 1.1.4.1). Fotolt on näha, et lisand on toiminud ja pragu on pea täielikult kinni kasvanud [15].



Foto 1.1.4.1: Pragu katsekehas enne (a) ja pärast (b) "kinni kasvamist" [15]

1.1.5 Betooni paigalduse ja järelhoolduse mõju betooni veepidavusele

Betooni veepidavuse tagamise väga olulisteks teguriteks on paigalduse ja järelhoolduse kvaliteet. Vett pidava betooni paigaldusel tuleb hoolikalt jälgida tihendamist, kuna vale tehnika juures suureneb pooride hulk betoonis, väheneb tihedus ja betooni läbilaskmatus. Järelhooldusel on oluline jälgida, et betoon oleks kivistumise ajal niisutatud, et tagada täielik hüdratatsioon. Betooni tuleb katta ehituskilega, et segus olev vesi välja ei auruks. Betooni tuleb kasta kohe, kui betooni pinda kastmine ei riku, et tsemendil oleks reageerimiseks piisavalt vett ja ei tekiks mahukahanemise pragusid. Kui eelnevalt mainitud variante teostada ei saa, siis tuleb kasutada vedelaid järelhooldusaineid, mis tekitavad betooni pinnale niiskustõkke ja hoiavad segus oleva vee betoonis, ega lase sel välja kuivada. Olenevalt aastaajast ja paigaldus-keskkonnast tuleb jälgida ka kivistumistemperatuuri, ehk näiteks talviti tuleb betooni kivistumise ajal soojendada. Vale või puuduliku järelhoolduse tõttu ei reageeri tsement täielikult veega, suurenevad mahukahanemised ja tekivad praod, mida mööda saab liikuda vesi. Vett pidava betooni paigaldusel seinatarinditesse tuleb betoonikihi paksus valamisel hoida maksimaalselt 300 mm [20].

Austria teadlased L. Ptacek, A. Strauss, C. Bos ja M. Peyerl ning Argentiina teadlane R. Torrent koostasid uurimistöo, kus nad uurisid betooni gaasi läbilaskvuse sõltuvust betooni järelhooldusest. Nad määrasid betooni gaasi läbilaskvuse koefitsiendi kT (10^{-16}

m²) kolme erineva betoonisegu puhul. Betooni pealispinna kvaliteediklassi ja gaasi läbilaskvuskoeffitsiendi sõltuvust kirjeldab tabel (Tabel 1.1.5.1) [21].

Tabel 1.1.5.1: Betooni pealispinna kvaliteediklassid vastavalt gaasi läbilaskvuskoeffitsiendile [21].

Betooni pealispinna kvaliteediklass		kT 28-päeva vanuselt [10 ⁻¹⁶ m ²]
Väga hea	1	kT < 0,01
Hea	2	0,01 ≤ kT < 0,1
Normaalne	3	0,1 ≤ kT < 1,0
Halb	4	1,0 ≤ kT < 10
Väga halb	5	kT ≥ 10

Betoonisegud jagati tüüpideks B3(keemiliselt neutraalne keskkond), B5(keemiliselt agressiivne keskkond) ja BS1C(vett pidavad konstruktsioonid, keemiliselt agressiivne keskkond). Tüüpide kaupa määrati 28-päeva vanuste katsekehade gaasi läbilaskvuskoeffitsient sõltuvalt järelhoolduse teostamise kestusest. Katsetulemusi ilmestab tabel (Tabel 1.1.5.2), kust on iga betoonisegu tüübi pealt näha, et puudulik järelhooldus suurendab betooni gaasi läbilaskvust [21].

Tabel 1.1.5.2: Betooni gaasi läbilaskvuse sõltuvus järelhoolduse kvaliteedist ja teostamise ajast [21].

Betooni tüüp	Järelhoolduse liik	Järelhoolduse kestvus	Gaasi läbilaskvus [10^{-16} m^2]				
			Väga madal	Madal	Keskmine	Kõrge	Väga kõrge
B3	Korrektne järelhooldus	1 päev			+		
		4 päeva			+		
		7 päeva		+			
	Ilma järelhoolduseta	1 päev			+		
		4 päeva			+		
		7 päeva			+		
	Vale järelhooldus	1 päev				+	
		4 päeva				+	
		7 päeva				+	
B5	Korrektne järelhooldus	1 päev		+			
		4 päeva		+			
		7 päeva		+			
	Ilma järelhoolduseta	1 päev		+			
		4 päeva		+			
		7 päeva		+			
	Vale järelhooldus	1 päev			+		
		4 päeva			+		
		7 päeva			+		
BS1C	Korrektne järelhooldus	1 päev			+		
		4 päeva			+		
		7 päeva			+		
	Ilma järelhoolduseta	1 päev			+		
		4 päeva			+		
		7 päeva			+		
	Vale järelhooldus	1 päev				+	
		4 päeva				+	
		7 päeva				+	

1.1.6 Betooni veepidavuse parendamise meetodid peale segu paigaldamist

Pinnaseveetasemest madalamale ehitades on tavaline, et näiteks aasta peale betoonist välisseinte valamist võivad tekkida nende pinnale märjad laigud seinas olevate tühimike tõttu või seintesse praod, kust hakkab vesi läbi immitsema. Need võivad tekkida erinevatel põhjustel ning valmistavad väga ebameeldivaid olukordi eelkõige ehitise kasutajale. Sellised praod ja tühimikud võivad tekkida ka siis, kui on kasutatud lisandiga vett pidavat betooni, mille on paigaldanud oma ala professionaalid.

Vett pidavate tarindite ehitusel tuleb lähtuda nii projekteerimisel kui ka ehitusel reeglist, et pragude laius tohib olla maksimaalselt 0,1 mm. Pragunemise ja tühimike tekkimise põhjuseid on mitmeid. Esmalt peab nii betoonisegu, paigaldus kui ka järelhooldus vastama nõuetele, et selliseid probleeme vältida. Veel võivad olla pragunemise põhjusteks erinevad keemilised, termilised või mehaanilised mõjud. Tühimikke ja pragusid saab tagantjärgi parandada injekteerimise teel, pragusid saab parandada ka kinni valamise teel [22].

Injekteerimine on betoontarindis asetsevate tühimike ja pragude surve all pumbaga täitmine läbi tarindisse puuritud aukudesse paigaldatud või seintele kleebitud pakkerite, ehk täiteniplite. Pragusid ja tühimikke täidetakse injekteerimise teel järgmiste toodetega [22]:

- 1) Epoksüvaigud (EP) – headeks omadusteks on hea injekteeritavus, kõvastumisel maht ei muutu, hea nake betooniga, kiire kõvastumisprotsess, pikaajaline vastupidavus. Sobivad pragude tihendamiseks ja jõudu üle kandvaks pragude täiteks, kui prao laius on konstantne. Kõvastuvad tahkeks.
- 2) Elastsed polüuretaanvaigud (PUR) – headeks omadusteks on hea injekteeritavus, kõvastumisel maht ei muutu, hea nake betooniga, reaktiivsed ja elastsed, veega kokkupuude ei kahjusta, saab kasutada veepidavuse tagamiseks. Sobivad pragude tihendamiseks, ei sobi jõudu üle kandvaks pragude täiteks.
- 3) Kiirpaisuvad polüuretaanvaigud (SPUR) - kasutatakse eelinjekteerimiseks, ei jäta püsivalt vett pidavat mõju. Koosneb isotsünaatkomponendist ja katalüsaatorist. Veega kokkupuutel paisub kiiresti, moodustab peenpoorse vahu. Vajalik teostada põhiinjekteerimine PUR vaiguga.

- 4) Tsementsuspensioonid (ZS) ja -pastad (ZL) – Peamiselt mineraalsetest materjalidest koosnevad tooted (tsement, vesi, lisandid). Head omadused on hea injekeeritavus, stabiilne segu, kivistumisel mahumuutused puuduvad, hea nake betooniga, piisavalt kiire tugevuse kasv ajas. Halvad omadused on madal tõmbetugevus (injekteeritud praod ei talu koormust).
- 5) Injektsioongelid – Ei tõlgendata betooni paranduse tootena. Kasutatakse müüritiste veepidavuse tagamiseks ning kardin- ja sirminjekteerimiseks.

Valamise teel täidetakse horisontaalseid ning väikese kaldega betoonpindadel asetsevaid pragusid, õõnsusi ja poore. Täiteainet ei paigaldata surve all, ehk aine valgub pragudesse [22].

Pragude, pooride ja õõnsuste valamiseks kasutatakse järgmisi tooteid [22]:

- 1) Epoksüvaigud (EP) – prao laius $\geq 0,2$ mm;
- 2) Tsementsuspensioonidega (ZS) – prao laius $\geq 0,5$ mm;
- 3) Tsementpastadega (ZL) – prao laius $\geq 0,8$ mm.

1.2 Betoonkonstruktsioonide liitekohtade veepidavus

Betoonkonstruktsioonide ehitusel pinnasevee tasemest madalamale saab alati lisaks betoonile mõttekohaks konstruktsioonide liitekohtade veepidavus. Veepidavuse tagamiseks konstruktsioonide liitekohtades ning töövuukides kasutatakse erinevaid hüdroisolatsiooni tooteid, milleks on näiteks töövuugiprofiilid, PVC vuugilindid, paisuvad vuugilindid või injekeerimisvoolikud. Lekkivaid vuuke saab hiljem parandada samuti injekeerimisvaikudega.

1.2.1 Metallist töövuugiprofiilide kasutamine

betoonkonstruktsioonide töövuukide veepidavuse tagamiseks

Üheks betoonkonstruktsioonide veepidavuse tagamise võimaluseks on töövuugiprofiilide kasutamine. Oma olemuselt on need umbes 2-3 meetri pikkused rulli pakendatud 10-15 cm laiad metall-lehed (Foto 1.2.1.1), mis paigaldatakse konstruktsiooni armeeringusse enne betoonivalu või värskesse betooni betoonivalu ajal ning nende eesmärk on takistada vee liikumist konstruktsiooni liitekohta vahelt. Kannatavad pidevat veesurvet ja tsüklilist veesurvet. Kasutatakse sein-põrand, sein-sein, põrand-põrand, sein-vahelagi ja töövuugi liidetes. Igal tootjal on omad eripärad.

Metallprofiile kaetakse erinevate katetega, et tagada korrosioonikindlus ja tagada parem nake betooniga. Kattena kasutatakse näiteks bituumenit või polümeerset katet (Foto 1.2.1.2) ning katte valik sõltub keskkonnast, milles ehitis olema hakkab [23], [24].

Metallist töövuugiprofiilide positiivsed omadused autori teadmiste järgi:

- Tagavad veepidavuse ka kõrgetel veesurvetel (15 bar ja enam)
- Tagavad veepidavuse koheselt, ei vaja aega paisumiseks
- Ei ole paisumis/kahanemistsükleid sõltuvalt veesurve olemasolust, tagavad veepidavuse pidevalt
- Sobib nii pideva kui ka tsüklilise veesurvega keskkonda
- Vastupidav mehaanilisele koormusele

Metallist töövuugiprofiilide negatiivsed omadused autori teadmiste järgi:

- Korrosioonioht, mis vähendab profiili veepidavust (k.a kaetud profiilidel, kui kate on näiteks paigaldusel viga saanud)
- Keeruline paigaldus: kinnitatakse armatuuri külge, betoonivalu ajal võib paigast nihkuda ja ei taga veepidavust
- Töövuuki tekkinud prao korral ei paisu vastavalt prao suurenemisele

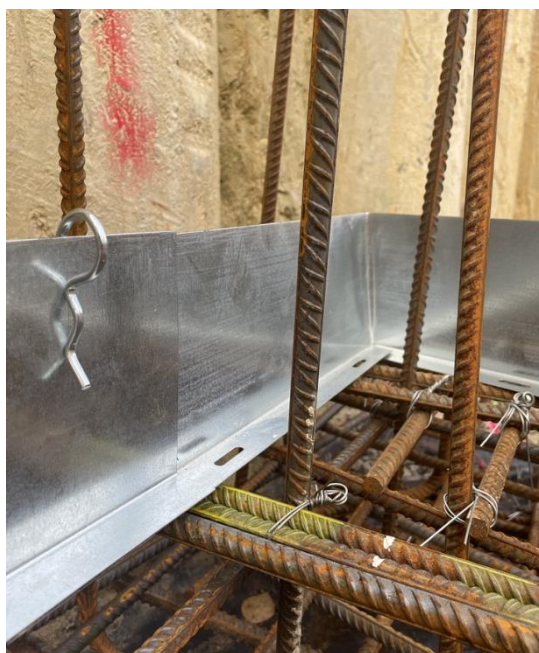


Foto 1.2.1.1: Põranda ja seina liitekohta paigaldatud metallist töövuugiprofiil [24]

Paigaldus armatuurile enne betoonivalu [23], [24]:

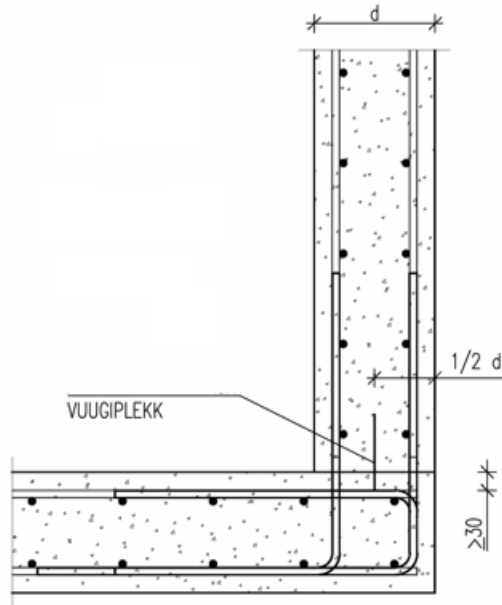
- 1) Metallprofiil rullitakse lahti, lõigatakse vajalikud pikkused.
- 2) Asetatakse vertikaalselt horisontaalse armatuuri peale, sein keskele (Joonis 1.2.1.1, Foto 1.2.1.1).
- 3) Vuugiprofiilid ühendatakse ilma katkestusteta. Liitekohad fikseeritakse vastavalt toote paigaldusjuhendile. Näide kinnitusklambritega teostatud liitekohast fotol (Foto 1.2.1.1, Foto 1.2.1.2).
- 4) Fikseeritakse vastavalt toote paigaldusjuhendile. Oluline jälgida, et lint jääks mõlemasse liidetavasse tarindisse piisavas mahus
- 5) Teostatakse betoonivalu ühele poolele liitest, nt pörand-sein liites pörandale (Foto 1.2.1.2).
- 6) Teostatakse betoonivalu teisele poolele liitest. Mida varem teostatakse teise tarindi valu, seda kindlamalt on vuuk vett pidav, kuna tarindid kahanevad mahus sarnaselt.

Olulised tähelepanekud:

Paigaldusel tuleb tähelepanelikult jälgida tootja poolset paigaldusjuhendit ja õigeid töövõtteid. Igal tootjal on näiteks ülekatete, liitekohtade teostus ja lindi armatuuri külge kinnitamine mõnel määral erinev. Näiteks olenevalt tootest tuleb ülekatted omavahel kas liimida, kleepida või kinnitada kinnitusklambritega.

Läbivad nõudmised on [23], [24]:

- lintide paigalduse võiks teostada välja õppinud personal;
- tuleb olla tähelepanelik, et profiile ei lõhuta, deformeerita;
- Betoneerimisel on tihendamine teostatud korrektselt;
- ei tohi paigaldada armatuurile, millele see ei toetu, liialt lähedale või vastu, kuna vesi liigub ka mööda armatuuri; armatuuri ja lindi vahele jäävad tühimikud.



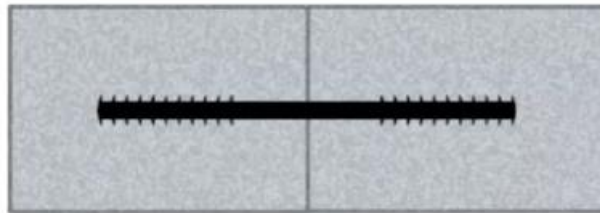
Joonis 1.2.1.1: Seina ja põranda liitekohta projekteeritud metallist vuugiplekk [25]



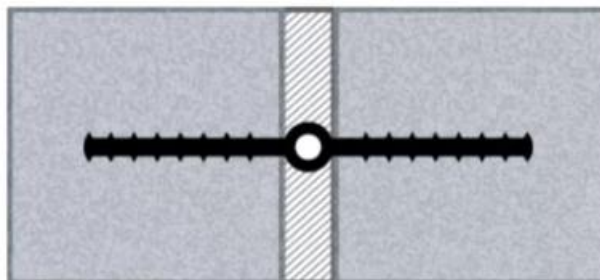
Foto 1.2.1.2: Põranda ja seina liitekohta paigaldatud polümeerse kattega metallist töovuugiprofiil [23]

1.2.2 PVC vuugilintide kasutamine betoonkonstruktsioonide töö- ja deformatsioonivuukide veepidavuse tagamiseks

PVC vuugilinte kasutatakse veepidavuse tagamiseks nii töövuukides kui ka deformatsioonivuukides. Need sobivad hüdrostaatilise survega keskkondadesse. Profiile on väga erinevaid sõltuvalt tootjast ja tööpõhimõttest, õige profiili konstruktsiooni jaoks valib välja projekteerija. Töövuugi lindid erinevad deformatsioonivuugi lintidest selle poolest, et töövuugi lintidel ei ole lindi keskosas deformeerumise jaoks tühimikku. Näidised profiilidest on välja toodud joonistel (Joonis 1.2.2.1, Joonis 1.2.2.2). Need sobivad sein-põrand, põrand-põrand ja sein-sein vett pidavate töö- ja deformatsioonivuukide ehituseks. Kuna materjaliks on PVC, on need lindid ka korrosioonikindlad ja sobivad keemiliselt agressiivsetesse keskkondadesse. Kasutusalaudeks on näiteks veepuhastusjaamad ja reoveepuhastid, tammid, reservuaarid, tugiseinad, vundamendid, tunnelid, sillatoed, mahutid ja plaatvundamendid [26].



Joonis 1.2.2.1: PVC vuugilindi profiil töövuugis (tootja „SIKA“ profiil „FLAT RIBBED“)[26]



Joonis 1.2.2.2: PVC vuugilindi profiil deformatsioonivuugis (tootja „SIKA“ profiil „RIBBED CENTERBULB“) [26]

PVC vuugilintide positiivsed omadused autori teadmiste järgi:

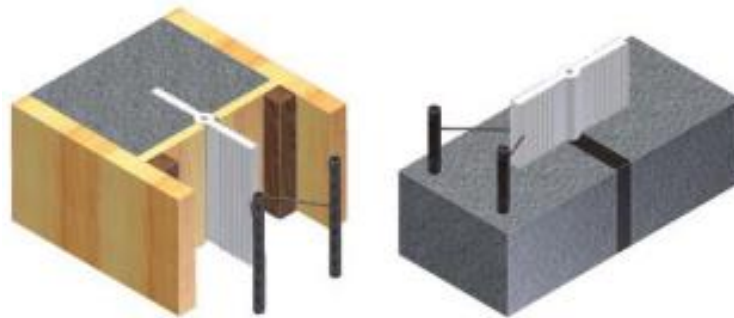
- Korrosioonikindlad, sobivad ka agressiivsetesse keskkondadesse;
- Olenevalt mudelist sobivad lisaks töövuukidele ka deformatsioonivuukidesse;
- Tagab pideva veepidavuse, ei paisu/kahane olenevalt veesurvest;
- Sobib nii pideva kui ka tsüklilise veesurvega keskkonda.

PVC vuugilintide negatiivsed omadused autori teadmiste järgi:

- Paigaldus keeruline, kuna lint fikseeritakse armatuuride külge enne betoonivalu, võib betoneerimise käigus nihkuda;
- ei ole UV kindel, muutuvad rabedaks ja veepidavus väheneb;
- oht paigaldatud linti enne betoonivalu mehaaniliselt vigastada.

Paigaldus armatuuri külge enne betoonivalu [27], [28], [29]:

- 1) Vuugilindi profiilid sulatatakse omavahel kokku, et tagada lindi piisav pikkus.
- 2) Vuugilint seotakse servadest armatuuri külge, et tagada selle püsivus betoonivalu ajal (Joonis 1.2.2.3).
- 3) Teostatakse esimene betoonivalu ühele poolele liitest (Joonis 1.2.2.3).
- 4) Teostatakse teine betoonivalu teisele poolele liitest (Joonis 1.2.2.3).



Joonis 1.2.2.3: Vuugilindi fikseerimine armatuuri külge (deformatsioonivuuk) [29]

Olulised tähelepanekud:

PVC linte tuleb hoida pikaajalise päikese eest varjatuna. Lindi paigaldusel tuleb jälgida, et lint oleks puhas, ei oleks armatuurile liiga lähedal ning oleks püsivalt fikseeritud. Tavapärane lindi ja armatuuri minimaalne vahekaugus on betoonisegu kahekordne maksimaalne terasuurus. Esimese betoneerimise ajal tuleb olla tähelepanelik, et lint paigast ei liiguks. Mõlema betoneerimise ajal tuleb jälgida, et lint ei oleks „kortsus“. Lindi ümbrus tuleb hoolikalt tihendada, et tagada lindi ja betooni omavaheline nake [27], [28], [29].

1.2.3 Paisuvate vuugilintide kasutamine betoon- konstruktsioonide töövuukide veepidavuse tagamiseks

Paisuvad vuugilindid (Foto 1.2.3.1, Foto 1.2.3.2) on valmistatud sünteetilisest kummisegust või bentoniidist ning neid kasutatakse betoonkonstruktsioonide töövuukides veepidavuse tagamiseks sein-sein, sein-põrand liidetes. Lisaks kasutatakse ka läbiviikude tihendamiseks seintes. Paigaldatakse töövuuki peale esimese konstruktsiooni poole valmimist ja enne teise poole betoonivalu. Lindid paisuvad kokkupuutel veega ja selle käigus sulgevad vee läbijooksu lekkekohast. Antud lindid kasvavad mahus mitmekordseks, näiteks tootja „BeSealed“ lint „POLYBAR+ superswell“ suudab kasvada kuni 3500% [30] ning lint „BENTOBAR+ Salt“ suudab kasvada kuni 550% [31]. Kuna paisumiseks kulub aega, siis võivad lekked algul tekkida, kuni lint on piisavalt paisunud, et peatada veeleke. Paisuvad lindid sobivad hästi surve- ja mittesurve vee keskkonda. Olenevalt tootjast ja mudelist, võib neid kasutada ka mere- ning reovee keskkonnas ning need tagavad konstruktsiooni veepidavuse ka peale mitmeid märg-kuiv tsükleid [32], [33].



Foto 1.2.3.1: Bentonidist paisuv töövuugilint [32]



Foto 1.2.3.2: Sünteetilisest kummisegust paisuv töövuugilint [33]

Paisuvate vuugilintide positiivsed omadused autori teadmiste järgi:

- Paigaldus lihtsam, kuna paigaldatakse juba valatud tarindile ja lint ei saa järgmise betoonivalu ajal kindlasti liikuda;
- suudavad paisuda enda mahust mitmekordseks;
- korrosioonikindlad, sobivad kasutuseks ka agressiivsetesse keskkondadesse;
- mahub paigaldama ka kitsastes oludes.

Paisuvate vuugilintide negatiivsed omadused autori teadmiste järgi:

- Vajavad aega paisumiseks, seega lekked võivad esialgu tekkida;
- veesurve kadumisel hakkavad mahus uuesti kahanema;
- peale mitut (oleneb tootjast ja mudelist) märg-kuiv tsükli enam ei toimi, linnid kõvastuvad;
- ei sobi keskkonda, kus lindile avaldub veesurve tsüklitena;
- liimitavaid linte saab paigaldada ainult kuival ajal.

Paigaldus [32], [33]:

- 1) Valmisolev konstruktsiooni osa puhastatakse.
- 2) Paigaldatakse vuugilint vastavalt valitud toote puhul nõutud paigaldusviisile. Tavapäraseks paigaldusviisideks on liimimine, paigaldus võrgu ja betoonikruvidega,
- 3) Kaitstakse lint veega kokkupuute eest enne järgmist betoonivalu.
- 4) Valatakse teine pool konstruktsioonist.

*Näidis korrektsest bentoniitlinde paigaldusest fotol (Foto 1.2.3.3).



Foto 1.2.3.3: Bentoniitlinde paigaldus sein-põrand liitekohta kasutades paigaldusvõrku ja betoonikruve [34]

Olulised tähelepanekud:

Oluline teostada nurkade lahendused, ülekatted ja valida paigaldusvahendid ja sobiv paigaldustemperatuur vastavalt valitud lindile ja selle juhendile. Lint peab olema pidev, ilma katkestusteta. Tuleb jälgida, et lint oleks mõlemalt poolt betooniga kaetud vähemalt 6 cm. Linte tuleb kaitsta vigastuste ning vee eest enne betoonivalu, kuna muidu alustavad need paisumist juba enne konstruktsiooni valmimist [32], [33].

1.2.4 Injekteerimise ja injekteerimisvoolikute kasutamine betoonkonstruktsioonide töövuukide veepidavuse tagamiseks

Injekteerimine:

Töövuukide hüdroisolatsiooni saab sarnaselt betoonis olevate tühimikega parandada injekteerimise teel. On olukordi, kus sein ja põranda liitekohtades olevad töövuugid on valesti projekteeritud ning töövuugid tuleb vett pidama saada tagantjärgi. Samuti on olukordi, kus vuuk on projekteeritud ja vuugilint paigaldatud õigesti, kuid ebapädevalt teostatud betoonitööst on tekkinud sein alaosasse, töövuugi juurde killustikupesaga ja betoon vuugilindi ümber on suure poorsusega ja vett ei pea. Sellistes olukordades saab töövuugi veepidavuse tagada injekteerimise teel [22]. Ühes Tallinnas asuvas alajaamas tekkis aastal 2015 olukord, kus põranda ja sein liitekoht, töövuuk, hakkas lekkima ning veepidavus saavutati polüuretaanvaigu injekteerimisel liitekohta (Foto 1.2.4.1) [35].

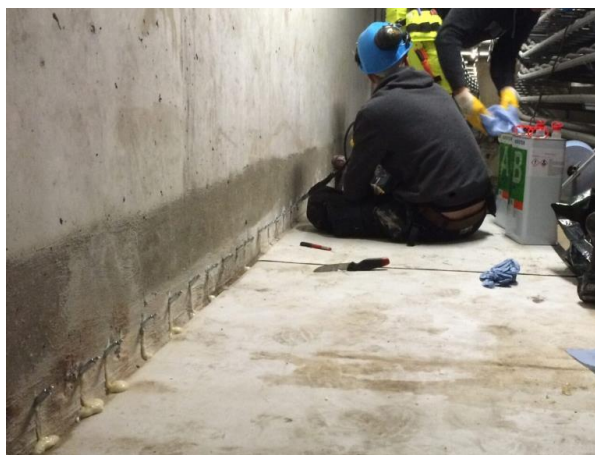


Foto 1.2.4.1: Elering AS alajaama töövuukide injekteerimine PUR-vaiguga Traveter Grupp OÜ poolt [35]

Injekteerimisvoolikud:

Injekteerimisvoolikud paigaldatakse ehitatavasse konstruktsiooni enne betoneerimist ning neid kasutatakse ennetava meetodina tarindite osades, kus pragude ja nendega kaasnevate veelekete tekkimise oht on suur, aga ligipääsetavus injekteerimiseks on halb. Voolikud paigaldatakse raudbetoonkonstruktsioonide sein-sein, sein-põrand ja põrand-põrand liitekohtadesse ning voolikute otsad tuuakse välja kuskile, kus on tagatud neile ligipääs. Voolikud ise ei ole hüdroisolatsiooniks, vaid kannavad edasi hüdrosoleerivat injekteerimisainet. Oma olemuselt on need perforeeritud voolikud, mööda mida jõuab injekteerimisaine tarindis kohta, kus on leke, ehk voolikust jookseb üle näiteks pragu ja injekteerimisaine pääseb läbi väljalaskeava õigesse kohta. Paigaldusel tuleb jälgida, et injekteerimisvoolikud oleks korralikult fikseeritud; vooliku ristlõige oleks piisav materjali edasi kandmiseks; tsemendipiim ei voola betoneerimise ajal voolikusse [22]. Näide on fotol (Foto 1.2.4.2).



