



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maehitusinstituut

Ken Karja

**KAITSEVÕÕPADE MÕJU BETOONI KESTVUSELE
AGRESSIIVSES KESKKONNAS**

EFFECT OF SURFACE TREATMENTS ON CONCRETE
DURABILITY IN AN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

Magistritöö
Maaehituse õppekava

Juhendaja: professor Jaan Miljan

Tartu 2018

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Ken Karja		Õppekava: Maaehitus	
Pealkiri: Kaitsevõõpade mõju betooni kestvusele agressiivses keskkonnas			
Lehekülgi: 59	Jooniseid: 19	Tabeleid: 7	Lisasid: 2
Osakond:	Maaehitus		
Uurimisvaldkond:	Betoon T220		
Juhendaja:	prof. Jaan Miljan		
Kaitsmiskoht ja -aasta:	Tartu 2018		
<p>Antud magistritöös uuriti betooni kaitsevõõpasid agressiivses keskkonnas. Katsekehades toimunud muutusi hinnati betooni keskmiste survetugevuste võrdlemisel. Käesolevas töös tehtud katsed viidi läbi, et paremini mõista, kas silohoidlate kaitsevõõpadega kaetud pinnad on vastupidavamad, kui võõpamata pinnad.</p> <p>Töö eesmärk oli leida katsetes kasutatud kolme erineva kaitsevõõbaga kaetud katsekehade betooni survetugevuste muutus agressiivses keskkonnas.</p> <p>Sooritatud katsete tulemused näitasid, et katsetes kasutatud kaitsevõõbad ei suuda tagada katsekehade survetugevuste stabiilsust ning agressiivses keskkonnas olnud kuupide survetugevus langes. Kõige enam langes Borniti bituumenist võõbaga töödeldud katsekehade survetugevus. Kõige vähem langes Spray-Locki kaitsevõõbaga kaetud katsekehade survetugevus, kuid siiski oli see 15,5% väiksem arvutuslikust katsekehade survetugevusest.</p> <p>Uurimustöö tulemusi saab kasutada alusmaterjalina tulevastes töödes, kus uuritakse kaitsevõõpade toimivust agressiivsetes keskkondades.</p>			
Märksõnad: kaitsevõõbad, survetugevus, agressiivne keskkond, betoon			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Ken Karja		Speciality: Civil engineering	
Title: Effect of surface treatments on concrete durability in an aggressive environment			
Pages: 59	Figures: 19	Tables: 7	Appendixes: 2
Department:	Civil Engineering		
Field of research:	Concrete T220		
Supervisor:	prof. Jaan Miljan		
Place and date:	Tartu 2018		
<p>In this thesis concrete surface treatments were studied in an aggressive environment. The changes occurring in the test cubes were evaluated by comparing the average compressive strengths of concrete. The experiments in this study were carried out to better understand whether the surfaces of silage clamps covered by protective coating are more durable than the uncovered surfaces.</p> <p>The aim of this study was to evaluate how three different types of concrete surface treatments affect the compressive strength of the test cubes exposed to an aggressive environment.</p> <p>The results of the tests carried out in this study showed that the surface treatments used in the tests failed to ensure the compressive strength stability of the test cubes and the compressive strength of the cubes exposed to an aggressive environment reduced. The compressive strength of the test cubes reduced the most when Bornit surface treatment that contains bitumen was used. And the compressive strength fell the least when using the Spray-Lock surface treatment although the compressive strength of the test cubes was still 15,5% smaller than the calculated compressive strength.</p> <p>The results obtained in this thesis could be used as the basis of future studies which examine the effects of concrete surface treatments in aggressive environments.</p>			
Keywords: surface treatments, compressive strength, aggressive environment, concrete			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. ÜLEVAADE KAITSEVÕÕBAST, SILOST JA BETOONIST	8
1.1. Kaitsevõõba, betooni ning silo mõiste.....	8
1.2. Betooni ajalugu.....	8
1.2.1. Betooni kasutamine teedehituses	11
1.2.2. Kaitsevõõpade tutvustus	12
1.2.3. Ettevalmistused kaitsevõõba kvaliteetseks peale kandmiseks.....	13
1.3. Varasemad uurimused survetugevuste muutumisest happelises keskkonnas.....	13
2. BETOONI SURVETUGEVUSE MÄÄRAMINE	22
2.1. Katsemetoodika	22
2.2. Katsekehade ettevalmistamine	24
2.3. Kasutatud kaitsevõõpade omadused, kirjeldus ja kasutusala	29
2.4. Mittepurustava- ja purustava katse metoodika	31
2.4.1. Betooni survetugevuse hindamine pörkevasaraga Digi- Schmidt 2000.....	31
2.4.2. Betooni survetugevuse hindamine universaalse katsemasinaga P-125	32
3. KATSETULEMUSED JA ANALÜÜS	34
3.1. Betooni survetugevuse määramise katse tulemused ja analüüs.....	34
KOKKUVÕTE	47
KASUTATUD KIRJANDUS	49
LISAD	52
Lisa 1. Katsetes kasutatud betooni saatelehed.....	53
Lisa 2. Katsekehade survetugevuse määramine mittepurustava ja purustava meetodiga.....	56

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö „Kaitsevõõpade mõju betooni kestvusele agressiivses keskkonnas“ teema valikul arvestati asjaoluga, et silohoidlate betoonkonstruktsioonid ei ole võimelised pikaajaliselt agressiivses keskkonnas vastu pidama. Seetõttu tuleb leida lahendusi, kuidas konstruktsioonid peaksid happelises keskkonnas vastu vähemalt 25 aastat.

Uurimistöö kirjutamise põhjus oli see, et siiani pole leitud häid lahendusi, kuidas kaitsta betooni edukalt agressiivses keskkonnas. Praeguste silohoidlate tööjooniste järgi rajatakse betoonkonstruktsioonid betooniga C35/45 XC4+XF2+XA3, kuid selline lahendus on kulukas. Magistritöös uuritakse, kas betooniklassi muutmine ning konstruktsiooni võõpamine võiksid luua samaväärse tulemuse.

Betooni kaitsevõõpasid on väga erinevaid, töös lähtuti materjalide kättesaadavusest. Uurimistöös kasutati Semtu Evercrete Vetrofluid, Spray- Lock SCP 743, Bornit Silogrund, Bornit Siloanstrich, kus Bornit Silogrund on Bornit Siloanstrichi alusvõõp. Lõputöö eesmärk on välja selgitada, kas mõni kasutatud kaitsevõõpadest on võimeline betooni kaitsma agressiivses keskkonnas.

Magistritöö keskendub sellele, kuidas leiti vastavad katsekehade survetugevused, lisades juurde, millist tüüpi siloga on tegu. Katsete tulemusena selgus, millised kaitsevõõbad toimisid agressiivses keskkonnas ning miks osad ebaõnnestusid. Selleks loodi laboris vastavad tingimused, mis imiteerisid mõne kuu jooksul silohoidla tingimusi. Eesmärkide saavutamiseks kasutati 62 katsekeha, millest 40 kuubikut purustati pärast silo seest välja võtmist. Ülejäänud 22 katsekeha ladustati labori tingimustes ning purustati samaaegselt teistega.

Lõputöö koosneb kolmest peatükist. Esimene peatükk tutvustas kaitsevõõpa, betooni ning silo. Samas on lühikokkuvõtte betooni ajaloost maailmas ja Eestis ning kaitsevõõpade ajalugu. Esimese peatüki viimases osas tutvustatakse varasemaid uurimusi betooni survetugevuse muutumise kohta happelises keskkonnas. Teises peatükis kirjeldatakse

betooni survetugevuse määramist, katse metoodikat ning katsetele eelnenud ettevalmistusi. Kolmandas peatükis antakse ülevaade katse tulemustest ning analüüsitakse saadud tulemusi.

Käesoleva magistritöö peamised eesmärgid on:

- uurida katsete põhjal Semtu Evercrete Vetrofluid, Spray- Lock SCP 743, Bornit Silogrund, Bornit Siloanstrich betooni kaitsevõõbaga kaetud betoonist katsekehade survetugevuse muutust happelises keskkonnas;
- parema võrdluse saamiseks määrata kaitsevõõpadeta betooni kestvus agressiivses keskkonnas;
- võrrelda kaitsevõõbata ja kaitstud betoonist katsekehade survetugevuse muutust agressiivses keskkonnas;
- analüüsida saadud katsetulemusi ning selle alusel teha ettepanekud kasutajale, kes on eelistanud betooni võõpamist.

Lähtuvalt uurimustöö eesmärkidest on püstitatud järgmised hüpoteesid:

- betooni kaitsevõõbad ei suuda kaitsta betooni agressiivses keskkonnas;
- agressiivses keskkonnas asetsenud kaitsevõõpadeta katsekehade survetugevus langeb oluliselt rohkem võrreldes võõbatud katsekehade survetugevusega;
- laboris hoitud katsekehade survetugevus on sarnane arvutusliku survetugevusega.

Töö autor tänab:

1. Eesti Maaülikooli Põllumajandus- ja Keskkonna instituudi taimebiokeemia labori juhatajat Mai Oleskit, kes analüüsis katsetel kasutatud silo;
2. betooni ettevõtet Valga Betoon OÜ, kes varustas töö autorit katseks vajaliku betooniga;
3. Ranna farm OÜ sobiva silo loovutamise eest;
4. Mapri Ehitus OÜ katseteks vajalike seadmete ja materjalidega varustamise eest.

1. ÜLEVAADE KAITSEVÕÕBAST, SILOST JA BETOONIST

1.1. Kaitsevõõba, betooni ning silo mõiste

Betooni kaitsevõõpasid kasutatakse sagedasti vundamentidel, et vältida niiskuse sissetungi konstruktsiooni. Kõige enam on levinud bituumenit sisaldavad kaitsevõõbad. Bituumenist kaitsevõõbad tuleb pinnale kanda paksu kihina, et betooni pinnale ei jääks katmata kohti ning kaitsmata poore. Läbipaistvad silikaadipõhjalised kaitsevõõbad tungivad aga betooni sisemusse ning sulgevad poorid. Samuti säilib betooni esialgne välimus. [1, 2]

Betoon on tänapäeval palju kasutatud leidev ehitusmaterjal, mis valmistatakse tsemendi, täitematerjalide ja vee segamisel. Tihti lisatakse juurde ka lisandeid, et betoon suudaks kindlas keskkonnas kauem vastu pidada. Tsemendi hüdratsiooni tulemusel formuleeruvad betooni omadused. [3]

Silo on orgaaniliste hapete, põhiliselt piimhappe mõjul konserveerunud haljasmass. Silo produtseeritakse peamiselt kõrreliste ülekaaluga põld- ja niidurohust, samuti ristikut ning maisist. Silo kvaliteedinäitaja on tema happelisus, pH näitab hapete koguhulka ja hapete vahekorda. Õigesti valmistatud silol on hapu lõhn, vastava taime varre värvus ning säilinud peab olema taimede struktuur. [4]

1.2. Betooni ajalugu

Tänu tulekindlusele, vastupidavusvõimele, madalatele hoolduskuludele, heale dünaamilise koormuse vastupanuvõimele ning vastupidavusele erinevates happelistes keskkonnatingimustes on betoon üks levinuimaid ehitusmaterjale maailmas. [5]

Umbes 6500 eKr, kasutasid esimesed tsivilisatsioonid Süürias maja seintel, põrandatel ja veehoidlates toorest põletatud lubjakivi [6]. Joseph Davidovitsch esitas 1974. aastal hüpoteesi, mille järgi Giza ja Sakkara püramiidid võivad olla ehitatud lubjakivibetonist. Egiptlased valmistasid lubja ja kipsi segamisel, tänapäeva betoonile sarnase mördi, mille ülesandeks oli siduda omavahel muda ja õled. Esimene hetkel teadaolev betoonleid pärineb Lepenski Virist (Ida- Serbia) umbes 5600 eKr, kust leiti lubjast, liivast ja kruusast ehitatud jahionni põrand. [7]

Järgneva kahe sajandi jooksul märkimisväärset muutust tsemendi ja betooni kasutamises ei toimunud. Umbes 600 eKr õppisid kreeklased, kuidas ära kasutada putsolaani reageerimist vee ja kaltsiumhüdroksiidiga, et tekitada tsemendile sarnaseid omadusi. 300 aastat hiljem võtsid roomlased omaks kreeklaste putsolaani tehnika, kasutades tsemendi taolise aine valmistamiseks kustutatud lupja ja vulkaanituhka. [6]

Kaasaegsele betoonile väga sarnase konstruktsiooni püstitasid roomlased 193 eKr. Seda nimetati Porticuss Aemeiliaks. Pantheoni ja Colosseumi kerkimise järel 200-ndal aastal pKr oli betoon Roomas juba laialt levinud [6]. Esimese aastatuhande alguses kirjutati ka esimesed raamatud, milles kirjeldatakse betoone ja nende kasutamist tooleaegses ehituses. Rooma impeeriumi lagunemine pidurdas aga betooni teaduslikku arengut ning ajapikku unustati varem kasutuses olnud tehnoloogiad. [7]

Üle 1000 aasta läks aega, enne kui avastati uut tüüpi tööstuslik betoon. 1765. aastal taasavastas John Smeaton hüdraulilise lubja, mille üheks omaduseks oli vee all kivistumise võime ning mida oli võimalik kasutada veekindla betooni valmistamiseks. [6]

Tööstusrevolutsiooni ajal patenteeris Joseph Aspdin 1824. aastal portlandtsemendi. Portlandi kivi järgi nime saanud tsement saadi lubjakivi ja savi põletamisel ning saadud aine jahvatamise järel. Esimene portlandtsemendi tehas rajati 1855. aastal, Eestis hakati aga portlandtsementi tootma 1870. aastal. [7]

Esimese uuema aja betoonibaasilise komposiidiga tuli välja Jean Louis Lambot, kes valmistas betoonpaadi. Tegemist ei olnud veel klassikalise raudbetooniga, kuna seal teras ei töötanud tõmbele. Joseph Monier tegi 1850. aastal esimesi katsetusi betoonist lillepottide armeerimiseks ning 1867. aastal võttis ta neile ka patendi. Teda on loetud raudbetooni leiutajaks, kuna lillepottide terasvõrguga armeeringust tuletati hilisem mõte, armeerida betoon terasvarrastega. [7]

Raudbetooni kutsutakse armeeritud betooniks ehk sardbetooniks. Sajandi keskpaigaks kui raudbetooni põhikomponentide – portlandtsemendi ja valsterase – tootmine oli piisavalt edasi arenenud, kujunesid välja raudbetooni majanduslikud eeldused. 19. sajandi esimesel poolel eelnes raudbetoonile, betooni tehnoloogia areng ja betoontehiskivide kasutamine. [5]

Üks kõige tuntumaid raudbetoonehitisi on Hooveri tamm USAs. Tammi hakati planeerima 20. sajandi alguses, ehitus algas 1931. aastal. Tööd lõpetati 1. märtsil 1936. aastal. Tol ajal oli tegemist maailma suurima betoonkonstruktsiooniga. Tammi ehituseks kasutati peaaegu 2,5 miljonit kuupmeetrit betooni. Hooveri tammi ehitusega muutus betoonkonstruktsioonide kasutamine palju populaarsemaks. [8]

Euroopa suurim tamm on Šveitsis asuv Grande Dixence tamm. Tamm rajati Alpidesse, et toota efektiivsemalt elektrit. Grande Dixence on 285 meetrit kõrge ja 700 meetrit pikk. Betoonkonstruktsioonide rajamiseks läks vaja 6 miljonit kuupmeetrit betooni. Tammi ehitamist alustati 1950. aastal ning see avati 1960. aastal. [9]

Betooni tootmise alguseks Eestis võib pidada 1860. aastate lõppu, kui Kunda mõisa omanik John Girard de Soucanton huvitus võimalusest valmistada kohapealsetest materjalidest tsementi. Tootmine käivitus 1870. aastal. 1960. aastal hakati rajama Kundasse uut tsemenditehast, vanas tehases käivitati aga põlevkivituhk-portlandtsemendi tootmine. Kuna tehas saastas õhku, hakati Eesti Vabariigi taasiseseisvumise järel uuendada tehase tehnoloogiat. Tööd lõpetati 1997. aastaks. Kuna Eesti tsemenditurg on väike, kuid tehases toodetav tsement kvaliteetne, läheb ligi 70% toodangust ekspordiks. [10]

19. ja 20. sajandi vahetusel tegeleti Eestis esmakordselt suurte raudbetoneerimistöödega, kui Tallinna merekindlust taastati purustustest. Eesti silmapaistvamaks raudbetoonehitiseks on vesilennukite angaar, mis oli 1917. aastal Euroopa suurim raudbetoonist ehitis. Pärast võõrvägede saabumist Eestisse, kuulus see kuni 1990. aastani Nõukogude sõjaväele. Kuna angaarid polnud valmimisest saadik läbinud ühtegi ulatusliku renoveerimist, oli ehitise olukord muutunud avariiliseks. 2009. aastal algasid professor Karl Õigeri juhendamisel põhjalikud renoveerimistööd, mis kestsid 2011-nda aastani. Renoveerimistööde tulemusena valmis esinduslik Meremuuseum ning 2012. aastal omistati ehitisele aasta betoonehitise tiitel. [11]