Foto 1.2.4.2: Töövuuki paigaldatud injekteerimisvoolik [34]

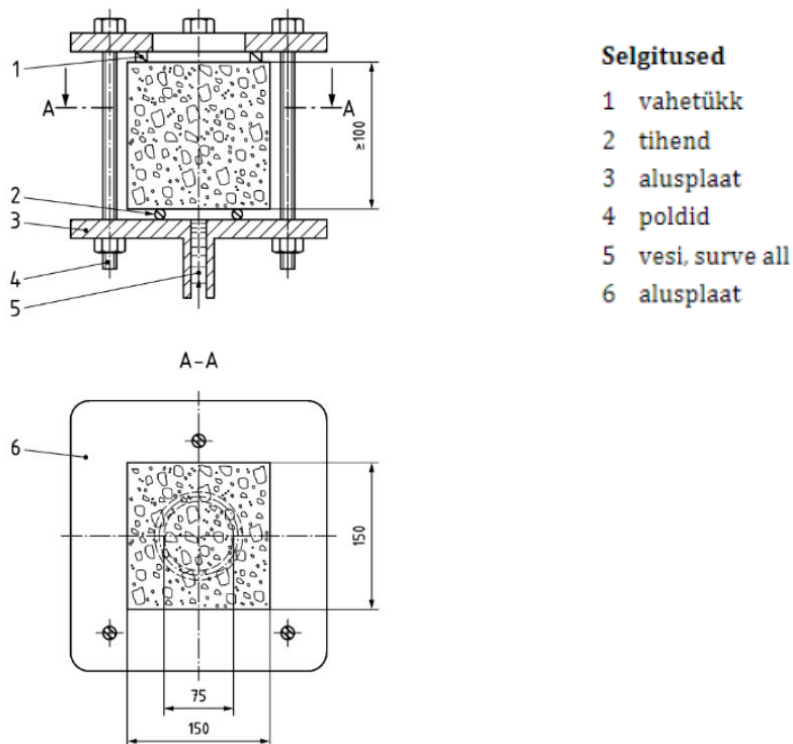
1.3 Veepidavuse katsetamise meetodid

Betooni ning betoonkonstruktsioonide liitekohtade veepidavuse katsetamiseks kasutatakse erinevaid meetodeid. Meetodid sõltuvad katsetingimustest, ajast millal tulemusi on vaja ning riigist, kus katseid teostatakse.

1.3.1 Betooni veepidavuse määramine EVS-EN 12390-8:2019 järgi

EVS-EN 12390-8:2019 [36] – Kasutatakse Eestis ja mujal Euroopas. Katse tulemusel määratakse betooni veepidavus vee sissetungimissügavuse järgi katsekehasse.

- **Katsekeha:** kuup, silinder, prisma. Katsetatava pinna läbimõõt või serva pikkus on vähemalt 150 mm ning ülejäänud mõõdud ei ole väiksemad, kui 100 mm.
- **Katse käik:** vähemalt 28-päeva vanusele kivistunud betoonist katsekeha pinnale avaldatakse läbi katseseadme (Joonis 1.3.1.1) veesurve $5 \pm 0,5$ bar 72 ± 2 tunniks. Peale katse sooritamist poolitatakse katsekeha risti selle pinnaga, millele avaldati veesurve. Mõõdetakse katsekehasse imbunud vee sügavus. Betoon peab vett, kui vee sissetungimise sügavus on kuni 100 mm [36].



Joonis 1.3.1.1: EVS-EN 12390-8:2019 katseseade [36]

1.3.2 Betooni veepidavuse määramine ASTM C1585-20 järgi

ASTM C1585-20 [37]– kasutatakse Ameerika Ühendriikides. Katse tulemusel määratakse, kui palju vett imbub katse käigus kapillaaride kaudu katsekehasse teatud aja jooksul, ehk määratakse betooni veeimavus. Katse tulemuse põhjal saab hinnata betooni poorsust ja niiskuspidadavust.

- **Katsekeha:** silinder läbimõõduga 100 ± 6 mm ja kõrgusega 50 ± 3 mm [37].
- **Katse käik:** vähemalt 28 – päevane katsekeha kuivatatakse, ehk asetatakse kolmeks päevaks kambrisse, kus on temperatuuriks 50 ± 2 °C ja suhteliseks õhuniiskuseks $RH80 \pm 3\%$. Seejärel asetatakse katsekeha suletavasse karpis ning karpis hoiustatakse temperatuuril 23 ± 2 °C. Peale katsekeha kuivatamist see kaalutakse ning asetatakse vette vastavalt joonisele (Joonis 1.3.2.1). Katse käigus kaalutakse katsekeha pidevalt kindla aja möödudes vastavalt tabelile (Tabel 1.3.2.1) kuni 9 päeva jooksul. Määratakse katsekeha massi kasv ning arvutatakse imendumine I [mm] (Valem 1) igal ajahetkel [37].

Valem 1 vee imendumise I arvutamiseks:

$$I = \frac{m_t}{a \cdot \rho} \quad (1)$$

kus:

I – imendumine [mm];

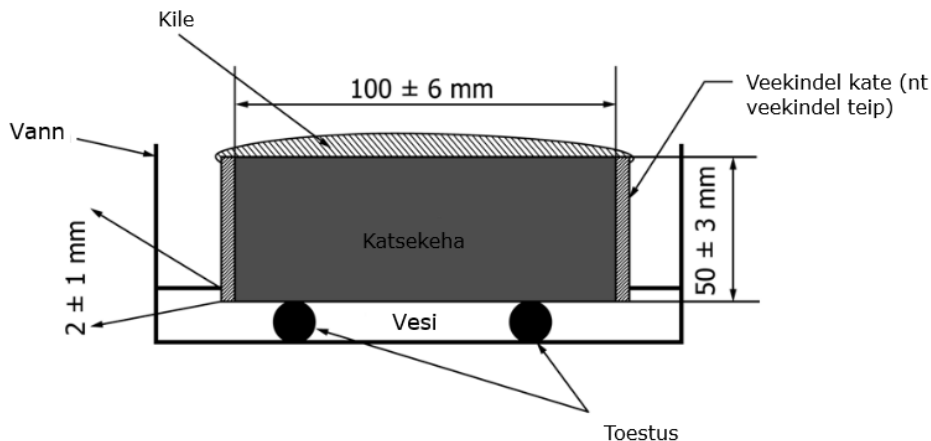
m_t – katsekeha massimuutus ajahetkel t [g];

a – veega kokkupuutes oleva ala pindala [mm²];

ρ – vee tihedus [g/mm³].

Tabel 1.3.2.1: Katsekeha kaalumise ajahetked ASTM C1585-20 katse järgi [37]

Aeg	60 s	5 min	10 min	20 min	30 min	60 min	Iga tund – 6h	Kord päevas – 3p	3 mõõtmist 24h vahega – 4-7p	1 mõõtmine – 7-9p
Tolerants	2s	10s	2min	2min	2min	2min	5min	2h	2h	2h



Joonis 1.3.2.1: ASTM C1585-20 katseseade skeem [37]

1.3.3 Betooni veepidavuse määramine GOST 12730. 5-84 järgi

GOST 12730. 5-84 [2] – Venemaa standard betooni veepidavuse määramise meetodite kohta, mida hetkel kasutatakse ka muudes endistes Nõukogude Liidu riikides (k.a Eesti). Meetodite põhjal teostatud katsete vastused määravad betooni veepidavuse klassi (W2-W12), kus numbriline väärtus näitab vee survet ühikus [bar].

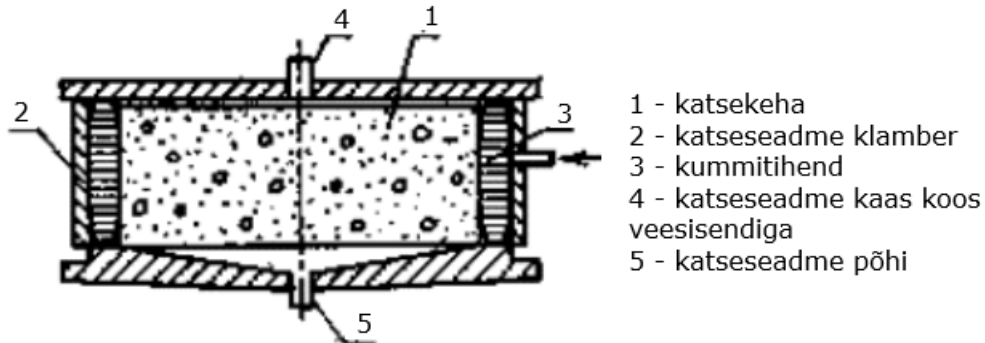
Betooni veepidavuse määramise meetoditeks on [2]:

- veepidavuse määramine „märja laigu“ meetodil (kasutatakse Eestis);
- veepidavuse määramine filtratsioonikoefitsiendi meetodil;
- veepidavuse määramine filtratsioonikoefitsiendi järgi kiirendatud meetodil;
- veepidavuse määramine õhuläbilaskvuse järgi kiirendatud meetodil.

„Märja laigu“ meetod [2]:

- **Katsekeha:** Silinder läbimõõduga 150 mm. Kõrgus valitakse vastavalt katseseadmele ning ajale, mil katse tehtud saama peab: 150, 100, 50 või 30 mm [2].
- **Katse käik:** 6 katsekeha kivinevad vähemalt 28 päeva kambris temperatuuriga 20 ± 2 °C ja suhtelise õhuniiskusega vähemalt RH95%. Enne katsetamist võetakse katsekehad 24 tunniks kambrist välja, et need saaksid tavalises labori keskkonnas kuivada. Katsekehad asetatakse katseseadmesse ja kinnitatakse külgedelt nii, et nende alumisele küljele saab avaldada veesurvet ja ülemine külg on nähtav. Katseseadmeks sobib filtratsioonimooduli meetodi katseseade, aga tagurpidi ja ilma põhjata (Joonis 1.3.3.1). Katsekehadele avaldatakse veesurve ning seda tõstetakse 2 bar kaupa. Iga veesurvet hoitakse katsekehade kõrgusele

vastava aja jagu: 150 mm kõrged katsekehad 16h, 100 mm kõrged 12h, 50 mm kõrged 6h, 30 mm kõrged 4h. Katset teostatakse, kuni katsekehade peal on kas märg laik või veetilgad. Veepidavuse klass määratakse veesurve järgi, mille juures 4 katsekeha kuuest olid veel pealt kuivad: 2 bar = W2, 4 bar = W4, ..., 12 bar = W12 [2].



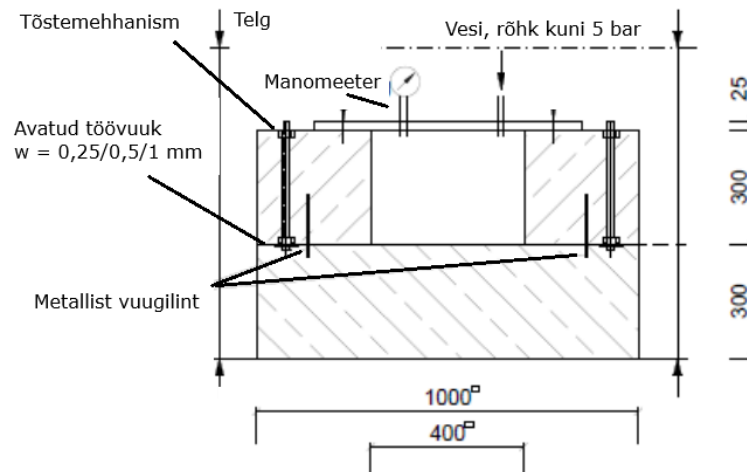
Joonis 1.3.3.1: GOST 12730. 5-84 katseadme skeem [2]

1.3.4 Betoonkonstruktsioonide liitekohtade veepidavuse määramine EAD järgi (metallist vuugilindid)

EAD 320002-02-0605 [38] – EAD (*European Assessment Document*), ehk antud Euroopa hindamisdokument on juhend metallist vuugilintide toimivuse katsetamiseks betoonkonstruktsioonides. Selle põhjal teostatakse katse, mille käigus hinnatakse metallist vuugilintide toimivust ja veepidavust erinevate prao suuruste korral.

- **Katsekeha:** Seest tühi betoonkonstruktsioon (Joonis 1.3.4.1), mis on valatud kahes järgus, esmalt põhjaplaat ja seejärel seinad. Põhjaplaadi mõõtmed on 1000x1000x300 mm, seinte kõrgus on 300 mm ning seinte keskele jääb tühimik vee jaoks mõõtmetega 400x400x300 mm. Põhjaplaati paigaldatakse enne betoonivalu metallist töövuugiprofiil (kaetud bituumeni, mineraalse, sünteetilise või polümeerse kattega). Seinte sisse konstrueeritakse tõstemehhanism, et katse käigus oleks võimalik kontrollitult avada põhjaplaadi ja seinte vahele tekkinud töövuuki. Seinte külge kinnitatakse veetihedalt konstruktsiooni katseks metallplaat, milles on avad rõhu mõõtmiseks ja vee katsekehasse pumpamiseks. [38].
- **Katse käik:** Valatakse katsekeha põhjaplaat, peale selle mõne päevast kivinemist valatakse seinad. Peale seinte valamist kivineb katsekeha 28 päeva normaaltingimustel (20 °C ja RH95%). Peale laeplaadi paigaldamist lastakse

katsekehasse sisse vesi. Tõstemehhanismi abil tekitatakse põhjaplaadi ja seinte vahele pragu (0,25; 0,5 või 1 mm). Veerõhk tõstetakse kahe nädala jooksul 5 bar-ni, peale mida hoitakse katsekeha antud rõhu all neli nädalat, et olla kindel konstruktsiooni veepidavuses. Töövuugi veepidavust hinnatakse visuaalselt. Katse käigus arvestatakse veesamba varuteguriks 2,5 (2,5 bar = 10 meetrit veesammast [38]).



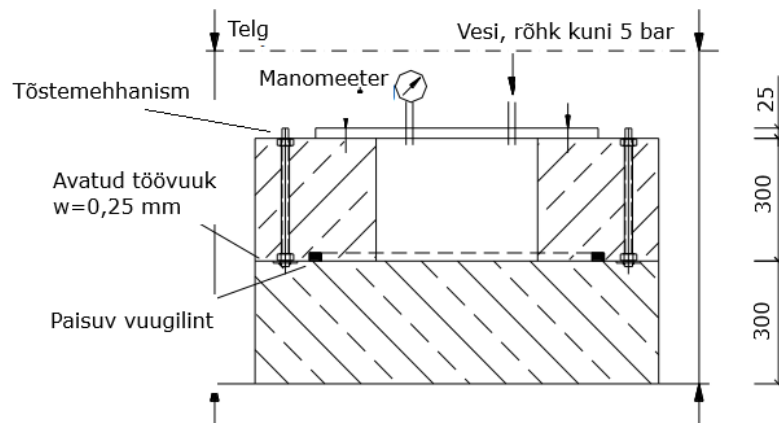
Joonis 1.3.4.1: EAD 320002-02-0605 metallist vuugilindiga katsekeha [38]

1.3.5 Betoonkonstruktsioonide liitekohtade veepidavuse määramine EAD järgi (paisuvad vuugilindid)

EAD 320008-01-0605 [39] – Antud Euroopa hindamisdokument on juhend paisuvate vuugilintide toimivuse katsetamiseks betoonkonstruktsioonides. Selle põhjal teostatakse katse, mille käigus hinnatakse paisuvate vuugilintide toimivust ja veepidavust erinevate prao suuruste korral.

- **Katsekeha:** Seest tühi betoonkonstruktsioon (Joonis 1.3.5.1), mis on valatud kahes järgus, esmalt põhjaplaat ja seejärel seinad. Põhjaplaadi mõõtmed on 1000x1000x300 mm, seinte kõrgus on 300 mm ning seinte keskele jääb tühimik vee jaoks mõõtmetega 400x400x300 mm. Põhjaplaadile paigaldatakse enne seinte betoonivalu paisuv vuugilint. Seinte sisse konstrueeritakse tõstemehhanism, et katse käigus oleks võimalik kontrollitult avada põhjaplaadi ja seinte vahele tekkinud töövuuki. Seinte külge kinnitatakse veetihedalt konstruktsiooni katuseks metallplaat, milles on avad rõhu mõõtmiseks ja vee katsekehasse pumpamiseks [39].

- Katse käik:** Valatakse katsekeha põhjaplaat, peale selle kahe nädalast kivinemist paigaldatakse lint ja valatakse seinad. Peale seinte valamist kivineb katsekeha 28 päeva normaaltingimustel (20 °C ja RH95%). Peale laeplaadi paigaldamist lastakse katsekehasse sisse vesi. Tõstemehhanismi abil tekitatakse põhjaplaadi ja seinte vahele pragu (0,25 mm). Vett hoitakse katsekehas ilma surveta kolm päeva, seejärel tõstetakse rõhku 0,2 bar jagu 1 bar – ni. Hoitakse rõhku 1 bar peal kolm päeva. Tõstetakse 1 bar jagu kuni 5 bar – ni ja hoitakse sel rõhul kaks nädalat. Hinnatakse visuaalselt töövuugi lekkimist. Katsetuse järel kuivatatakse katsekeha kuivatuskapis 6 nädalat, normaaltingimustes 8 nädalat. Katsetsüklit korratakse kolm korda. Töövuugi veepidavust hinnatakse visuaalselt. Katse käigus arvestatakse veesamba varuteguriks 2,5 (2,5 bar = 10 meetrit veesammast [39]).



Joonis 1.3.5.1: EAD 320008-01-0605 paisuva vuugilindiga katsekeha [39]

2. KATSELINE OSA

2.1 Eesmärk ja katseplaan

Magistritöö eesmärk on määrata erinevate Eestis kasutusel olevate metallist töövuugiprofiilide ja paisuvate töövuugilintide paigaldusel saavutatavad töövuukide veepidavused. Lisaks määratakse erinevate lisanditega valatud betoonide veepidavused, paisuvate vuugilintide mahumuutused ajas ning keskkonnamõju erineva kattega metallist töövuugiprofiilidele.

Katsete teostamiseks on valmistatud katsekehad, mille projekteerimisel võeti eeskuju Primostar OÜ katsekehade joonistest, Euroopa tehnilistest kirjeldustest EAD 320002-02-0605 (metallist töövuugiprofiilid) ja EAD 320008-01-0605 (paisuvad töövuugilindid). Sarnaselt standardile EVS-EN 12390-8:2019 määratakse betooni veepidavus ning hinnatakse lisandi toimivust vee sissetungimissügavuse järgi. Erinevus standardist seisneb katsekeha läbimõõdus (150 mm asemel 100 mm), katserõhus (konstantse 5 bar asemel 1-15 bar) ja ajas (3 päeva asemel 25 päeva).

2.1.1 Katsetatavad materjalid

Lisandid

- **Schomburg Betocrete CP360WP** – Kristalliline lisand, mille tootjaks on Saksamaa ettevõtte Schomburg. Lisandi eesmärk on suurendada betooni veepidavust, ehk kasvatada kinni betoonis olevaid pragusid läbimõõduga kuni 0,5 mm. Sobib kasutamiseks erinevate veepidavust vajavate konstruktsioonide ehitusel, nagu näiteks keldrid, mahutid, lifti šahtid. Sobib kasutamiseks ka reovee keskkonnas. Pulber lisatakse betoonisegusse betoonitehases või objektil segurautos. Talvisel betoneerimisel ei kasutata, töötlemise temperatuur on minimaalselt 5 °C. Materjali kulu ühe m³ kohta on välja toodud tabelis (Tabel 2.1.1.1) [40].

Tabel 2.1.1.1: Betocrete CP360WP kulu 1 m³ betooni kohta [40]

Vesi-tsementtegur	Doseering
< 0,4	0,75% tsemendi koguse kohta
0,4-0,5	0,80% tsemendi koguse kohta
0,5 - 0,55	0,90% tsemendi koguse kohta

- **SL Protection ConProtect WP1** – Nano tehnoloogial põhinev kristalliseeruv betoonilisand, mille tootjaks on Eesti ettevõtte SL Protection OÜ. Lisandi eesmärk on suurendada betooni veepidavust, ehk kasvatada kinni praod maksimaalse läbimõõduga 0,5 mm. Suurendab betooni kloriidi- ja sulfaadikindlust. Kasutatakse erinevate betoonkonstruktsioonide ehituseks, mis vajavad veepidavust. Sobib kasutamiseks ka merevees või reovees asuvate konstruktsioonide ehituseks. Vedelik lisatakse betoonisegusse betoonitehases. Vajalik kogus on 1% tsemendi kaalust ning betoonisegu vee kogust tuleb lisandi arvelt vähendada [41].

Metallist töövuugiprofiilid

- **WPM Polümeer ja WPM Bituumen** – 125 mm laiad galvaniseeritud terasest töövuugiprofiilid, mida toodab Eesti ettevõtte Primostar Tootmine OÜ. Profiilid on kaetud polümeerse (Foto 2.1.1.2)/bituumenkattega (Foto 2.1.1.1). Polümeerne kate tagab täieliku nakke betooni ja töövuugiprofiili vahel. Bituumenkate kaitseb linti keemiliselt agressiivsetes keskkondades. Kasutatakse töövuukide veepidavuse tagamiseks sein-sein, sein-põrand, põrand-põrand liidetes. Sobivad paigaldamiseks survealise veega keskkonda, katsetatud survele 15 bar [42].

Paigaldada võib kahel viisil: valatakse betoon ning lint paigaldatakse värskesse betooni, töövuugi keskele; lint paigaldatakse armatuurile töövuugi keskele paigaldusfiksaatoreid kasutades enne betoonivalu. Linti liitekohtade ülekatted peavad olema 10 cm pikkused ning need liimitakse kokku ja fikseeritakse tootega kaasas olevate vahenditega [42].



Foto 2.1.1.2: WPM polümeerkattega töövuugiprofiil [autori erakogu]



Foto 2.1.1.1: WPM bituumenkattega töövuugiprofiil [autori erakogu]

- **Ankox FleeceproofX 1** – 140 mm lai metallist töövuugiprofiil (Foto 2.1.1.3), mida toodab Saksamaa ettevõtte Ankox. Profiil on ühelt poolt kaetud fliiskattega, mis tagab täieliku nakke betooniga. Fliiskattele on lisaks ka polümeerkate, mis veega kokkupuutel paisub. Töövuugiprofiil tagab töövuukides tänu oma fliis- ja polümeerkattele kahekordse kaitse veelekete vastu. Kasutatakse sein-sein, sein-põrand, põrand-põrand liidete veepidavuse tagamiseks. Tootelehel ei ole märgitud maksimaalset veesurvet, mille juures profiil tagab töövuugi veepidavuse [43]

Profiil paigaldatakse armatuurile, töövuugi keskele paigaldusfiksaatoreid (tootega kaasas) kasutades enne betoonivalu. Fliisiga kaetud külg on vee sissetungimise poolel. Liitekohad kinnitatakse spetsiaalsete, tootega kaasas olevate ühendusklambritega [43]

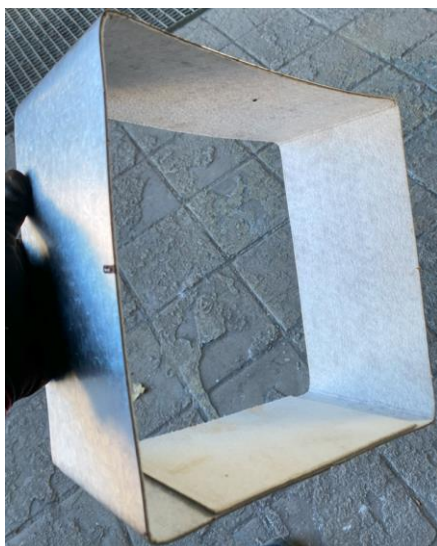


Foto 2.1.1.3: Ankox fliisist kattega töövuugiprofiil [autori erakogu]

Paisuvad töövuugilindid

- **BeSealed Bentobar+ 20x25** – Naatriumbentoniidist ja butüülkummist koosnev vees paisuv vuugilint (Foto 2.1.1.4), mida toodab Belgia ettevõtte BeSealed. Lint paisub kokkupuutel veega ning kuivades kahaneb. Oma algkuju taastab lint peale kolme märgumise tsükli. Vihmavees kasvab mahus 400% ja tsemendivees 150%. Korduvate märgumiste järel eemaldub osa lindi materjalist ümbritsevasse keskkonda. Toimivus on tagatud ka keemiliselt agressiivsetes keskkondades. Kasutatakse töövuukide veepidavuse tagamiseks sein-sein, sein-põrand, põrand-põrand liidetes. Sobib ka survealise vee keskkonda maksimaalse veesurvega 6 bar [32].

Paigaldatakse valminud poolele töövuugist ning seda võib teha kahel viisil: tootjapoolse paigaldusliimiga nii, et liidete ülekatted on 5-10 cm; paigaldusvõrgu ja betoonikruvidega, liited kas ülekattega või pökkühendusega. Paigaldusel peab õhutemperatuur olema vähemalt 0 kraadi [32].



Foto 2.1.1.4: BeSealed Bentobar+ 20x25 bentooniitlint[autori erakogu]

- **BeSealed Polybar+ RP** - Sünteetilisest kummisegust koosnev vees paisuv vuugilint (Foto 2.1.1.5), mida toodab BeSealed. Paisub kokkupuutel veega ning säilitab elastsuse ka peale mitmeid märgumise tsükleid. Kasvab töövuuki paigaldatuna mahus vihmaveega kokkupuutel 7 päeva jooksul 100%, lõplik paisumine on 250%. Tsemendivees kasvab mahus kuni 200%. Kasutatakse töövuukide veepidavuse tagamiseks sein-sein, sein-põrand, põrand-põrand liidetes ning näiteks torude läbiviikudes. Sobib ka survealise vee keskkonda maksimaalse veesurvega 6 bar [33].

Paigaldatakse valminud poolele töövuugist kasutades liimi ja betoonikruve. Torude läbiviikude tihendamiseks kasutatakse paigaldusel liimi ja sidumistraati. Sobib kasutamiseks ka talvel. On ilmastikukindel, kuna on kaetud vihmakaitsega [33].



Foto 2.1.1.5: BeSealed Polybar+ RP sünteetilisest kummissesgust lint[autori erakogu]

- **WFP Swelling Rubber Profile** – Kummissesgust koosnev vees paisuv vuugilint (Foto 2.1.1.6), mida toodab Saksamaa ettevõtte Waterproofing For Professionals. Paisub kokkupuutel veega kuni 430%. Kasutatakse töövuukide veepidavuse tagamiseks peamiselt tunnelikonstruktsioonides ja maa-alustes parklates. Sobib keemiliselt agressiivsesse ja survele vee keskkonda maksimaalse veesurvega 4,5 bar [44]. Sobib kasutamiseks ka liikuvates vuukides.

Kahe seina elemendi vahele paigaldatakse lint lüües, töövuukidesse saab paigaldada ka paigaldusliimi abil [44].



Foto 2.1.1.6: WFP Swelling Rubber Profile sünteetilisest kummissesgust lint[autori erakogu]

Injekteerisvaik

- **KÖSTER IN 8 - 1** - komponentne polüuretaan-injekteerimisvaik (PUR). Kasutatakse betooni ja betoonkonstruktsioonide vett läbi laskvate pragude ja vett kandvate pooride täitmiseks, ehk hüdroisoleerimiseks. Vaik injekteeritakse vedelal kujul konstruktsiooni, kus see reageerib lekkekohas oleva veega ning seejärel muutub sitkeks, elastseks ja vettpidavaks polüuretaanvahuks. Kasvab mahus maksimaalselt 30-kordseks. Ei sobi deformatsioonivuukide injekteerimiseks [45].

Vaik injekteeritakse lekkekohta läbi konstruktsiooni puuritud või konstruktsioonile kleebitud pakkerite. Injekteerimiseks kasutatakse kas käsipumpa või spetsiaalset injekteerimispumpa. Pakkerid tuleb alati paigaldada mõlemale poole pragu, praost ≈ 5 cm kaugusele ning nende vahekaugus peab olema 10 - 15 cm. Injekteerimisi teostatakse minimaalselt kahel korral või kuni veelekked on peatatud. Vaik hakkab toimima veega kokkupuutel 30 sekundi jooksul. Saab kasutada ainult nendes kohtades, kus on veeleke, ennetava tegevusena kasutada ei saa. Parimaks paigaldustemperatuuriks on määratud $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ [45].

2.1.2 Detailne katseplaan

Katseplaan on koostatud arvestades toodete eripärasid ning katsetulemusel oodatavat informatsiooni kindla toote kohta. Katseplaani koostamisel on muudatustega kasutatud ka Euroopa tehnilist kirjeldust EAD 320002-02-0605 katsekeha 11 puhul.

Metallist töövuugiprofiiliga katsekehad 1-6

Katsekehad 1-6 on betoonkuubikud mõõtudega 400x400x400 mm, sees on tühimik vee jaoks mõõtudega 100x100x100 mm. Betoneerimisel on kasutatud lisandeid. Kasutatud on ka praotekitajaid. Katsekehade materjalid on kirjeldatud tabelis (Tabel 2.1.2.1).

Katsemeetod: katsekehale avaldatakse joogiveega veesurve 1-15 bar. 1-5 bar suurendatakse veesurvet 1 bar võrra ööpäevas, 5,5-15 bar suurendatakse veesurvet 0,5 bar võrra ööpäevas.