Suuremad raudbetoonehitised valmisid Tallinna purjeregatiks. Tähelepanuväärseimaks on Tallinna teletorni ehitus. Teletorn koosnes vundamendiplaadist, torni tüvest ning metallosast. Vundament rajati 8,5 m sügavusele, kus selle läbimõõduks oli 38 m ning plaadi paksuseks oli 2,5 m. Teletorni ehitamisel kasutati roniraketist. Betoonitööd teletorni ehitusel kestsid kokku 8 kuud. [12]

Taasiseseisvumise järel hakkas Eestis ehitustegevus jõudsalt hoogustuma. Kerkisid esimesed kõrghooned Tallinna, Maakri tänavale, Tartusse rajati nii Tigutorn kui ka Eesti Rahva muuseum. 2015. aastal rajati Tartusse Ihaste sild, mis valiti ka uut tehnoloogia kasutust arvestades aasta betoonehitiseks. Hetkel on betoon üks enim kasutatud ehitusmaterjal Eestis. [10]

1.2.1. Betooni kasutamine teedehituses

Esimesed raudbetoonist kõnniteed rajati tsaariajal. 1920-1930-ndatel hoogustus betoonist teelõikude tegemine linnades ja maanteedel. 1926. aastal rajati esimene katseteelõik Tartu – Viljandi maanteele. 1937. aastal valmis Nõmme linnas betoonist tänav. [13]

1946. aastal alustati Tallinn – Narva betoonist maantee ehitusega. 1949. aastaks lõpetati ehitustööd. Nelja aasta vältel jõuti ehitada 50 km betoonteed, mis on siiani pikim betoonist teelõik. Vao ja Maardu vahele rajati 1964-1967 aastal kahe eraldatud suunaga betoontee, mis oli esimene selline Eestis. [13]

Hetkel pole Eestis betoonteed väga populaarsed, kuna ehitushind on kordades kõrgem kui asfalttee hind. 2016. aastal rajati Tallinnasse kolm erinevat betoonist katseteelõiku. Nende rajamine oli üle aastakümnete esimene kord, kui betooni taas autoteede ehitusel kasutati. [13]

1.2.2. Kaitsevõbad

Järjest enam hinnatakse naturaalseid betoonipindasid, seetõttu tuleb leida mooduseid, kuidas kaitsta antud pindasid kahjulike keskkonnategurite eest. Niiskuse sissetungi tõttu võib konstruktsioonis olev terasarmatuur hakata korrodeeruma. Hea kvaliteediga tehtud betooni vastupidavus võib muutuda kaheldavaks, kui seda lõhuvad agressiivsed keskkonnad, hõõrdumine ja külmumise ja sulamise tsüklid. Seetõttu on vajalik kaitsta betoonpindasid ümbritsevate ohtude eest. [14]

Kaitsevõbad valmistatakse tavaliselt pigmentidest ja lahustitest ning on loodud ka lahustumatuid kaitsevõõpasid. On võõpasid, mis annavad kaitse, kuid värvivad ka konstruktsiooni. Võõpade omadusi on võimalik muuta ka täiteainete lisamisega. Kõige rohkem kasutatakse kaitsevõõpasid sildadel, suuremahulistel tööstushoonete põrandatel, keemilise rünnaku all olevatel suurtel pindadel, kaevandustes ning tammidel. [14]

Kuna kaitsevõõpasid on erinevad sõltub ka nende kasutusala konkreetsest kohast. Olulised kvaliteedinõuded kaitsevõõpadele on järgmised:

- kaitse peab olema vastupidav;
- peavad olema veekindlad;
- peavad olema hea nakkuvusega betooni külge;
- peavad vastu pidama kõrgele temperatuurile ning temperatuuri kõikumistele;
- peavad vastu pidama sooladele, hapetele ja leelistele;
- peavad olema mitteporsed, takistama seente ja vetikate levikut;
- peavad olema ökonoomsed ning vajama harva hooldust. [15]

Betooni kaitsevõõpadel on tihti mitu kihti, kuna esimene kiht tungib betooni sisse ning võib jätta mõned poorid avatuks. Kõige pealmine kiht peab vastama esteetilistele nõuetele, selleks on palju variante, osad on läbipaistvad, mõned kindla tooniga. [15]

Betooni sisemise poorsuse tõttu ei ole võimalik täielikult vältida kahjulike ainete sissetungimist betooni. Isegi kui kaitsevõõbad on kvaliteetselt kantud betooni pinnale, ei pruugi need kaitsta betooni agressiivse keskkonna eest. Kuna betoonis asuvad mikropoorid ja praod, mis pakuvad agressiivsetele ainetele võimaluse konstruktsiooni tungida. [16]

Betooni kaitsevõõba toimise eelduseks on pind ja selle kvaliteetne ettevalmistamine. Kõige kvaliteetsemad kaitsevõõbad ei tööta kehva pinna peal. Tihti pole kaitsevõõbad süüdi lekkes või lagunemises, vaid kehva aluspinna peale oli raske kaitsevõõpa kanda. [15]

1.2.3. Ettevalmistused kaitsevõõba kvaliteetseks peale kandmiseks

Ebapiisav pinna ettevalmistus on tihti põhjus, miks kaitsevõõbad ei tööta. Selleks, et kaitsevõõp töötaks peab pind olema puhas, pinnavigastusteta, kuiv ja kindel. Samuti peab pind võõba sidumiseks olema piisavalt nakkuv, kui pinna ettevalmistus on ebapiisav, siis kaitsevõõp ei seo end konstruktsiooniga. [17]

Enne tööde alustamist tuleb võõbatavad pinnad üle kontrollida. Uurida ega pinnale pole jäänud tolmu, mustust, õli, mördi tükikesi ja teisi võõpamist takistavaid tegureid. Vee või mõne teise niiskusvahendiga pindade puhastamisel tuleb arvestada pinna kuivamise aega. Tolmu kogus pinnal peab olema nii minimaliseeritud, et valge lapiga tõmmates ei jääks riie puhtaks. Lisaks võib tööpinnale piserdada kergelt vett, kui tilgad ei moodustu on kindel, et pinnad pole õlised. [17]

1.3. Varasemad uurimused survetugevuste muutumisest happelises keskkonnas

Varasemaid uuringuid kaitsevõõpade kohta agressiivses keskkonnas ei leidu palju. Olemasolevatest uuringutest nähtub, et betoon ilma kaitsevõõpadeta ning ilma lisanditeta ei ole vastupidav agressiivses keskkonnas. Kuigi toimub pidev lisandite ning kaitsevõõpade arendamine on betooni kasutamine agressiivsetes keskkondades endiselt raskendatud, kuna puudub agressiivses keskkonnas betooni katsetamise standard. Lisaks puuduvad kriteeriumid betooni kestvuse hindamiseks happelises keskkonnas. Betooni

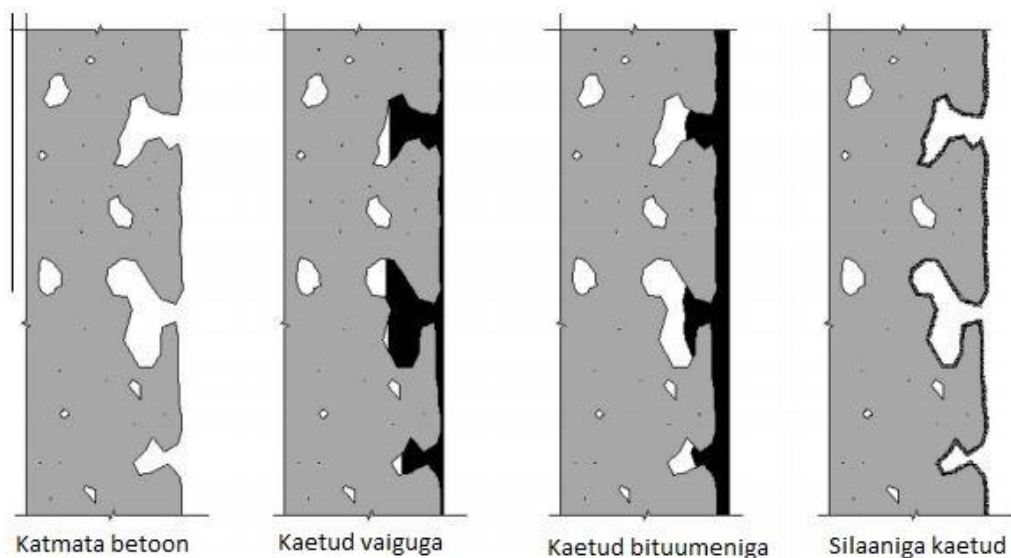
kaitsevõpade uurimist agressiivses keskkonnas leidub üksikutes töodes, millest antud magistritööle kõige sarnasemad leiavad refereerimist.

A.R. Suleiman, M.L. Nehdi Lääne- Ontario ülikoolist ja A.M. Soliman Concordia ülikoolist uurisid 2014. aastal avaldatud töös betooni ja kaitsevõpade vastupidavust sulfaadirikkas keskkonnas. Katsekehad valmistati kahest erinevast betoonist (vt. tabel 1.1.). [18]

Tabel 1.1. Katses kasutatud betoonsegude komponendid [18]

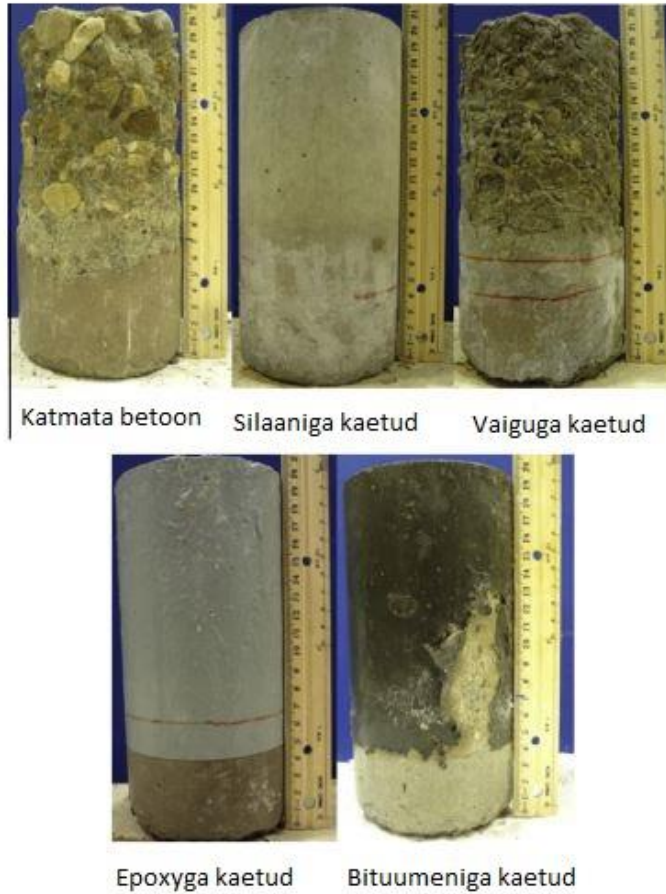
Koostisosa	Betoon I	Betoon II
Tsement (kg)	300	263
Lendtuhk (kg)	100	87
Jäme täitematerjal (kg)	1110	1110
Peenike täitematerjal (kg)	705	754
Vesitsementtegur	0,45	0,6
Superplastifikaator (ml/m ³)	900	0

Katse viidi läbi sulfaadirikka pinnasega. Katses kasutati nelja erinevat tüüpi betooni kaitsevõpa: 1) silaan, hüdrofoobne läbipaistmatu materjal (vesipreparaat), 2) epoksü kate, 3) bituumen (polüuretaan), 4) polümeervaik. Joonisel 1.1. on kujutatud katses kasutatud kaitsevõpade toimivust pooride täitmisel. Peale kaitsevõpade kuivamist paigutati katsekehad osaliselt 5% naatriumsulfaadi lahusesse. Lahuses hoiti katsekehi tsükliliselt, kaks nädalat hoiti katsekehi 20°C juures, seejärel kaks nädalat 40°C juures. Katses püüti luua tegelikkusega sarnane olukord, kus betoonkonstruktsioone võõbati pooled katsekehad 24 tundi pärast valmimist, kuna ehitusobjektidel on ehitusgraafikutega tihti probleeme ning betooni võõpamisega kiirustatakse. [18]



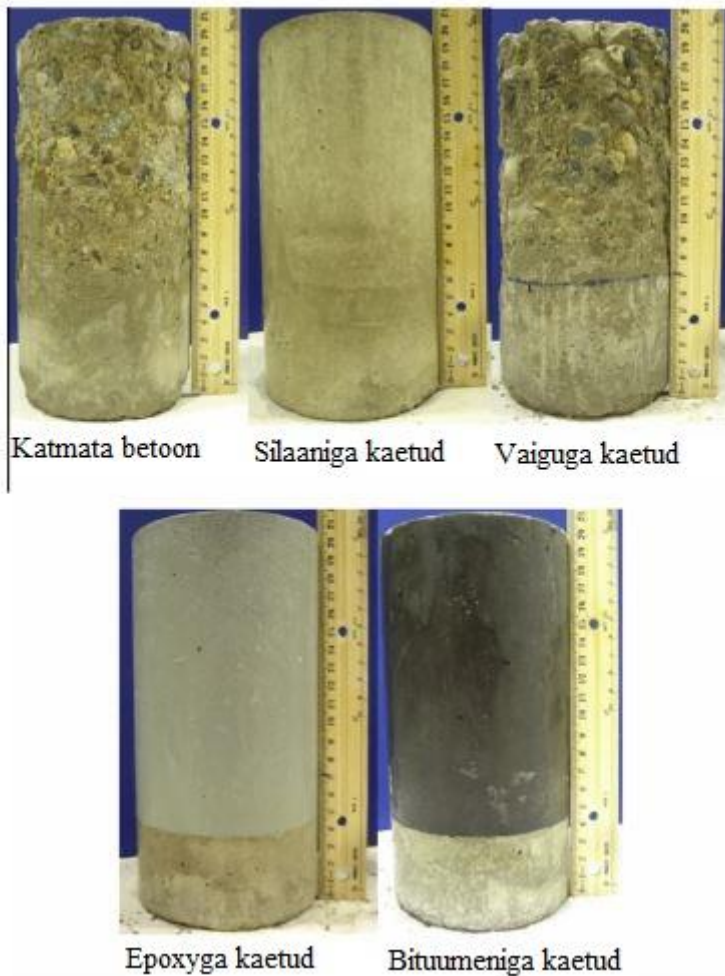
Joonis 1.1. Katses kasutatud kaitsevõõpade toimivus pooride täitmisel [18].

Peale ühe kuu möödumist katse algusest ilmnis ilma kaitsevõõpadeta katsekehadel pooride suurenemine, kaitsevõõbaga kaetud katsekehadel muutusi ei ilmnenu. Peale kahte kuud ilmnesisid kahjustused vaiguga kaetud katsekehadel. Lisaks täheldati, et bituumenist kattekiht oli eemaldunud katsekehast. Veel enam, madalamate vesitsementteguritega (VTS) ($VTS=0,45$) katsekehadel toimus pinnakatte lagunemine. Joonisel 1.2. on näidatud pärast kuue kuu pikkust sulfaadiga kokkupuudet, katmata ja kaitsevõõbaga kaetud katsekehad. Kõige ulatuslikumad kahjustused täheldati mitte kuivada lastud kaitsevõõpadeta katsekehade puhul ($VTS=0,60$). Tõsine kahjustus oli ka vaiguga kaetud ($VTS=0,60$) silindrite puhul. Katsekehad, mis olid kaetud silaani ja bituumeniga olid kahjustamata. [18]



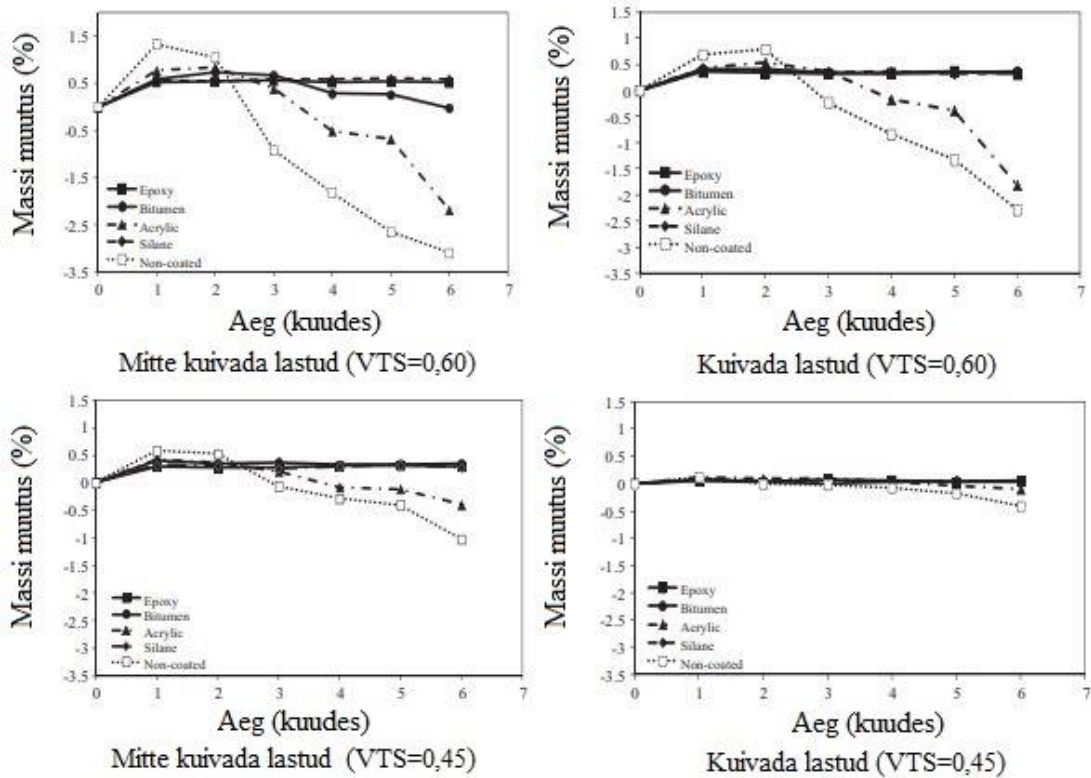
Joonis 1.2. Kuus kuud katses olnud katsekehad, millel ei lastud ära kuivada [18].

Kuue kuu järgselt olid katsekehad, millel oli lastud eelnevalt 28 päeva kuivada, oluliselt väiksemate kahjustustega (vt. joonis 1.3.). Kui mitte kuivada lastud bituumeniga kaetud katsekehadel hakkas vööp maha kooruma, siis eelnevalt kuivada lastud katsekehadel antud probleemi ei esinenud. Samuti ei kahjustunud epoksüga kaetud katsekehad, millel oli lastud ära kuivada. [18]



Joonis 1.3. Kuus kuud katses olnud katsekehad, millel ei lastud ära kuivada [18].

Katse tulemusena oli selge, et vesitsementtegur mõjutab betooni vastupidavust. Vesitsementtegur on oluline betooni tugevust mõjutav tegur, mis näitab kasutatava vee ja tsemendi suhet. Kaitsevõõpasid kasutatakse betooni vastupidavuse parandamiseks, sest kahjulikud ained tungivad läbi betooni ning hakkavad seda lõhustama. Kui betoonkonstruktsioonil mitte lasta 28 päeva kuivada on oht, et bituumen eraldub betooni pinnast. Vaiguga kaetud katsekehad näitasid pisut vähem kahjustusi kui kaitsevõõpadeta katsekehad. Selle põhjus võis olla asjaolu, et vaik toimib kõvendava ja tihendusmaterjalina, mis kaitseb betooni ümbritseva keskkonna eest, täites poorid ja luues nendes õhukese membraani. [18]



Joonis 1.4. Katsekehade massi muutus lastes katsekehadel enne võõpamist kuivada 24h vs lastes katsekehadel kuivada 28 päeva [18].

Naatriumkloriidis olnud katsekehade massi mõõdeti iga kuu järel. Joonisel 1.4. on kujutatud massi muutus kõigil katsekehadel pärast kuue kuu pikkust sulfaadiga kokkupuutumist. Esimesel kuul tõusid katsekehade massid vee imendumise tõttu, eriti suurema poorsusega kaitsevõõpadeta katsekehadel. Katse hilisemas faasis kaotasid katsekehad massi. Suurim muutus tekkis kaitsevõõbata katsekehadel, mis oli valmistatud vesitsementteguriga 0,6. Ainult vaigu ja bituumeniga kaetud katsekehade mass ei muutunud. Vesitsementtegur 0,45ga valmistatud katsekehadel täheldati väikseid massikadusid, eriti katsekehade puhul, millel lasti 28 päeva kuivada. [18]

Eespool sooritatud katsete põhjal järeldati, et vesitsementteguri suhte vähendamine parandab katses betooni vastupidavust. Epoksü ja silaan kaitsevõõpad kaitsevad betooni sulfaadirünnaku eest. Kuna epoksü moodustab katsekehale kaitsva kihi, millest sulfaadid pole võimelised läbi tungima ja silaan tungib katsekehade pinna sisse ning reageerib betooni poorides, moodustades kileja kihi. Bituumenist kaitsevõõpade puhul leiti, et betooni kõvenemine enne võõbaga katmist on oluline, vastasel korral võib bituumen end

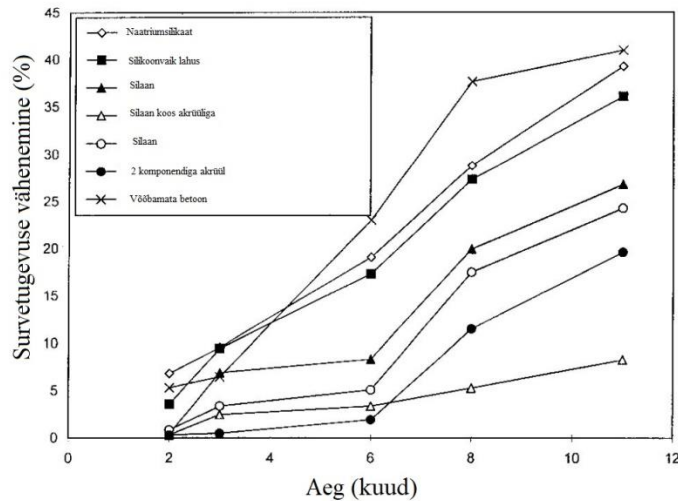
betooni külge mitte siduda. Veepõhiste vaikude kasutamine ei paku betoonile piisavalt kaitset. [18]

M. Ibrahim, A. S. Al-Gahtani, M. Maslehuddin ja F. H. Dakhil uurisid 1999. aastal avaldatud töös kaitsevõõpade kasutamist betooni kestuse suurendamiseks. [19]

Katses kasutati järgmisi kaitsevõõpasid: 1) Naatriumsilikaat, 2) Silikoonvaik lahus, 3) Silaan, 4) Silaan koos akrüülvärviga, 5) Alkүүл, 6) Kahe komponendiga akrüülvõõp. Katsekehad valmistati betoonist, mille diameetriks oli 75 mm ning kõrguseks 150 mm. Katsekehad valmistati tsemendi sisaldusega 350 kg/m^3 , vesitsementtegur oli 0,45 ning jämeda ja peene täiteaine suhe 1,63. Jämeda täitematerjalina kasutati purustatud paekivi, peene täitematerjalina kasutati liiva. [19]

Kloriidi difusiooni koefitsientide määramiseks kaetud ja katmata betoonist proovides, töödeldi eksemplare kolme kuu jooksul 5% naatriumkloriid lahusega, mida hoiti 40 kraadise temperatuuri juures. Pärast kolme kuu pikkust katset, katsekehad pesti ning eemaldati niiskus ja sool. Katsekehadele tehti 5, 15, 30, 50, 100 ja 150 mm sügavused lõiked ja seejärel leiti kloriidi kontsentratsioon katsekehades. [19]

Peale katsekehade valmimist hoiustati neid nii, et katsekehast üks pool asuks naatriumsulfaadi lahuses ning teine pool joogivees. Kahe, kolme, kuue, üheksa ja üheteistkümne kuu pikkuse kokkupuute järel võeti proovideks 3 katsekeha sulfaadi lahusest ja 3 katsekeha joogiveest. Katsekehad pesti soola eemaldamiseks ja seejärel määrati katsekehade survetugevus. [19]



Joonis 1.5. Naatriumsulfaadi lahuses olnud kaetud ja katmata betooni survetugevuse vähenemine [19].

Joonisel 1.5. on kujutatud survetugevuse vähenemist kaetud ja katmata betooni katsekehades, mis olid aasta aega seisnud naatriumsulfaadi lahuses. Peale kahe kuu pikkust kokkupuudet naatriumsulfaadilahusega oli survetugevuse vähenemine minimaalne ja puudusid sulfaadirünnaku tunnused nii võõbatud kui võõpamata katsekehadel. Peale kolme kuud katses olemist täheldati pinnakatte tsemendipasta pehmenemist. Survetugevuse pidev vähenemine mõõdeti kõigil võõbatud ja võõpamata katsekehadel. Silaaniga kaetud katsekehade proovides ei täheldatud kuni kaheksanda kuuni sulfaadirünnaku tunnuseid. Kahekomponendilise akrüülkattega kaetud katsekehade kahjustus oli sarnane silaani tulemustega. Pärast 240 päeva katses täheldati katsekehades pragusid. Kuid siiski oli see kaitsevõõp kõige efektiivsem sulfaadirünnakute tõrjumisel. Akrüülkattega silaani efektiivset toimet võib seostada asjaoluga, et lisaks kaitsele mida pakub silaan, moodustab akrüülkate omakorda betooni pinnale kattedihi, mis aitab edukalt tõrjuda sulfaatioonide levikut betooni. [19]

Tabel 1.2. Sulfaadilahuses olnud katsekehade survetugevuste muutmine pärast 330 päeva [19]

Kaitsevõõp	Survetugevuse vähenemine (%)
Kaitsevõõbata	41
Naatriumsilikaat	39,3
Silikonvaik	36,1
Silaan	26,8
Silaan koos akrüülkattega	8,3
Silaan	24,3
Akrüülvärv	19,6

Tabel 1.2. võtab kokku 330 päevalise katse. Katsekehad asetati 330 päevaks naatriumsulfaadi lahusesse ning kahe, kolme, kuue, kaheksa ja üheteistkümne kuu järel mõõdeti katsekehade survetugevuse vähenemist. Kaitsevõõpadega kaetud proovide survetugevus vähenes vähem kui katmata betooni katsekehadel. [19]

2. BETOONI SURVETUGEVUSE MÄÄRAMINE

2.1. Katsemetoodika

Tänapäeval kasutatakse hoonete ja rajatiste ehitamisel agressiivsesse keskkonda erineva tugevusklassiga betoone, mis sisaldavad lisandeid. Käesolevas uurimustöös püütakse leida pinnakattevõõp, mis agressiivses keskkonnas ei kaotaks oma survetugevust.

Antud töö katsetuslikus osas on valmistatud ühesugusest tugevus- ning keskkonnaklassist betoonist katsekehad. Katsekehad on valmistatud standardvormides, kus kuupide mõõduks on 150 x 150 x 150 mm.

Valmistatud katsekehade kirjeldus:

- 1) Keskmisest tugevusklassist betoon (agressiivsete keskkondade jaoks mõeldud katsekeha), C30/37 XF2 + XC4 + XA1;
- 2) Betooni plastsus vastas S4-le;
- 3) Katsekehad sisaldasid betoon graniitkillustikku ning tsementi CEM I.

Pärast katsekehade valmimist, kuubid kaaluti ning asetati vette kivinema. Standardist tulenevalt kivinesid betoonkuubikud vees 28 päeva, seejärel kaaluti kõik katsekehad uuesti. Kaitsevõõpade tootjate soovitusel lasti katsekehadel kuivada 14 päeva ja alles seejärel teostati võõpamistööd.

Katsekehad kaeti kolme erineva tootja võõbaga kahes kihis. Võõbatud katsekehad kuivasid laboris 48 tundi. Seejärel valmistati ette katseanumad agressiivse keskkonna loomiseks, katseanumatesse pandi silo, mida tihendati. Katsekehade paigutamine katseanumatesse toimus katsepikkuse lõikes, mis tähendab, et ühte katseanumasse pandi maksimaalselt kolm sama katsepikkusega betoonkuupi. Agressiivses keskkonnas hoiti võõbatud ja mitte võõbatud katsekehasid üks ja kolm kuud ja mõlema tsükli lõpus toimusid survetugevuse mõõtmised.

Erinevatel etappidel toimunud katsete mõõtmistulemused võimaldavad võrrelda erinevaid betooni kaitsevõõpasid, mis tootjate hinnangul peaksid kaitsma betooni agressiivses keskkonnas.

Betooni survetugevuse määramiseks kasutati mittepurustavat ja purustavat meetodit. Mõlema meetodi katsed viidi läbi Eesti Maaülikooli ehitusmaterjalide laboris. Mittepurustavad katsed teostati pörkevasaraga Digi- Schmidt 2000 ning purustavad katsed universaalse katsemasinaga P-125. Kuna katsekehadele oli peale kantud kaitsevõõbad, tuli enne mittepurustava katse sooritamist hõõruda võõbad maha. Bituumenvõõbaga kaetud katsekehadel tuli võõp maha hõõruda, kuna pörkevasara testis ei tohi betoon olla kaetud pehmendavate materjalidega. Seetõttu ei saa pidada mittepurustava katse tulemusi täielikult usaldusväärseks.

Purustavate ja mittepurustavate katsete tulemusi võrreldi kaitsevõõpade põhised. Katsete tegemise käigus saadud info analüüsiti. Et erineval ajahetkel tehtud katseid võrrelda tuli need läbi viia samadel alustel, seetõttu järgiti järgnevat katsete meetodikat: [20]

1. Ettevalmistus- katsekehade valmistamine ja kirjanduse kogumine.
 - 1.1. Katsekehade valmistamine.
 - 1.2. Katsekehade vette paigutamine 28-ks päevaks, temperatuuril $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
 - 1.3. Katsekehade veest välja võtmine.
 - 1.4. Töötlemata katsekehade survetugevuse määramine purustaval meetodil
 - 1.5. Võõbatavate katsekehade kuivamine labori tingimustes $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
 - 1.6. Katsekehade võõpamine 3 tootja kaitsematerjalidega.
 - 1.7. Katsekehade paigutamine katseanumatesse, mis sulgeti õhukindlalt kile ja teibi abil. Katseanumad asetati ruumi, kus temperatuur oli $15 \pm 3^{\circ}\text{C}$.
2. 1 kuu katseanumate avamine:
 - 2.1. Katseanuma avamine.
 - 2.2. Siloproovide võtmine katseanumatest, silo pH ja kuivaine sisalduse määramine Eesti Maaülikooli Taimebiokeemia laboratooriumis.
 - 2.3. Betoonkuubikute välja võtmine agressiivsest keskkonnast. Katsekehade puhastamine kleepunud silost.
 - 2.4. Katsekehade survetugevuse määramine mittepurustaval ja purustaval meetodil.
 - 2.5. Kogutud andmete analüüs.

3. 3 kuu katseanumate avamine:

3.1. Katseanuma avamine.

3.2. Siloproovide võtmine katseanumatest, silo pH ja kuivaine sisalduse määramine Eesti Maaülikooli Taimebiokeemia laboratooriumis.

3.3. Betoonkuubikute välja võtmine agressiivsest keskkonnast. Katsekehade puhastamine kleepunud silost.

3.4. Katsekehade survetugevuse määramine mittepurustaval ja purustaval meetodil.

3.5. Kogutud andmete analüüs.

3.6. Kogutud andmete üldine analüüs.

Katsetulemuste võrdluse sooritamiseks, järgiti ühe ja kolme kuu järgselt katseanumate avamiseks sama meetodikat. Pärast katsete lõppu analüüsiti saadud tulemusi ning seejärel tehti üldine kokkuvõte.

2.2. Katsekehade ettevalmistamine

Silohoidlad rajatakse tavaliselt farmide kõrvale. Nõukogude Eesti ajal rajati silohoidlad maapinda kaevatud auku, mida kutsuti siloaukudeks. Kuhu polnud siloauke võimalik rajada, ehitati monteeritavad raudbetoonkonstruktsioonidest silohoidlad. Silohoidlate põrandateks kasutati samuti betooni, mis takistas silomahlade imendumist pinnasesse. Tänapäeval rajatakse silohoidlad maapinnale, olenevalt tellija soovist ehitatakse üks hoidla ots suletuks. Kuna silohoidlate seinad on kuni 6 m kõrgused tuleb tagada stabiilsus ja võime püsida.

Praktilise töö alustamiseks loodi sarnased tingimused silohoidlaga. Katses kasutatud kehad valmistati paralleelselt Tõntso farmi silohoidla ehitusega. Katsekehad valmistati 150 mm x 150 mm x 150 mm suurused ja selleks kasutati Eesti Maaülikooli standardseid vorme (vt. joonis 2.1.).



Joonis 2.1. Katsekehade valmistamise vormid.

Kokku valmistati 62 katsekeha, betooni vormi valamine toimus kuuel korral, kuna Eesti Maaülikooli ehitusmaterjalide laboris polnud piisavalt palju vorme, et sooritada betoneerimine üheaegselt. Katsekehade valmistamiseks vajaliku betooni tarnis Valga Betoon OÜ kelle saatelehed on näha lisas 1. Pärast kuubikute valmimist transporditi katsekehad laborisse. Katsekehad valmistati betoonist C30/37 XC4+XF2+XA1.

XF2 – Mõõdukalt veega küllastunud, ilma jäite vastase aineta.

XC4 – Olustik, mis on vaheldumisi märg ja kuiv. Kasutatakse veega kokku puutuvatel pindadel, mis ei kuulu klassi XC2.

XA1- Kasutatakse madala keemilise agressiivsusega keskkonnas. [5]

Pärast katsekehade puhastamist ja kaalumist asetati kuubikud 28-ks päevaks vette kivistuma [21].

Kuna katsekehade betoneerimine oli toimunud erinevatel päevadel, siis võõbati sama võõbaga erinevatel kuupäevadel valatud katsekehad, et saada katsekehade keskmised survetugevused.

Pärast betoonkuupide kuivamist alustati kaitsevõõpade peale kandmist katsekehadele. Kõik võõbad kanti peale pintsliga ning järgiti tootjapoolseid juhiseid. Uurimustöös kasutati kolme erinevat kaitsevõõpa:

- Semtu EverCrete Vetrofluid;
- Spray- Lock SCP 743;
- Bornit Silogrund ja Siloanstrich.

Iga materjali kohta tehti 10 katsekeha, lisaks paigutati agressiivsesse keskkonda ka ilma kaitsevõõpadeta katsekehad. Laboratoorse survetugevuse leidmiseks, ladustati 10 katsekeha laborisse ning purustati samaaegselt, mil silo seest välja võetud katsekehad (vt. tabel 2.1.).