Tabel 2.1.2.1: Katsekehade nr 1-6 valmistamisel kasutatud materjalid

Prk nr.	Betoon	V/T	Lisand	Praotekitaja	Vuugilint	Katsetatav vedelik
1	C30/37	0,55	ConProtect WP1	Kolmnurkliist	WPM Polümeer	Joogivesi
2	C30/37	0,55	Betocrete CP360WP	Kolmnurkliist	WPM Polümeer	Joogivesi
3	C30/37	0,55	Betocrete CP360WP	-	WPM Polümeer	Joogivesi/soolalahus
4	C30/37	0,55	-	Kolmnurkliist	WPM Polümeer	Joogivesi
5	C30/37	0,55	Betocrete CP360WP	-	Ankox FleeceproofX 1	Joogivesi
6	C30/37	0,55	Betocrete CP360WP	-	WPM Bituumen	Joogivesi/soolalahus

- **Katsekeha nr 1:**

- Eesmärk: kontrollida lisandi „ConProtect WP1“ mõju betooni veepidavuse tagamisel katsekeha seina imbunud vee sügavuse järgi 100 mm läbimõõduga silindri puhul.
- Katse käik: teostatakse katse vastavalt eelpool kirjeldatud meetodile. Määratakse veesurve, mille juures hakkab töovuuk lekkima ja/või tekib katsekeha seina pragu. Prao võimalikul tekkimisel hinnatakse lisandi toimivust prao kinni kasvatamisel kolme nädala jooksul. Peale katset puuritakse kohe katsekeha seinast välja 100 mm läbimõõduga silindri kujuline proovikeha, mis poolitatakse ning seejärel määratakse vee sissetungimise sügavus.
- Märkused: pragu tekitatakse praotekitaja abil (Foto 2.1.2.1), töovuugi veepidavuse tagab WPM Polümeer lint.



Foto 2.1.2.1: Raketise seinale paigaldatud kolmnurkliist praotekitajana [autori erakogu]

- **Katsekeha nr 2:**

- Eesmärk: kontrollida lisandi „Betocrete CP360WP“ mõju betooni veepidavuse tagamisel katsekeha seinale imunud vee sügavuse järgi 100 mm läbimõõduga silindri puhul.
- Katse käik: teostatakse katse vastavalt eelpool kirjeldatud meetodile. Määratakse veesurve, mille juures hakkab töövuuk lekkima ja/või tekib katsekeha seinale pragu. Prao võimalikul tekkimisel hinnatakse lisandi toimivust praost kinni kasvatamisel kolme nädala jooksul. Peale katset puuritakse kohe katsekeha seinast välja 100 mm läbimõõduga silindri kujuline proovikeha, mis poolitatakse ning seejärel määratakse vee sissetungimise sügavus katsekeha seinale.
- Märkused: pragu tekitatakse praotekitaja abil, töövuugi veepidavuse tagab WPM Polümeer lint.

- **Katsekeha nr 3:**

- Eesmärk: kontrollida metallist töövuugiprofiili „WPM Polümeer“ toimivust survealise vee keskkonnas maksimaalsel veesurvel (15 bar) ning määrata soolvee mõju lindile.
- Katse käik: teostatakse katse vastavalt eelpool kirjeldatud meetodile. Määratakse maksimaalne veesurve (kuni 15 bar), mille juures töövuuk on vettpidav. Katset korratakse 5% soolveega, kuid hüdrofooride lõhkemise vastaseks ohutuse tagamiseks on uuel katsel maksimaalne veesurve 10 bar. Katsekeha lammutatakse, määratakse soolvee mõju töövuugiprofiilile.

- **Katsekeha nr 4:**

- Eesmärk: määrata vee sissetungimise sügavus katsekeha seinale ilma lisandita betooni puhul, olla etalonkatsekeha katsekehade 1 ja 2 võrdluseks. Prao tekkimisel vaadelda injekeerimise toimivust veepidavuse tagamisel survealise vee keskkonnas.
- Katse käik: teostatakse katse vastavalt eelpool kirjeldatud meetodile. Määratakse veesurve, mille juures hakkab töövuuk lekkima ja/või tekib katsekeha seinale pragu. Prao võimalikul tekkimisel injekteeritakse see injekeerimisvaiguga KÖSTER IN 8 ning määratakse selle toimivus konstruktsiooni tekkinud praost hüdroisoleerimisel. Peale katset puuritakse kohe katsekeha seinast välja 100 mm läbimõõduga silindri kujuline proovikeha, mis poolitatakse ning seejärel määratakse vee sissetungimise sügavus katsekeha seinale.

- Märkused: pragu tekitatakse praotekitaja abil, töövuugi veepidavuse tagab WPM Polümeer lint, injekeerimisvaik pumbatakse läbi puuritud pakkerite käsipumbaga (injekteerimise ajal katsekehal veesurvet sees ei hoita).
- **Katsekeha nr 5:**
 - Eesmärk: kontrollida metallist töövuugiprofiili „Ankox FleeceproofX 1“ toimivust survealise vee keskkonnas maksimaalsel veesurvel (kuni 15 bar).
 - Katse käik: teostatakse katse vastavalt eelpool kirjeldatud meetodile. Määratakse maksimaalne veesurve (kuni 15 bar), mille juures töövuuk on vettpidav.
- **Katsekeha nr 6:**
 - Eesmärk: kontrollida metallist töövuugiprofiili „WPM Bituumen“ toimivust survealise vee keskkonnas maksimaalsel veesurvel (kuni 15 bar) ning määrata soolvee mõju lindile.
 - Katse käik: teostatakse katse vastavalt eelpool kirjeldatud meetodile. Määratakse maksimaalne veesurve (kuni 15 bar), mille juures töövuuk on vettpidav. Katset korratakse 5% soolveega, kuid hüdrofooride lõhkemise vastaseks ohutuse tagamiseks on uuel katsel maksimaalne veesurve 10 bar. Katsekeha lammutatakse, määratakse soolvee mõju töövuugiprofiilile.

Paisuva/ilma vuugilindiga(-ta) katsekehad 7-10

Katsekehad 7-10 on mõõtudega 400x400x400 mm, sees on tühimik vee jaoks mõõtudega 100x100x100 mm. Betoneerimisel on kasutatud lisandeid.

Katsemeetod: katsekehale avaldatakse joogiveega veesurve 1-15 bar. 1-3 bar suurendatakse veesurvet 1 bar võrra ööpäevas. Rõhku 3 bar hoitakse 3 päeva. 3,5-15 bar suurendatakse veesurvet 0,5 bar võrra ööpäevas.

Katsekehade nr 7-10 materjalid:

- Betoon: C30/37;
- V/T: 0,55;
- lisand: Betocrete CP360WP;
- katsetatav vedelik: joogivesi;
- vuugilint:
 - Katsekeha nr 7 – vuugilint puudub;
 - Katsekeha nr 8 – WFP Swelling Rubber Profile;
 - Katsekeha nr 9 – BeSealed Polybar+ RP;
 - Katsekeha nr 10 – BeSealed Bentobar+ 20x25.

- **Katsekeha nr 7:**

- Eesmärk: vaadelda ilma vuugilindita betoonkonstruktsiooni töövuugi käitumist survele vee keskkonnas praod tekkimisel, olla etalonkatsekeha katsekehade 3, 5, 6, 8, 9, 10 võrdluseks. Seejärel vaadelda injekteeerimise toimivust töövuugi veepidavuse tagamisel survele vee keskkonnas.
- Katse käik: teostatakse katse vastavalt eelpool kirjeldatud meetodile. Määratakse veesurve, mille juures ilma vuugilindita töövuuk hakkab lekkima. Seejärel injekteeeritakse töövuuk, määratakse injekteeerimisvaigu KÖSTER IN 8 toimivus töövuugi hüdroisoleerimisel maksimaalsel veesurvel.
- Märkused: injekteeerimisvaik pumbatakse läbi puuritud pakkerite käsipumbaga (injekteeerimise ajal katsekehal veesurvet sees ei hoita).

- **Katsekeha nr 8:**

- Eesmärk: kontrollida vees paisuva kummilindi „WFP Swelling Rubber Profile“ toimivust survele vee keskkonnas maksimaalsel veesurvel (kuni 15 bar).
- Katse käik: teostatakse katse vastavalt eelpool kirjeldatud meetodile. Lekete korral hoitakse rõhku konstantsena veel üks ööpäev, et lint saaks paisuda. Kui töövuugile on tekkinud laik, aga vuuk käega katsudes märg ei ole, jätkatakse katset. Määratakse maksimaalne veesurve, mille juures töövuuk on vettpidav.

- **Katsekeha nr 9:**

- Eesmärk: kontrollida vees paisuva kummilindi „BeSealed Polybar RP+“ toimivust survele vee keskkonnas maksimaalsel veesurvel (kuni 15 bar).
- Katse käik: teostatakse katse vastavalt eelpool kirjeldatud meetodile. Lekete korral hoitakse rõhku konstantsena veel üks ööpäev, et lint saaks paisuda. Kui töövuugile on tekkinud laik, aga vuuk käega katsudes märg ei ole, jätkatakse katset. Määratakse maksimaalne veesurve, mille juures töövuuk on vettpidav.

- **Katsekeha nr 10:**

- Eesmärk: kontrollida vees paisuva kummilindi „BeSealed Bentobar 20x25“ toimivust survele vee keskkonnas maksimaalsel veesurvel (kuni 15 bar).
- Katse käik: teostatakse katse vastavalt eelpool kirjeldatud meetodile. Lekete korral hoitakse rõhku konstantsena veel üks ööpäev, et lint saaks paisuda. Kui töövuugile on tekkinud laik, aga vuuk käega katsudes märg ei ole, jätkatakse katset. Määratakse maksimaalne veesurve, mille juures töövuuk on vettpidav.

Tõstemehhanismiga katsekeha 11

Katsekeha 11 on mõõtudega 800x800x700 mm, sees on tühimik vee jaoks mõõtudega 400x400x300 mm. Töövuuk on hüdroisoleeritud metallist töövuugiprofiiliga „WPM Polümeer“, betoneerimisel on kasutatud lisandit. Katsekeha töövuuk on kontrollitult avatav tõstemehhanismiga (EAD 320002-02-0605 alusel). Katsekeha materjalid on kirjeldatud tabelis (Tabel 2.1.2.2).

Euroopa tehnilisest kirjeldusest erineb antud katse järgmiste elementide poolest:

- maksimaalne katserõhk on vähendatud 3 bar-ni;
- katseaeg on muudetud;
- ühe katsekeha peal kontrollitakse veepidavust kolmel töövuugi prao avatusel.

Katserõhku vähendati, sest katse eesmärk on selgitada vuugilindi veepidavus erinevatel prao avatustel tavaolukorras (hooned 1-3 korrust alla poole pinnaseveetaset). 3 bar veerõhk on võrdne 30 meetrise veesamba kõrgusega (arvestades EAD 320002-02-0605 varutegurit „2,5“: 3 bar = 12 meetrit veesammast).

Tabel 2.1.2.2: Proovikeha 11 valmistamisel kasutatud materjalid

Prk nr.	Betoon	V/T	Lisand	Praotekitaja	Vuugilint	Katsetatav vedelik
11	C30/37	0,55	Betocrete CP360WP	Poltsüsteem	WPM Polümeer	Joogivesi

- Eesmärk: kontrollida metallist töövuugiprofiili „WPM Polümeer“ toimivust, kui töövuugis on praod läbimõõduga 0,25; 0,5 ja 1 mm.
- Katse käik: katse toimub kolmes tsüklis. Töövuuk avatakse tõstemehhanismi abil 0,25 mm. Katsekehale avaldatakse veesurve 1-3 bar. Rõhku tõstetakse 1 bar päevas ning seejärel hoitakse 3 bar peal 5 päeva. Seejärel lastakse katsekehast veesurve välja. Tekitatakse tõstemehhanismiga töövuuki pragu laiusena 0,5 mm ja katset korratakse. Katset korratakse ka prao läbimõõdu 1 mm juures. Töövuugi lekkimisel katse lõpetatakse, määratakse prao läbimõõt ja maksimaalne veerõhk, mille juures töövuuk on vettpidav.

Paisuvad vuugilindid

Katsekehade valmistamisel kasutatud paisuvad vuugilindid on oma olemuselt märg/kuiv tsükleid kannatavad ning peaksid kasvama mahus mitmekordseks.

- Eesmärk: kontrollida paisuvate vuugilintide paisumisvõimet ja märg/kuiv tsüklite taluvust.
- Katse käik 1: igast lindist lõigatakse 20 cm pikkune proovikeha, märgitakse mõõtepunktid ning fikseeritakse nende läbimõõdud ja pikkused. Proovikehad asetatakse vette paisuma. Määratakse paisuvate vuugilintide mahumuutused peale 1, 3, 7, 14 ja 21 päeva vees paisumist.
- Katse käik 2: igast lindist lõigatakse 20 cm pikkune proovikeha, märgitakse mõõtepunktid ning fikseeritakse nende läbimõõdud ja pikkused. Hinnatakse paisuvate vuugilintide kuiv/märg tsüklite taluvust nii, et need asetatakse 2 päevaks vette ja seejärel võetakse päevaks veest välja kuivama. Lindid mõõdetakse üle enne ja peale kuivamist igal korral. Tegevust korratakse 5 korda. Katse lõpetuseks kuivatatakse vuugilinte kokku 4 päeva ning asetatakse uuesti päevaks vette. Hinnatakse paisuvate vuugilintide paisumist peale pikemaajalist kuivamist.

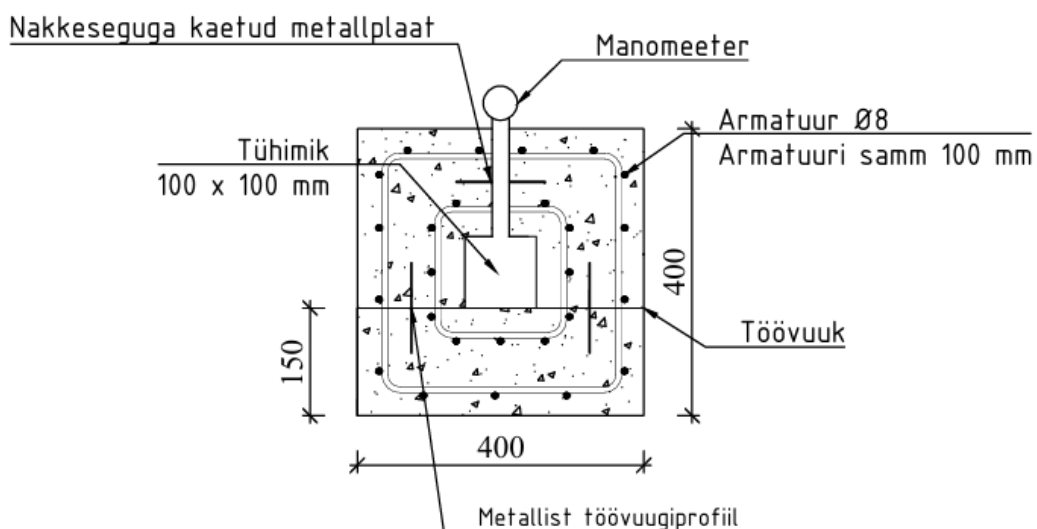
2.2 Katsekehade valmistamine

Katsekehade valmistamisel on katsekehade 1-10 eeskujuna kasutatud Primostari poolset lahendust, mille alusel on ka varem töövuuigiprofiile katsetatud [46]. Lahenduse välja töötamisel kasutati ka Euroopa tehnilisi kirjeldusi EAD 320002-02-0605 ja EAD 320008-01-0605.

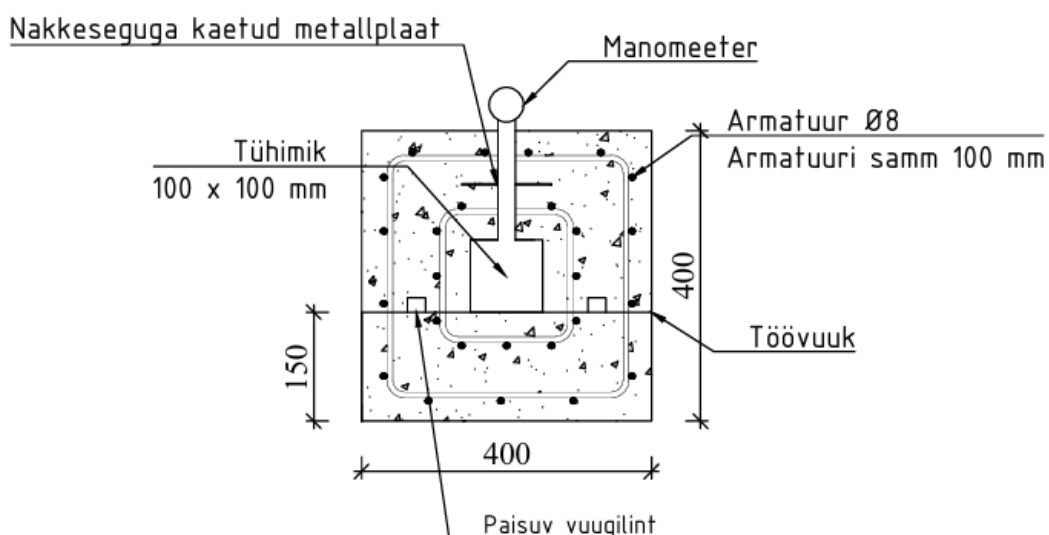
Euroopa tehnilistest kirjeldustest erinevad antud katsekehad (Joonis 2.1.2.1 ja Joonis 2.1.2.2) järgmiste elementide poolest:

- Katsekehade mõõtmeid on vähendatud, et teha need käsitsi, ilma erivahenditeta liigutatavaks;
- töstemehhanismid on ära jäetud, kuna neid ei ole vaja katsete eesmärkide saavutamiseks;
- katsekehad on armeeritud, et vältida nende lagunemist veesurve tõttu.

Katsetulemusi antud muudatused ei tohiks mõjutada, kuna töövuuigile avalduv veesurve jääb samaks.



Joonis 2.1.2.1: Metallist töövugiprofiiliga katsekehade 1-6 joonis



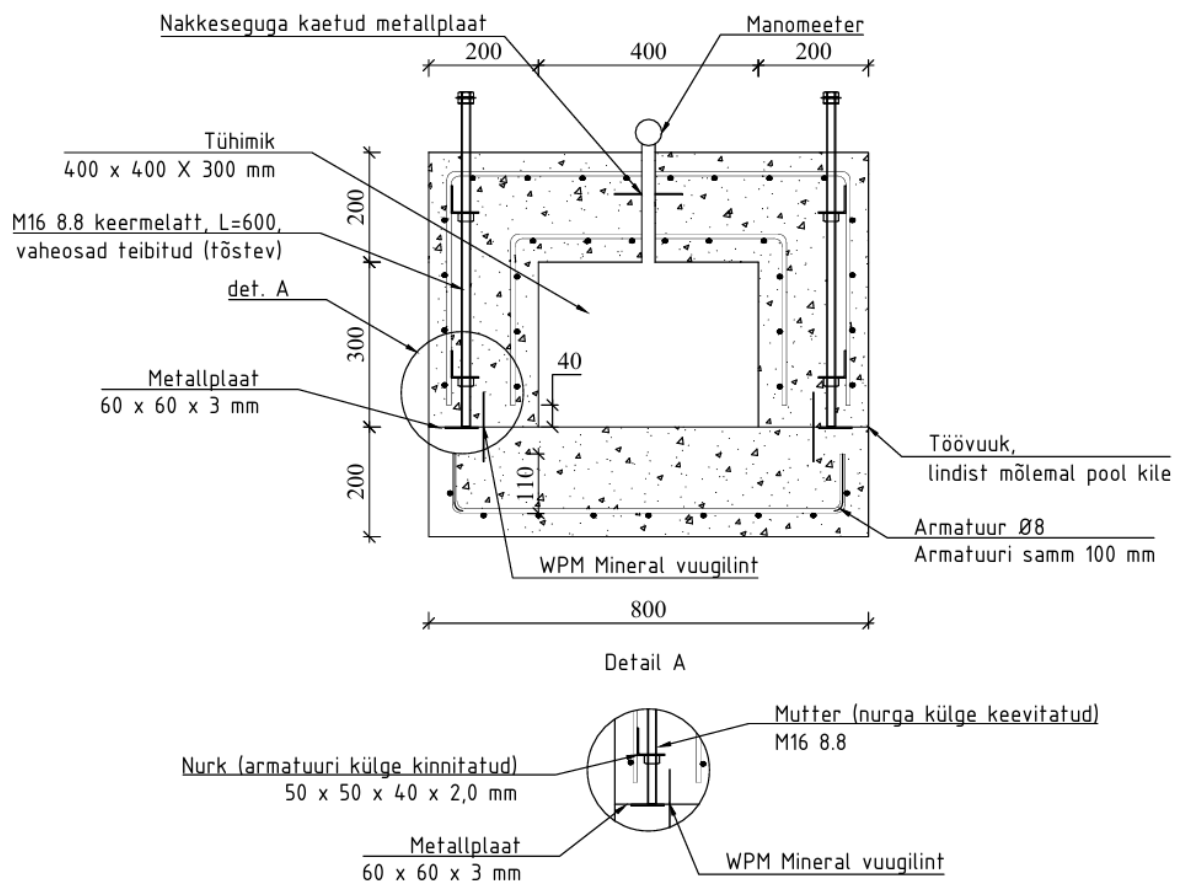
Joonis 2.1.2.2: Paisuva vuuqilindiga katsekehade 8-10 joonis

Katsekeha 11 projekteerimisel lähtuti Euroopa hindamisdokumendist EAD 320002-02-0605, kuid erisustega:

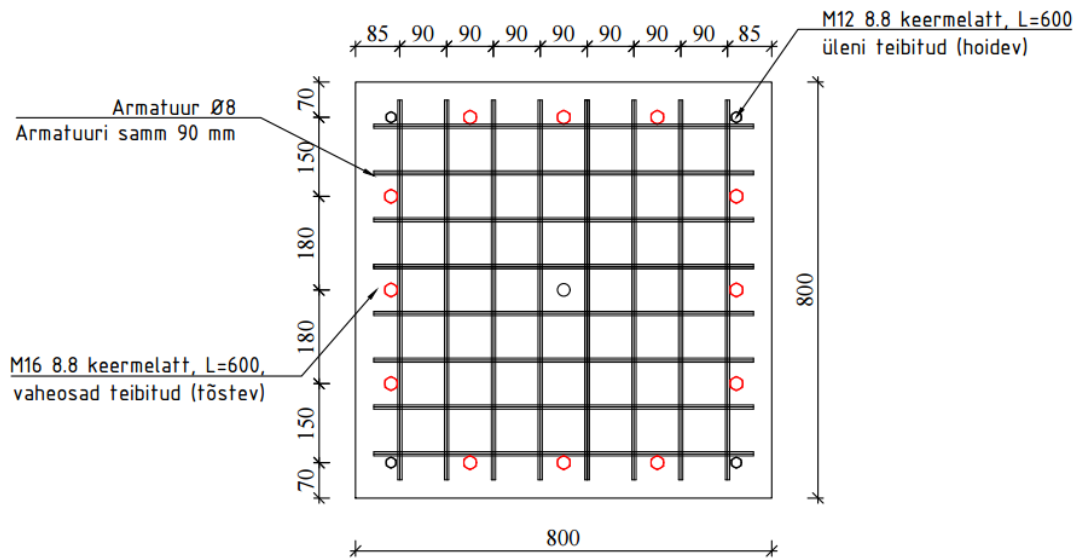
- Vähendati katsekeha mõõtmeid, et vähendada selle massi ning mahutada see standardmõõdus euroalusele – teha laboris üksinda kahveltõstukiga liigutatavaks;
- projekteeriti katsekeha laeks metallplaadi asemel koos seintega valatav raudbetoonist laeplaat, et vähendada võimalikke lekkekohti väljaspool katsetatavat töövauki;
- armeeriti katsekeha põhjaplaat, seinad ja lagi, et vältida veesurvest põhjustatud katsekeha lagunemist;

- töötati autori poolt välja tõstemehhanism töövuugile prao tekitamiseks, kasutades M16 8.8 keermelatte pragu tekitavatena ning M12 8.8 keermelatte seinte/lae fikseerimiseks põhjaplaadi külge (Joonis 2.1.2.3 ja Joonis 2.1.2.4). Betooni ja keermelati lahusus tagati kasutades keermelattide ümber bituumenteipi „KÖSTER KSK“.

Katsetulemusi antud muudatused ei tohiks mõjutada, sest töövuugile avalduv veesurve jääb samaks.



Joonis 2.1.2.3: Tõstemehhanismiga katsekeha 11 joonis



Joonis 2.1.2.4: Tõstemehhanismiga katsekeha 11 lae armeerimine ning keermelattide jaotus

Kasutatud töövahendid:

- Ketaslõikur Makita;
- Keevitusaparaat;
- Painutuspink;
- Puurpink;
- Sidumistraat;
- Sidumiskonks;

Kasutatud materjalid:

- Filmivineerist valmistatud vormid (400x400x400 mm või 800x800x700 mm);
- Armatuur B500B 8 mm;
- Töövuugilint vastavalt katsekeha numbrile;
- Betoon vastavalt katsekeha numbrile;
- M16 8.8 keermelatid, mutrid;
- M12 8.8 keermelatid, mutrid;
- Bituumentep „KÖSTER KSK“;
- Jäigastatud nurgikud (Arras), 50x50x40x2 mm;
- Lehtmetall, 3mm.



Foto 2.2.1.2: Katsekeha 1 armeering [autori erakogu]



Foto 2.2.1.3: Katsekehad 1 ja 2 valmis betoneerimiseks [autori erakogu]

Paisuva/ilma vuugilindiga(-ta) katsekehad 7-10

Katsekehade 7-10 põhjad armeeriti vastavalt joonisele (Joonis 2.1.2.2) Primostar OÜ tehases ja armeerimine lõpetati peale põhjade valu ning lintide paigaldust Betoonimeister AS või Rudus AS tehases. Esmalt armeeriti sarnaselt katsekehadele 1-6, põhja välimise kihi armatuur ja sisemise kihi armatuur, mis fikseeriti välimise kihi külge kasutades U-kujulisi armatuurraudu. Valati katsekehade põhjad ja paigaldati paisuvad vuugilindid vastavalt paigaldusjuhenditele [32], [33], [44] liimi (Foto 2.2.1.4, Foto 2.2.1.5) või paigaldusvõrgu abil (Foto 2.2.1.7). Katsekehade 8 ja 10 vuugilintide liitekohtadesse paigaldati veepidavuse tagamise kindlustamiseks paigaldusjuhendi väliselt lisatükid vuugilinte. Katsekeha 9 puhul kasutati nurkade liitekohtades ühendust, kus lintide otsad lõigati 45° kraadiste nurkade alla ja suruti liimimise ajal tihedalt kokku.

Peale vuugilintide paigaldust ja põhjade valu paigaldati katsekehade põhjade peale tühimiku tekitamiseks vineerkastid. Armeeriti välimise kihi pealmised osad. Vineerkastide küljes olevad torud fikseeriti seinte ja lagede betoneerimiseks traadiga välimise kihi pealmise armatuuri külge (Foto 2.2.1.6).



Foto 2.2.1.5: Katsekeha 8 vuugilindi paigaldus [autori erakogu]



Foto 2.2.1.4: Katsekeha 9 vuugilindi paigaldus [autori erakogu]



Foto 2.2.1.7: Katsekeha 10 vuugilindi paigaldus [autori erakogu]



Foto 2.2.1.6: Katsekeha 10 valmis betoneerimiseks [autori erakogu]

Tõstemehhanismiga katsekeha 11

Katsekeha 11 põhja armeering ning seinte ja lae armeering valmistati Primostar OÜ tehases vastavalt joonistele (Joonis 2.1.2.3, Joonis 2.1.2.4). Armeeriti põhjaplaat ning põhja nurkadesse, armeeringu külge kinnitati sidumistraadiga 4 M12 8.8 keermelatti, mille ülesanne on hoida katsekeha seinad ja lagi veesurve avaldamisel põhja küljes. Armeeringusse paigaldati 2 horisontaalset armatuurvarrast, et nende peale toetada „WPM Polümeer“ töovuugiprofiil (Foto 2.2.1.8). Valati põhjaplaat, betooni sisse mõõdeti

tulevaste keermelattide asukohtade järgi välja ja paigaldati metallplaadid, et võtta vastu töövuugi avamisel tekkivat survet põhjaplaadile. Peale põhja betoonivalu paigaldati sellele maalrikile, et töövuuk ei kivineks täielikult kokku ja oleks lihtsamini avatav. Põhja peale asetati tühimiku tekitamiseks vineerkast, keermelatid teibiti bituumenmatiga, et latid ei nakkuks seinte betooni külge (Foto 2.2.1.9).



Foto 2.2.1.8: Katsekeha 11 põhja armeering [autori erakogu]

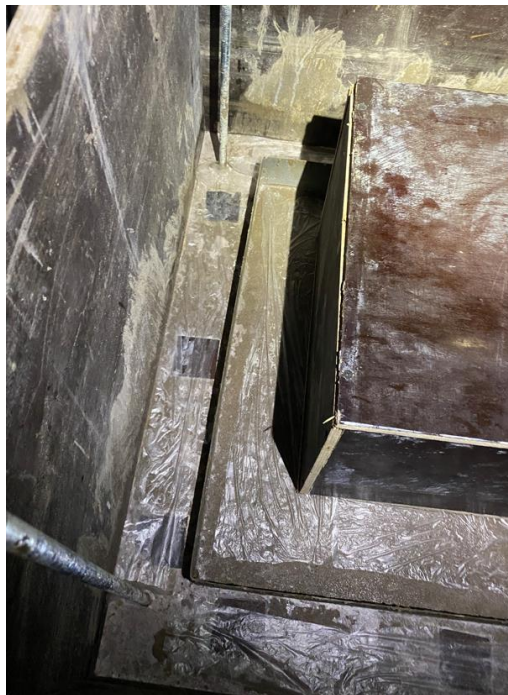


Foto 2.2.1.9: Katsekeha 11 plaadid, kile ja vineerkast tühimiku jaoks [autori erakogu]

Seinad ja katus armeeriti kahes kihis (Foto 2.2.1.11). Esmalt armeeriti välimine kiht ja siis sisemine kiht, need fikseeriti omavahel horisontaalsete armatuurvarrastega ning punktkeevitustega. Peale armeeringu valmimist kinnitati välimise kihi külge tõstemehhanism. Tõstemehhanismi tööpõhimõte on, et enne betoneerimist seinte armatuuri külge kinnitatud keermelattide hilisemal keeramisel saab töövuuki tekitada kontrollitult pragu. Keermelatte keerates tõstetakse seinu, ehk surutakse seinad eemale põhjaplaadist.

Tõstemehhanismi ehitus: mõõdeti välja keermelattide tulevased asukohad ning keevitati seinte armatuuri külge 50x50x40x2 mm tugevdatud metallnurgad, mille külge keevitati töövuugi avamiseks M16 mutrid. Läbi mutrite keerati M16 8.8 12 keermelatti, prooviti maa peal seinte/lae armatuuri tõstmist ja langetamist lattide abil ning seejärel teibiti keermelattide betooniga kokku puutuvad osad bituumenteibiga (Foto 2.2.1.10). Peale betoonivalu keerati 4 M12 keermelatit otsa seibid ja mutrid, et hoida koos põhjaplaati ja seinu. 12 M16 keermelatit keerati otsa topeltnutrid, et nende abil keerata keermelatte.



Foto 2.2.1.11: Katsekeha 11 seinte/lae armeering [autori erakogu]



Foto 2.2.1.10: Katsekeha 11 tõstemehhanism [autori erakogu]

2.2.2 Betoneerimine

Katsekehad betoneeriti töö autori ja abilise (Rifezar OÜ) poolt Betoonimeister AS ning Rudus AS betoonitehastes. Betoneeriti juuli-, augusti- ja septembri kuude lõppudel. Betoneerimised teostati kahes osas, esmalt põhjad ja seejärel seinad/laed. Katsekehade 1-10 puhul teostati betoneerimised kahel järjestikusel päeval, et mahukahanemised oleksid võrdväärised. Katsekeha 11 puhul jäi kahe betoneerimise vahele 4 ööpäeva, sest antud katsekeha puhul on vajalik prao tekitamine töövuuki.

Betoneerimisel kasutati tihendamiseks vibronuia. Katsekehad 1-10 tihendati neljast nurgast ja neljast punktist tühimikku tekitava kasti ümbert. Tihendati igas punktis 5 sekundit, kuna katsekehad on nii väikesed ja üle-tihendamine vähendab betooni vastupidavust. Katsekeha 11 tihendati igas nurgas, külgede keskosades ja tühimikku tekitava kasti ümber, ehk kokku 12 kohas. Igas punktis tihendati 10 sekundit. Tihendamisel jälgiti, et vibronuia ei tõmmataks liiga kiirelt välja, kuna nii jääb betoonisegusse tühimik.

Joonistel (Joonis 2.1.2.1, Joonis 2.1.2.2, Joonis 2.1.2.3) märgitud „nakkese guga kaetud metallplaat“ kaeti hetk enne betoneerimist nakkese guga „Schomburg Asocret-KS/HB“, et takistada vee lekkimine mööda metalltoru katsekeha pealt. Tegu on tsemendi baasil valmistatud mineraalse nakkese guga ja korrosioonikaitsevõõbaga, mis paigaldatakse betoonile/metallile harja või pintsliga. Toimib, kui betoneerimine või järgmiste komponentidega katmine teostatakse kohe peale segu paigaldamist, ehk märg-märjale

[47]. Segu valmistati iga betoneerimise puhul vastavalt vajalikule kogusele. Valmistamisel jälgiti, et 1 kg materjali kohta oleks vett 0,3 liitrit. Fotel on näha metallplaadi seguga katmist (Foto 2.2.2.1).



Foto 2.2.2.1: Katsekeha 6 metallplaadi katmine nakkesebuga [autori erakogu]

Metallist töövuugiprofiiliga katsekehad 1-6

Katsekehad 1-6 betoneeriti Betoonimester AS betoonitehases kuupäevadel 29.08.24 (keskmine õhutemperatuur 18 °C, RH76%) ja 30.08.24 (keskmine õhutemperatuur 21 °C, RH72%).

Katsekehade 1-6 betooniseгу omadused:

- Tsement: CEM-II/B-M(S-LL) 52,5N
- Tugevusklass: C30/37
- Vesitsementtegur: 0,55
- Maksimaalne tera suurus: 16 mm
- Keskkonnaklass: XC3
- Töödeldavus: S3
- Keemilised lisandid: Mapei Dynamon SX-29, 0,7%
- Muud lisandid (veepidavuse tõstmiseks):
 - Katsekehad 2, 3, 5, 6: Schomburg Betocrete CP360WP, 3 kg/m³
 - Katsekeha 1: SL Protection ConProtect WP1, 1% tsemendi kaalust
 - Katsekeha 4: puudub

*Näide värskest betoneeritud katsekehast fotol (Foto 2.2.2.2). Näide katsekehast enne seinte/lae betoneerimist fotol (Foto 2.2.2.3).



Foto 2.2.2.2: Värskest betoneeritud katsekeha 2 [autori erakogu]



Foto 2.2.2.3: Katsekeha 4 enne seinte/lae betoneerimist [autori erakogu]

Paisuva/ilma vuugilindiga(-ta) katsekehad 7-10

Katsekehad 7 ja 9 betoneeriti Betoonimeister AS betoonitehases kuupäevadel 25.07.24 (keskmine õhutemperatuur 20°C, RH88%) ja 26.07.24 (keskmine õhutemperatuur 20 °C, RH82%). Katsekehad 8 ja 10 betoneeriti Rudus AS betoonitehases kuupäevadel 19.09.24 (keskmine õhutemperatuur 13 °C, RH88%) ja 20.09.24 (keskmine õhutemperatuur 14°C, RH89%). Rudus AS tegi betoonisegudest ka survetugevuse proovikuubikud.

Katsekehade 7 ja 9 betoonisegu omadused:

- Tsement: CEM-II/B-M(S-LL) 52,5N
- Tugevusklass: C30/37
- Vesitsementtegur: 0,55
- Maksimaalne tera suurus: 16 mm
- Keskkonnaklass: XC3
- Töödeldavus: S4
- Keemilised lisandid: Mapei Dynamon SX-29, 0,6%
- Muud lisandid(veepidavuse tõstmiseks): Schomburg Betocrete CP360WP, 3 kg/m³

*Värskest betoneeritud katsekehad 7 ja 9 fotol (Foto 2.2.2.4).



Foto 2.2.2.4: Värskest betoneeritud katsekehad 7 ja 9 [autori erakogu]

Katsekehade 8 ja 10 betoonisegu omadused:

- Tsement: CEM II/B-M (T-L) 42,5 R (kaubanimetusega "Ehitustsement")
- Tugevusklass: C30/37
- Vesitsementtegur: 0,55
- Maksimaalne tera suurus: põhja puhul 8 mm, seinte/lae puhul 16 mm
- Keskkonnaklass: XC3
- Töödeldavus: S5
- Keemilised lisandid: Mapei Dynamon SX, 0,9%
- Muud lisandid (veepidavuse tõstmiseks): Schomburg Betocrete CP360WP, 3 kg/m³

Katsekehade 8 ja 10 proovikuubikute omadused:

- Põhjaplaadid:
 - 7p survetugevus: 39,2 MPa
 - 28p survetugevus: 50,2 MPa
 - 28p tihedus: 2405 kg/m³
- Seinad/laed:
 - 7p survetugevus: 33,1 MPa
 - 28p survetugevus: 42,8 MPa
 - 28p tihedus: 2340 kg/m³

*Värskest betoneeritud katsekehad 8 ja 10 fotol (Foto 2.2.2.5).



Foto 2.2.2.5: Värskest betoneeritud katsekehad 8 ja 10 [autori erakogu]

Tõstemehhanismiga katsekeha 11

Katsekeha 11 valati Rudus AS betoonitehases kuupäeval 23.09.24 (keskmine õhutemperatuur 11 °C, RH75%) ja 27.09.24 (keskmine õhutemperatuur 15 °C, RH91%). Betoonisegust valmistati ka survetugevuse proovikuubikud.

Katsekeha 11 betoonisegu omadused:

- Tsement: CEM II/B-M (T-L) 42,5 R (kaubanimetusega "Ehitustsement")
- Tugevusklass: C30/37
- Vesitsementtegur: 0,55
- Maksimaalne tera suurus: 16 mm
- Keskkonnaklass: XC3
- Töödeldavus: põhja puhul S4, seinte/lae puhul S3
- Keemilised lisandid: Mapei Dynamon SX; põhja puhul 0,7%, seinte/lae puhul 0,5%
- Muud lisandid (veepidavuse tõstmiseks): Schomburg Betocrete CP360WP, 3 kg/m³

Katsekeha 11 proovikuubikute omadused:

- Põhjaplaat:
 - 7p survetugevus: 33,2 MPa
 - 28p survetugevus: 41,7 MPa
 - 28p tihedus: 2325 kg/m³

- Seinad/lagi:
 - 7p survetugevus: 33,2 MPa
 - 28p survetugevus: 45,6 MPa
 - 28p tihedus: 2380 kg/m³

*Katsekeha enne ja peale betoneerimist fotodel (Foto 2.2.2.6, Foto 2.2.2.7, Foto 0.1).



Foto 2.2.2.7: Katsekeha 11 põhjaplaat peale betoneerimist [autori erakogu]



Foto 2.2.2.6: Katsekeha 11 seinte/lae betoneerimine [autori erakogu]



Foto 0.1: Värskelt betoneeritud katsekeha 11 [autori erakogu]

2.2.3 Järelhooldus ja kivinemistingimused

Järelhooldust teostati kõikide katsekehade puhul ühte moodi: katsekehasid kasteti alates tahtenemisest nädala aja jooksul iga päev, samuti hoiti katsekehasid kile all 4 nädalat. Katsekehad olid vormides 28-35 päeva, ehk valmistamisest kuni katsetamiseni.

Metallist töövuugiprofiiliga katsekehad 1-6

Katsekehad kivinesid Betoonimeistri basseiniruumis ajavahemikul 30.08-26.09.2024, kus on vett täis basseini tõttu pidevalt väga kõrge õhuniiskus ning temperatuur kõikus vahemikus +15 kuni +25 kraadi.

Paisuva/ilma vuugilindiga(-ta) katsekehad 7-10

Katsekehad 7 ja 9 kivinesid Betoonimeistri basseiniruumis ajavahemikul 26.07-22.08.2024, kus on pidevalt väga kõrge õhuniiskus ning temperatuur kõikus vahemikus +15 kuni +25 kraadi. Katsekehad 8 ja 10 kivinesid Ruduse hoovi peal ajavahemikul 20.09-24.10.2024, tuule ja päikese eest kaitstud varjualuses. Õhutemperatuur ja õhuniiskus olid võrdsed välisõhuga, ehk jäid keskmiselt vahemikku 6,1 ja 16 kraadi ning RH67% ja RH96%.

Tõstemehhanismiga katsekeha 11

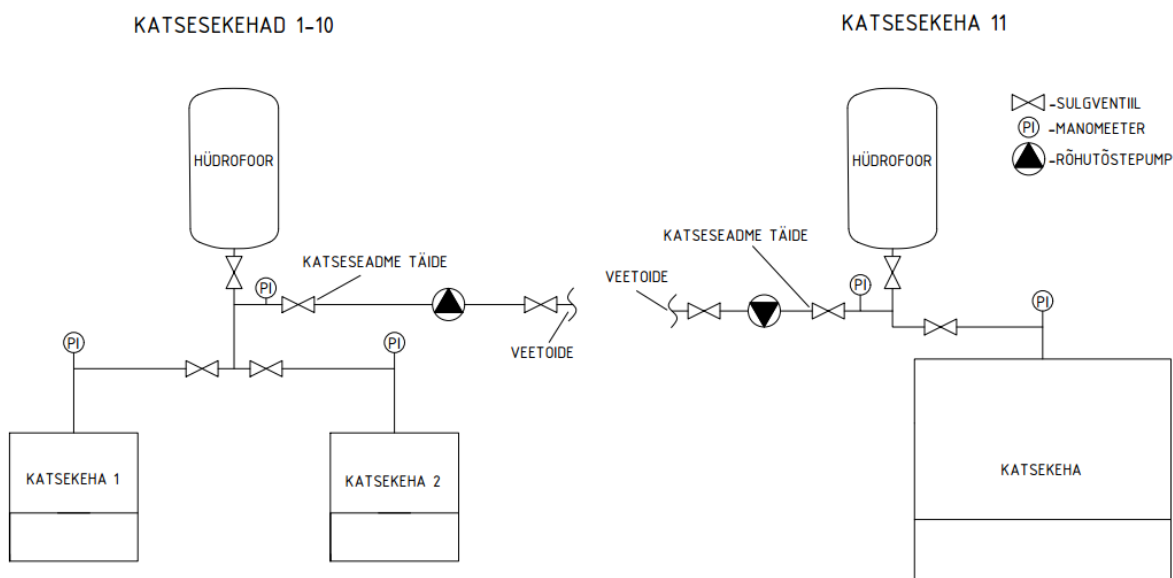
Katsekeha 11 kivines Ruduse hoovi peal ajavahemikul 27.09-24.10.2024, tuule ja päikese eest kaitstud varjualuses. Õhutemperatuur ja õhuniiskus olid võrdsed välisõhuga, ehk jäid keskmiselt vahemikku 6,1 ja 16 kraadi ning RH67% ja RH96%.

2.3 Katsete läbiviimine ja katsetulemused

Katseid teostati Primostar OÜ laoruumides ajavahemikul 23.08.2024 kuni 22.11.2024. Katsekehad 1-10 katsetati paari kaupa vastavalt skeemile (Joonis 2.2.3.1) ja katsekeha 11 katsetati üksinda vastavalt skeemile (Joonis 2.2.3.1). Katsed teostati kolmes osas ning järjekord oli järgmine: katsekehad 7 ja 9; katsekehad 1-6; katsekehad 8, 10 ja 11.

Kasutatud vahendid:

- Katsekehad (400x400x400mm või 800x800x700mm);
- Manomeeter ICMA, mõõtepiirkond 16 bar;
- Manomeeter Jako, mõõtepiirkond 16 bar;
- Hüdrofoor Varem, tööõhk 10 bar (katsetatud 15 bar);
- Messing liitmikud/torud Tiemme (1/2", 3/4", 1");
- Survevoolikud 600 mm, 1";
- Loctite 55 keermetihendusnõör;
- Rõhutõstepump Kärcher;
- Nihk-kaliiber – mõõtepiirkond 150 mm, vähim skaalajaotis 0,5 mm;
- Mõõdulint – täpsus 1 mm;
- Elektrooniline kaal KERN – täpsus 1 g;
- Lehtkaliiber M0906 – mõõtepiirkond 0,04 – 0,63 mm.



Joonis 2.2.3.1: Katseseadmete skeemid

2.3.1 Paisuvad vuugilindid

Lindid 1-6 katsetati vastavalt katseplaanile ajavahemikul 14.10.2024 kuni 04.11.2024. Katse teostati kahes osas.

Märgiti lintide kogupikkused ning laiused ja kõrgused markeeritud kohtades, et iga mõõtmine oleks samast punktist. Lindid 1-3 asetati vette 14.10.2024. Kontrollmõõtmisi teostati, kui lindid olid paisunud 1p, 3p, 7p, 14p ja 21 p. Lisaks teostati mõõtmisi ka siis, kui võeti veest välja lindid 4-6. Katsed lõpetati 04.11.2024. Katsetabel on välja toodud lisades (Lisa 2, Tabel 2.4.5.5).

Märgiti lintide kogupikkused ning laiused ja kõrgused markeeritud kohtades, et iga mõõtmine oleks samast punktist. Lindid 4-6 asetati vette 14.10.2024. Linte katsetati viie 3-päevase tsükliks, mille käigus lindid olid vees 2 päeva ja kuivasid 1 päev. Mõõtmisi teostati peale veest välja võtmist ning enne vette tagasi asetamist. Et saada aimu lintide toimivusest peale pikema - ajalise kuivamise, hoiti kuuenda tsükliks linte 4 päeva õhu käes ja veel kord 1 päev vees. Fikseeriti katsekehade mõõdud, katsed lõpetati 02.11.2024. Katsetabel on välja toodud lisades (Lisa 1, Tabel 2.4.5.4).

Näited katsetustest fotodel (Foto 2.3.1.1).



Foto 2.3.1.1: Paisuvate vuugilintide katse algus 14.10.2024 [autori erakogu]

2.3.2 Metallist töövuugiprofiiliga katsekehad 1-6

Katsekehad 1 ja 2

Katsekehad 1 ja 2 katsetati vastavalt katseplaanile ajavahemikul 27.09.2024 kuni 23.10.2024. Katse käigus suurendati rõhutõstepumba abil veesurvet 1-5 bar 1 bar sammuga, sealt edasi 15 bar-ni suurendati veesurvet 0,5 bar sammuga. Ainsad lekked esinesid toruliitmikes ja hüdrofoori tihendis. Katsekehade töövuugid, seinad ja laed olid kogu katse käigus kuivad. Katsekehadesse ei tekkinud pragusid, ega lekkeid ka nendesse kohtadesse, kuhu olid betoonivalu ajaks paigaldatud kolmnurkliistud.

Peale katsetuse lõppu puuriti kohe katsekehade seintest 100 mm läbimõõduga silindri kujulised proovikehad, mis lõigati pooleks risti silindri teljega. Määrati vee sissetungimise sügavus betooni ja selle abil betooni veepidavus sarnaselt EVS-EN 12390-8:2019. Erinevused standardist on, et veesurvet tõsteti kogu katse käigus ning avaldati pikema aja jooksul.

*Näide katsetusest fotol (Foto 2.3.2.1).



Foto 2.3.2.1: Katsekehad 1 ja 2 katsetamisel (22.10.24 15 bar) [autori erakogu]

Katsekehad 3 ja 6

Katsekehad 3 ja 6 katsetati vastavalt katseplaanile kahes osas ajavahemikul 27.09.2024 kuni 23.10.2024 ja 25.10.2024 kuni 09.11.2024. Katse teostati esmalt joogiveega, veesurvet suurendati rõhutõstepumba abil 1-5 bar 1 bar sammuga, sealt edasi 15 bar-ni 0,5 bar sammuga. Katse käigus olid ainsateks lekkekohtadeks toruliitmikud ja hüdrofoor. Katsekehade töövuugid, seinad ja laed olid kuivad. Katset korraldati 5% soolveega, kuid siis oli maksimaalseks veesurveks 10 bar.

Peale katse lõppu piigati katsekehad lahti kuni töövuugiprofiilini (Foto 2.3.2.3), et oleks visuaalselt võimalik määrata soolvee mõju WPM Polümeer ja WPM Bituumen töövuugiprofiilidele.

*Näide katsetusest fotol (Foto 2.3.2.2).



Foto 2.3.2.2: Katsekehad 3 ja 6 katsetamisel (22.10.24 15 bar, joogivesi) [autori erakogu]



Foto 2.3.2.3: Katsekehade 3 ja 6 lammutatud küljed (09.11.24) [autori erakogu]

Katsekehad 4 ja 5

Katsekehad 4 ja 5 katsetati vastavalt katseplaanile ajavahemikul 27.09.2024 kuni 23.10.2024. Katse käigus suurendati rõhutõstepumba abil veesurvet 1-5 bar 1 bar sammuga, sealt edasi 15 bar-ni suurendati veesurvet 0,5 bar sammuga. Ainsad lekkesid esinesid toruliitmikes ja hüdrofoori tihendis. Katsekehade töövuugid, seinad ja laed olid

kogu katse käigus kuivad. Katsekehadesse ei tekkinud pragusid. Katsekeha 4 puhul ei tekkinud pragusid, ega lekkeid ka nendesse kohtadesse, kuhu olid betoonivalu ajaks paigaldatud kolmnurksed faasiliistud.

Peale katsetuse lõppu puuriti kohe katsekeha 4 seina 100 mm läbimõõduga ava, et saaks puurkeha pealt määrata vee sissetungimise sügavuse betooni ilma lisandita betooni puhul. Proovikeha poolitati ning määrati betooni veepidavus vastavalt katseplaanis kirjeldatule.

*Näide katsetusest fotol (Foto 2.3.2.4).



Foto 2.3.2.4: Katsekehad 4 ja 5 katsetamisel (22.10.24 15 bar, joogivesi) [autori erakogu]

2.3.3 Paisuva/ilma vuugilindiga(-ta) katsekehad 7-10

Katsekehad 7 ja 9

Katsekehad 7 ja 9 katsetati vastavalt katseplaanile ajavahemikul 23.08 kuni 19.09. Katse käigus suurendati veesurve 3 bar-ni 1 bar sammuga ning hoiti, kuni katse algusest oli möödunud 7 päeva. Seejärel suurendati veesurvet rõhutõstepumba abil 0,5 bar sammuga, kuni injekeerimised, ega paisuv vuugilint enam vett ei pidanud.

Katsekeha 7 puhul suurendati veesurvet rõhutõstepumba abil esmalt 3,5 bar-ni, kuni tuvastati esimene leke. Seejärel suurendati veesurvet kuni 5 bar-ni, et suurendada lekkeid. Tekkinud lekkeid injekeeriti (03.09.24). Katset jätkati ning uued lekkeid injekeeriti 5,5 bar juures (06.09.24). Katset jätkati ning uuesti injekeeriti 6,5 bar juures (09.10.24 ja 10.10.24). Peale injekeerimist suurendati veerõhk uuesti 6,5 bar

peale ning siis olid lekked katsekeha igal küljel, lekkisid ka injekteeritud kohad. Katse lõpetati 12.09.2024. Lõpprõhuks loeti 6 bar.

Katsekeha 9 puhul tuvastati esimene leke 2,5 bar juures. Katsega jätkati. Uus leke tekkis 3,5 bar juures, katsega jätkati ja leke kuivas. 6,5 bar juures tekkisid uued laigud, mis samuti näitasid kuivamise märke katse jätkudes. Esimest korda muutus laik märgunud vee-lekkeks 8 bar juures. Katse lõpetati 10 bar juures 20.09.2024, mil laikudest olid saanud märgunud lekked igal küljel.

*Näide injekteerimisest (Foto 2.3.3.2) ja katsetusest (Foto 2.3.3.1) fotodel.



Foto 2.3.3.2: Katsekeha 7 injekteeritult (10.09.24) [autori erakogu]



Foto 2.3.3.1: Katsekeha 9 katsetamine (15.09.24 8 bar) [autori erakogu]

Katsekehad 8 ja 10

Katsekehad 8 ja 10 katsetati vastavalt katseplaanile ajavahemikul 25.10 kuni 23.11. Katse käigus suurendati veesurve 3 bar-ni 1 bar sammuga ning hoiti, kuni katse algusest oli möödunud 5 päeva. Seejärel suurendati veesurvet rõhutõstepumba abil 0,5 bar sammuga 15 bar – ni. Katse käigus olid ainsateks lekkekohtadeks toruliitmikud ja hüdrofoor. Katsekehade töövuugid, seinad ja laed olid kuivad.

*Näide katsetusest fotol (Foto 2.3.3.3).



Foto 2.3.3.3: Katsekehad 8 ja 10 katsetamisel (23.11.2024 15 bar) [autori erakogu]

2.3.4 Tõstemehhanismiga katsekeha 11

Katsekeha 11 katsetati vastavalt katseplaanile ajavahemikul 25.10.2024 kuni 15.11.2024. Katse alguses hoiti töövuugi avatus 0 mm. Esmalt tõsteti veesurvet 1 bar sammuga. 2 bar juures hakkas ühele küljele tekkima töövuuki pragu, sest katsekeha seinad ja põhjaplaat ei ole armeeringuga ühendatud. Fikseerivate keermelattide ümber olevad bituumenteibid jätavad keermelattide ümber deformeerumiseks ruumi ning 0 mm avatusel katsekeha hoida ei saanud. Katse edukaks jätkamiseks, keerati tõstavaid keermelatte, kuni oli saavutatud igal küljel pragu 0,25 mm. Seejärel pingutati fikseerivad mutrid ja määrati prao läbimõõt lehtkaliibriga. Katsekehale avaldati 3 bar veesurve 5 päevaks, prao läbimõõt selle aja jooksul enam ei muutunud. Tõstemehhanismi keermelatid näidatud fotol (Foto 2.3.4.1).

Esimene laik tuvastati katsekeha töövuugil juba katse kolmandal päeval (27.10.24), millal vuugi avatus oli 0,25 mm ja veesurve eelnevast päevast 2 bar. Kuna laik oli kuivamas, jätkati katset. Veesurve 3 bar ning töövuugi avatuse 0,25 mm juures rohkem lekkeid ei tuvastatud. Peale ühe nädalast katset töövuugi avatusel 0,25 mm lasti katsekehast vesi välja ning tõstemehhanismi abil fikseeriti uueks töövuugi avatuseks 0,5 mm. Järgmise nädalase katse jooksul tuvastati laigud töövuugil veesurvel 3 bar (05.11.24), kuid need kuivasid katse ajal. 0,5 mm töövuugi avatuse katse seitsmendal päeval laike enam ei tuvastanud. Tõstemehhanismi abil fikseeriti järgmise katse jaoks töövuugi avatuseks 1,0 mm. Antud vuugi avatusel tekkisid töövuugile laigud juba 1 bar peal ning töövuuk märgus 3 bar peal, ega kuivanud enam.

*Näide katsetusest fotol (Foto 2.3.4.2).



Foto 2.3.4.2: Katsekeha 11 1,00 mm töövuugi avatuse katsel (3 bar, 14.11.24) [autori erakogu]



Foto 2.3.4.1: Katsekeha 11 tõstemehhanismi keermelatid [autori erakogu]

2.4 Katsetulemuste analüüs

Katsekehade katsetamise kohta koostati kokkuvõtavad tabelid (Tabel 2.3.4.1 ja Tabel 2.3.4.2), mis kirjeldavad katsekehade veepidavust erinevate veesurve juures. Seda hinnati kahe iseloomustuse järgi:

1. laigud betooni pinnal, ehk betooni pind niiskusest tume;
2. märgunud pind, ehk betooni pind märg ja läigib.

Värvilised kastid tähistavad veesurvet, mille juures loeti katse lõppenuks ja määrati katsekeha töövuugi veepidavus.