Tabel 2.1. Laboris silosse paigutatud katsekehade arv ja jagunemine

Kaitsevõõp	Katsekehade arv	1 kuu silos katsekehade arv	3 kuud silos katsekehade arv
Bornit	10	4	6
Semtu	10	5	5
Spray-Lock	10	5	5
Ilma võõbata silos	10	5	5
Laboris olevad katsekehad	22	0	0

Seejärel lasti võõpadel 48 tundi kuivada ning alustati nende paigaldamist silosse (vt. joonis 2.3.).



Joonis 2.3. Katsekehade asetsemine silos.

Kuna katses ei olnud võimalik kuubikuid silohoidlasse paigutada, tuli selleks luua võimalikult sarnane miniatuurne keskkond. Seetõttu võeti kasutusele plastikust kastid, kuhu asetati maksimaalselt 3 katsekeha. Eelnevalt täideti katseanumad siloga nii, et igas katsekeha küljes oleks minimaalselt 50 mm silo. Silo pressiti võimalikult tihedalt, et imiteerida silohoidlas olevat silo tihedust, mis on nõuetekohaselt sõltuv kuivaine sisaldusest. Antud uurimustöös kasutatud silo nõutud silo tihedus oli 670 kg/m^3 [22]. Keskmise silo tihedus erinevates kastides oli 757 kg/m^3 (vt. tabel 2.2.).

Tabel 2.2. Silo tihedus siloanumates

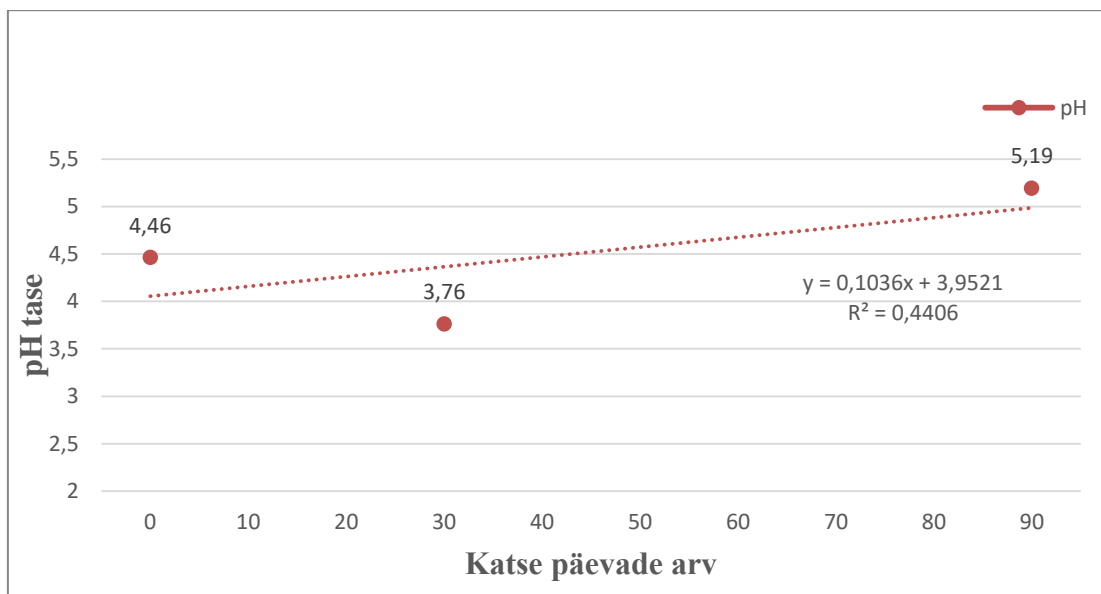
Kasti nr.	Katse ajaline pikkus	Silo tihendus kg/m^3
1. kast	1 kuu	747,2
2. kast	1 kuu	710,9
5. kast	1 kuu	720,2
7. kast	1 kuu	870,4
11. kast	1 kuu	764,7
13. kast	1 kuu	764,8
14. kast	1 kuu	712,2
3. kast	3 kuud	696,0
4. kast	3 kuud	735,3
6. kast	3 kuud	748,0
8. kast	3 kuud	731,6
9. kast	3 kuud	880,1
10. kast	3 kuud	749,3
12. kast	3 kuud	769,9
	Keskmine	757,2

Silo saadi Ranna Farm OÜ silohoidlast Neemiskülast, Tartumaal. Pärast anumate täitmist siloga kiletati kastid hoolega, et vältida hapniku ligipääsu silole. Hiljem, laborisse transportimisel, kiletati katseanumad teistkordselt (vt. joonis 2.4.). Misjärel asetati katseanumad jahutatud ruumi, et vältida hapnemist. Ruumis püüti hoida temperatuuri $15 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$.



Joonis 2.4. Kiletatud katseanumad.

Pärast katseperioodi lõppu ning katseanumate avamise järel, võeti siloproovid, mis toimetati Eesti Maaülikooli taimekaitse laborisse. Kõige enam pakkus huvi pH taseme muutus silos, kuna selle järgi oli võimalik hinnata silo happelisust. Kokku võeti 3 proovi. Esimene proov võeti otse silohoidlast ning järgmised võeti katseanumatest 30 päeva ja 90 päeva järgselt. 90 päevase katse jooksul tõusis katseanumates olnud silo pH 4,46-lt 5,19-ni. (vt. joonis 2.5.)



Joonis 2.5. Katseanumatest võetud siloproovide pH tase.

Silo pH taseme tõus 30 päeva järel näitab, et silo hakkab rikkuma. Põhjust, miks silo pH muutus, ei oska töö autor välja tuua. Katseanumad olid õhukindlaks tehtud täpselt meetodika alusel, seega anumad olid õhukindlad, kuna esimesed 30 päeva katseanumates olnud silo pH tase langes 4,46-lt 3,76-ni. PH taseme langus näitab, et 30-päevalise katseanumate keskkond oli ligilähedaselt sarnane silohoidlas olevale olukorrale. Mida väiksem on silo pH, seda happelisem on keskkond.

2.3. Kasutatud kaitsevõõpade omadused, kirjeldus ja kasutusala

Kaitsevõõpade valikul lähtuti toodete kättesaadavusest üliõpilasele.

Uurimustöös kasutati kolme erineva tootja betooni kaitsevõõpa:

1. Semtu Evercrete Vetrofluid omadused: [23]
 - 1) kasvab betooni pinnatugevus ja omakorda betoonpinna kulumiskindlus;
 - 2) kahaneb betoonpinna tolmmamine;
 - 3) suurendab betooni kaitset keemiliste reaktsioonide eest;
 - 4) betooni pind muutub vastupidavamaks.

2. Spray- Lock SCP 743 omadused: [24]
 - 1) vastupidav keemilistele ja keskkonnamarkidele;
 - 2) katab püsivalt betooni;
 - 3) vähendab kuivamispragude teket betooni pinnal;
 - 4) pärast peale kandmist on võimeline nakkuma teiste materjalidega;
 - 5) uuendab betooni ja kapillaaride struktuuri;
 - 6) mittesüttivast materjalist.

3. Bornit Silogrund omadused: [25]
 - 1) hea nakkuvus betoonpindadega;
 - 2) täidab betooni poorid.

4. Bornit Siloanstrich omadused: [26]
 - 1) hea nakkuvus betoonpindadega;
 - 2) soojuskindlus kuni 70 °C;
 - 3) head katteomadused;
 - 4) vastupidav erinevatele keemilistele protsessidele.

Kasutatud kaitsevõõpade kirjeldus:

Semtu EverCrete Vetrofluid tungib 15 – 40 mm sügavusele betooni sisse. Materjal reageerib betooni koostises oleva kaltsium – hüdroksiidiga ning moodustab pooridesse õhukese klaasja pinna. Pooridevahelisel alal toimub ka kontsentreerumine ning see kõik toob kaasa betooni pinna tiheduse ja veekindluse suurenemise, samas väheneb betoonpinna tolmueraldus. [23]

Spray- Lock SCP-743 imbub pooridesse ja kapillaaridesse, kaitstes betooni elektrolüütide sissetungimise eest ning stabiliseerides pH-d. Poorides moodustub kaltsium-silikaat-hüdraat, mis muudab betooni veekindlaks. Sõltuvalt betooni koostisest suudab SCP-743 kahjulikud ained kapillaaridest ja pooridest välja tõrjuda, kõrvaldades tõhusalt nende kahjustava mõju. [24]

Bornit silogrund ja siloanstrich sulgeb betooni poorid ning pooride vahelise ala, kaitstes materjali agressiivse keskkonna eest. Samuti tekitab see betooni pinnale bituumenkatte, mis ei lase niiskusel betooni tungida. Seetõttu suureneb betooni veekindlus ning lakkab tolmueraldus. [25, 26]

Kasutatud kaitsevõõpade kasutusala:

1) Semtu Evercrete Vetrofluid: [23]

- Maa alla ehitatavad betoonkonstruktsioonid
- Tunnelid ja sillad
- Reoveemahutid, kogumiskaevud ja agressiivsete ainetega kokku puutuvad pinnad
- Põllumajandushooned ja rajatised
- betoonpinnad

2) Spray- Lock SCP 743: [24]

- Niiskettesse kohtadesse ehitatavad betoonkonstruktsioonid

- Kanalisatsioonikollektorid
- Vundamendid
- Mere äärsed betoonkonstruktsioonid

3) Bornit Silogrund ja Bornit Siloanstrichi: [25, 26]

- Vundamendid
- Põllumajandus rajatiste agressiivsed keskkonnad

2.4. Mittepurustava- ja purustava katse metoodika

2.4.1. Betooni survetugevuse hindamine pörkevasaraga Digi- Schmidt 2000

Mittepurustavad katsed toimusid Eesti Maaülikooli maaehituse ja veemajanduse õppetooli ehitusmaterjalide laboris. Katse tegemisel järgiti standardit EVS.EN 12504-2:2012 Konstruktsiooni betooni katsetamine. Osa 2: Mittepurustav katsetamine. Põrkearvu määramine [27]

Katse eesmärk oli välja selgitada, kui täpselt on võimalik määrata survetugevust katsekehadel, mida ei purustata. Magistritöö katsete käigus sooritati mittepurustavad katsed alati vahetult enne purustavaid katseid.

Pörketestide läbiviimiseks kasutati Eesti Maaülikooli valduses olevat pörkevasarat Digi-Schmidt 2000. Antud tüüpi pörkevasaraga teostatavate mõõtmiste betoonkonstruktsiooni paksus on minimaalselt 100 mm. Eelnimetatud pörkevasaraga kaasas olevas kasutusjuhendis olid ära toodud teisenduskõverad, mida kasutada paksema kui 100 mm konstruktsiooni korral. Antud töös kasutatud konstruktsiooni paksus oli 150 mm. [28]

Standardi järgi on pörkevasara katse välja töötatud kohtkindlalt objektil ehitatud betoonkonstruktsioonide jaoks. Näiteks katsetatakse eespool kirjeldatud pörkevasaraga vundamentide survetugevust objektil. Seetõttu tuleb katsekeha stabiilsus laboris eraldi

luua. Vastavalt seadme juhendile, tuleb enne pörketesti algust katsekeha koormata 40 kN jõuga, mis mõjub risti katsekehade betoneerimise suunaga. Selle survega luuakse sarnane olukord, mis esineb realselt betoonkonstruktsioonides. [28]

Kõikidele kuubikutele tehti Scmidti vasaraga 10 lööki. Katse viidi läbi kui kuubikutele oli rakendatud koormus 40 kN ning seejärel tehti igale uuritavale kehale kolmele küljele kokku 10 lööki. Löökide arv tuleneb katseseadme kasutusjuhendist, kus minimaalseks pörkearvuks on 10 lööki. Pörkevasar arvutas välja löökide keskmise tulemuse. [28]

2.4.2. Betooni survetugevuse hindamine universaalse katsemasinaga P-125

Katsekehade survetugevuse leidmiseks toimusid katsed Eesti Maaülikooli ehitusmaterjalide laboris. Katsed viidi läbi vastavalt standardile EVS-EN 12390-3:2009 „Kivistunud betooni katsetamine“ [26]. Katsed tehti universaalse katsemasinaga P-125 .

Kuna katsemasina skaala ei näita koheselt ühikuga N/mm², tuleb kasutada survetugevuse leidmiseks järgnevat valemit standardist EVS-EN 12390-3:2009: [27]

$$f_c = \alpha \cdot \frac{F_c}{A} \quad (2.1)$$

Kus α – parandustegur 150 mm küljepikkusega katsekehal on 1,0;

f_c – leitav survetugevus megapaskalites, (MPa);

F – suurim jõud survele njuutonites, (N);

A – katsekeha ristlõikepindala, millele survejõud mõjub ruutmillimeetrites, (mm²).

Survekatse tulemusi võrreldi Eestis kehtiva standardi EVS-EN 206:2014+A1:2016 alusel betoonile tugevusklassi omistamiseks määratud survetugevusega (vt. tabel 2.3.).

Tabel 2.3. Betooni tugevusklasside vastavad survetugevused [21]

Tugevusklass	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45
Survetugevus (MPa)					
<i>f_{ck}, cube</i>	20	25	30	37	45

Katsetega kontrolliti katsekehade tegemiseks kasutatud betooni tugevusklassi vastavust standardist tulenevale tugevusklassile. Magistritöös uuriti 30 ja 90 päeva happelises keskkonnas olnud kuubikute survetugevusi, lisaks teostati mõõtmised 28 päeva järel vees olnud katsekehadele.

3. KATSETULEMUSED JA ANALÜÜS

3.1. Betooni survetugevuse määramise katse tulemused ja analüüs

Käesolevas magistritöös hinnati betooni vastupidavust agressiivses keskkonnas survetugevuse muutuse järgi. Antud töös võrreldi purustaval meetodil saadud survetugevusi arvutuslike survetugevustega.

Kõikide katsekehade survetugevuste saamiseks tehti kuubikutele nii mittepurustav kui ka purustav katse. Survetugevuste võrdlus leiti betooni arvutusliku survetugevuse ja silos hoitud kuupide keskmiste survetugevuste võrdlemisel. Katse tulemusi võrreldi arvutusliku survetugevuse ja silos hoitud kuupide survetugevuse protsendilise muutusega. Katsete tulemuste kirjeldamisel kasutati kolme ajahetke, pärast 28 päevast vees kivinemist ja pärast ühe ja kolme kuu pikkust agressiivses keskkonnas hoidmist.

Katsekehade teoreetiline survetugevus t päeva vanuselt leiti valemiga [5]

$$f_{cm}(t) = f_{cm} e^{s(1 - \sqrt{\frac{28}{t}})} \quad (2.2)$$

kus f_{cm} – 28 päeva vanuse betooni survetugevus;

s – tsemendi aktiivsusest sõltuv tegur ($s=0,20; 0,25; 0,38$). Antud töös arutati betooni tugevus tsemendi aktiivsusteguriga $s=0,2$;

t – päevade arv.

Purustavate katsete järgi langes 30 päeva silos olnud katsekehade keskmine survetugevus võrreldes arvutusliku survetugevusega 11,9%. Kõige enam langes Bornitiga kaetud katsekehade keskmine survetugevus, see oli peale 30 päeva möödumist 8,8% nõrgem kui arvutuslik survetugevus. Kõige vähem 3,3% langes ilma kaitsevõõbata silos olnud katsekehade keskmine survetugevus (vt. tabel 3.1.).

Tabel 3.1. 30. Päeva silos hoitud katsekehade keskmine survetugevus võrreldes arvutusliku survetugevusega

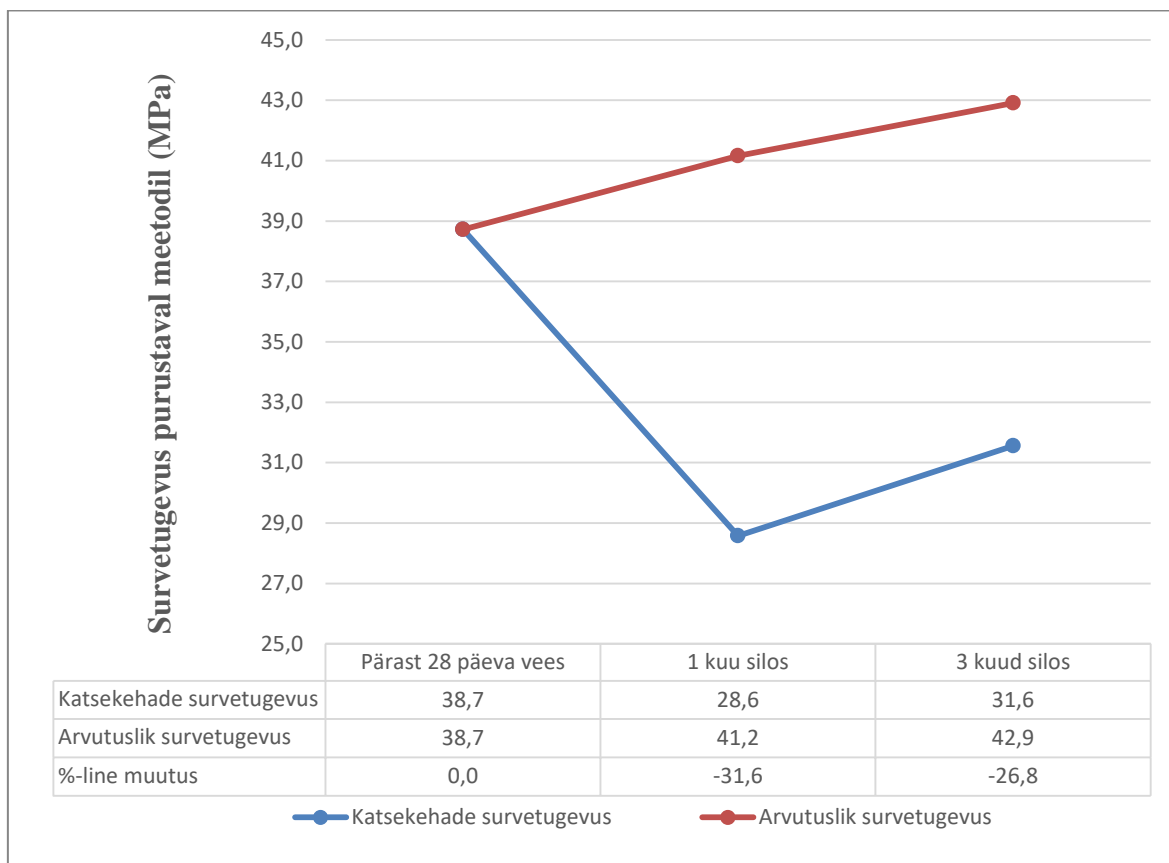
Võõp	Purustava katse keskmine survetugevus MPa (44 päeva vanustel katsekehadel)	Teoreetiline survetugevus MPa	Katsekehade vanus päevades (katsekehade kuivamine 14 päeva + silos 30 päeva)	Katsekehade survetugevuse erinevus %
Ilma võõbata silos	40,4	41,8	44	-3,3
Bornit	28,6	41,8	44	-31,6
Spraylock	38,4	41,8	44	-8,0
Semtu	39,8	41,8	44	-4,7
			Keskmine	-11,9

Kahe kuuga silos langes kõigi välja arvatud Borniti katsekehade keskmine survetugevus. Kõige suurem survetugevuse kaotus oli Semtuga võõbatud katsekehadel, kus keskmine survetugevuste erinevus langes 4,7%-lt 20,3%-ni. Bornitil kasvas keskmine katsekehade survetugevuste erinevus 31,6%-lt 26,4%-ni, samas oli see endiselt kõige nõrgema keskmise survetugevusega katsekeha (vt. tabel 3.1. ja tabel 3.2.).

Tabel 3.2. 90. Päeva silos hoitud katsekehade keskmine survetugevus võrreldes arvutusliku survetugevusega

Võõp	Purustava katse keskmine survetugevus MPa (104 päeva vanustel katsekehadel)	Arvutuslik survetugevus MPa	Katsekehade vanus päevades (Katsekehade kuivamine 14 päeva + silos 90 päeva)	Katsekehade survetugevuse erinevus %
Ilma võõbata silos	35,7	42,9	104	-16,9
Bornit	31,6	42,9	104	-26,4
Spraylock	36,4	42,9	104	-15,1
Semtu	34,2	42,9	104	-20,3
			Keskmine	-19,7

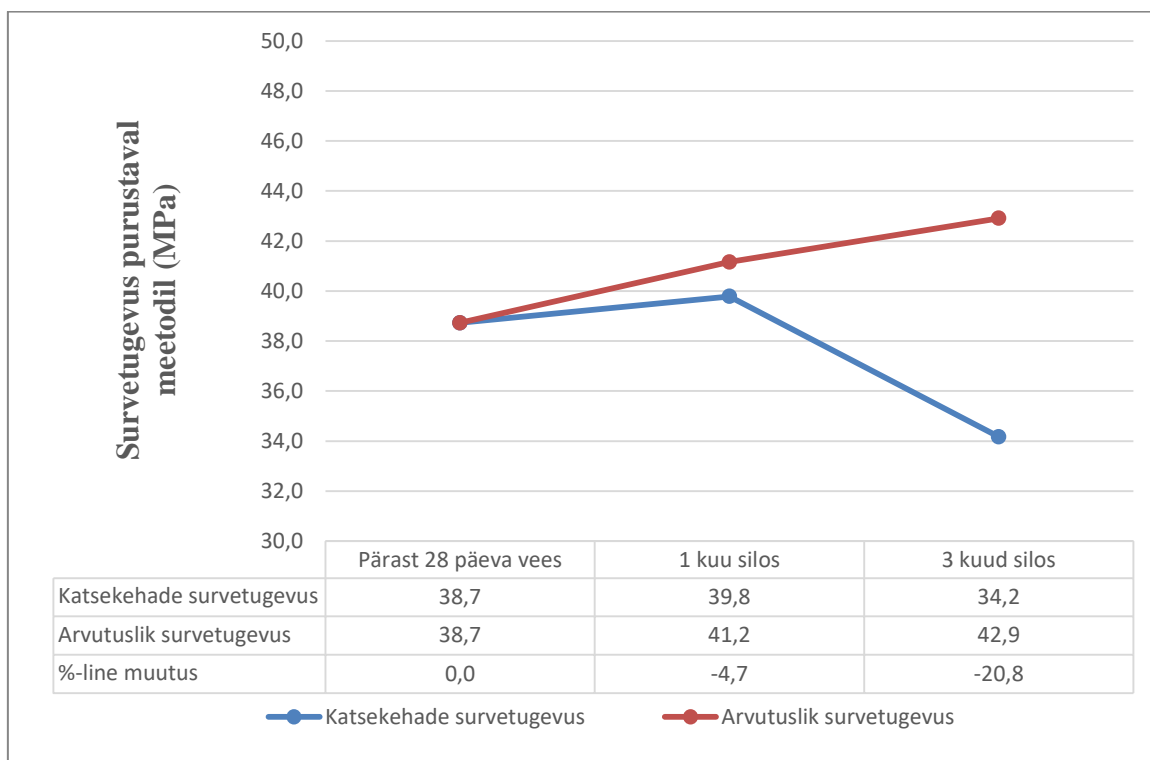
Purustavate katsete tulemused näitasid, et 90 päeva möödudes langes keskmine survetugevus võrreldes arvutusliku survetugevusega 19,7%. Kõige enam langes Bornitiga kaetud katsekehade keskmine survetugevus, see oli 26,4% nõrgem kui arvutuslik survetugevus. Kõige vähem, kuid siiski 15,1% oli langenud Spraylockiga kaetud katsekehade keskmine survetugevus (vt. tabel 3.2.).



Joonis 3.1. Bornitiga kaetud katsekehade keskmiste survetugevuste graafik purustaval meetodil võrreldes arvutusliku survetugevusega.

Ülal oleval joonisel 3.1. on võrreldud kõige kehvema tulemusi andnud kaitsevõõbaga (Bornit) töödeldud katsekehade keskmisi survetugevusi arvutuslike survetugevustega pärast ühte ja kolme kuud silos. Ilmneb, et ühe kuu silos olnud katsekehade keskmine survetugevus oli väiksem kui kolm kuud silos olnud sama kaitsevõõbaga kaetud katsekehade survetugevus. Võrreldes arvutusliku ja tegeliku survetugevuse suurust pärast ühe kuu pikkust katset leiti, et tegelik survetugevus oli $(41,2 - 28,6 = 12,6)$ 12,6 MPa võrra oodatust madalam, mis on arvutusliku survetugevusega võrreldes 31,6% väiksem. Kolme

kuu möödudes jäi tegelik survetugevus vastavale arvutuslikule survetugevusele alla ($42,9 - 31,6 = 11,3$) 11,3 MPa võrra. Kolm kuud silos olnud katsekehade keskmine survetugevus oli 26,8% võrra madalam, kui arvutuslik survetugevus, kuid võrreldes ühe kuu silos olnud katsekehadega tõusis keskmine survetugevus ($31,6 - 26,6 = 3$ MPa) 3 MPa võrra.

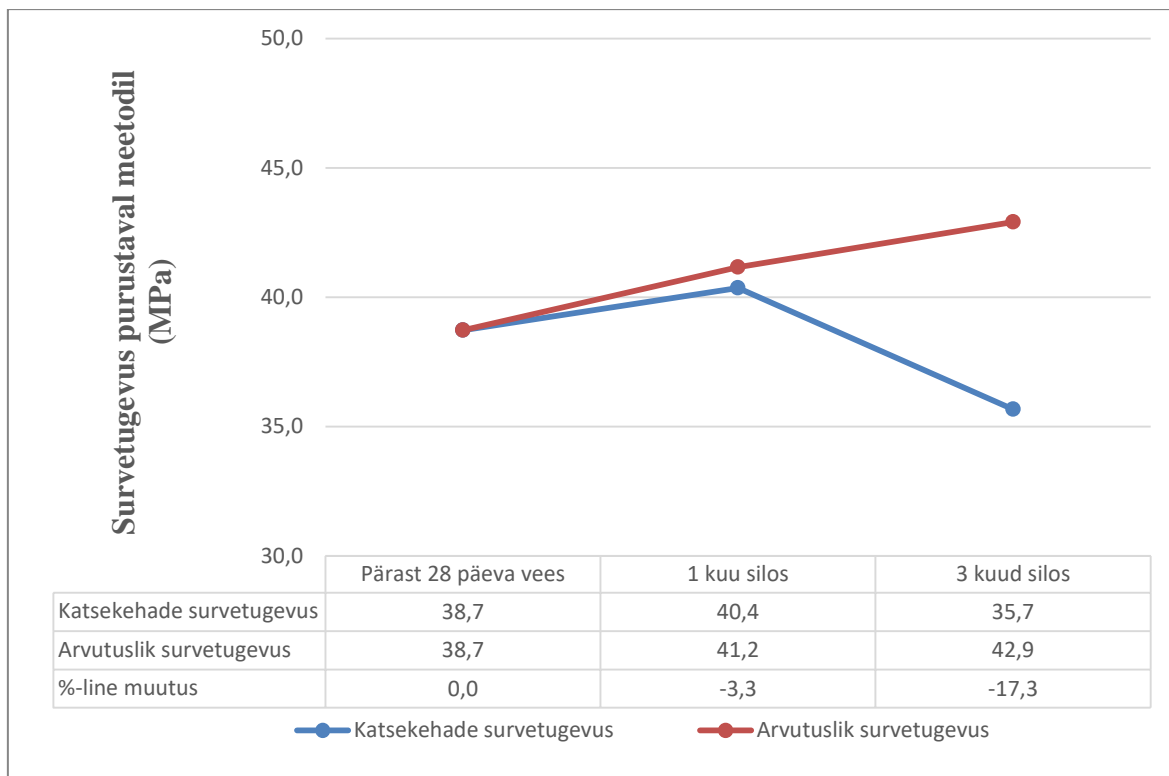


Joonis 3.2. Semtuga võõbatud katsekehade keskmiste survetugevuste graafik purustaval meetodil.

Kui kaitsevõõba Bornit purustava meetodi tulemused olid nõrgimad, siis veidi paremaid tulemusi näitasid katsekehad, mis olid kaetud võõbaga Semtu. Jooniselt 3.2. on näha, et Semtu ühe kuu tulemused olid küllaltki ootuspärased, kuid kindlasti ei saa seda öelda kolm kuud happelises silokeskkonnas seisnud katsekehade kohta, mille keskmine survetugevus langes 20,8% võrra. Ühe kuu järel oli vastav langus kõigest 4,7%.

Pärast ühe kuu pikkust silos olemist jäi Semtu katsekehade keskmiste survetugevuste tulemus arvutuslikule survetugevusele alla 1,4 MPa (Bornit vastavalt 12,6 MPa) võrra ning nimetatud võõbaga kaetud kolme kuu katsete tulemused 8,7 MPa (Bornit vastavalt 11,3

MPa) võrra. Seega võrreldes antud kaitsevõõpa Bornit võõbaga võib käesoleva töö raames läbiviidud katsete põhjal väita, et kaitsevõõp Semtu toimib oluliselt paremini.

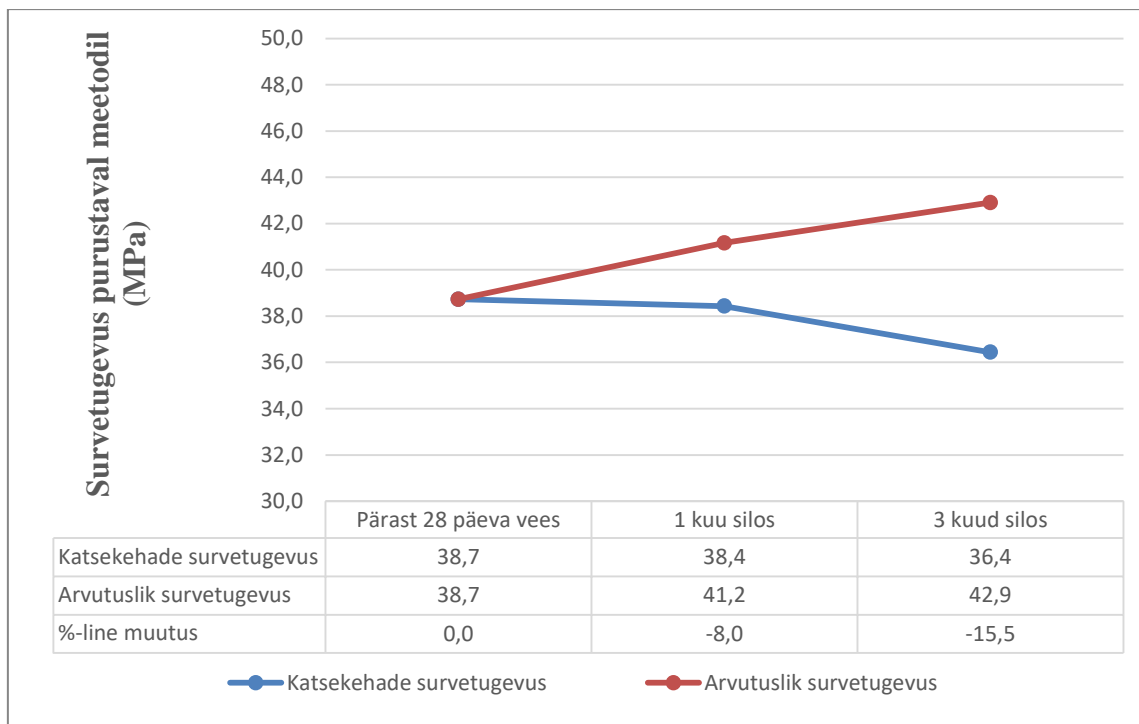


Joonis 3.3. Ilma kaitsevõõbata silos olnud katsekehade keskmiste survetugevuste graafik purustaval meetodil.

Sarnaselt kaitsevõõbaga Semtu kaetud kuubikutule käitusid ka katsekehad, mida ei olnud võõbatud. Sarnase käitumise all peab töö autor silmas asjaolu, et ühe kuu silos olnud katsekehade tulemused jäid oodatud tulemustele alla väga vähesel määral (antud juhul 0,8 MPa võrra) (vt. joonis 3.3.), kuid oluline erisus tuli sisse kolme kuu katsekehade puhul. Nimetatud juhul jäi keskmine survetugevus 7,2 MPa võrra alla arvutuslikule survetugevusele.

Seega võrreldes kaitsevõõpadega Semtu ning Bornit, võib käesoleva töö raames läbiviidud katsete põhjal väita, et katsekehad, mis seisis happelises keskkonnas võõpamata, pidasid vastu suuremale survetugevusele. Olles veelgi resoluutsem, võib katsetulemused kokku

võtta järgnevalt: kaitsevõõpade Semtu ning Bornit rakendamine happelises keskkonnas hoitavatele katsekehadele vähendas oluliselt nende survetugevust.

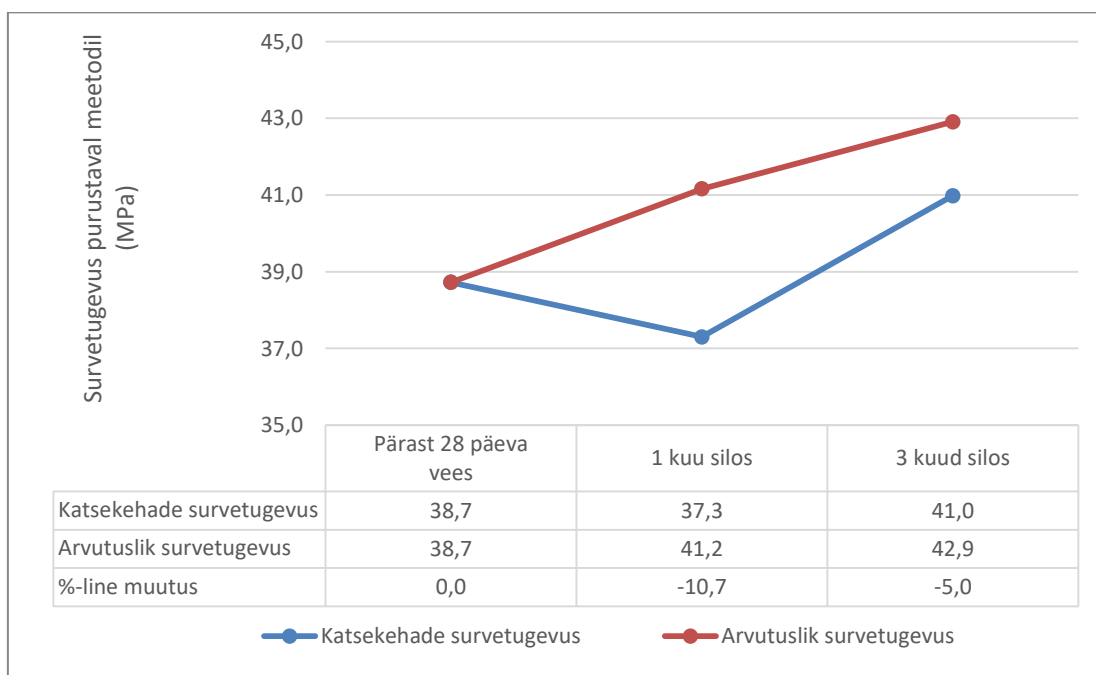


Joonis 3.4. Spraylockiga võõbatud katsekehade keskmiste survetugevuste graafik purustaval meetodil.