Tabel 2.3.4.1: Katsekehade 1-10 katseandmete kogum

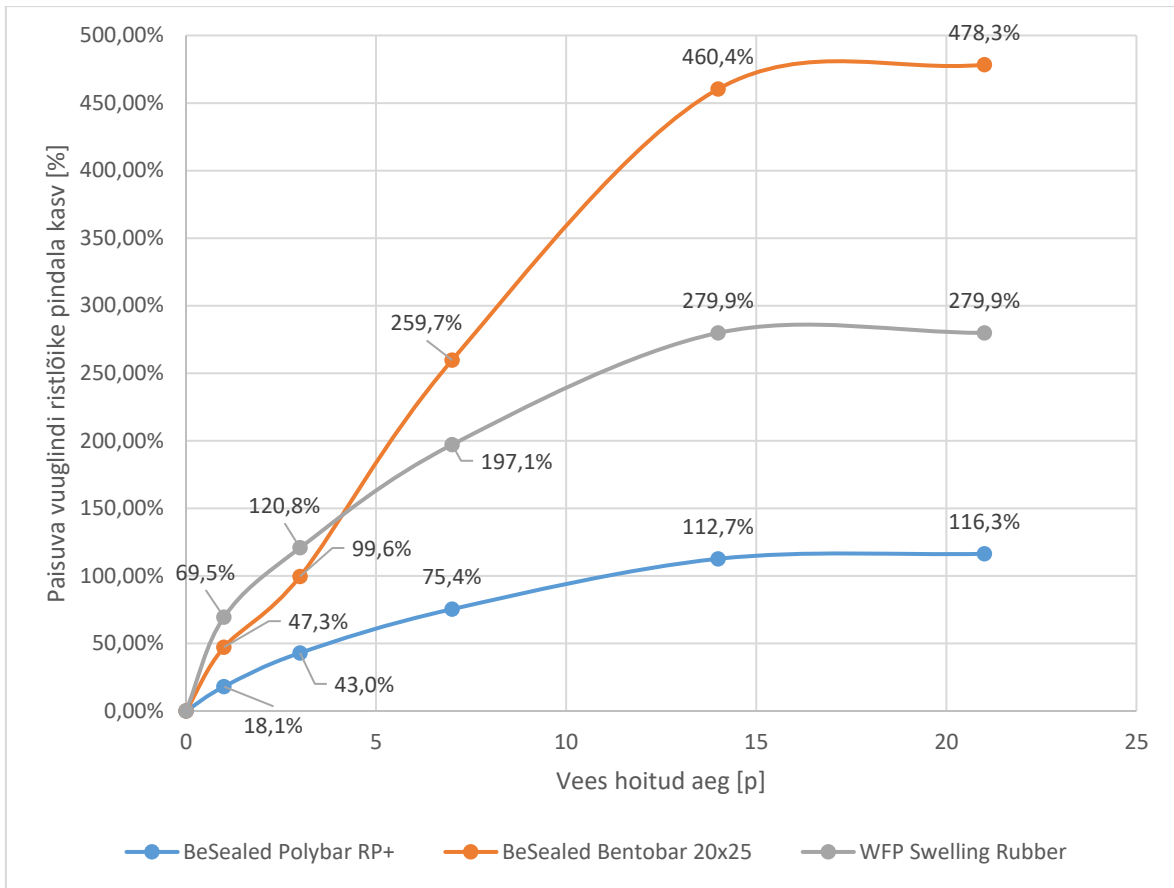
Rõhk [bar]	Katsekehade seisukord vastavalt katsekeha numbrile									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv
2	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv
2,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Laik	Kuiv
3	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv
3,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Leke	Kuiv	Laik	Kuiv
4	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Laik	Kuiv	Laik	Kuiv
4,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Laik	Kuiv	Laik	Kuiv
5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Leke (IN)	Kuiv	Laik	Kuiv
5,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Leke (IN)	Kuiv	Laik	Kuiv
6	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Laik	Kuiv	Laik	Kuiv
6,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Leke (IN)	Kuiv	Laik	Kuiv
7	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	Laik	Kuiv
7,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	Laik	Kuiv
8	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	Leke	Kuiv
8,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	Laik	Kuiv
9	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	Leke	Kuiv
9,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	Leke	Kuiv
10	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	Leke	Kuiv
10,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	-	Kuiv
11	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	-	Kuiv
11,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	-	Kuiv
12	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	-	Kuiv
12,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	-	Kuiv
13	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	-	Kuiv
13,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	-	Kuiv
14	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	-	Kuiv
14,5	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	-	Kuiv
15	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	Kuiv	-	Kuiv	-	Kuiv

Tabel 2.3.4.2: Katsekeha 11 katseandmete kogum

Päevad	Rõhk [bar]	Vuugi avatus [mm]	Seisukord
1	1 bar	0,25 mm	Kuiv
2	2 bar	0,25 mm	1 laik
3	3 bar	0,25 mm	Kuiv
4	3 bar	0,25 mm	Kuiv
5	3 bar	0,25 mm	Kuiv
6	3 bar	0,25 mm	Kuiv
7	3 bar	0,25 mm	Kuiv
1	1 bar	0,50 mm	Kuiv
2	2 bar	0,50 mm	Kuiv
3	3 bar	0,50 mm	Kuiv
4	3 bar	0,50 mm	Kuiv
5	3 bar	0,50 mm	3 laiku
6	3 bar	0,50 mm	2 laiku
7	3 bar	0,50 mm	Kuiv
1	1 bar	1,0 mm	2 laiku
2	2 bar	1,0 mm	1 laik
3	3 bar	1,0 mm	1 leke (märg)
4	3 bar	1,0 mm	2 leket (märg)
5	3 bar	1,0 mm	3 leket (märg)
6	3 bar	1,0 mm	4 leket (märg)
7	3 bar	1,0 mm	4 leket (märg)

2.4.1 Paisuvad vuugilindid

Paisuvaid vuugilinte katsetati vastavalt katseplaanile kahes osas. Kolme nädala jooksul hinnati ühe katsena lintide paisumisvõimet pidevalt vees olles ning teise katsena lintide kuiv/märg tsüklite taluvust. Paisumisvõime katsetulemusi kirjeldavad graafik (Joonis 2.4.1.1) ja tabelid (Tabel 2.4.1.1, Tabel 2.4.1.2, Tabel 2.4.1.3). Kuiv/märg tsüklite taluvuse katsetulemusi kirjeldab tabel (Lisa 1, Tabel 2.4.5.4). Fotodel kujutatud proovikehad katsete lõpus (Foto 2.4.1.1, Foto 2.4.1.2)



Joonis 2.4.1.1: Paisuvate vuugilintide ristlõike pindalade kasv ajas vette asetatuna



Foto 2.4.1.2: Proovikehad 1-3 peale katsetusi [autori erakogu]



Foto 2.4.1.1: Proovikehad 4-6 peale katsetusi [autori erakogu]

BeSealed Polybar RP+

Lindi algne ristlõikepindala oli 100 mm² mõlemal katsel. Mahumuutuse katsel kasvas vuugilindi keskmine ristlõikepindala kolme nädala jooksul 116,3% võrra. Tabelist (Tabel 2.4.1.1) on näha, et vuugilindi üks ots paisus aeglasemalt, kui ülejäänud lint. Graafikult (Joonis 2.4.1.1) on näha, et paisumine toimus esimese kahe nädala jooksul. Esimese kolme päevaga suurenes lindi keskmine ristlõikepindala 43% ning nädala jooksul 75,4%. Proovikeha pikkus pikenes katse käigus 70 mm võrra. Lint püsis esimese nädala jooksul üpris jäigana, seejärel muutus plastsemaks. Katse tulemus ei käi kokku tootelehega, millel oli märgitud paisumiseks vihmavees nädala jooksul 100% ning kogupaisumiseks 250% (määramata aja jooksul).

Märg – kuiv tsüklite katse tulemused on esitatud tabelis Lisa 1, Tabel 2.4.5.4. Katse käigus kasvas lindi ristlõikepindala esimese tsükli käigus esmalt kahe päeva jooksul vees 28% jagu ning siis kahanes ühe päeva jooksul kuivades, jäädes 15,5% suuremaks algsest. Järgmiste tsüklitega vuugilindi kahanemise maht vähenes. Viienda tsükli märjas osas kasvas lindi ristlõikepindala 182,2 mm² – ni, ehk 82,2% suuremaks algsest. Kahanemisel ristlõikepindala oluliselt ei muutunud, vähenes 173,3 mm²-ni, ehk 73,3% suuremaks algsest. Lõpptsükliks peale 4 päeva kuivamist kahanes lindi ristlõikepindala oluliselt, 119,2 mm² – ni, ehk 19,2 % suurem algsest. Uuesti vette asetades lindi ristlõikepindala suurenes, kasvades päevaga 175,6 mm² – ni, ehk 75,6% suuremaks algsest. Katsetulemustest on samuti näha, et lindi üks ots on kasvanud aeglasemalt võrreldes ülejäänud lindiga. Vuugilint toimis peale viite märg – kuiv tsükli ning kasvas uuesti ka peale pikemat kuivamist. Siiski proovikeha ristlõikepindala ei kasvanud ka kolme nädalaga nii palju, kui pidevalt vees olles kahe nädalaga. Vuugilindi pikkus suurenes maksimaalselt 55 mm võrra.

Fotodel (Foto 2.4.1.1, Foto 2.4.1.2) on samuti näha, et proovikehad 1 (mahumuutuse katse) ja 4 (märg/kuiv tsüklite katse) on paisunud erinevalt. Proovikeha 1 on ühtlase suurusega ning proovikeha 4 on ühest otsast peenem. Mõlemad proovikehad on säilitanud oma püsivuse.

Tabel 2.4.1.1: BeSealed Polybar RP+ mahumuutus 3 nädala jooksul

BeSealed Polybar RP+								
Aeg [p]	Olek	Mõõde				keskmise [mm]	A [mm ²]	Mahumuutus [%]
			a [mm]	b [mm]	c [mm]			
0p	Jäik	Pikkus	200,0			200,0	100,0	0,0%
		Laius	20,0	20,0	20,0	20,0		
		Kõrgus	5,0	5,0	5,0	5,0		
1p	Jäik	Pikkus	205,0			205,0	118,1	18,1%
		Laius	20,0	21,0	21,5	20,8		
		Kõrgus	5,0	6,0	6,0	5,7		
3p	Jäik	Pikkus	215,0			215,0	143,0	43,0%
		Laius	21,0	22,0	23,0	22,0		
		Kõrgus	6,0	6,5	7,0	6,5		
7p	Keskmise	Pikkus	250,0			250,0	175,4	75,4%
		Laius	23,0	27,0	27,0	25,7		
		Kõrgus	6,5	7,0	7,0	6,8		
14p	Keskmise	Pikkus	270,0			270,0	212,7	112,7%
		Laius	27,0	30,0	30,0	29,0		
		Kõrgus	7,0	7,5	7,5	7,3		
21p	Keskmise	Pikkus	270,0			270,0	216,3	116,3%
		Laius	28,5	30,0	30,0	29,5		
		Kõrgus	7,0	7,5	7,5	7,3		

BeSealed Bentobar 20x25

Mahumuutuse katsel kasvas vuugilindi keskmine ristlõikepindala kolme nädala jooksul 478,3% võrra, ehk algsest 438,7 mm² – st 2537 mm² - ni. Tabelist (Tabel 2.4.1.2) on näha, et vuugilint paisus laiuses ja kõrguses ühtlaselt. Graafikult (Joonis 2.4.1.1) on näha, et paisumine toimus esimese kahe nädala jooksul. Esimese kolme päevaga suurenes lindi keskmine ristlõikepindala 99,6% ning nädala jooksul 259,7%. Katse tulemusena kasvas lint T – kujuliseks. Proovikeha pikkus pikenes katse käigus 60 mm võrra. Lint muutus pehmeks peale ühte päeva vees, pudedaks muutus kahe nädala jooksul. Katse tulemus käib kokku varasemalt mainitud tootelehega, kus oli paisumismahuks märgitud 400%.

Märg – kuiv tsüklite katse tulemusi ilmestab tabel (Lisa 1, Tabel 2.4.5.4). Katse käigus kasvas lindi keskmine ristlõikepindala (algne 433,9 mm²) esimese tsükli käigus esmalt kahe päeva jooksul vees 72% jagu ning siis kahanes ühe päeva jooksul kuivades, jäädes 34,6% suuremaks algsest. Järgmiste tsüklitega vuugilindi kahanemise maht järjest vähenes. Neljanda tsükli märjas osas kasvas lindi ristlõikepindala 1586,7 mm² – ni, ehk 265,7% suuremaks algsest. Kahanemisel ristlõikepindala oluliselt ei muutunud,

vähenes 46,7 mm² võrra. Viienda tsükli ajal vees kasvas ristlõikepindala 1588,9 mm² – ni, ehk 266,2% suuremaks algsest. Lõpptsükli peale 4 päeva kuivamist kahanes lindi ristlõikepindala oluliselt, 1280 mm² – ni, ehk jäi 195% suuremaks algsest. Uuesti vette asetades lindi ristlõikepindala suurenes päeva jooksul 1446,7 mm² – ni, ehk 233,4% suuremaks algsest. Vuugilint toimis peale viite märg – kuiv tsükli ning kasvas uuesti ka peale pikemat kuivamist. Siiski proovikeha ristlõikepindala ei kasvanud ka kolme nädalaga nii palju, kui pidevalt vees olles kahe nädalaga. Vuugilint kasvas samuti T – kujuliseks, pikkus suurenes maksimaalselt 50 mm võrra.

Fotodel (Foto 2.4.1.1, Foto 2.4.1.2) on näha, kuidas peale katsetuste lõppu on proovikehad 2 (mahumuutuse katse) ja 5 (märg/kuiv tsüklite katse) paisunud kõrgusesse ja laiusesse erinevalt, T – kujuliselt. Samuti on näha, kuidas proovikeha 2 on visuaalselt suurem proovikehast 5m Nendesse on tekkinud lõhed ning on muutunud pudedaks.

Tabel 2.4.1.2: BeSealed Bentobar 20x25 mahumuutus 3 nädala jooksul

BeSealed Bentobar 20x25								
Aeg [p]	Olek	Mõõde				A [mm ²]	Mahumuutus [%]	
			a [mm]	b [mm]	c [mm]			keskmine [mm]
0p	Keskmine	Pikkus	200,0			200,0	438,7	0,0%
		Laius	23,5	23,5	23,5	23,5		
		Kõrgus	19,0	19,0	18,0	18,7		
1p	Plastne	Pikkus	210,0			210,0	646,0	47,3%
		Laius	29,0	28,0	28,5	28,5		
		Kõrgus	23,5	22,0	22,5	22,7		
3p	Plastne	Pikkus	220,0			220,0	875,6	99,6%
		Laius	34,0	32,0	32,5	32,8		
		Kõrgus	27,0	26,0	27,0	26,7		
7p	Plastne	Pikkus	250,0			250,0	1577,8	259,7%
		Laius	49,0	46,0	47,0	47,3		
		Kõrgus	34,0	33,0	33,0	33,3		
14p	Pude/habras	Pikkus	260,0			260,0	2458,3	460,4%
		Laius	59,0	59,0	59,0	59,0		
		Kõrgus	42,0	42,0	41,0	41,7		
21p	Pude/habras	Pikkus	260,0			260,0	2537,0	478,3%
		Laius	59,0	59,0	59,0	59,0		
		Kõrgus	43,0	43,0	43,0	43,0		

WFP Swelling Rubber Profile

Lindi algne ristlõikepindala oli 308 mm² mõlemal katsel. Mahumuutuse katsel kasvas vuugilindi keskmine ristlõikepindala kolme nädala jooksul 279,8% võrra. Tabelist (Tabel 2.4.1.3) on näha, et vuugilint paisus ühtlaselt. Graafikult (Joonis 2.4.1.1) on näha, et paisumine toimus esimese kahe nädala jooksul. Esimese kolme päevaga suurenes lindi keskmine ristlõikepindala 120,8% ning nädala jooksul 197,1%. Proovikeha pikkus pikenes katse käigus 155 mm võrra. Lindi olek katse käigus oluliselt ei muutunud. Katse tulemus ei käi kokku tootelehega, millel oli märgitud paisumiseks vihmavees 430% (määramata aja jooksul).

Märg – kuiv tsüklite katse tulemusi ilmestab tabel (Lisa 1, Tabel 2.4.5.4). Katse käigus kasvas lindi ristlõikepindala esimese tsükli käigus esmalt kahe päeva jooksul vees 91,2% jagu ning siis kahanes ühe päeva jooksul kuivades, jäädes 78,9% suuremaks algsest. Järgmiste tsüklitega vuugilindi kahanemise maht vähenes. Neljanda tsükli märjas osas kasvas lindi ristlõikepindala 958,3 mm² – ni, ehk 211,1% suuremaks algsest. Kahanemisel ristlõikepindala oluliselt ei muutunud, vähenes 33,3 mm² võrra. Viienda tsükli märjas osas kasvas lindi keskmine ristlõikepindala 1040 mm² – ni, ehk 237,7% suuremaks algsest. Kuivades ühe päeva jooksul maht ei vähenenud. Lõpptsükli peale 4 päeva kuivamist kahanes lindi ristlõikepindala oluliselt, 751,9 mm² – ni, ehk 144,1% suuremaks algsest. Uuesti vette asetades lindi ristlõikepindala suurenes päeva jooksul 988 mm² – ni, ehk 220,8% suuremaks algsest. Vuugilint toimis peale viiete märg – kuiv tsükli ning kasvas uuesti ka peale pikemat kuivamist. Siiski proovikeha ristlõikepindala ei kasvanud ka kolme nädalaga nii palju, kui pidevalt vees olles kahe nädalaga. Vuugilindi pikkus suurenes maksimaalselt 140 mm võrra.

Fotodel (Foto 2.4.1.1, Foto 2.4.1.2) on samuti näha, et proovikehad 3 (mahumuutuse katse) ja 6 (märg/kuiv tsüklite katse) on paisunud ühtlaselt. Mõlemad proovikehad on säilitanud oma püsivuse.

Tabel 2.4.1.3: WFP Swelling Rubber Profile mahumuutus 3 nädala jooksul

WFP Swelling Rubber Profile								
Aeg [p]	Olek	Mõõde				keskmine [mm]	A [mm ²]	Mahumuutus [%]
			a [mm]	b [mm]	c [mm]			
0p	Keskmine	Pikkus	200,0			200,0	308,0	0,0%
		Laius	22,0	22,0	22,0	22,0		
		Kõrgus	14,0	14,0	14,0	14,0		
1p	Keskmine	Pikkus	220,0			220,0	522,0	69,5%
		Laius	29,5	29,0	28,5	29,0		
		Kõrgus	18,0	18,0	18,0	18,0		
3p	Keskmine	Pikkus	260,0			260,0	680,0	120,8%
		Laius	34,0	34,0	34,0	34,0		
		Kõrgus	20,0	20,0	20,0	20,0		
7p	Keskmine	Pikkus	310,0			310,0	915,1	197,1%
		Laius	39,0	39,0	38,0	38,7		
		Kõrgus	23,0	24,0	24,0	23,7		
14p	Keskmine	Pikkus	350,0			350,0	1170,0	279,9%
		Laius	44,0	43,0	43,0	43,3		
		Kõrgus	27,0	27,0	27,0	27,0		
21p	Keskmine	Pikkus	355,0			355,0	1170,0	279,9%
		Laius	44,0	43,0	43,0	43,3		
		Kõrgus	27,0	27,0	27,0	27,0		

2.4.2 Metallist töövuugiprofiliga katsekehad 1-6

Katsetulemuste põhjal hinnati katsekehade töövuukide veepidavust. Lisaks näitavad tulemused kõrge kloriidisisaldusega vee mõju erineva kattega kaetud töövuugiprofilidele. Uuriti lisandi toimivust betooni veepidavuse tagamisel. Katseandmete kokkuvõtte on kirjeldatud tabelis (Tabel 2.3.4.1)

Katsekeha 1

WPM Polümeer vuugilindi ja ConProtect WP1 lisandiga valmistatud katsekeha pidas vastu veesurvele 15 bar ilma leketeta. Katseandmete päevik on välja toodud lisades (Lisa 3, Tabel 2.4.5.6). Fotodel (Foto 2.4.2.1) on näha, et katsekeha põhja ja seinte vaheline töövuuk on katse käigus jäänud kuivaks igal küljel. Küljel D olev laik ei ole vesi, vaid on katsekehal peal hetkest, kui see võeti raketisest välja. Lekkivat pragu katsekehasse ei tekkinud, ka mitte praotekitajaga külgedesse 2 ja 4. Betooni veepidavus määrati vee sissetungimise sügavuse järgi, milleks oli 24,5 mm (Foto 2.4.2.2) Vastavalt EVS-EN 12390-8:2019, võib lugeda betooni vett pidavaks ka 15 bar juures.



Foto 2.4.2.1: Katsekeha 1 katse lõpus (15 bar, 23.10.2024) [autori erakogu]



Foto 2.4.2.2: Katsekeha 1 välja puuritud proovikeha (poolitatud) [autori erakogu]

Kokkuvõtte: katse põhjal võib öelda, et WPM Polümeer vuugilint ja lisand ConProtect WP1 suudavad koostöös tagada betoonkonstruktsioonide töövuukide veepidavuse vähemalt 150 meetrise veesamba (arvestades EAD 320002-02-0605 varutegurit „2,5“: 15 bar = 60 meetrit veesammast) juures. Tulemus on tagatud õigel betooni valikul, korrektsel lindi paigaldusel, betoneerimisel ja järelhooldusel.

Katsekeha 2

WPM Polümeer vuugilindi ja Betocrete CP360WP lisandiga valmistatud katsekeha pidas vastu veesurvele 15 bar ilma veeleketeta. Katseandmete päevik on välja toodud lisades (Lisa 3, Tabel 2.4.5.7). Fotodel (Foto 2.4.2.3) on näha, et katsekeha põhja ja seinte vaheline töövuuk on katse käigus jäänud kuivaks igal küljel. Lekkivat pragu katsekehasse ei tekkinud, ka mitte praotekitajaga külgedesse B ja D. Betooni veepidavus määrati vee sissetungimise sügavuse järgi katsekeha seina, milleks oli 21 mm (Foto 2.4.2.4). Vastavalt EVS-EN 12390-8:2019, võib lugeda betooni vett pidavaks ka rõhu 15 bar juures.



Foto 2.4.2.3: Katsekeha 2 katse lõpus (15 bar, 23.10.2024) [autori erakogu]



Foto 2.4.2.4: Katsekeha 2 välja puuritud proovikeha (poolitatud) [autori erakogu]

Kokkuvõtte: katse põhjal võib öelda, et WPM Polümeer vuugilint ja lisand Betocrete CP360WP suudavad koostöös tagada betoonkonstruktsioonide töövuukide veepidavuse vähemalt 150 meetrise veesamba (arvestades EAD 320002-02-0605 varutegurit „2,5“: 15 bar = 60 meetrit veesammast) juures. Tulemus on tagatud õigel betooni valikul, korrektsel lindi paigaldusel, betoneerimisel ja järelhooldusel.

Katsekeha 3

WPM Polümeer vuugilindi ja Betocrete CP360WP lisandiga valmistatud katsekeha pidas vastu veesurvele 15 bar joogivees ja 10 bar 5% soolvees ilma veeleketeta. Katseandmete päevik on välja toodud lisades (Lisa 3, Tabel 2.4.5.8 ja Tabel 2.4.5.9). Fotodel (Foto 2.4.2.5) on näha, et katsekeha põhja ja seinte vaheline töövuuk on katse käigus jäänud kuivaks igal küljel. Fotodel nähtavad laigud katsekeha külgedel on hetkest, kui see võeti raketisest välja. Peale konstruktsiooni ühe külje (külj A) avamist tuvastati, et 5% soolvesi tekitas 2 nädala jooksul korrosioonialge (Foto 2.4.2.6) töövuugiprofiili pinnale.



Foto 2.4.2.5: Katsekeha 3 katse lõpus (10 bar, 09.11.2024) [autori erakogu]



Foto 2.4.2.6: Korrosioonialge katsekeha 3 töövuugiprofiili pinnal (09.11.2024) [autori erakogu]

Kokkuvõtte: katse põhjal võib öelda, et WPM Polümeer vuugilint ja lisand Betocrete CP360WP suudavad tagada betoonkonstruktsioonide töövuukide veepidavuse joogivees vähemalt 150 meetrise veesamba (arvestades EAD 320002-02-0605 varutegurit 2,5: 15 bar = 60 meetrit veesammast) juures ja soolvees vähemalt 100 meetrise veesamba (arvestades EAD 320002-02-0605 varutegurit „2,5“: 10 bar = 40 meetrit veesammast) juures. Tulemus on tagatud korrektsel lindi paigaldusel, betoneerimisel ja järelhooldusel. Soolvette siiski antud lint ei sobi, kuna aja pikku hakkab see korrodeeruma ning protsessi tulemusel lint laguneb, töövuuk hakkab tulevikus lekkima.

Katsekeha 4

WPM Polümeer vuugilindiga ja ilma lisandita valmistatud katsekeha pidas vastu veesurvele 15 bar ilma veeleketeta. Katseandmete päevik on välja toodud lisades (Lisa 3, Tabel 2.4.5.10). Fotodel (Foto 2.4.2.7) on näha, et katsekeha põhja ja seinte vaheline töövuuk on katse käigus jäänud kuivaks igal küljel. Lekkivat pragu katsekehasse ei tekkinud, ka mitte praotekitajaga külgedesse B ja D. Betooni veepidavus määrati vee sissetungimise sügavuse järgi katsekeha seina, milleks oli 49,5 mm (Foto 2.4.2.8). Vastavalt EVS-EN 12390-8:2019, võib lugeda betooni vett pidavaks ka rõhu 15 bar juures.



Foto 2.4.2.7: Katsekeha 4 katse lõpus (15 bar, 23.10.2024) [autori erakogu]



Foto 2.4.2.8: Katsekeha 4 välja puuritud proovikeha (poolitatud) [autori erakogu]

Kokkuvõtte: katse põhjal võib öelda, et WPM Polümeer vuugilint ja ilma lisandita C30/37 betoon suudavad koostöös tagada betoonkonstruktsioonide töövuukide veepidavuse vähemalt 150 meetrise veesamba (arvestades EAD 320002-02-0605 varutegurit „2,5“: 15 bar = 60 meetrit veesammast) juures. Tulemus on tagatud õigel betooni valikul, korrektsel lindi paigaldusel, betoneerimisel ja järelhooldusel. Ilma lisandita saavutati selline veepidavus ideaalilähedaste kivinemistingimuste tõttu, mida ehituses tihti ei ole. Siiski on vee sissetugimise sügavus üle kahe korra suurem, kui lisandiga valmistatud katsekehadel.

Katsekeha 5

Ankox FleeceproofX 1 vuugilindi ja Betocrete CP360WP lisandiga valmistatud katsekeha pidas vastu veesurvele 15 bar ilma veeleketeta. Katseandmete päevik on välja toodud lisades (Lisa 3, Tabel 2.4.5.11). Fotodel (Foto 2.4.2.9) on näha, et katsekeha põhja ja seinte vaheline töövuuk on katse käigus jäänud kuivaks igal küljel.



Foto 2.4.2.9: Katsekeha 5 katse lõpus (15 bar, 23.10.2024) [autori erakogu]

Kokkuvõtte: katse põhjal võib öelda, et Ankox FleeceproofX 1 vuugilint ja lisand Betocrete CP360WP suudavad koostöös tagada betoonkonstruktsioonide töövuukide veepidavuse 150 meetrise veesamba (arvestades EAD 320002-02-0605 varutegurit „2,5“: 15 bar = 60 meetrit veesammast) juures. Tulemus on tagatud õigel betooni valikul, korrektusel lindi paigaldusel, betoneerimisel ja järelhooldusel.

Katsekeha 6

WPM Bituumen vuugilindi ja Betocrete CP360WP lisandiga valmistatud katsekeha pidas vastu veesurvele 15 bar joogivees ja 10 bar 5% soolvees ilma veeleketeta. Katseandmete päevik on välja toodud lisades (Lisa 3, Tabel 2.4.5.12 ja Tabel 2.4.5.13). Fotodel (Foto 2.4.2.10) on näha, et katsekeha põhja ja seinte vaheline töövuuk on katse käigus jäänud kuivaks igal küljel. Fotodel nähtavad laigud katsekeha külgedel on hetkest, kui see võeti raketisest välja. Peale konstruktsiooni ühe külje (külj A) avamist tuvastati, et 5% soolvesi 2 nädala jooksul töövuugiprofiili pinda ei mõjutanud (Foto 2.4.2.11).



Foto 2.4.2.10: Katsekeha 6 katse lõpus (10 bar, 09.11.2024) [autori erakogu]



Foto 2.4.2.11: Katsekeha 6 avatud töövuuk (09.11.2024) [autori erakogu]

Kokkuvõtte: katse põhjal võib öelda, et WPM Bituumen vuugilint ja lisand Betocrete CP360WP suudavad tagada betoonkonstruktsioonide töövuukide veepidavuse joogivees vähemalt 150 meetrise veesamba (arvestades EAD 320002-02-0605 varutegurit „2,5“: 15 bar = 60 meetrit veesammast) juures ja soolvees vähemalt 100 meetrise veesamba (arvestades EAD 320002-02-0605 varutegurit 2,5: 10 bar = 40 meetrit veesammast) juures. Tulemus on tagatud korrektusel lindi paigaldusel, betoneerimisel ja järelhooldusel. Töövuugiprofiili bituumenkate täidab oma eesmärgi ning kaitseb profiili korrosiooni eest keemiliselt agressiivsetes keskkondades.

2.4.3 Paisuva/ilma vuugilindiga(-ta) katsekehad 7-10

Katsetulemuste põhjal hinnati katsekehade töövuukide veepidavust ning injekteeerimise efektiivsust töövuukide veelekete likvideerimisel.

Katsekeha 7

Ilma vuugilindita ja Betocrete CP360WP lisandiga valmistatud katsekeha pidas esmalt veeleketeta vastu 3 bar. Fotodel (Foto 2.4.3.1) on näha, et peale ühte päeva 3,5 bar veesurve mõju esines esimene laik töövuugil küljel C. Küljed injekteeeriti jooksvalt katse käigus. Veesurve 6,5 bar juures esinesid lekked(märgunud) katsekeha injekteeeritud külgedel 2, 3 ja 4 (Foto 2.4.3.2), injekteeerimine enam veelekkeid pidama ei saanud. Katseandmete päevik on välja toodud lisades (Lisa 3, Tabel 2.4.5.14).