Sarnaselt eelnevalt vaadeldud kolmele katsekeha tüübile (Bornit, Semtu, ilma võõbata), jäävad ka kaitseainega Spraylock võõbatud katsekehade tulemused alla arvutuslikele tulemustele, kuid teevad siiski seda kõige väiksemal määral. Katsekehad, mis võeti happelisest keskkonnast välja pärast ühe kuu möödumist, saavutasid keskmise survetugevuse 38,4 MPa (vt. joonis 3.4.), jäädes sama perioodi arvutuslikele tulemustele alla 2,8 MPa võrra. Kolm kuud agressiivses keskkonnas olnud katsekehad jäid aga arvutuslikele tulemustele alla 6,5 MPa võrra.

Kokkuvõtvalt saab purustaval meetodil teostatud katsete kohta väita, et suurimat survetugevust näitasid katsekehad, mis olid võõbatud ainega Spraylock. Kuid antud katsekehade survetugevus oli siiski nõrgem, kui antud betoonklassile vastav survetugevus võiks olla. Kõige nõrgemad tulemused antud katses ilmnesisid kaitsevõõbal Bornit. Kõige

märkimisväärses on asjaolu, et teoreetiliselt kaitsva mõjuga võõbad Bornit ning Semtu, vastupidiselt nõrgendasid katsekehade survetugevuse vastupidamist happelises keskkonnas.



Joonis 3.5. Laboris hoitud katsekehade keskmiste survetugevuste graafik purustaval meetodil.

Käesoleva uurimistöö raames purustati võrdlusbaasi loomise eesmärgil ka katsekehasid, mida ei asetatud happelisse keskkonda, vaid mida hoiti laboris. Nagu oodatud, siis laboris asetsenud katsekehad olid kõige suurema keskmise survetugevusega. Pärast 30 päeva laboris olemist langes katsekehade keskmine survetugevus võrreldes veest välja võetud katsekehadega ($38,7 - 37,3 = 1,4$ MPa) 1,4 MPa võrra. See tähendab, et katsekehade keskmine survetugevus antud kehadel ei suurenenud. Pärast kolme kuud laboris olnud katsekehade survetugevus oli 41 MPa, mis tähendab, et teoreetiline survetugevus oli 5,0% võrra suurem kui katsekehade keskmine survetugevus (vt. joonis 3.5.).

Kui võrrelda laboris hoitud katsekehade keskmisi tulemusi võõbatud katsekehade keskmiste survetugevustega, saab parema ülevaate samadel tingimustel valmistatud katsekehade võrdlusest ning on võimalik analüüsida agressiivses keskkonnas toimunud

survetugevuste muutusi. Bituumenvõõbaga Bornit katsekehade keskmine survetugevus ühe kuu järel silos oli 28,6 MPa, mis on võrreldes laboris hoitud katsekehade keskmise survetugevusega ($37,3 - 28,6 = 8,7$ MPa) 8,7 MPa võrra madalam. Pärast 90 päeva silos tõusis nii Borniti kui ka laboris olnud katsekehade survetugevus, kuid bituumenkatttega silos olnud katsekehade survetugevus oli ($41,0 - 31,6 = 9,4$ MPa) 9,4 MPa võrra kehvem. Sellest võib järeldada, et silos olnud katsekehade keskmine survetugevus langes ($9,4 - 8,7 = 0,7$ MPa) 0,7 MPa võrra võrreldes laboris hoitud katsekehade survetugevusega.

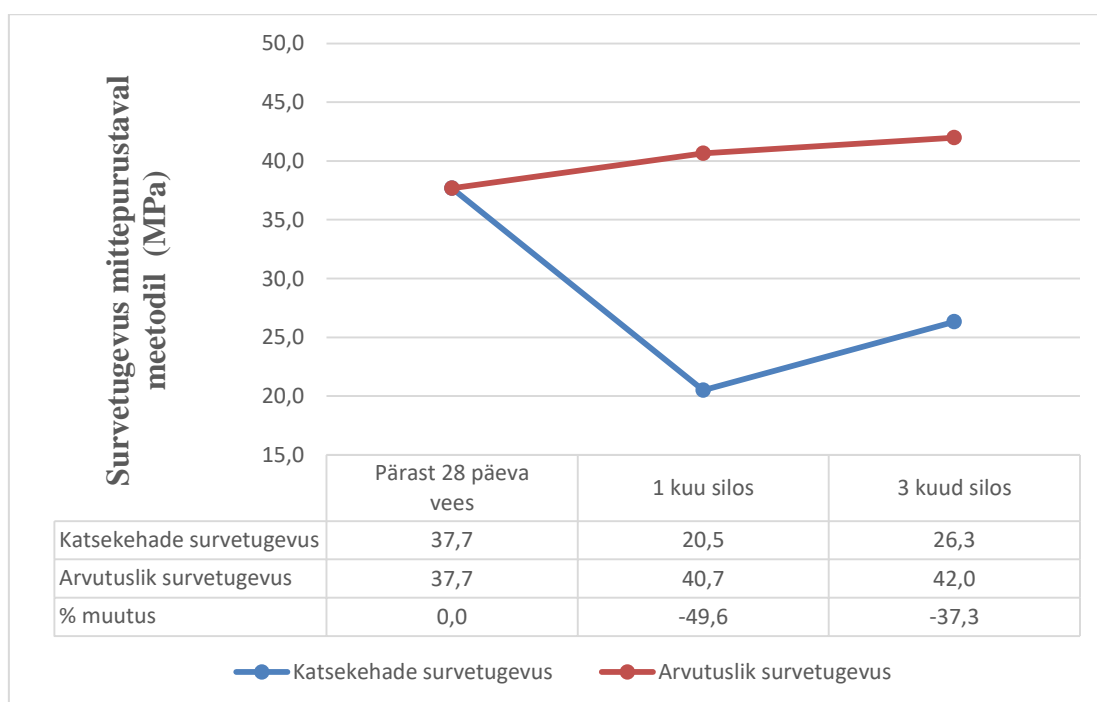
Semtuga kaetud katsekehade keskmine survetugevus tõusis pärast ühte kuud silos hoidmist ning oli võrreldes laboris hoitud katsekehade keskmises survetugevusega ($39,8 - 37,3 = 2,5$ MPa) 2,5 MPa võrra suurem. Pärast 90 päeva silos hoitud Semtuga kaetud katsekehade keskmine survetugevus tegi järsu languse ning oli ($41,0 - 34,2 = 6,8$ MPa) 6,8 MPa võrra nõrgem. Kuna peale ühte kuud silos olnud katsekehade survetugevus oli 2,5 MPa võrra kõrgem kui laboris hoitud katsekehadel, ning 3 kuu järel 6,8 MPa võrra madalam võib järeldada, et 90 päeva järel oli Semtuga kaetud katsekehade survetugevus langenud ($6,8 + 2,5 = 9,3$ MPa) 9,3 MPa võrra.

Ilma võõbata katsekehade keskmine survetugevus pärast 30 päeva silos olekut tõusis võrreldes 28 päeva vees olnud katsekehade survetugevusega (40,4 MPa ja 38,7 MPa). Laboris hoitud katsekehade keskmine survetugevus oli ($40,4 - 37,3 = 3,1$ MPa) 3,1 MPa võrra madalam kui 1 kuu silos kaitsevõõbata olnud katsekehadel. Pärast kolme kuud langes kaitsevõõbata silos olnud keha survetugevus võrreldes 1 kuu silos olnud keha survetugevusega ($40,4 - 35,7 = 4,7$ MPa) 4,7 MPa võrra. 90 päeva järel oli ilma võõbata katsekehade survetugevus võrreldes laboris hoitud katsekehadega vähenenud ($41,0 - 35,7 = 5,3$ MPa) 5,3 MPa võrra. Ühe ja kolme kuu vahel survetugevuste muutusi võrreldes saadi teada, et ilma kaitsevõõbata katsekehade keskmine survetugevus langes ($3,1 + 5,3 = 8,4$ MPa) 8,4 MPa võrra. Kuna katsekehad olid ilma võõpadeta, saab järeldada, et agressiivses keskkonnas hakkab pikema aja vältel betooni survetugevus vähenema.

Kui võrrelda pärast 28 päeva vees olnud katsekehade keskmisi survetugevusi, siis Spraylockiga kaetud katsekehade puhul toimus pidev survetugevuse vähenemine. Kui võrrelda laboris hoitud katsekehade survetugevusega, siis Spraylockiga kaetud katsekehade survetugevus silos suurenes ($38,4 - 37,3 = 1,1$ MPa) 1,1 MPa võrra. Pärast 90 päeva silos hoitud Spraylockiga kaetud katsekehade keskmine survetugevus langes ($41,0 - 36,4 = 4,6$ MPa) 4,6 MPa võrra võrreldes laboris hoitud katsekehadega. Ühe ja kolme kuu keskmisi

survetugevusi võrreldes selgub, et kahe kuu jooksul muutus silos olnud katsekehade keskmine survetugevus ($1,1 + 4,6 = 5,7$ MPa) 5,7 MPa võrra madalamaks.

Purustava katse tulemustest võib järeldada, et pärast 30 päeva silos olnud Semtu, Spraylock ja ilma võõbata silos olnud katsekehade keskmine survetugevus oli kõrgem kui üks kuu laboris olnud katsekehadel. Pärast 90 päeva silos olnud katsekehade keskmised survetugevused olid kõik madalamad võrreldes laboris hoitud katsekehadega. Sellest võib järeldada, et purustava katse tulemusena katsekehade survetugevused agressiivses keskkonnas langesid.

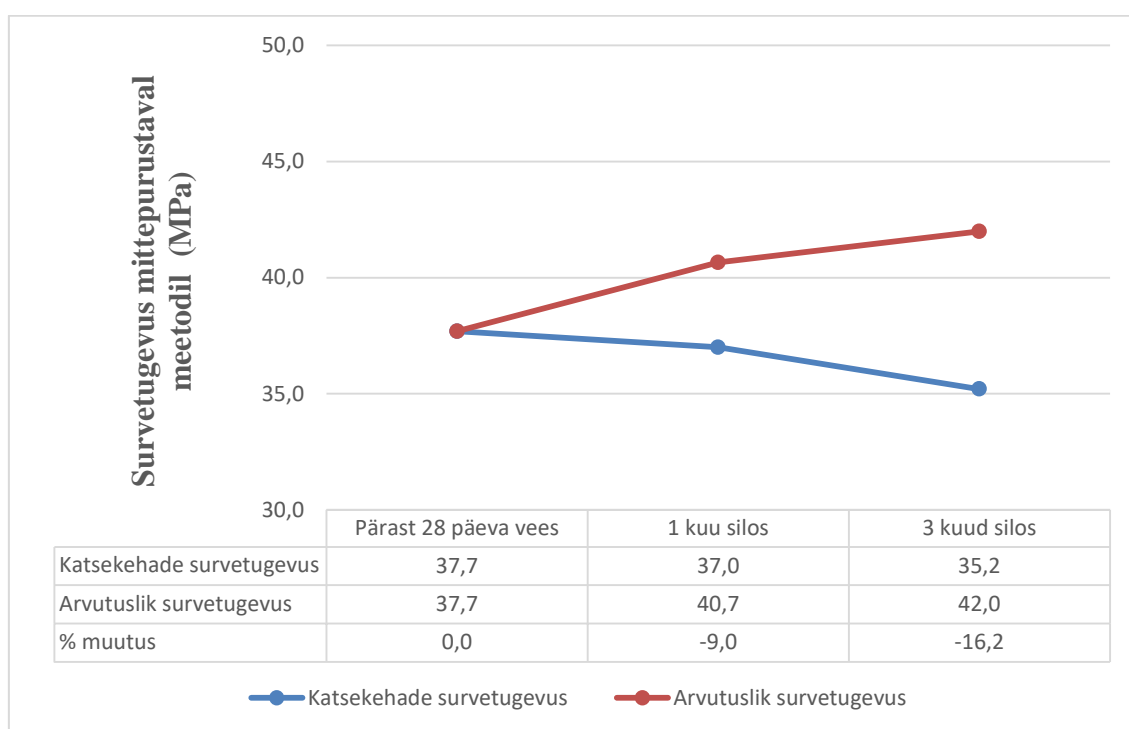


Joonis 3.6. Bornitiga kaetud katsekehade keskmiste survetugevuste graafik mittepurustaval meetodil.

Bornitiga kaetud katsekehade mittepurustava katse tulemused ei pruugi olla adekvaatsed, kuna katsekehad kaeti bituumenvõõbaga. Võõp tekitab katsekehale kuni 3 mm kesta. Põrkevasaraga lööke andes, võis kuubi ümber olev võõp pehmedada lööki ning seetõttu võisid saadud tulemused muutuda ebausaldusväärseks.

Ülal oleval joonisel 3.6. on võrreldud kõige kehvemaid tulemusi andnud kaitsevõõba (Bornit) ühel ja kolmel kuul silos olnud katsekehade keskmisi survetugevusi arvutuslike survetugevustega. Katse tulemustes ilmneb, et ühe kuu silos olnud katsekehade keskmine

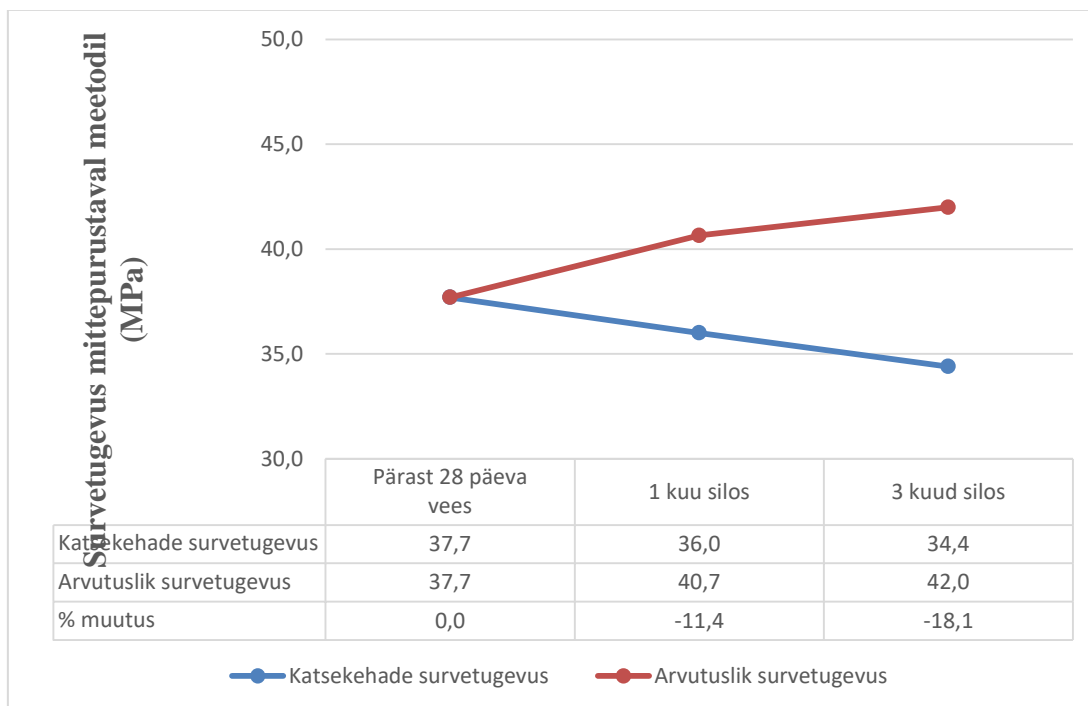
survetugevus oli väiksem kui kolm kuud silo olnud katsekehadel. Võrreldes ühe kuu silos olnud katsekehade survetugevust arvutusliku survetugevusega, oli ühe kuu katsete tegelik survetugevus ($37,7 - 20,5 = 17,2$ MPa) 17,2 MPa võrra oodatust madalam, mis on arvutusliku survetugevusega võrreldes 49,6% väiksem. Kolm kuud silos olnud katsekehade tegelik survetugevus jäi vastavale arvutuslikule survetugevusele alla ($42,0 - 26,3 = 15,7$ MPa) 15,7 MPa võrra. Kolm kuud silos olnud katsekehade keskmine survetugevus oli 39,0% võrra madalam, kui arvutuslik survetugevus, kuid võrreldes üks kuu silos olnud katsekehadega tõusis keskmine survetugevus mittepurustaval meetodil ($26,3 - 20,5 = 5,8$ MPa) 5,8 MPa võrra.



Joonis 3.7. Semtuga võõbatud katsekehade keskmiste survetugevuste graafik mittepurustaval meetodil.

Kui kaitsevõõba Borniti mittepurustava meetodi tulemused olid nõrgimad, siis veidi paremaid tulemusi näitasid katsekehad, mis kaetud võõbaga Semtu. Jooniselt 3.7. on aru saada, et Semtu ühe kuu silos olnud katsekehade tulemused olid küllaltki ootuspärased, kuid kindlasti ei saa seda öelda kolm kuud happelises keskkonnas seisnud katsekehade kohta, mille keskmine survetugevus langes 16,2%. Ühe kuu järel oli vastav langus 9,0%.

Ühe kuu katsekehade keskmine survetugevuste tulemus jäi arvutuslikule survetugevusele alla 3,7 MPa (Borniti vastavalt 20,2 MPa) võrra ning nimetatud võõbaga kaetud kolm kuud silos olnud katsete tulemused 7,2 MPa (Bornit vastavalt 15,3 MPa) võrra. Seega võrreldes Borniti võõbaga võib käesoleva töö raames läbiviidud katsete põhjal öelda, et võõp Semtu toimib oluliselt paremini.

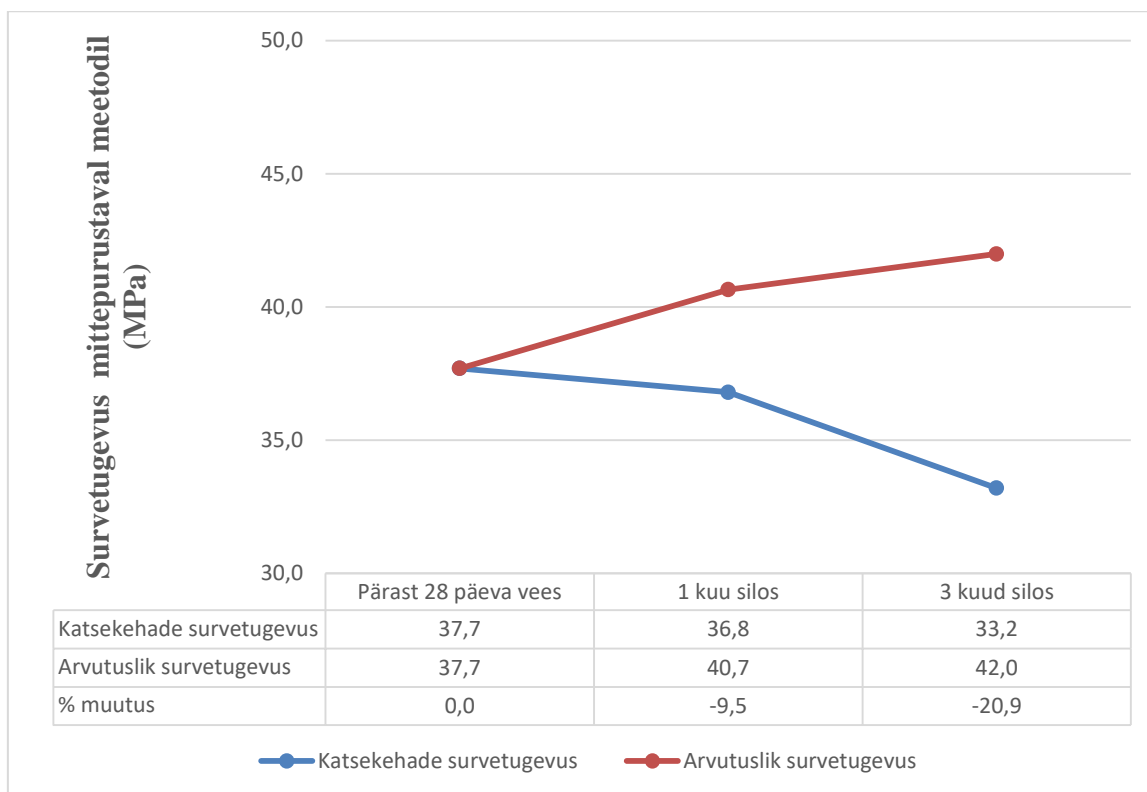


Joonis 3.8. Võõbata silos olnud katsekehade keskmiste survetugevuste graafik mittepurustaval meetodil.

Sarnaselt kaitsevõõbale Semtu käitusid ka katsekehad, mida ei olnud võõbatud. Sarnase käitumise all peab töö autos silmas asjaolu, et ühe kuu silos olnud katsekehade tulemused jäid sarnaselt Semtu kaitsevõõbale alla (antud juhul 4,7 MPa võrra) (vt. joonis 3.8.), kuid kolm kuud silos olnud katsekehade survetugevuste muutus oli suurem. Nimetatud juhul jäi keskmine survetugevus 7,6 MPa võrra madalamaks võrreldes arvutusliku survetugevusega.

Seega võrreldes kaitsevõõbaga ilma võõbata silos, Semtu ning Bornit, võib käesoleva töö raames läbiviidud katsete põhjal väita, et katsekehad, mis olid võõbatud kaitsevõõbaga Semtu, pidasid vastu suuremale survetugevusele. Katsetulemused kokkuvõtvalt: Bornit

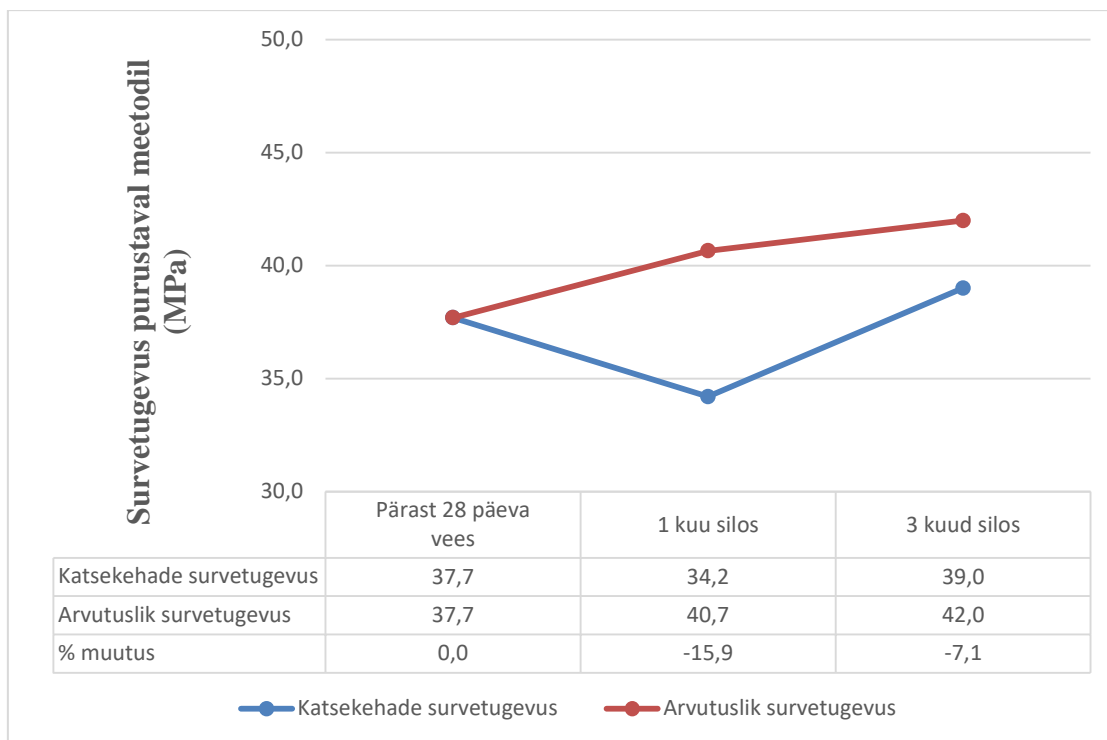
ning ilma võõbata silos rakendamine happelises keskkonnas hoitavatele katsekehadele vähendas oluliselt nende survetugevust.



Joonis 3.9. Spraylockiga võõbatud katsekehade keskmiste survetugevuste graafik mittepurustaval meetodil.

Sarnaselt eelnevalt vaadeldud kolmele katsekeha tüübile (Bornit, Semtu, ilma võõbata katsekehad silos), jäävad ka kaitseainega Spraylock võõbatud mittepurustava meetodi katsekehade tulemused alla arvutuslikele tulemustele. Katsekehad, mis võeti happelisest keskkonnast välja pärast ühe kuu möödumist, saavutasid keskmise survetugevuse 36,8 MPa (vt. joonis 3.9.), jäädes sama perioodi arvutuslikele tulemustele alla 3,9 MPa võrra. Kolme kuud silos olnud katsekehad jäid alla aga 8,8 MPa võrra.

Kokkuvõtvalt saab mittepurustaval meetodil läbiviidud katsete kohta öelda, et katsekehade keskmist survetugevust näitasid kuubid, mis on võõbatud ainega Semtu, kuid olles siiski nõrgemad kui antud betooniklassile vastav survetugevus olla võiks. Kõige nõrgemad tulemused antud kaasuses ilmsid kaitsevõõbal Bornit.



Joonis 3.10. Laboris hoitud katsekehade keskmiste survetugevuste graafik mittepurustaval meetodil.

Laboris hoiustatud katsekehade survetugevus oli peale 30 – päevast seismist ebatavaliselt madal, mistõttu võib öelda, et antud katse ebaõnnestus. Kuna purustava katse järgselt oli labori katsekehade survetugevus oluliselt suurem. 3 kuu möödudes oli laboris hoiustatud katsekehade survetugevus siiski oluliselt tõusnud, sellest olenemata oli arvutuslik survetugevus 9,6% madalam tegelikust survetugevusest. (vt. joonis 3.10.)

Kõikides katsetes kasutatud katsekehade survetugevused purustaval ja mittepurustaval katsetustel on esitatud lisas 2.

Katsekehade visuaalse hinnangu järgi olid pärast 1 kuud silos olnud kuubikud helehallid, seega polnud toimunud silo sissetungi. Kolme kuu järgselt esines kõigil katsekehadel läbiv tume mass.

KOKKUVÕTE

Käesolevas uurimustöös keskenduti betooni kaitsevõõpade uurimisele agressiivses keskkonnas. Kirjanduse analüüsis uuriti varem katsetatud betooni kaitsevõõpade kestvust erinevates keskkondades. Huvipakkuvaim oli A.R. Suleiman, M.L. Nehdi ja A.M. Solimani avaldatud töö betooni ja kaitsevõõpade vastupidavusest sulfaadirikkas keskkonnas. Nende uuritud katse põhjal püsivad kaitsevõõbad katsekehade küljes kauem, kui on tagatud pärast 28 päeva vees olekut 28 päeva pikkune kuivamine.

Antud magistritöö katsetes uuriti kolme erineva tootja kaitsevõõpasid happelises keskkonnas, seda betoonist katsekehade survetugevuste võrdlemisel. Töös kasutati järgmisi võõpasid: 1) Semtu Evercrete Vetrofluid; 2) Spray- Lock SCP 743; 3) Bornit Silogrund ja Bornit Siloanstrichi. Antud magistritöö eesmärk oli leida agressiivsesse keskkonda sobilikud kaitsevõõbad.

Enne katsete algust püstitatud eesmärkidele saadud tulemused:

- kõik kaitsevõõpadega kaetud katsekehade keskmised survetugevused langesid pärast agressiivsesse keskkonda paigutamist;
- kaitsevõõpadeta betoonist katsekehade keskmised survetugevused langesid võrreldes arvutusliku survetugevusega;
- bornitiga võõbatud katsekehade keskmine survetugevus langes teistega võrreldes kõige rohkem. Teiste võõbatud katsekehade keskmised survetugevused langesid sarnaselt kaitsevõõbata katsekehadega;
- käesolevas magistritöös katsetatud betooni kaitsevõõbad Semtu, Spraylock ja Bornit ei andnud agressiivses keskkonnas eelist võrreldes võõpamata betooniga. Seetõttu soovitab töö autor silohoidlate ehitusel kasutatava betooni kaitsevõõpade küsimuses konsulteerida tootja poolse esindajaga.

Katsetulemustele tuginedes saab anda vastuseid töös püstitatud hüpoteesidele. Katsetest saadud tulemused ei toetanud esimest hüpoteesi ehk kaitsevõõbad ei kaitsnud betoonist katsekehi ning nende survetugevus langes pärast agressiivses keskkonnas viibimist. Kõige enam langes Bornitiga võõbatud katsekehade survetugevus.

Magistritöös saadud katsetulemused ei toetanud käesolevas töös püstitatud teist hüpoteesi: agressiivses keskkonnas olnud kaitsevõõpadeta katsekehade survetugevus langeb oluliselt rohkem kui võõbatud katsekehade survetugevused. Kaitsevõõpadeta katsekehade survetugevus langes pärast ühte kuud silos võrreldes kaitsevõõbatud katsekehadega vähem. Pärast kolme kuud silos oli ainult Spray-lockiga võõbatud katsekehade survetugevused suuremad kui ilma võõbata silos olnutel.

Uurimustöös saadud katsetulemused ei toetanud kolmandat hüpoteesi: laboris hoitud katsekehade survetugevus on sarnane arvutusliku survetugevusega. Laboris hoitud ning purustatud katsekehade survetugevus oli pärast 44 päeva 10,7% madalam kui arvutuslik survetugevus. Pärast 104 päeva laboris oli katsekehade survetugevuste erinevus 5,0%.

Katsete ja analüüsi käigus üles kerkinud jätkuküsimused, mida on võimalus edaspidi uurida:

- määrata kaitsevõõpade toimimine agressiivses keskkonnas pikema perioodi ulatuses;
- võrrelda sama tüüpi kaitsevõõpasid erinevas keskkonnas;
- teostada sarnane katse rohkemate katsekehadega, et saada laiapõhjalisem tulemus antud katses;
- uurida kasutuses olevaid betoonkonstruktsioone, mis on võõbatud mõne kaitsevõõbaga.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Hüdrosolatsioonivõõpade olemus. – Bornit Baltic OÜ. [WWW] <http://bornitbaltic.ee/tootekategooria/vundamendi-hudrosolatsioon/voobad/> (28.04.2018)
- [2] Betooni kaitsevõõpade olemus. – Betotrade OÜ. [WWW] <http://betotrade.ee/uus/et/27-vasakmenueued/eramuehitus/porandad/garaazi-porand/poranda-parandus/toeostusporand/betoonporandate-abimaterjalid/61-immutusained> (28.04.2018)
- [3] **Otsmaa, V.** (2015). Betoonkonstruktsioonide arvutamine: õpik kõrgkoolidele. Tallinn. Tallinna Raamatutrükikoda. 531 lk.
- [4] **Tõlp, S.** (2010) Põllumajandusloomade söötmisel kasutatavad söödad ja nende toiteväärtus - [WWW] <http://ph.emu.ee/~irjel/Sootmine/sootade%20moodul/silo.html> (04.05.2018)
- [5] **Otsmaa, V., Pello, J.** (2016). (Raud)betoonkonstruktsioonide üldkursus I osa Tallinn. [WWW] https://www.ttu.ee/public/e/ehitusteaduskond/Instituudid/Ehitiste_projekteerimise_instituut/Oppematerjalid/Betoonkonstruktsioonid/Betoonkonstruktsioonid_I/Raudbetoon_I_1.pdf (04.05.2018)
- [6] Betooni ajalugu. – Merlo Construction OÜ. [WWW] <http://www.merloconstructionmi.com/the-history-of-concrete/> (28.04.2018)
- [7] **Juurvee, U.** Betooni ajalugu. – Eesti betooniühing. [WWW] <http://www.betoon.org/betoon-maailmas/> (28.04.2018)
- [8] Hooveri tammi ajalugu – (2015). The story of Hoover Dam. [WWW] <http://www.usbr.gov/lc/hooverdam/history/essays/concrete.html> (04.05.2018)
- [9] Grande Dixence tammi ajalugu – Grande Dixence Dam [WWW] <http://www.grande-dixence.ch/en> (04.05.2018)
- [10] **Juurvee, U.** Betooni ajalugu. – Eesti betooniühing. [WWW] <http://www.betoon.org/betoon-eestis/> (28.04.2018)
- [11] **Lige, C-D.** Tallinna Lennusadama vesilennukite angaaride rekonstrueerimine. – Koko Projekt OÜ. [WWW] <http://koko.ee/et/project/121-seaplane-harbour> (04.05.2018)

- [12] **Kruut, M.** (2012). Teletorni ümbersünd. – Tehnikamaailm. [WWW] <https://www.tehnikamaailm.ee/teletorni-umbersund/> (04.05.2018)
- [13] Betoonteede ajalugu. – Eesti betooniühing. [WWW] <http://www.betoonteed.ee/betoonteed-eestis/betoonteede-ajalugu-eestis/> (04.05.2018)
- [14] **Tech, B.** (2012). Protective Coating for Exposed Concrete Surfaces – Part I [WWW] <https://civilconstructionresourcez.wordpress.com/2012/02/16/protective-coating-for-exposed-concrete-surfaces/> (14.05.2018)
- [15] **Tech, B.** (2012). Protective Coating for Exposed Concrete Surfaces – Part II [WWW] <https://civilconstructionresourcez.wordpress.com/2012/02/16/protective-coating-for-exposed-concrete-surfaces-part-ii/> (14.05.2018)
- [16] **Swamy, R.N., Suryavanshi, A.K., Tanikawa, S.** (1998). Protective ability of an acrylic-based surface coating system against chloride and carbonation penetration into concrete – ACI Materials Journal. Vol 95, No 2, pp 101-112.
- [17] **Basham, K.** (1998). Preparing surfaces for coatings [WWW] file:///C:/Users/User/Downloads/Concrete%20Construction%20Article%20PDF_%20Preparing%20Surfaces%20for%20Coatings.pdf (14.05.2018)
- [18] **Suleiman, A.R., Nehdi, M.L., Soilman, A.M.** (2014). Effect of surface treatment on durability of concrete exposed to physical sulfate attack - Constructions and Building Materials, Vol 73, pp 674-681.
- [19] **Ibrahim, M., Al-Gahtani, A.S., Maslehuddin, M., Dakhil, F.H.** (1999). Use of surface treatment materials to improve concrete durability – Journal of materials in civil engineering. Vol 11, No. 1, pp 36-40.
- [20] **Kümnik, K., Karja, P.** (2016). Betoonilisandite uurimine happelises jaliigniiskes keskkonnas sõltuvalt betooni tugevus- ja keskkonnaklassist. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli metsandus ja maaehitusinstituut. Tartu.
- [21] EVS-EN 206:2014+A1:2016. Batoon. Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus. (2016). Tallinn: Standardikeskus. 89 lk.
- [22] **Frame, J.** (1992). Improved Grassland Management. United Kingdom
- [23] Semtu EverCrete Vetrofluid: Tootekirjeldus – Semtu [WWW] <http://www.ecobeton.com/en/vetrofluid.php> (13.11.2017)