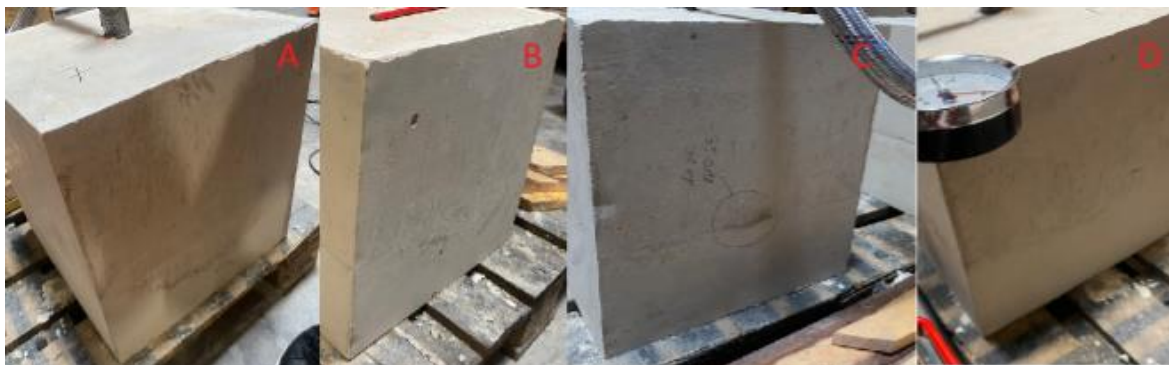


Foto 2.4.3.1: Katsekeha 7 katse ajal (3,5 bar, 31.08.2024) [autori erakogu]



Foto 2.4.3.2: Katsekeha 7 katse lõpus (6,5 bar, 12.09.2024) [autori erakogu]

Kokkuvõtte: katse tulemusena võib öelda, et õige betooniga, korrektselt betoneeritud ja järelhooldatud betoonkonstruktsiooni töövuuk suudab ilma vuugilindita vett pidada kuni 30 meetrise veesamba (arvestades EAD 320002-02-0605 varutegurit „2,5“: 3 bar = 12 meetrit veesammast) juures. Injekteeerides on võimalik lekked tagasi hoida ka 60 meetrise veesamba (arvestades EAD 320002-02-0605 varutegurit „2,5“: 6 bar = 24 meetrit veesammast) juures, kuid efektiivne see ei ole, kuna injekteeerimisi tuleb teostada korduvalt.

Katsekeha 8

WFP Swelling Rubber Profile paisuva vuugilindi ja Betocrete CP360WP lisandiga valmistatud katsekeha pidas vastu veesurvele 15 bar joogivees ilma veeleketeta. Katseandmete päevik on välja toodud lisades (Lisa 3, Tabel 2.4.5.15). Fotodel (Foto 2.4.3.3Foto 2.4.3.3: Katsekeha 8 katse lõpus (15 bar, 23.11.2024) [autori erakogu]) on näha, et katsekeha põhja ja seinte vaheline töövuuk on katse käigus jäänud kuivaks igal küljel. Fotodel nähtavad laigud katsekeha külgedel on hetkest, kui see võeti raketisest välja.

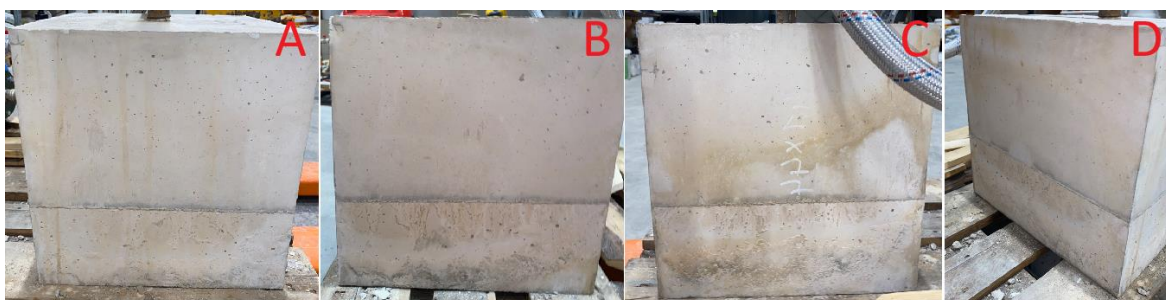


Foto 2.4.3.3: Katsekeha 8 katse lõpus (15 bar, 23.11.2024) [autori erakogu]

Kokkuvõte: katse põhjal võib öelda, et WFP Swelling Rubber Profile vuugilint ja lisand Betocrete CP360WP suudavad koostöös tagada betoonkonstruktsioonide töövuukide veepidavuse 150 meetrise veesamba (arvestades EAD 320008-01-0605 varutegurit „2,5“: 15 bar = 60 meetrit veesammast) juures. Tulemus on tagatud õigel betooni valikul, korrektsel lindi paigaldusel, betoneerimisel ja järelhooldusel. Nii kõrge veesurve juures antud vuugilindiga töövuugi veepidavuse saavutamiseks on vajalik topeltlindi paigaldus vuugilindi liitekohtades.

Katsekeha 9

BeSealed Polybar+ RP sünteetilisest kummist paisuva vuugilindi ja Betocrete CP360WP lisandiga valmistatud katsekeha pidas laikudeta vee survet 2 bar. Fotol (Foto 2.4.3.4) on näha, et 2,5 bar juures tekkis esimene laik töövuugile küljel C. Vuuk oli katsudes kuiv ning vesi läbi ei valgunud. Vuugilintide paisumiskatses ning märg/kuiv tsüklite katses selgus, et antud vuugilint paisus ebaühtlaselt. Lekke tekkimine veesurvel 2,5 bar võib olla tingitud sellest, et antud lekkekohas ei pruukinud vuugilint paisuda sama kiirusega, nagu ülejäänud töövuugil. Veel võis leke olla tingitud asjaolust, et nurkade liitekohtades ei olnud topeltlinti ning vesi sai imbuda liitekohtade vahelt läbi enne, kui lint pikkusesse piisavalt paisuda jõudis.

Mitte toimiva paisuva vuugilindi olemasolu vähendab töövuugi veepidavust, kuna sein ja põhjaplaadi betoon/betoon liite pindala on väiksem ning vesi valgub kiiremini vuugi märjalt poolelt kuivale. Juhul kui vesi jõuab paisuva vuugilindini ning lint koheselt paisuma ei hakka, jõuab kõrgema veesurve korral vesi üle vuugilindi liikuda enne, kui lint piisavas mahus paisuda.

Laike tekkis töövuugile külgedel B ja C veelgi, kuid aja möödudes ja lindi paisudes need kuivasid. Töövuugile tekkinud laigud muutusid märgunud pinnaks veesurve juures 8 bar (Foto 2.4.3.5), peale seda hakkas betooni pind uuesti kuivama. Katsetati kuni rõhuni 10 bar, siis tekkisid märjad laigud igale küljele (Foto 2.4.3.6). Katseandmete päevik on välja toodud lisades (Lisa 3, Tabel 2.4.5.16).

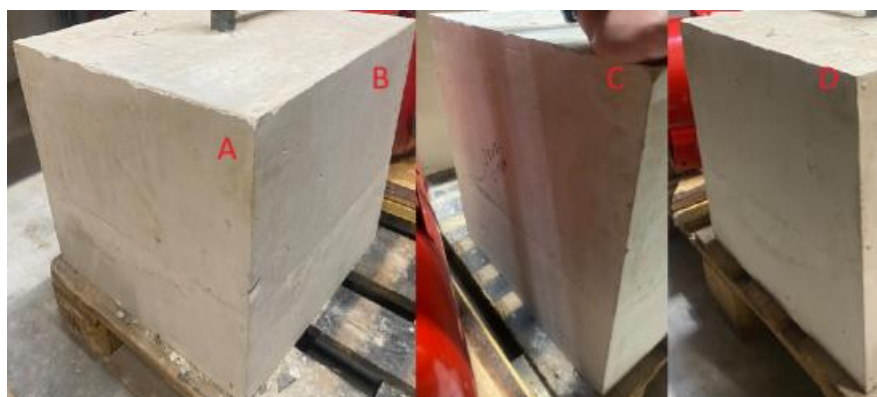


Foto 2.4.3.4: Katsekeha 9 katse ajal (2,5 bar, 28.08.2024) [autori erakogu]

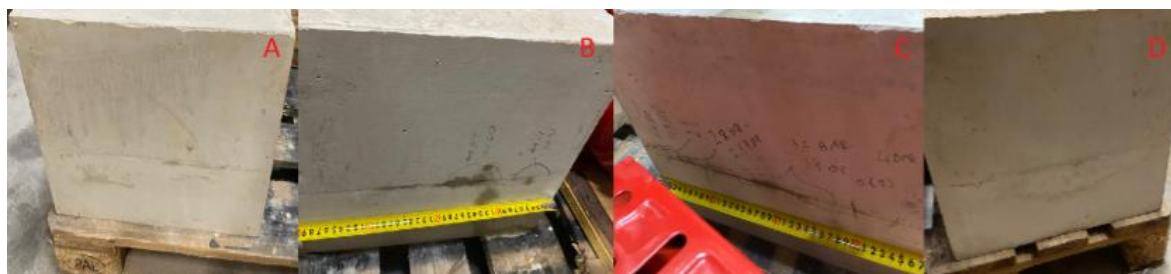


Foto 2.4.3.5: Katsekeha 9 katse ajal (8 bar, 16.09.2024) [autori erakogu]

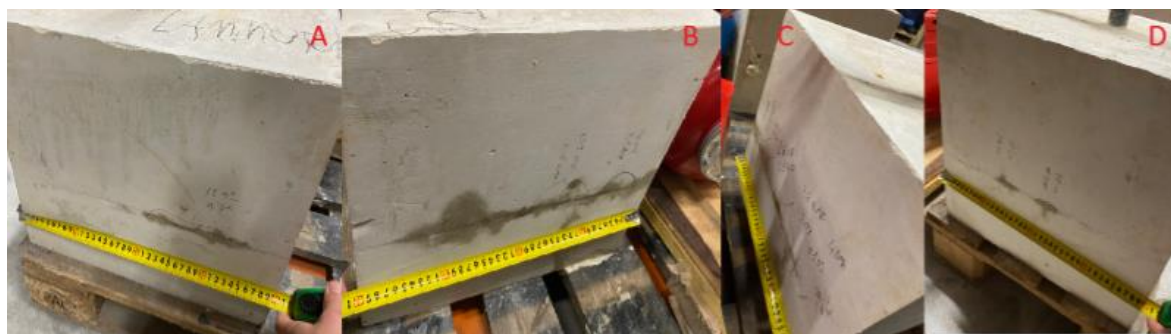


Foto 2.4.3.6: Katsekeha 9 katse lõpus (10 bar, 20.09.2024) [autori erakogu]

Kokkuvõte: katse tulemusena võib öelda, et õigel betooni valikul, korrektsel vuugilindi paigaldusel, betoneerimisel ja järelhooldusel suudavad Polybar RP+ lint ja Betocrete CP360WP lisand tagada töövuukide veepidavuse 75 meetrise veesamba (arvestades EAD 320008-01-0605 varutegurit „2,5“: 7,5 bar = 30 meetrit veesammast) juures. Laikudeta püsis töövuuk 20 meetrise veesamba (arvestades EAD 320008-01-0605 varutegurit „2,5“: 2 bar = 8 meetrit veesammast) juures.

BeSealed Polybar+ RP paisuv vuugilint kasvas paisumiskatsel päevaga 18% ning nädalaga 75,4%. Vuugilindi üks ots päeva jooksul ei paisunudki. Esimesed mahumuutused fikseeriti lindi paisumata otsas alles kolmandal katsepäeval. Võib öelda, et antud vuugilindile tuleb konstantsel veerõhul anda paisumiseks aega vähemalt nädal, et veeleked peatuksid. Kõrgema veepidavuse antud lindi paigaldusel tagaks kindlasti liitekohtadesse topeltlinde paigaldus, nagu tehti katsekehade 8 ja 10 puhul.

Katsekeha 10

BeSealed Bentobar+ 20x25 paisuva vuugilindi ja Betocrete CP360WP lisandiga valmistatud katsekeha pidas vastu veesurvele 15 bar joogivees ilma veeleketeta. Katseandmete päevik on välja toodud lisades (Lisa 3, Tabel 2.4.5.17). Fotodel (Foto 2.4.3.7) on näha, et katsekeha põhja ja seinte vaheline töövuuk on katse käigus jäänud kuivaks igal küljel.



Foto 2.4.3.7: Katsekeha 10 katse lõpus (15 bar, 23.11.2024) [autori erakogu]

Kokkuvõte: katse põhjal võib öelda, et WFP Swelling Rubber Profile vuugilint ja lisand Betocrete CP360WP suudavad koostöös tagada betoonkonstruktsioonide töövuukide veepidavuse 150 meetrise veesamba (arvestades EAD 320008-01-0605 varutegurit „2,5“: 15 bar = 60 meetrit veesammast) juures. Tulemus on tagatud õigel betooni valikul, korrektsel lindi paigaldusel, betoneerimisel ja järelhooldusel. Lindi plastsuse tõttu on võimalik nurgad keerata 90° ilma linti löikamata. Sellisel paigaldusel on liitekohti vähem ning need tuleb kindlustada topeltlinde paigaldusega.

2.4.4 Tõstemehhanismiga katsekeha 11

WPM Polümeer töövuugiprofiili ja Betocrete CP360WP lisandiga valmistatud katsekeha puhul, mille töövuuki on võimalik tekitada fikseeritud läbimõõduga pragu, tekkis töövuugile esimene laik 0,25 mm prao ja 2 bar veesurve juures. Päeva möödudes oli see kuivanud. Fotel (Foto 2.4.4.1) küljel C on märgitud punase ringiga koht, kus antud leke tuvastati. Kuna töövuugiprofiili polümeerne kate ei ole enam peale esmast reageerimist betooni kivinemise ajal aktiivne ja betoonilisand hakkab tavapäraselt toimima umbes 3 nädalaga prao tekkimisest, on esmase lekke peatumise põhjus ebaselge. Ilmselt liigutas vesi betooni lahtist peenosist vuugilindi ümbruses ning see tõkestas vee liikumise teisele poole töövuugiprofiili.

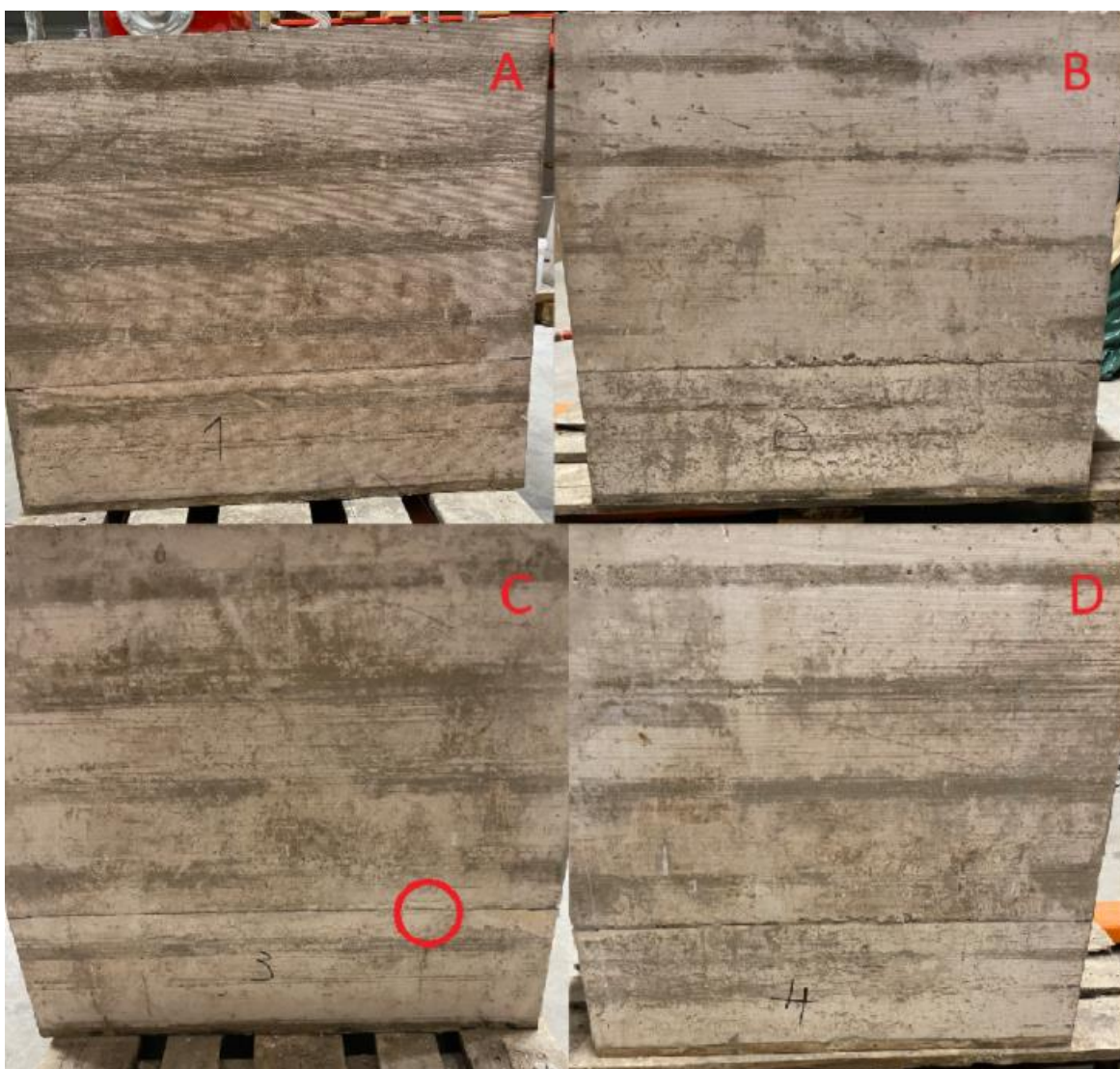


Foto 2.4.4.1: Katsekeha 11 0,25 mm töövuugi avatuse katsel (3 bar, 31.10.24) [autori erakogu]

Laike tekkis töövuugile ka avatuse 0,5 mm juures, kuid need kuivasid. Antud laikude asukohad kuivanuna on märgitud fotol (Foto 2.4.4.2) külgedel A ja D punase ringiga. Esimest korda märgus töövuuk avatusel 1,0 mm ning veesurvel 3 bar. Lekked katse käigus enam ei kuivanud. Fotol (Foto 2.4.4.3) on kujutatud katsekeha küljed katse lõpus töövuugi avatusel 1,0 mm. Lekete asukohad on märgitud punase ringiga külgedel A ja C, igal küljel on töövuuki asetatud ka lehtkaliiber vuugi avatuse mõõtmiseks. Katseandmete päevik on välja toodud lisades (Lisa 3, Tabel 2.4.5.18).



Foto 2.4.4.2: Katsekeha 11 0,50 mm töövuugi avatuse katsel(3 bar, 08.11.24) [autori erakogu]



Foto 2.4.4.3: Katsekeha 11 1,0 mm töövuugi avatuse katse lõpus (15.11.24) [autori erakogu]

Kokkuvõte: katse tulemusena võib öelda, et WPM Polümeer töövuugiprofiil ja Betocrete CP360WP lisand suudavad tagada töövuukide veepidavuse 30 meetrise veesamba (arvestades EAD 320002-02-0605 varutegurit „2,5“: 3 bar = 12 meetrit veesammast) juures ka siis, kui töövuuki on tekkinud näiteks maapinna deformeerumisest pragu läbimõõduga kuni 0,5 mm. Kuni 1,0 mm prao tekkimisel ja veelekete tuvastamisel tuleb esmalt oodata vähemalt 3 nädalat, et näha kas lisand suudab lindi ja betooni vahelise nakke uuesti tagada. Juhul kui ei suuda, tuleb veelekked kõrvaldada töövuugi injekeerimise teel. Tulemused on tagatud õigel betooni valikul, korrektsel vuugilindi paigaldusel, betoneerimisel ja järelhooldusel.

2.4.5 Katsetulemuste kokkuvõte

Katsetulemuste kohta on esitatud kokkuvõtavad tabelid. (Tabel 2.4.5.1 ja Tabel 2.4.5.2). Katsetulemuste järgi võib öelda, et metallist töövugiprofiilid täitsid täielikult oma ülesannet ning katsete käigus lekkeid ei esinenud. Katse käigus saavutati katseseadmete jaoks maksimaalne veesurve 15 bar. Samuti pidas keemiliselt agressiivsetesse keskkondadesse mõeldud bituumenkattega töövugiprofiil vastu 5% soolvee mõjule, ega hakanud korrodeeruma. Polümeerkattega töövugiprofiil tagas töövugi veepidavuse ka 0,50 mm läbimõõduga prao tekkimisel, kui katse veesurveks oli 3 bar. Paisuvate vuugilintide kasutamisel esines katse käigus lekkeid ühe toote (BeSealed Polybar+ RP) puhul, ülejäänute puhul mitte. Graafikult (Joonis 2.4.5.1) on näha, et kõik vuugilindid pidasid vett samadel või kõrgematel veesurvetel, kui tootelehed ette nägid. Katsetulemustele vastavad veesambad on välja toodud graafikul (Joonis 2.4.5.2).

Lisandite kasutamine betoonisegus vähendas vee sissetungimise sügavust katsekehade seintesse üle kahe korra. Ilma lisandita katsekeha puhul oli vee sissetungimise sügavuseks katse käigus 49,5 mm, Schomburg Betocrete CP360WP lisandiga katsekeha puhul 21 mm ja SL Protection ConProtect WP1 lisandiga katsekeha puhul 24,5 mm.

Paisuvate vuugilintide katsete kokkuvõtva tabeli (Tabel 2.4.5.3) järgi võib öelda, et BeSealed Bentobar+ 20x25 kasvas mahus vastavalt tootelehele, kuid BeSealed Polybar+ RP ja WFP Swelling Rubber Profile seda ei teinud. Kõikide lintide põhiline paisumine toimus esimese kahe nädala jooksul. Kõik kolm linti säilitasid toimivuse ka peale käigus tehtud 6 märg-kuiv tsükli.

Tabel 2.4.5.1: Töövuukide hüdroisolatsioonitoodete veepidavuse võrdlus tootelehtedega

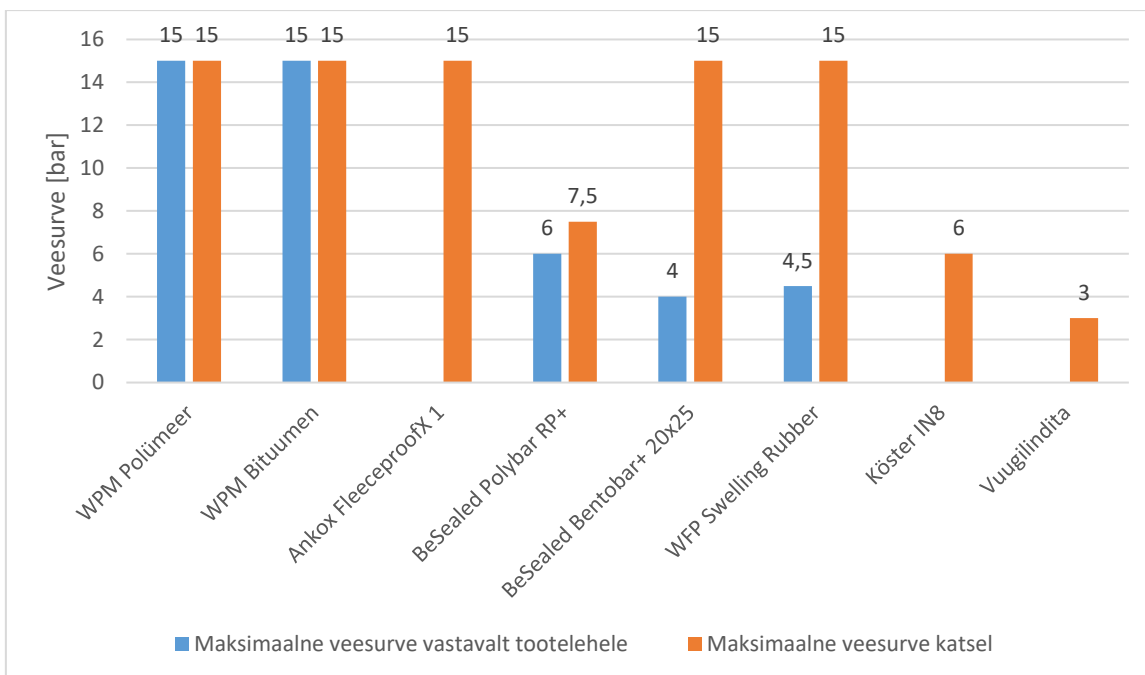
Lahendus	Hüdroisolatsiooni toode	Maksimaalne veesurve vastavalt tootelehele [bar]	Maksimaalne veesurve katsel [bar]
Metallist töövuugiprofiil	WPM Polümeer	15 bar	15 bar
	WPM Bituumen	15 bar	15 bar
	Ankox FleeceproofX 1	-	15 bar
Paisuavad töövuugilindid	BeSealed Polybar+ RP	6 bar	7,5 bar
	BeSealed Bentobar+ 20x25	4 bar	15 bar
	WFP Swelling Rubber Profile	4,5 bar	15 bar
Ilma/injekteerimine	Injekteerimisvaik Köster IN8	-	6 bar
	-	-	3 bar

Tabel 2.4.5.2: Töövuukide hüdroisolatsioonitoodete toimivus katsel erinevate veesammaste juures

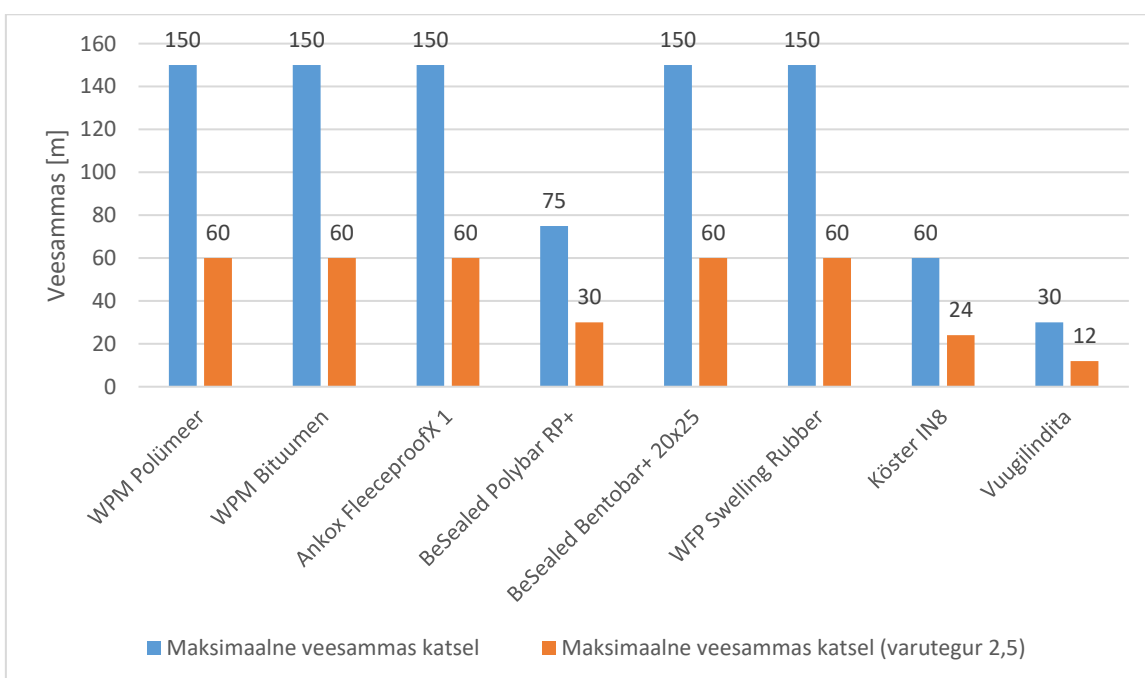
Hüdroisolatsiooni toode	Maksimaalne veesamm katsel [m]	Maksimaalne veesamm katsel (vastavalt EAD varutegurile 2,5) [m]	Katsetel tehtud märkused
WPM Polümeer	150 m	60 m	Lekkeid katsete käigus ei esinenud Ei sobi agressiivsesse keskkonda
	30 m	12 m	Töövuugis deformatsioon, 0,50 mm läbimõõduga pragu
WPM Bituumen	150 m	60 m	Lekkeid katsete käigus ei esinenud
			Sobib agressiivsesse keskkonda
Ankox FleeceproofX 1	150 m	60 m	Lekkeid katsete käigus ei esinenud
BeSealed Polybar+ RP	75 m	30 m	Katse käigus tekkis laike, mis kuivasid
BeSealed Bentobar+ 20x25	150 m	60 m	Vuugilindi liitekohas topelt-lint
WFP Swelling Rubber Profile	150 m	60 m	Vuugilindi liitekohtades topelt-lindid
Injekteerimisvaik Köster IN8	60 m	24 m	Kõrge veesurve juures vaja korduvalt injekteerida, et tagada täielik veepidavus
-	30 m	12 m	Ilma vuugilindita töövuugi veepidavus sõltub peamiselt betoneerimistehnoloogiast ja kivinemistingimustest

Tabel 2.4.5.3: Paisuvate vuugilintide mahumuutuste võrdlus tootelehtedega

Paisuv vuugilint	Paisumine 3 nädala jooksul [%]	Paisumine vastavalt tootelehele (määramata aeg) [%]
BeSealed Polybar+ RP	116,3%	250%
BeSealed Bentobar+ 20x25	478,3%	400%
WFP Swelling Rubber Profile	279,8%	430%



Joonis 2.4.5.1: Töövuugi hüdroisolatsioonitoodete katsetulemuste võrdlus tootelehtedega



Joonis 2.4.5.2: Töövuugi hüdroisolatsioonitoodetele vastavad maksimaalsed veesambad katsel

JÄRELDUSED

Magistritöö käigus tehtud katsete põhjal määrati Eestis kasutusel olevate töövuukide hüdroisolatsioonilahenduste veepidavused maksimaalsel veesurvel 11 katsekeha põhjal. Katsetati metallist töövuugiprofiile, paisuvaid vuugilinte ning injekteerimist. Samade katsekehade alusel määrati ka betoonilisandi toimivus ning keskkonnamõju metallist töövuugiprofiilidele. Paisuvate vuugilintide muutust ajas ning märg/kuiv tsüklite taluvust katsekehade põhjal ei määratud. Need määrati kolmest erinevast vuugilindist lõigatud kuue proovikeha alusel.

Katsekehad valmistati puhastes sisetingimustes ja kivinesid kontrollitud keskkonnas. Katsed viidi läbi siseruumides ehk katsetulemusi ilmastik ei mõjutanud. Ehitusplatsil reaalelulistest tingimustes valmistatud ja kivinenud betoonkonstruktsioonide puhul oleksid veepidavused töös saadud tulemustest erinevad.

Järeldused katsete alusel:

- 1) Metallist töövuugiprofiilidega oli katsekehade töövuukide veepidavus vähemalt 150 meetrit veesammast (EAD: 60 m);
- 2) õigel metallist töövuugiprofiili katte valikul oli katsekeha töövuugi veepidavus kõrge kloriidisisaldusega keskkonnas vähemalt 100 meetrit veesammast (EAD: 40 m);
- 3) keskkonda mittesobiva metallist töövuugiprofiili katte valikul hakkab profiil korrodeeruma ning laguneb, töövuugi veepidavus väheneb;
- 4) WPM Polümeer töövuugiprofiil suudab tagada töövuugi veepidavuse kuni 0,5 mm deformatsioonil veesurve 3 bar, ehk 30 meetrise veesamba (EAD: 12 m) juures;
- 5) paisuvate töövuugilintidega on võimalik tagada töövuukide veepidavus kuni 75 meetrise veesamba (EAD: 30 m) juures. Lindi paisumise ajal võib töövuugi läheduses esineda laike. Olenevalt tootjast ja mudelist, võib saavutada veepidavuse ka suuremate veesammaste (vähemalt 150 meetrit (EAD: 60 m)) juures, kuid sel juhul on lindi liitekohtadesse vaja topeltlinte ning lint peab olema pidevalt vees;
- 6) paisuvad vuugilindid sobivad ühtlase veesurvega keskkonda. Pikema-ajalisel kuivamisel lindid kahanevad ning veesurve uuesti suurenemisel võivad töövuugid lekkida, kuni lindid paisuvad;

- 7) paisuvate vuugilintide paigaldusel on mõistlik liitekohtadesse paigaldada lisa vuugilindid, et liitekohad töötaks ettenähtult;
- 8) bentoniidist vuugilindid muutuvad vähemalt 3 nädalasel vees olekul pudedaks ja võivad hakata lagunema;
- 9) kristalliliste veepidavust tõstvate lisandite kasutamisel saab betooni veepidavust suurendada üle kahe korra;
- 10) injekterides injekterimisvaiguga KÖSTER IN 8 saab töövuukide veepidavust parandada kuni 60 (EAD: 24 m) meetrise veesamba juures. Siiski tuleb veepidavuse saavutamiseks injekterimisi korrata;
- 11) katsete jaoks kohandatud meetodid ning katsekehad on töövuukide veepidavuse katsetamiseks sobivad;

Käesolevas magistritöös tehtud katse seeria kestis maksimaalselt 25 päeva jooksul ning katseseadmete maksimaalne veesurve oli 15 bar. Katsete käigus ei arvestatud pika – ajalist (vähemalt 1 aasta) mõju hüdroisolatsioonilahenduste toimivusele, ega ilmastiku mõju lahenduste paigaldusele.

SUMMARY

The aim of the master's thesis was to experimentally determine the water resistance of various waterproofing solutions for construction joints commonly used in Estonia. Additionally, the performance of two water-resistance-enhancing concrete additives was evaluated, along with the volumetric changes of different swelling joint tapes over time and their resistance to wet/dry cycles. The environmental impact of various coatings on metal construction joint profiles was also assessed.

To determine the maximum water resistance of the waterproofing solutions, 11 test specimens were prepared. In addition to concrete and reinforcement, various combinations of waterproofing products and concrete additives were used. A lifting mechanism was integrated into the walls of one specimen to create a fixed-diameter crack in the joint, allowing for an assessment of the solution's performance under different structural deformations. The same specimens were used to evaluate the performance of the additives and the environmental impact on metal construction joint profiles. The volumetric changes and wet/dry cycle tolerance of the swelling joint tapes were determined using six samples cut from three different tapes.

The test specimens were prepared in a workshop under clean conditions and cured in a controlled environment. It can be assumed that test results would differ for specimens prepared and cured under real-life conditions at a construction site. Therefore, a correction factor of 2.5, as per the EAD guidelines, was applied.

The test results revealed that using metal construction joint profiles can ensure complete watertightness of construction joints at a water column height of at least 150 meters (60 m as per EAD). In cases of joint deformation, the tested construction joint profile maintained watertightness at a water column height of 30 meters (12 m as per EAD) and a crack width of 0.50 mm. It is important to consider the environmental conditions of the structure when selecting joint profiles, as corrosion was observed on the surface of polymer-coated profiles after just two weeks in 5% chloride water.

Swelling joint tapes are suitable for environments with constant water pressure. It is not ideal for these tapes to dry out intermittently, as they shrink during drying. Swelling joint tapes can ensure watertightness of construction joints up to a water column height of 75 meters (30 m as per EAD). However, uneven swelling may occur, where one end of the tape swells more slowly than the rest, potentially leading to leaks. Depending on the manufacturer and model of the tape, higher water resistance (at least 150 meters

(60 m as per EAD)) can be achieved, but double layers of tape may be required at joint connections.

In cases of leaks in construction joints, injection can be used to eliminate leakage. However, under high water pressure, repeated injections may be necessary. During testing, watertightness was achieved through injection at a water column height of 60 meters (24 m as per EAD).

The use of crystalline additives that enhance concrete water resistance can reduce the depth of water penetration into concrete by more than half.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Eesti Betooniühing, "3.2.3.4 Veepidavus," in *BETOON JA RAUDBETOON: SPETSIFITSEERIMINE, TEHNOLOOGIA, KVALITEET, VASTAVUSHINDAMINE*, BÜ2., Tallinn: AS Pakett, 2017, p. 51.
- [2] "GOST 12730.5-84 BETOON: Meetodid veepidavuse määramiseks," 1984. Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://files.stroyinf.ru/Data1/3/3582/>
- [3] A. Kanal, "Täitematerjali veesisalduse ja tera pinnapuhtuse mõju."
- [4] M. A. Sanjuán and R. Muñoz-Martialay, "Influence of the water/cement ratio on the air permeability of concrete," *J Mater Sci*, vol. 31, no. 11, pp. 2829–2832, Jun. 1996, doi: 10.1007/BF00355989.
- [5] L. Dvorkin, O. Bordiuzhenko, D. Mierzwiński, T. Tracz, and M. Sitarz, "Water Impermeability of Self-Compacting Fly-Ash-Containing Concrete," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 13, p. 5373, Jun. 2024, doi: 10.3390/app14135373.
- [6] J. Uusitalo, J. Ihanamäki, R. Rajala, and O. Vallin, "Veetihedus," in *BETOONITÖÖD*, Tallinn: Ehitame kirjastus, 2008, pp. 36–36.
- [7] Rudus AS, "Betoneerimisjuhend." Accessed: Sep. 21, 2024. [Online]. Available: <https://rudus.ee/betoon/betoneerimisjuhend/>
- [8] T. Tuisk, "Kuumad tingimused."
- [9] B. Liu, G. Luo, and Y. Xie, "Effect of curing conditions on the permeability of concrete with high volume mineral admixtures," *Constr Build Mater*, vol. 167, pp. 359–371, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.190.
- [10] "EVS-EN 197-1:2011 TSEMENT. Osa 1: Harilike tsementide koostis, spetsifikatsioonid ja vastavuskriteeriumid," 2011.
- [11] J. Uusitalo, J. Ihanamäki, R. Rajala, and O. Vallin, "Täitematerjal," in *BETOONITÖÖD*, Tallinn: Ehitame kirjastus, 2008, pp. 16–17.
- [12] W. B. Ashraf and M. A. Noor, "Effects of aggregate gradation on water permeability of concrete," in *Advanced Materials Research*, 2012, pp. 248–252. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.488-489.248.
- [13] L. Basheer, P. A. M. Basheer, and A. E. Long, "Influence of coarse aggregate on the permeation, durability and the microstructure characteristics of ordinary Portland cement concrete," *Constr Build Mater*, vol. 19, no. 9, pp. 682–690, Nov. 2005, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2005.02.022.
- [14] J. Uusitalo, J. Ihanamäki, R. Rajala, and O. Vallin, "Lisandid," in *BETOONITÖÖD*, Tallinn: Ehitame kirjastus, 2008, pp. 23–24.
- [15] A. Gojević, V. Ducman, I. Netinger Grubeša, A. Baričević, and I. Banjad Pečur, "The Effect of Crystalline Waterproofing Admixtures on the Self-Healing and Permeability of Concrete," *Materials*, vol. 14, no. 8, p. 1860, Apr. 2021, doi: 10.3390/ma14081860.

- [16] V. G. Cappellesso, N. dos S. Petry, M. A. Longhi, A. B. Masuero, and D. C. C. Dal Molin, "Reduction of concrete permeability using admixtures or surface treatments," *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, vol. 7, no. 1, p. 38, Dec. 2022, doi: 10.1007/s41024-022-00176-z.
- [17] K. R. Regmi, K. Sahani, and S. K. Sahani, "Mineral Additives in Concrete Durability: A Comprehensive Review," *Asian Journal of Science, Technology, Engineering, and Art*, vol. 1, no. 2, pp. 377–393, Nov. 2023, doi: 10.58578/ajstea.v1i2.2112.
- [18] C. Manvith Kumar Reddy, B. Ramesh, and D. Macrin, "Effect of crystalline admixtures, polymers and fibers on self healing concrete - a review," *Mater Today Proc*, vol. 33, pp. 763–770, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.122.
- [19] S. Jahandari, Z. Tao, M. A. Alim, and W. Li, "Integral waterproof concrete: A comprehensive review," *Journal of Building Engineering*, vol. 78, p. 107718, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.job.2023.107718.
- [20] J. Uusitalo, J. Ihanamäki, R. Rajala, and O. Vallin, "Tarindite betoonimine," in *BETOONITÖÖD*, Tallinn: Ehitame kirjastus, 2008, pp. 69–70.
- [21] L. Ptacek, A. Strauss, C. Bos, M. Peyerl, and R. Torrent, "Concrete Curing Performance Assessment Based on Gas Permeability Testing in the Lab and on Site," *Sensors*, vol. 22, no. 13, p. 4672, Jun. 2022, doi: 10.3390/s22134672.
- [22] Eesti Betooniühing, "PRAGUDE JA TÜHIMIKE TÄITMINE," in *BETOONTARINDITE PARANDAMINE JA KAITSMINE*, vol. BÜ11, Tallinn, 2024, pp. 117–143.
- [23] "Kuidas tagada veetihedad vuugiplekkide ühendused?" Accessed: Sep. 07, 2024. [Online]. Available: <https://est.primostar.eu/blog/hea-teada-26/kuidas-tagada-veetihedad-vuugiplekkide-uhendused-118>
- [24] "WPM metallist töövuugiprofiili tooteleht." Accessed: Sep. 07, 2024. [Online]. Available: <https://est.primostar.eu/shop/wpm-r-metal-sheet-waterstop-sealing-element-125l-10x25m-977#attr=113>
- [25] "Joonised." Accessed: Sep. 07, 2024. [Online]. Available: <https://est.primostar.eu/joonised>
- [26] "SIKA PVC waterstop." Accessed: Sep. 08, 2024. [Online]. Available: <https://usa.sika.com/en/construction/concrete/concrete-accessories/waterstop-systems/pvc-waterstop.html>
- [27] "PVC WATERSTOP: SPLICING&INSTALLATION." Accessed: Sep. 08, 2024. [Online]. Available: <https://usa.sika.com/dam/dms/us01/8/Splicing%20PVC%20Waterstop%20Installation%20Guide.pdf>
- [28] "WATERSTOPS INSTALLATION: BASE SEAL, LABYINTH, SPLIT." Accessed: Sep. 08, 2024. [Online]. Available: <https://usa.sika.com/dam/dms/us01/g/Base%20Seal,%20Labyrinth,%20and%20Split%20Waterstops%20Installation%20Guide.pdf>
- [29] "PVC WATERSTOP: INSTALLATION GUIDE." Accessed: Sep. 08, 2024. [Online]. Available: <https://usa.sika.com/dam/dms/us01/k/PVC%20Waterstop%20Installation%20Guide.pdf>

- [30] "BeSealed POLYBAR+ Superswell." Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.besealed.com/en/products/hydrophilic-profiles/polybar-superswell>
- [31] "BeSealed BENTOBAR+ Salt." Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.besealed.com/en/products/hydrophilic-profiles/bentobar>
- [32] "BeSealed BENTOBAR+." Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://est.primostar.eu/shop/r2042025-besealed-bentobar-20x25-mm-black-30-m-1154?category=133#attr=2641>
- [33] "BeSealed POLYBAR+ RP." Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://est.primostar.eu/shop/e019-00-219-zr00-besealed-polybar-rp-20x5-mm-black-50-m-1152?category=133#attr=2642>
- [34] "Kas Sina hüdroisoleerid töövuuke õigesti?" Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://est.primostar.eu/blog/hea-teada-26/kas-sina-hydroisoleerid-toovuuuke-oigesti-71>
- [35] "Töövuukide injekeerimine." Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.traveter.ee/toovuuukide-injekteerimine/>
- [36] "EVS-EN 12390-8:2019 KIVISTUNUD BETOONI KATSETAMINE. Osa 8: Surve all oleva vee sissetungimissügavus," 2019.
- [37] "ASTM C1585-20: Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic Cement Concretes," 2020. Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CC1585-20%7Cen-US>
- [38] "EAD 320002-02-0605: COATED METAL WATER STOP SHEET FOR CONSTRUCTION AND CONTROLLED CRACK JOINTS IN WATERPROOF CONCRETE," Nov. 2016, EOTA. Accessed: Sep. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.eota.eu/eads?search=concrete&product=all&published=all#eads-results>
- [39] "EAD 320008-01-0605: SWELLABLE JOINT SEALING TAPE ON THE BASIS OF SWELLABLE MATERIALS FOR CONSTRUCTION JOINTS IN WATERTIGHT CONCRETE," Jul. 2018, EOTA. Accessed: Sep. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.eota.eu/eads?search=concrete&product=all&published=all#eads-results>
- [40] "Betocrete CP360WP kristalliseeruv lisand." Accessed: Sep. 30, 2024. [Online]. Available: https://www.schomburg.asia/as/en/files/betocrete-cp360-wp-4609b6e6-fec6-4cf4-a33a-9efddfa4e89d/BETOCRETE-CP360-WP_206446_Englisch.pdf
- [41] "ConProtect WP1 kristalliseeruv lisand." Accessed: Sep. 30, 2024. [Online]. Available: https://slprotection.eu/wp-content/uploads/2023/04/Tooteleht_ConProtect_WP1_06.11.22_est.pdf
- [42] "WPM Polümeer/Bituumen tooteleht." Accessed: Oct. 02, 2024. [Online]. Available: <https://est.primostar.eu/shop/wpm-r-metal-sheet-waterstop-sealing-element-125r-225m-979#attr=121>
- [43] "Ankox FleeceproofX 1 tooteleht." e-mail, Oct. 17, 2024. K. Tellis, kaido@injekteerimine.eu

- [44] "WFP Swelling Rubber tooteleht." Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://wfp-waterproofing.de/abdichtungssysteme-en/waterproofing-systems/swelling-tapes-joint-tapes-joint-sealants/products/swelling-rubber-profile.php>
- [45] "KÖSTER IN 8 tooteleht." Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://est.primostar.eu/shop/koster-in-8-5-kg-8374?search=K%C3%B6ster&order=name+asc#attr=3137>
- [46] Primostar, "TalTech veepidavus katse WPM toodetele," in *Primostari hüdroisolatsioonilahendus: valge vanni meetod*, 2024, p. 10. Accessed: Oct. 07, 2024. [Online]. Available: <https://heyzine.com/flip-book/f014ded1fe.html#page/1>
- [47] "Asocret-KS/HB nakkeseğu tooteleht." Accessed: Oct. 16, 2024. [Online]. Available: <https://est.primostar.eu/shop/schomburg-asocret-ks-hb-6121#attr=2018,2017>

LISAD

Lisa 1 Paisuvate vuugilintide märg/kuiv tsükliid

Tabel 2.4.5.4: Paisuvate vuugilintide kuiv/märg tsükliite taluvuse katsetabel

Algus												
14.10.24; 0p												
Prk nr	Lint	Mööde	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]				
1	Polybar RP+	Laius	Jäik	200	20	20	20	100,00				
		Kõrgus			5	5	5					
2	Bentobar 20x25	Laius	Keskmine	200	23	24	24	433,89				
		Kõrgus			18,5	18,5	18					
3	WFP Swelling rubber	Laius	Keskmine	200	22	22	22	308,00				
		Kõrgus			14	14	14					
Tsükkel 1												
16.10.24; 2p vees							17.10.24; 1p kuivanud					
Prk nr	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]
1	Jäik	210	20	22	22	128,00	Jäik	210	20	22	21	115,50
			5	6,5	6,5				5	6	5,5	
2	Pehme	215	31	30	31	746,22	Pehme	210	25	24	24	584,00
			25	24	24				24	24	24	
3	Keskmine	240	31	31	31	589,00	Keskmine	230	29	29	29	551,00
			19	19	19				19	19	19	
Tsükkel 2												
19.10.24; 2p vees							20.10.24; 1p kuivanud					
Prk nr	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]
1	Keskmine	220	21	25	25	153,83	Jäik	220	20	23	22	130,00
			5,5	7	7				5	7	6	
2	Pehme	240	37	35	36	1044,00	Keskmine	230	36	34	35	991,67
			29	29	29				29	28	28	
3	Keskmine	290	35	35	35	770,00	Keskmine	290	32	31	32	654,44
			22	22	22				20	21	21	
Tsükkel 3												
22.10.24; 2p vees							23.10.24; 1p kuivanud					
Prk nr	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]
1	Keskmine	230	21	26	26	162,22	Jäik	230	20	25	24	130,33
			6	7	7				5	6	6	
2	Pehme	240	43	37	41	1263,78	Keskmine	240	42	37	40	1190,00
			31	31	32				30	30	30	
3	Keskmine	320	37	37	37	851,00	Keskmine	300	34	35	34	755,33
			23	23	23				22	22	22	
Tsükkel 4												
25.10.24; 2p vees							26.10.24; 1p kuivanud					
Prk nr	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]
1	Keskmine	250	21	28	28	171,11	Jäik	240	20	26	26	152,00
			6	7	7				5	7	7	
2	Pehme	240	46	45	45	1586,67	Keskmine	240	44	44	44	1540,00
			35	35	35				35	35	35	
3	Keskmine	340	38	38	39	958,33	Keskmine	330	37	37	37	925,00
			25	25	25				25	25	25	
Tsükkel 5												
28.10.24; 2p vees							29.10.24; 1p kuivanud					
Prk nr	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]
1	Keskmine	255	23	29	28	182,22	255	Jäik	22	28	28	173,33
			6,5	7	7				6	7	7	
2	Pude	250	49	46	48	1588,89	250	Pehme	48	45	47	1540,00
			34	33	33				33	33	33	
3	Keskmine	350	40	40	40	1040,00	345	Keskmine	40	40	40	1040,00
			26	26	26				26	26	26	
Löpptsükkel												
01.11.24; kokku 4p kuivanud							02.11.24; 1p vees					
Prk nr	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]
1	Jäik	235	20	24	21	119,17	Jäik	250	23	29	27	175,56
			5	6	5,5				6	7	7	
2	Keskmine	240	38	40	42	1280,00	Pehme	245	41	41	42	1446,67
			32	32	32				35	36	34	
3	Keskmine	320	33	36	32	751,89	Keskmine	340	39	39	39	988,00
			22	23	22				25	26	25	

Lisa 2 Paisuvate vuugilintide paisumismaht

Tabel 2.4.5.5: Paisuvate vuugilintide paisumiskatse katsetabel

0p								
Prk nr	Lint	Mõõde	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]
1	Polybar RP+	Laius	Jäik	200	20	20	20	100,00
		Kõrgus			5	5	5	
2	Bentobar 20x25	Laius	Keskmine	200	23,5	23,5	23,5	438,67
		Kõrgus			19	19	18	
3	WFP Swelling rubber	Laius	Keskmine	200	22	22	22	308,00
		Kõrgus			14	14	14	

1p							3p					
Prk nr	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]
1	Jäik	205	20	21	21,5	118,06	Jäik	215	21	22	23	143,00
			5	6	6				6	6,5	7	
2	Pehme	210	29	28	28,5	646,00	Pehme	220	34	32	32,5	875,56
			23,5	22	22,5				27	26	27	
3	Keskmine	220	29,5	29	28,5	522,00	Keskmine	260	34	34	34	680,00
			18	18	18				20	20	20	

5p							7p					
Prk nr	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]
1	Keskmine	230	22	25	26	166,28	Keskmine	250	23	27	27	175,39
			6,5	7	7				6,5	7	7	
2	Pehme	240	42	40	41	1312,00	Pehme	250	49	46	47	1577,78
			33	31	32				34	33	33	
3	Keskmine	290	37	37	37	814,00	Keskmine	310	39	39	38	915,11
			22	22	22				23	24	24	

8p							11p					
Prk nr	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]
1	Keskmine	250	25	28	28	184,50	Keskmine	270	26	30	30	210,22
			6,5	7	7				7	7,5	7,5	
2	Pehme	250	53	51	51	1825,56	Pehme	260	58	58	58	2397,33
			39	37	30				42	41	41	
3	Keskmine	315	40	40	40	973,33	Keskmine	340	41	41	41	1066,00
			24	25	24				26	26	26	

14p							21p					
Prk nr	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]	Olek	Pikkus [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	A [mm ²]
1	Keskmine	270	27	30	30	212,67	Keskmine	270	28,5	30	30	216,33
			7	7,5	7,5				7	7,5	7,5	
2	Pudeneb	260	59	59	59	2458,33	Pudeneb	260	59	59	59	2576,33
			42	42	41				43	43	43	
3	Keskmine	350	44	43	43	1170,00	Keskmine	360	44	43	43	1170,00
			27	27	27				27	27	27	

Lisa 3 Katsekehade 1-11 katsepäevikud

Tabel 2.4.5.6: Katsekeha 1 katseandmete päevik

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Mõõdetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Märkused
-	-	1 bar	28.09.24 13:30	
1 bar	1 bar	2 bar	29.09.24 17:25	Ei leki
2 bar	2 bar	3 bar	30.09.24 07:25	Ei leki
3 bar	3 bar	4 bar	01.10.24 07:35	Ei leki
4 bar	4 bar	5 bar	02.10.24 07:40	Ei leki
5 bar	5 bar	5,5 bar	03.10.24 07:30	Ei leki
5,5 bar	5,5 bar	6 bar	04.10.24 07:30	Torulüitmiku leke, katsekeha kuiv
6 bar	6 bar	6,5 bar	05.10.24 11:40	Ei leki
6,5 bar	6,5 bar	7 bar	06.10.24 11:05	Ei leki
7 bar	7 bar	7,5 bar	07.10.24 16:40	Ei leki
7,5 bar	7,5 bar	8 bar	08.10.24 07:50	Ei leki
8 bar	8 bar	8,5 bar	09.10.24 08:05	Ei leki
8,5 bar	8,5 bar	9 bar	10.10.24 07:20	Ei leki
9 bar	9 bar	9,5 bar	11.10.24 07:55	Ei leki
9,5 bar	9,5 bar	10 bar	12.10.24 14:00	Ei leki
10 bar	10 bar	10,5 bar	13.10.24 08:30	Ei leki
10,5 bar	10,5 bar	11 bar	14.10.24 07:10	Ei leki
11 bar	11 bar	11,5 bar	15.10.24 07:45	Ei leki
11,5 bar	11,5 bar	12 bar	16.10.24 07:50	Ei leki
12 bar	12 bar	12,5 bar	17.10.24 07:10	Ei leki
12,5 bar	12,5 bar	13 bar	18.10.24 07:15	Ei leki
13 bar	13 bar	13,5 bar	19.10.24 17:10	Ei leki
13,5 bar	13,5 bar	14 bar	20.10.24 13:00	Ei leki
14 bar	14 bar	14,5 bar	21.10.24 07:30	Ei leki
14,5 bar	14,2 bar	15 bar	22.10.24 07:45	Hüdrofoori leke
15 bar	14,8 bar	-	23.10.24 14:30	Hüdrofoori leke täitmise otsa poolel, peale keerata ei saa.

Lõpp: Katse lõpetati 23.10 kell 14:30. Töövuuk ja katsekeha seinad olid kuivad ka 15 bar juures. Praotekitajad lekkivat pragu tekitada ei suutnud. Betooni veepidavuse hindamiseks puuriti kohe peale vee välja laskmist katsekeha seinast välja 100 mm

diameetriga proovikeha, mis poolitati. Nihikuga mõõdeti vee sissetungimise sügavus betooni, milleks oli 24,5 mm.

Tabel 2.4.5.7: Katsekeha 2 katseandmete päevik

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Mõõdetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Märkused
-	-	1 bar	28.09.24 13:30	
1 bar	1 bar	2 bar	29.09.24 17:25	Ei leki
2 bar	2 bar	3 bar	30.09.24 07:25	Ei leki
3 bar	3 bar	4 bar	01.10.24 07:35	Ei leki
4 bar	4 bar	5 bar	02.10.24 07:40	Ei leki
5 bar	5 bar	5,5 bar	03.10.24 07:30	Ei leki
5,5 bar	5,5 bar	6 bar	04.10.24 07:30	Ei leki
6 bar	6 bar	6,5 bar	05.10.24 11:40	Ei leki
6,5 bar	6,5 bar	7 bar	06.10.24 11:05	Ei leki
7 bar	7 bar	7,5 bar	07.10.24 16:40	Ei leki
7,5 bar	7,5 bar	8 bar	08.10.24 07:50	Ei leki
8 bar	8 bar	8,5 bar	09.10.24 08:05	Ei leki
8,5 bar	8,5 bar	9 bar	10.10.24 07:20	Ei leki
9 bar	9 bar	9,5 bar	11.10.24 07:55	Ei leki
9,5 bar	9,5 bar	10 bar	12.10.24 14:00	Ei leki
10 bar	10 bar	10,5 bar	13.10.24 08:30	Ei leki
10,5 bar	10,5 bar	11 bar	14.10.24 07:10	Ei leki
11 bar	11 bar	11,5 bar	15.10.24 07:45	Ei leki
11,5 bar	11,5 bar	12 bar	16.10.24 07:50	Ei leki
12 bar	12 bar	12,5 bar	17.10.24 07:10	Ei leki
12,5 bar	12,5 bar	13 bar	18.10.24 07:15	Ei leki
13 bar	13 bar	13,5 bar	19.10.24 17:10	Ei leki
13,5 bar	13,5 bar	14 bar	20.10.24 13:00	Ei leki
14 bar	14 bar	14,5 bar	21.10.24 07:30	Ei leki
14,5 bar	14,2 bar	15 bar	22.10.24 07:45	Hüdrofoori leke
15 bar	14,8 bar	-	23.10.24 14:30	Hüdrofoori leke täitmise otsa poolel, peale keerata enam ei saa.

Lõpp: Katse lõpetati 23.10 kell 14:30. Töövuuk ja katsekeha seinad olid kuivad ka 15 bar juures. Praotekitajad lekkivat pragu tekitada ei suutnud. Betooni veepidavuse hindamiseks puuriti kohe peale vee välja laskmist katsekeha seinast välja 100 mm

diameetriga proovikeha, mis poolitati. Nihikuga mõõdeti vee sissetungimise sügavus betooni, milleks oli 21 mm.

Tabel 2.4.5.8: Katsekeha 3 katseandmete päevik (joogivesi)

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Mõõdetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Märkused
Joogivesi				
-	-	1 bar	28.09.24 13:45	
1 bar	1 bar	2 bar	29.09.24 17:35	Toru liitmiku leke, katsekeha kuiv
2 bar	2 bar	3 bar	30.09.24 07:30	Ei leki
3 bar	3 bar	4 bar	01.10.24 07:45	Ei leki
4 bar	4 bar	5 bar	02.10.24 08:10	Ei leki
5 bar	5 bar	5,5 bar	03.10.24 07:40	Ei leki
5,5 bar	5,5 bar	6 bar	04.10.24 07:35	Ei leki
6 bar	6 bar	6,5 bar	05.10.24 11:50	Ei leki
6,5 bar	6,5 bar	7 bar	06.10.24 11:05	Ei leki
7 bar	7 bar	7,5 bar	07.10.24 16:45	Ei leki
7,5 bar	7,5 bar	8 bar	08.10.24 07:55	Ei leki
8 bar	8 bar	8,5 bar	09.10.24 08:10	Ei leki
8,5 bar	8,5 bar	9 bar	10.10.24 07:30	Ei leki
9 bar	9 bar	9,5 bar	11.10.24 08:00	Ei leki
9,5 bar	9,5 bar	10 bar	12.10.24 14:05	Ei leki
10 bar	10 bar	10,5 bar	13.10.24 08:35	Ei leki
10,5 bar	10,5 bar	11 bar	14.10.24 07:15	Ei leki
11 bar	10,8 bar	11,5 bar	15.10.24 07:50	Hüdrofoori leke
11,5 bar	11,3 bar	12 bar	16.10.24 07:55	Hüdrofoori leke
12 bar	11,8 bar	12,5 bar	17.10.24 07:15	Hüdrofoori leke
12,5 bar	12,3 bar	13 bar	18.10.24 07:20	Hüdrofoori leke
13 bar	12,7 bar	13,5 bar	19.10.24 17:10	Toruliitmiku leke
13,5 bar	13,4 bar	14 bar	20.10.24 13:15	Ei leki
14 bar	14 bar	14,5 bar	21.10.24 07:35	Ei leki
14,5 bar	14,4 bar	15 bar	22.10.24 07:50	Hüdrofoori leke
15 bar	14,8 bar	-	23.10.24 14:35	Hüdrofoori leke

Tabel 2.4.5.9: Katsekeha 3 katseandmete päevik (5% soolavesi)

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Möödetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Märkused
Soolavesi 5%				
-	-	1 bar	25.10.24 20:00	
1 bar	1 bar	2 bar	26.10.24 12:15	Ei leki
2 bar	2 bar	3 bar	27.10.24 14:00	Ei leki
3 bar	3 bar	4 bar	28.10.24 20:50	Ei leki
4 bar	4 bar	5 bar	29.10.24 07:40	Ei leki
5 bar	5 bar	5,5 bar	30.10.24 07:45	Ei leki
5,5 bar	5,5 bar	6 bar	31.10.24 07:10	Ei leki
6 bar	6 bar	6,5 bar	01.11.24 08:00	Ei leki
6,5 bar	6,5 bar	7 bar	02.11.24 16:20	Ei leki
7 bar	7 bar	7,5 bar	03.11.24 09:45	Ei leki
7,5 bar	7,4 bar	8 bar	04.11.24 12:05	Ei leki
8 bar	8 bar	8,5 bar	05.11.24 09:35	Ei leki
8,5 bar	8,5 bar	9 bar	06.11.24 08:45	Ei leki
9 bar	9 bar	9,5 bar	07.11.24 10:35	Ei leki
9,5 bar	9,5 bar	10 bar	08.11.24 17:20	Ei leki
10 bar	10 bar	-	09.11.24 16:45	Ei leki

Lõpp: Joogiveega katse lõpetati 23.10.24 kell 14:40. Katsekeha seinad ja töövuuk püsisid kuivana ka 15 bar juures. Soolveega katse lõpetati 09.11.24 kell 16.45. Peale katsekehast vee välja laskmist katsekeha üks külg lammutati, tuvastati pindmise rooste alge vuugilindi katte pinnal.

Tabel 2.4.5.10: Katsekeha 4 katseandmete päevik

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Mõõdetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Märkused
-	-	1 bar	28.09.24 15:00	
1 bar	0 bar	2 bar	29.09.24 17:50	Katsekeha kuiv, hüdrofoor ei toiminud
2 bar	2 bar	3 bar	30.09.24 07:40	Ei leki
3 bar	3 bar	4 bar	01.10.24 07:50	Toru liitmik lekkis, katsekeha kuiv
4 bar	4 bar	5 bar	02.10.24 08:20	Ei leki
5 bar	5 bar	5,5 bar	03.10.24 07:45	Ei leki
5,5 bar	5,5 bar	6 bar	04.10.24 07:45	Ei leki
6 bar	6 bar	6,5 bar	05.10.24 11:55	Ei leki
6,5 bar	6,5 bar	7 bar	06.10.24 11:05	Ei leki
7 bar	7 bar	7,5 bar	07.10.24 16:45	Ei leki
7,5 bar	7,5 bar	8 bar	08.10.24 08:05	Ei leki
8 bar	8 bar	8,5 bar	09.10.24 08:15	Ei leki
8,5 bar	8,5 bar	9 bar	10.10.24 07:35	Ei leki
9 bar	9 bar	9,5 bar	11.10.24 08:05	Ei leki
9,5 bar	9,5 bar	10 bar	12.10.24 14:10	Ei leki
10 bar	10 bar	10,5 bar	13.10.24 08:40	Ei leki
10,5 bar	10,5 bar	11 bar	14.10.24 07:20	Ei leki
11 bar	10,8 bar	11,5 bar	15.10.24 07:55	Hüdrofoori leke
11,5 bar	11,5 bar	12 bar	16.10.24 08:00	Ei leki
12 bar	12 bar	12,5 bar	17.10.24 07:25	Ei leki
12,5 bar	12,4 bar	13 bar	18.10.24 07:25	Hüdrofoori leke
13 bar	12,8 bar	13,5 bar	19.10.24 17:25	Hüdrofoori leke
13,5 bar	13,4 bar	14 bar	20.10.24 13:30	Ei leki
14 bar	14 bar	14,5 bar	21.10.24 07:40	Ei leki
14,5 bar	14,5 bar	15 bar	22.10.24 08:05	Ei leki
15 bar	14,9 bar	-	23.10.24 14:50	Ei leki

Lõpp: Katse lõpetati 23.10 kell 14:50. Töövuuk ja katsekeha seinad olid kuivad ka 15 bar juures. Praotekitajad lekkivat pragu tekitada ei suutnud. Betooni veepidavuse hindamiseks puuriti kohe peale vee välja laskmist katsekeha seinast välja 100 mm diameetriga proovikeha, mis poolitati. Nihikuga mõõdeti vee sissetungimise sügavus betooni, milleks oli 49,5 mm.

Tabel 2.4.5.11: Katsekeha 5 katseandmete päevik

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Mõõdetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Märkused
-	-	1 bar	28.09.24 15:00	
1 bar	0 bar	2 bar	29.09.24 17:50	Katsekeha kuiv, hüdrofoor ei toiminud
2 bar	2 bar	3 bar	30.09.24 07:40	Ei leki
3 bar	3 bar	4 bar	01.10.24 07:50	Ei leki
4 bar	4 bar	5 bar	02.10.24 08:20	Ei leki
5 bar	5 bar	5,5 bar	03.10.24 07:45	Ei leki
5,5 bar	5,5 bar	6 bar	04.10.24 07:45	Ei leki
6 bar	6 bar	6,5 bar	05.10.24 11:55	Ei leki
6,5 bar	6,5 bar	7 bar	06.10.24 11:05	Ei leki
7 bar	7 bar	7,5 bar	07.10.24 16:45	Ei leki
7,5 bar	7,5 bar	8 bar	08.10.24 08:05	Ei leki
8 bar	8 bar	8,5 bar	09.10.24 08:15	Ei leki
8,5 bar	8,5 bar	9 bar	10.10.24 07:35	Ei leki
9 bar	9 bar	9,5 bar	11.10.24 08:05	Ei leki
9,5 bar	9,5 bar	10 bar	12.10.24 14:10	Ei leki
10 bar	10 bar	10,5 bar	13.10.24 08:40	Ei leki
10,5 bar	10,5 bar	11 bar	14.10.24 07:20	Ei leki
11 bar	10,8 bar	11,5 bar	15.10.24 07:55	Hüdrofoori leke
11,5 bar	11,5 bar	12 bar	16.10.24 08:00	Ei leki
12 bar	12 bar	12,5 bar	17.10.24 07:25	Ei leki
12,5 bar	12,4 bar	13 bar	18.10.24 07:25	Hüdrofoori leke
13 bar	12,8 bar	13,5 bar	19.10.24 17:25	Hüdrofoori leke
13,5 bar	13,4 bar	14 bar	20.10.24 13:30	Ei leki
14 bar	14 bar	14,5 bar	21.10.24 07:40	Ei leki
14,5 bar	14,5 bar	15 bar	22.10.24 08:05	Ei leki
15 bar	14,9 bar	-	23.10.24 14:50	Ei leki

Lõpp: Katse lõpetati 23.10 kell 14:50. Töövuuk ja katsekeha seinad olid kuivad ka 15 bar juures.

Tabel 2.4.5.12: Katsekeha 6 katseandmete päevik (joogivesi)

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Mõõdetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Märkused
Joogivesi				
-	-	1 bar	28.09.24 13:45	
1 bar	1 bar	2 bar	29.09.24 17:35	Ei leki
2 bar	2 bar	3 bar	30.09.24 07:30	Ei leki
3 bar	3 bar	4 bar	01.10.24 07:45	Ei leki
4 bar	4 bar	5 bar	02.10.24 08:10	Ei leki
5 bar	5 bar	5,5 bar	03.10.24 07:40	Ei leki
5,5 bar	5,5 bar	6 bar	04.10.24 07:35	Ei leki
6 bar	6 bar	6,5 bar	05.10.24 11:50	Ei leki
6,5 bar	6,5 bar	7 bar	06.10.24 11:05	Ei leki
7 bar	7 bar	7,5 bar	07.10.24 16:45	Ei leki
7,5 bar	7,5 bar	8 bar	08.10.24 07:55	Ei leki
8 bar	8 bar	8,5 bar	09.10.24 08:10	Ei leki
8,5 bar	8,5 bar	9 bar	10.10.24 07:30	Ei leki
9 bar	9 bar	9,5 bar	11.10.24 08:00	Ei leki
9,5 bar	9,5 bar	10 bar	12.10.24 14:05	Ei leki
10 bar	10 bar	10,5 bar	13.10.24 08:35	Ei leki
10,5 bar	10,5 bar	11 bar	14.10.24 07:15	Ei leki
11 bar	10,8 bar	11,5 bar	15.10.24 07:50	Hüdrofoori leke
11,5 bar	11,3 bar	12 bar	16.10.24 07:55	Hüdrofoori leke
12 bar	11,8 bar	12,5 bar	17.10.24 07:15	Hüdrofoori leke
12,5 bar	12,3 bar	13 bar	18.10.24 07:20	Hüdrofoori leke
13 bar	12,7 bar	13,5 bar	19.10.24 17:10	Torulitmiiku leke
13,5 bar	13,4 bar	14 bar	20.10.24 13:15	Ei leki
14 bar	14 bar	14,5 bar	21.10.24 07:35	Ei leki
14,5 bar	14,4 bar	15 bar	22.10.24 07:50	Hüdrofoori leke
15 bar	14,8 bar	-	23.10.24 14:35	Hüdrofoori leke

Tabel 2.4.5.13: Katsekeha 6 katseandmete päevik (5% soolavesi)

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Mõõdetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Märkused
Soolavesi 5%				
-	-	1 bar	25.10.24 20:00	
1 bar	1 bar	2 bar	26.10.24 12:15	Ei leki
2 bar	2 bar	3 bar	27.10.24 14:00	Ei leki
3 bar	3 bar	4 bar	28.10.24 20:50	Ei leki
4 bar	4 bar	5 bar	29.10.24 07:40	Ei leki
5 bar	5 bar	5,5 bar	30.10.24 07:45	Ei leki
5,5 bar	5,5 bar	6 bar	31.10.24 07:10	Ei leki
6 bar	6 bar	6,5 bar	01.11.24 08:00	Ei leki
6,5 bar	6,5 bar	7 bar	02.11.24 16:20	Ei leki
7 bar	7 bar	7,5 bar	03.11.24 09:45	Ei leki
7,5 bar	7,4 bar	8 bar	04.11.24 12:05	Ei leki
8 bar	8 bar	8,5 bar	05.11.24 09:35	Ei leki
8,5 bar	8,5 bar	9 bar	06.11.24 08:45	Ei leki
9 bar	9 bar	9,5 bar	07.11.24 10:35	Ei leki
9,5 bar	9,5 bar	10 bar	08.11.24 17:20	Ei leki
10 bar	10 bar	-	09.11.24 16:45	Ei leki

Lõpp: Joogiveega katse lõpetati 23.10.24 kell 14:40. Katsekeha seinad ja töovuuk püsisid kuivana ka 15 bar juures. Soolveega katse lõpetati 09.11.24 kell 16.45. Peale katsekehast vee välja laskmist katsekeha üks külg lammutati. Soolavesi vuugilindi pinda ei mõjutanud.

Tabel 2.4.5.14: Katsekeha 7 katseandmete päevik

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Möödetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Märkused
-	-	1 bar	23.08.24 19:40	
1 bar	0,7 bar	2 bar	24.08.24 14:45	Lekkeid ei tuvastanud
2 bar	1,2 bar	3 bar	25.08.24 11:40	Lekkeid ei tuvastanud
3 bar	1,2 bar	2 bar	26.08.24 16:35	Lekkeid ei tuvastanud
2 bar	2 bar	2,5 bar	27.08.24 07:15	Lekkeid ei tuvastanud
2,5 bar	2,5 bar	3 bar	28.08.24 07:30	Lekkeid ei tuvastanud
3 bar	3 bar	3 bar	29.08.24 20:10	Lekkeid ei tuvastanud
3 bar	3 bar	3,5 bar	30.08.24 07:30	Lekkeid ei tuvastanud
3,5 bar	3,5 bar	4 bar	31.08.24 14:55	Ühel küljel väike leke
4 bar	4 bar	4,5 bar	01.09.24 14:45	Ei leki
4,5 bar	4,4 bar	5 bar	02.09.24 07:45	Ei leki
5 bar	4,9 bar	0 bar	03.09.24 07:35	Leke tagaküljel
0 bar	-	5 bar	04.09.24 07:35	Injekteeriti 03.09
5 bar	4,9 bar	5,5 bar	05.09.24 07:40	Laigud külgedel
5,5 bar	5,5 bar	0 bar	06.09.24 08:00	Niisked laigud külgedel
0 bar	-	6 bar	07.09.24 11:45	Niisked laigud injekteeriti 06.09
6 bar	6 bar	6,5 bar	08.09.24 14:00	Laigud külgedel
6,5 bar	6,4 bar	0 bar	09.09.24 07:50	Niisked laigud külgedel, vaja injekteerida
0 bar	-	0 bar	10.09.24 08:00	Injekteeriti 09.09
0 bar	-	6,5 bar	11.09.24 07:35	Injekteeriti uuesti varasemalt injekteeritud külg 10.09
6,5 bar	6,3 bar	-	12.09.24 07.05	Läbijooksud igal küljel, katsed lõpetati ja lõpprõhk 6 bar

Lõpp: Püsis ilma veeleketeta kuni 3 bar. 3,5 bar juures tekkis esimene laik, kuid töövuuk veel märg ei olnud. Prooviti leket kasvatada ja tõsteti rõhku kuni 5 bar. Seejärel injekteeriti katsekeha üks külg. Katsetati uuesti 5 bar, seejärel 5,5 bar, mil tekkisid uued lekked ja injekteeriti veel kaks külge. Katseid jätkati. 6 bar juures tuvastati lekked teistel külgedel(08.08). Suurendati survet. Katsekeha teised küljed injekteeriti 09.09. Survestati korraks uuesti 7 bar(10.09) ning koheselt hakkas lekkima varasemalt puudulikult injekteeritud külg, mis injekteeriti veel kord. Katsekeha survestati uuesti 6,5 bar peale, kuna teised injekteeritud kohad läbi ei olnud jooksnud. 12.09 tuvastati lekked igal küljel, seega lõpprõhuks loetakse 6 bar. Injekteerimata vuugilindita pidas vastu leketeta 3 bar, injekteerides 6 bar.

Tabel 2.4.5.15: Katsekeha 8 katseandmete päevik

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Mõõdetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Märkused
-	-	1 bar	25.10.24 19:00	
1 bar	1 bar	2 bar	26.10.24 12:00	Kuiv
2 bar	2 bar	3 bar	27.10.24 13:45	Kuiv
3 bar	3 bar	3 bar	28.10.24 20:45	Kuiv
3 bar	3 bar	3 bar	29.10.24 07:35	Kuiv
3 bar	3 bar	3,5 bar	30.10.24 07:35	Kuiv
3,5 bar	3,5 bar	4 bar	31.10.24 07:00	Kuiv
4 bar	4 bar	4,5 bar	01.11.24 07:50	Kuiv
4,5 bar	4,5 bar	5 bar	02.11.24 16:10	Kuiv
5 bar	5 bar	5,5 bar	03.11.24 09:25	Kuiv
5,5 bar	5,5 bar	6 bar	04.11.24 11:55	Kuiv
6 bar	6 bar	6,5 bar	05.11.24 09:25	Kuiv
6,5 bar	6,5 bar	7 bar	06.11.24 08:40	Kuiv
7 bar	7 bar	7,5 bar	07.11.24 10:30	Kuiv
7,5 bar	7,5 bar	8 bar	08.11.24 17:10	Kuiv
8 bar	8 bar	8,5 bar	09.11.24 16:30	Kuiv
8,5 bar	8,2 bar	9 bar	10.11.24 18:40	Liitmiku leke, töövuuk kuiv
9 bar	8,8 bar	9,5 bar	11.11.24 08:35	Liitmiku leke, töövuuk kuiv
9,5 bar	9,3 bar	10 bar	12.11.24 12:00	Kuiv
10 bar	10 bar	10,5 bar	13.11.24 07:00	Kuiv
10,5 bar	10,3 bar	11 bar	14.11.24 10:45	Liitmiku leke, töövuuk kuiv
11 bar	10,9 bar	11,5 bar	15.11.24 09:00	Kuiv
11,5 bar	11,4 bar	12 bar	16.11.24 17:00	Kuiv
12 bar	12 bar	12,5 bar	17.11.24 10:10	Kuiv
12,5 bar	12,5 bar	13 bar	18.11.24 07:50	Kuiv
13 bar	12,9 bar	13,5 bar	19.11.24 09:00	Kuiv
13,5 bar	13,4 bar	14 bar	20.11.24 10:30	Kuiv
14 bar	13,8 bar	14,5 bar	21.11.24 08:45	Hüdrofoori leke, töövuuk kuiv
14,5 bar	14,2 bar	15 bar	22.11.24 15:00	Hüdrofoori leke, töövuuk kuiv
15 bar	14,9 bar	-	23.11.24 15:00	Kuiv

Lõpp: Katse lõpetati 23.11 kell 15:00. Töövuuk ja katsekeha seinad olid kuivad ka 15 bar juures.

Tabel 2.4.5.16: Katsekeha 9 katseandmete päevik

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Mõõdetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Märkused
		1 bar	23.08.24 20:40	
1 bar	0,6 bar	2 bar	24.08.24 14:45	Lekkeid ei tuvasta.
2 bar	1 bar	3 bar	25.08.24 11:40	Lekkeid ei tuvasta.
3 bar	1 bar	2 bar	26.08.24 16:35	Lekkeid ei tuvasta.
2 bar	2 bar	2,5 bar	27.08.24 07:15	Lekkeid ei tuvasta.
2,5 bar	2,5 bar	3 bar	28.08.24 07:30	Ühel küljel väike töövuugi leke.
3 bar	3 bar	3,5 bar	29.08.24 20:10	Lekkeid ei tuvasta.
3,5 bar	3 bar	3,5 bar	30.08.24 07:30	Lekkeid ei tuvasta.
3,5 bar	3,5 bar	4 bar	31.08.24 14:55	Ühel küljel leke
4 bar	4 bar	4,5 bar	01.09.24 14:45	Leke 2 cm laiem
4,5 bar	4,4 bar	5 bar	02.09.24 07:45	Ühel küljel leke
5 bar	4,9 bar	5 bar	03.09.24 07:35	Leke 2cm laiem
5 bar	5 bar	5 bar	04.09.24 07:35	Leke niiske
5 bar	4,9 bar	5,5 bar	05.09.24 07:40	Leke niiske
5,5 bar	5,5 bar	6 bar	06.09.24 08:00	Leke kuivab
6 bar	6 bar	6 bar	07.09.24 11:45	Leke 90% kuivanud
6 bar	6 bar	6,5 bar	08.09.24 14:00	Kuiv, vana lekke laik alles
6,5 bar	6,4 bar	6,5 bar	09.09.24 07:50	Tekkinud niisked laigud
6,5 bar	6,5 bar	7 bar	10.09.24 08:00	Niiske laik kuiv
7 bar	7 bar	6,5 bar	11.09.24 07:35	Niiske laik tekkis uuesti
6,5 bar	6,3 bar	7 bar	12.09.24 07:05	Paarilise lekete tõttu langes rõhk, laigud alles
7 bar	7 bar	7,5 bar	13.09.24 07:45	Laigud on kuivamata, aga samas on need katsudes kuivad.
7,5 bar	7,3 bar	7,5 bar	14.09.24 12:35	Uued laigud, vett veel pole
7,5 bar	7,5 bar	8 bar	15.09.24 12:50	Kohati hakanud kuivama
8 bar	7,8 bar	8,5 bar	16.09.24 18:00	Uued laigud, märjad
8,5 bar	8,4 bar	9 bar	17.09.24 07:25	Kohati kuivama hakanud
9 bar	8,9 bar	9,5 bar	18.09.24 07:25	Üks lekke alge juures
9,5 bar	9,4 bar	10 bar	19.09.24 07:40	Muutusi pole
10 bar	10 bar		20.09.24 07:25	Lekked igal küljel, rõhku hoiab hüdrofoor

Lõpp: Esimene laik tekkis töövuugile 2,5 bar juures, kuid see kuivas ära. Kuna tegu paisuva lindiga, on see normaalne. 3,5 bar juures tekkis esimene laik, mis tekkis ja

kuivas vaheldumisi terve edasise katse käigus. 6,5 bar juures jäi see laik alles kuni katse lõpuni. Selle rõhu juures tekkis ka teine niiske laik. Katsekehast vett välja veel ei tulnud, järelikut jõudis lint piisavas mahus paisuda. Laigud püsisid, aga katsudes oli vuuk kuiv. Töövuugi pind märgus 8 bar juures, peale seda hakkas uuesti kuivamise märke näitama. Katsetasime kuni 10 bar, siis lekked igal küljel. Spetsifikatsiooni järgi peab vett 6 bar.

Tabel 2.4.5.17: Katsekeha 10 katseandmete päevik

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Mõõdetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Märkused
-	-	1 bar	25.10.24 19:00	
1 bar	1 bar	2 bar	26.10.24 12:00	Kuiv
2 bar	2 bar	3 bar	27.10.24 13:45	Kuiv
3 bar	3 bar	3 bar	28.10.24 20:45	Kuiv
3 bar	3 bar	3 bar	29.10.24 07:35	Kuiv
3 bar	3 bar	3,5 bar	30.10.24 07:35	Kuiv
3,5 bar	3,5 bar	4 bar	31.10.24 07:00	Kuiv
4 bar	4 bar	4,5 bar	01.11.24 07:50	Kuiv
4,5 bar	4,5 bar	5 bar	02.11.24 16:10	Kuiv
5 bar	5 bar	5,5 bar	03.11.24 09:25	Kuiv
5,5 bar	5,5 bar	6 bar	04.11.24 11:55	Kuiv
6 bar	6 bar	6,5 bar	05.11.24 09:25	Kuiv
6,5 bar	6,5 bar	7 bar	06.11.24 08:40	Kuiv
7 bar	7 bar	7,5 bar	07.11.24 10:30	Kuiv
7,5 bar	7,5 bar	8 bar	08.11.24 17:10	Kuiv
8 bar	8 bar	8,5 bar	09.11.24 16:30	Kuiv
8,5 bar	8,2 bar	9 bar	10.11.24 18:40	Liitmiku leke, töövuuk kuiv
9 bar	8,8 bar	9,5 bar	11.11.24 08:35	Liitmiku leke, töövuuk kuiv
9,5 bar	9,3 bar	10 bar	12.11.24 12:00	Kuiv
10 bar	10 bar	10,5 bar	13.11.24 07:00	Kuiv
10,5 bar	10,3 bar	11 bar	14.11.24 10:45	Liitmiku leke, töövuuk kuiv
11 bar	10,9 bar	11,5 bar	15.11.24 09:00	Kuiv
11,5 bar	11,4 bar	12 bar	16.11.24 17:00	Kuiv
12 bar	12 bar	12,5 bar	17.11.24 10:10	Kuiv
12,5 bar	12,5 bar	13 bar	18.11.24 07:50	Kuiv
13 bar	12,9 bar	13,5 bar	19.11.24 09:00	Kuiv
13,5 bar	13,4 bar	14 bar	20.11.24 10:30	Kuiv
14 bar	13,8 bar	14,5 bar	21.11.24 08:45	Hüdrofoori leke, töövuuk kuiv
14,5 bar	14,2 bar	15 bar	22.11.24 15:00	Hüdrofoori leke, töövuuk kuiv
15 bar	14,9 bar	-	23.11.24 15:00	Kuiv

Lõpp: Katse lõpetati 23.11 kell 15:00. Töövuuk ja katsekeha seinad olid kuivad ka 15 bar juures.

Tabel 2.4.5.18: Katsekeha 11 katseandmete päevik

Rõhk eelneval täitmisel [bar]	Mõõdetud rõhk [bar]	Rõhk täitmisel [bar]	Kuupäev	Vuugi avatus	Märkused
-	-	1 bar	25.10 18:35		
1 bar	0,5 bar	2 bar	26.10 11:25	0 mm	Hüdrofoori leke
2 bar	2 bar	3 bar	27.10 13:30	0/0,25 mm	1 laik fikseeritud küljel 3
3 bar	2,8 bar	3 bar	28.10 20:00	0,25 mm	Laik kuivanud
3 bar	3 bar	3 bar	29.10 07:25	0,25 mm	Kuiv
3 bar	2,9 bar	3 bar	30.10 07:25	0,25 mm	Kuiv
3 bar	3 bar	3 bar	31.10 06:55	0,25 mm	Kuiv
3 bar	3 bar	-	01.11 07:20	0,25 mm	Kuiv
-	-	1 bar	01.11 07:45		
1 bar	1 bar	2 bar	02.11 16:00	0,50 mm	Kuiv
2 bar	2 bar	3 bar	03.11 09:10	0,50 mm	Kuiv
3 bar	2,8 bar	3 bar	04.11 11:40	0,50 mm	Kuiv
3 bar	3 bar	3 bar	05.11 09:15	0,50 mm	Laigud külgedel 1 ja 4, jälgime
3 bar	3 bar	3 bar	06.11 08:30	0,50 mm	Laigud külgedel 1 ja 4, jälgime
3 bar	3 bar	3 bar	07.11 10:20	0,50 mm	Laigud külgedel 1 ja 4, jälgime
3 bar	3 bar	-	08.11 16:40	0,50 mm	Laigud kuivanud
-	-	1 bar	08.11 17:00		
1 bar	1 bar	2 bar	09.11 16:20	1,0 mm	Laigud külgedel 1 ja 4, jälgime
2 bar	2 bar	3 bar	10.11 18:30	1,0 mm	Laik küljel 1, laik küljel 4 kuiv
3 bar	2,9 bar	3 bar	11.11 08:15	1,0 mm	Laigud kuivad, uus leke (märg) küljel 3
3 bar	3 bar	3 bar	12.11 11:50	1,0 mm	2 leket (märjad) küljel 3
3 bar	3 bar	3 bar	13.11 06:40	1,0 mm	3 leket (märjad) küljel 3
3 bar	3 bar	3 bar	14.11 10:30	1,0 mm	3 leket (märjad) küljel 3, laik küljel 1
3 bar	3 bar	-	15.11 08:45	1,0 mm	3 leket (märjad) küljel 3, laik küljel 1

Lõpp: Esimene laik 2 bar ja 0,25 mm juures, mis kuivas päevaga. Järgmised laigud 3 bar ja 0,5 mm juures, kuid kuivasid samuti. Töövuuk märgus veesurvel 3 bar ja töövuugi avatusel 1,0 mm.