- [24] Spray- Lock SCP 743: Tootekirjeldus – Spray- Lock [WWW]
<http://concreteprotection.com/scp-743/> (13.11.2017)
- [25] Bornit Silogrund: Tootekirjeldus – Bornit Baltic [WWW]
<http://bornitbaltic.ee/tooted/vundamendi-hudroisolatsioon/bornit-silogrund-krunt/> (13.11.2017)
- [26] Bornit Siloanstrich: Tootekirjeldus- Bornit Baltic [WWW]
<http://bornitbaltic.ee/tooted/eritooted/bornit-siloanstrich-kaitsevoop/> (13.11.2017)
- [27] EVS-EN 12390-3:2009. Kivistunud betooni katsetamine. Osa 3: Katsekehade survetugevus. (2009). Tallinn: Standardikeskus, 19 lk.
- [28] Digi- Schmidt 2000 ND pörkevasara kasutusjuhend. (2017). – Proceq SA [WWW]
https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/DigiSchmidt_Operating%20Instructions_Multilingual_high.pdf (20.05.2018)

LISAD

Lisa 1. Katsetes kasutatud betooni saatelehed

VALGA BETOON
 FM Kaubandusgrupp OÜ
 Reg. nr 10210359
 KMKR: EE100491933
 Jur. aadress: Männi 10, Valga 68208
 Tehas: Viljandi 82C Valga
 Tel. 5883 9223, 5885 2445
 www.valgabeton.ee

VASTAVUSDEKLARATSIOONI LISA
 SAATEKIRI nr: 966
 Tellimuse nr: 674

Tellijä: **Mapri Ehitus OÜ**
 Telefon: **53339385**

Sõidujuhis ja muud lisaandmed:

Tarne aadress:
Tõntso Agro

Betooni tugevusklass: **C30/37** Keskkonnamklass: **XF2, XC4, XA1**

Töödeklass: **S4** Kloriidisalduse klass: Erilomadused ja lisaandmed:

Kõudude tüüp ja sisaldus: Erinõude/betoonilisaandid
Carboxyment FM, REBAIII LP

Jämelätematerjal: **Granitkiilustik** Tähtmaterjali Dmax: **16**

Vastavusdeklaratsiooni nr: **1/2016** Sertifitseerimisasutus: **TTÜ Sertifitseerimisasutus** Tsement: **Cement CEM I 42,5 N**

Tellimuse kogumaht: **9,2 m³** Koorma maht: **4,2 m³** Veomaa objektile ja tagasi: **km**

Transport: **Segurauto** Autojuht: **Valdo** Auto reg nr: **539BRG**

Väljastamise aeg: **1.12.2017 13:51:57** Objekti kait: **14:50** Mahalaadmise algus: **14:45** Mahalaadmise lõpp: **14:55**

Märkused/muud lisaandmed:

Agnes Dmitrijev **1.12.2017**
 Väljastaja **Mapri** Kuupäev
 Vastuvõtja nimi ja allkiri

Joonis L.1.1. Valga Betoön OÜ poolt väljastatud dokument objektile saabunud betooni kohta (01.12.2017)

VALGA BETOON
 FM Kaubandusgrupp OÜ
 Reg. nr 10210359
 KMKR: EE100491933
 Jur. aadress: Männi 10, Valga 68208
 Tehas: Viljandi 82C Valga
 Tel. 5883 9223, 5885 2445
 www.valgabeton.ee

VASTAVUSDEKLARATSIOONI LISA
 SAATEKIRI nr: 971
 Tellimuse nr: 678

Tellijä: **Mapri Ehitus OÜ**
 Telefon: **53339385**

Sõidujuhis ja muud lisaandmed:

Tarne aadress:
Tõntso Agro

Betooni tugevusklass: **C30/37** Keskkonnamklass: **XF2, XC4, XA1**

Töödeklass: **S4** Kloriidisalduse klass: Erilomadused ja lisaandmed:

Kõudude tüüp ja sisaldus: Erinõude/betoonilisaandid
Carboxyment FM, REBAIII LP

Jämelätematerjal: **Granitkiilustik** Tähtmaterjali Dmax: **16**

Vastavusdeklaratsiooni nr: **1/2016** Sertifitseerimisasutus: **TTÜ Sertifitseerimisasutus** Tsement: **Cement CEM I 42,5 N**

Tellimuse kogumaht: **10,7 m³** Koorma maht: **3,7 m³** Veomaa objektile ja tagasi: **km**

Transport: **Pumi** Autojuht: **Kaido** Auto reg nr: **733BTJ**

Väljastamise aeg: **4.12.2017 13:52:39** Objekti kait: **14:45** Mahalaadmise algus: **15:05** Mahalaadmise lõpp: **16:45**

Märkused/muud lisaandmed:

Agnes Dmitrijev **4.12.2017**
 Väljastaja **Mapri** Kuupäev
 Vastuvõtja nimi ja allkiri

Joonis L.1.2. Valga Betoön OÜ poolt väljastatud dokument objektile saabunud betooni kohta (04.12.2017)

Lisa 1 järg

VALGA BETOON
PM Kaubandusgrupp OÜ
Reg. nr 10210359
KMKR: EE100491933
Jur. aadress: Männi 10, Valga 68208
Tehas: Vijandi 82C Valga
Tel. 5883 0223, 5808 2445
www.valgabeton.ee

VASTAVUSDEKLARATSIOONI LISA
SAATEKIRI nr: 984
Tellimuse nr: 694

Tellijä: Napri Ehitus OÜ
Telefon: 53339385

Sõidujuhis ja muud lisaandmed:

Tarne aadress:
Tõntso Agro

Betooni tugevusklass: C30/37
Keskonnaklass: XF2, XC4, XA1

Töödeksklus: Kloridisisalduse klass: Eriomadused ja lisaandmed: S4

Kiudude tüüp ja sisaldus: Eriomadused/betoonisaandid: Carboxyment FM, REBAH LP

Jämedätlematerjal: Granitkiltustik
Täitematerjal Dmax: 16

Vastavusdeklaratsiooni nr: 1/2016
Sertifitseerimisasutus: TTÜ Sertifitseerimisasutus
Tsement: Tsement CEM I 42,5 N

Tellimuse kogumaht: 10,8 m ³	Koormas maht: 3,8 m ³	Voorna objektil ja tagast: km 60 EA
Transport: Segurauto	Autojuht: Urmas	Auto reg nr: 5488RG
Väljastamise aeg: 5.12.2017 16:43:02	Objektil kell: 16:30	Mahalaadmise algus: 16:40
		Mahalaadmise lõpp: 17:00

Märkused/muud lisaandmed:

Agnes Dmitrijev 5.12.2017
Väljastaja Kuupäev

Vastuvõtja nimi ja allkiri

Joonis L.1.3. Valga Betoon OÜ poolt väljastatud dokument objektile saabunud betooni kohta (05.12.2017)

VALGA BETOON
PM Kaubandusgrupp OÜ
Reg. nr 10210359
KMKR: EE100491933
Jur. aadress: Männi 10, Valga 68208
Tehas: Vijandi 82C Valga
Tel. 5883 0223, 5808 2445
www.valgabeton.ee

VASTAVUSDEKLARATSIOONI LISA
SAATEKIRI nr: 991
Tellimuse nr: 689

Tellijä: Napri Ehitus OÜ
Telefon: 53339385

Sõidujuhis ja muud lisaandmed:

Tarne aadress:
Tõntso Agro

Betooni tugevusklass: C30/37
Keskonnaklass: XF2, XC4, XA1

Töödeksklus: Kloridisisalduse klass: Eriomadused ja lisaandmed: S4

Kiudude tüüp ja sisaldus: Eriomadused/betoonisaandid: Carboxyment FM, REBAH LP

Jämedätlematerjal: Granitkiltustik
Täitematerjal Dmax: 16

Vastavusdeklaratsiooni nr: 1/2016
Sertifitseerimisasutus: TTÜ Sertifitseerimisasutus
Tsement: Tsement CEM I 42,5 N

Tellimuse kogumaht: 10,8 m ³	Koormas maht: 5 m ³	Voorna objektil ja tagast: km 66
Transport: Pumi	Autojuht: Kaido	Auto reg nr: 733BTJ
Väljastamise aeg: 5.12.2017 13:53:43	Objektil kell: 14:45	Mahalaadmise algus: 15:00
		Mahalaadmise lõpp: 15:05

Märkused/muud lisaandmed:

Agnes Dmitrijev 6.12.2017
Väljastaja Kuupäev

Vastuvõtja nimi ja allkiri

Joonis L.1.4. Valga Betoon OÜ poolt väljastatud dokument objektile saabunud betooni kohta (06.12.2017)

Lisa 1 järg

VALGA BETOON
 FM Kaubandusgrupp OÜ
 Reg. nr 10210359
 KMKR: EE100491933
 Jur. aadress: Männi 10, Valga 68208
 Tehas: Viljandi 82C Valga
 Tel. 5683 9223, 5686 2445
 www.valgabeton.ee

VASTAVUSDEKLARATSIOONI LISA
 SAATEKIRI nr: 1003
 Tellimuse nr: 696

Tellijä: Mapri Ehitus OÜ
 Telefon: _____
 Sõidukiht ja muud lisandmed: _____

Tamise aadress:
 Tõntso Agro

Betooni tugevusklass: C30/37
 Keskkonnamark: XF2, XC4, XA1

Töödeklavus: S4
 Kloridisisalduse klass: _____
 Enimadused ja lisandmed: _____

Kuude tüüp ja staatus: _____
 Eriüldused/betoonilisandid: Carboxyment FM, REBAH LP

Jämesättematerjal: Granitküllustik
 Täitematerjal Dmax: 16

Vastavusdeklaratsiooni nr: 1/2016
 Sertifitseerimisasutus: TTÜ Sertifitseerimisasutus
 Tsement: Tsement CEM I 42,5 N

Tellimuse kogumaht: 10,2 m³
 Koorma maht: 5 m³
 Veomaa objektile ja tagasi: km 60

Transport: Pumi
 Autokaht: Galde
 Auto reg nr: 849BRB

Väljastamise aeg: 7.12.2017 13:27:03
 Objekt keli: 14:20
 Mahalaadimise algus: 14:30
 Mahalaadimise lõpp: 15:30

Märkused/muud lisandmed: _____

Agnes Dmitrijev _____ 7.12.2017
 Väljastaja _____ Kustalev
 Vastuvõtja nimi ja aadress _____

Betoonisegu vastab standardile EVS-EN 206:2014+A1:2016 ja allpool loetud omadustele

Joonis L.1.5. Valga Betoon OÜ poolt väljastatud dokument objektile saabunud betooni kohta (07.12.2017)

VALGA BETOON
 FM Kaubandusgrupp OÜ
 Reg. nr 10210359
 KMKR: EE100491933
 Jur. aadress: Männi 10, Valga 68208
 Tehas: Viljandi 82C Valga
 Tel. 5683 9223, 5686 2445
 www.valgabeton.ee

VASTAVUSDEKLARATSIOONI LISA
 SAATEKIRI nr: 1021
 Tellimuse nr: 706

Tellijä: Mapri Ehitus OÜ
 Telefon: 5339388
 Sõidukiht ja muud lisandmed: _____

Tamise aadress:
 Tõntso Agro

Betooni tugevusklass: C30/37
 Keskkonnamark: XF2, XC4, XA1

Töödeklavus: S4
 Kloridisisalduse klass: _____
 Enimadused ja lisandmed: _____

Kuude tüüp ja staatus: _____
 Eriüldused/betoonilisandid: Carboxyment FM, REBAH LP

Jämesättematerjal: Granitküllustik
 Täitematerjal Dmax: 16

Vastavusdeklaratsiooni nr: 1/2016
 Sertifitseerimisasutus: TTÜ Sertifitseerimisasutus
 Tsement: Tsement CEM I 42,5 N

Tellimuse kogumaht: 14,3 m³
 Koorma maht: 7,3 m³
 Veomaa objektile ja tagasi: km 65

Transport: Segurauto
 Autokaht: Valdo
 Auto reg nr: 541BRD

Väljastamise aeg: 11.12.2017 14:02:45
 Objekt keli: 15:05
 Mahalaadimise algus: 15:15
 Mahalaadimise lõpp: 17:15

Märkused/muud lisandmed: _____

Agnes Dmitrijev _____ 11.12.2017
 Väljastaja _____ Kustalev
 Vastuvõtja nimi ja aadress _____

Betoonisegu vastab standardile EVS-EN 206:2014+A1:2016 ja allpool loetud omadustele

Joonis L.1.6. Valga Betoon OÜ poolt väljastatud dokument objektile saabunud betooni kohta (11.12.2017)

Lisa 2. Katsekehade survetugevuse määramine mittepurustava ja purustava meetodiga

Tabel L.2.1. Katsekehade mõõtmistulemused pörkevasaraga, pärast 1 kuud silos

Katsekeha nr	Võõp	Pörkearvud										Mediaan	Survetugevus N/mm ²
		36	36	36	31	40	38	40	37	34	34		
37	Labor	36	36	36	31	40	38	40	37	34	34	36,2	32
24	SP	42	39	37	38	37	37	39	37	36	41	38,3	36
26	Labor	37	38	37	41	34	37	39	34	36	36	36,8	32
25	Labor	41	40	41	40	37	39	39	38	41	39	39,5	37
42	Labor	39	37	38	35	39	39	38	37	38	37	37,7	34
34	Labor	42	36	36	36	41	39	44	34	39	36	38,3	36
46	Semtu	37	43	37	40	40	45	39	41	38	37	39,7	37
9	Semtu	43	48	41	40	41	38	47	37	41	42	41,8	41
20	Ilma	36	38	35	36	38	40	47	33	34	37	37,4	34
3	Ilma	43	43	46	42	43	43	40	37	35	35	40,7	39
13	Ilma	43	42	39	37	38	40	38	49	39	39	40,4	39
58	SP	41	42	37	36	37	41	41	35	33	34	37,7	34
33	Ilma	41	38	37	40	38	46	36	32	35	31	37,4	34
14	SP	52	50	39	42	41	45	49	39	42	38	43,7	45
30	ilma	38	38	37	35	41	43	39	34	34	36	37,5	34
54	SP	40	33	41	33	38	37	38	38	31	33	36,2	32
16	Semtu	47	40	36	37	39	39	37	28	34	36	37,3	34
29	Semtu	38	41	37	37	42	41	39	38	36	37	38,6	36
26	Semtu	40	41	37	39	38	41	40	37	42	35	39	37
4	SP	41	45	37	41	49	38	44	32	36	41	39,4	37
17	Bornit	38	34	28	32	37	36	36	26	29	20	31,1	24
52	Bornit	31	33	20	20	30	36	34	35	35	35	30,9	23
21	Bornit	34	24	31	20	20	24	20	25	25	24	24,7	14
22	Bornit	33	30	32	34	37	25	27	26	30	26	29	21

Tabel L.2.2. Katsekehade mõõtmistulemused põrkevasaraga, pärast kuud silos

Katsekeha nr	Võõp	Põrkearvud										mediaan	survetugevus N/mm ²
55	Labor	44	43	43	40	42	42	45	41	41	44	42,5	43
61	Labor	42	42	41	46	43	42	39	44	43	41	42,3	43
18	Labor	42	41	38	36	42	40	39	37	39	40	39,4	37
15	Labor	40	40	42	41	40	51	41	35	39	42	41,1	41
45	Labor	42	41	39	40	41	45	36	48	39	43	41,4	41
51	Labor	41	39	35	35	41	36	37	35	38	41	37,8	34
60	Labor	38	42	40	36	40	41	41	36	39	42	39,5	37
19	Labor	41	40	36	41	37	37	38	39	37	39	38,5	36
53	Labor	42	43	39	41	39	40	39	40	40	41	40,4	39
39	Semtu	42	42	40	39	39	36	40	34	36	32	38	36
56	Semtu	39	39	39	36	38	39	37	28	33	30	34,8	29
6	Semtu	48	41	45	43	42	40	40	39	40	35	41,3	41
49	Semtu	47	45	38	39	34	36	40	35	33	34	38,1	36
59	Semtu	37	39	40	39	38	37	35	36	34	36	37,1	34
38	SP	41	41	41	41	39	41	39	35	36	35	38,9	36
44	SP	40	42	49	38	38	40	40	34	35	36	38,2	36
28	SP	39	35	39	39	29	33	33	29	35	32	34,3	29
48	SP	39	39	37	36	30	36	27	29	34	36	34,3	29
8	SP	43	43	41	45	36	33	33	35	35	39	38,3	36
40	Ilma	37	39	35	35	37	35	35	32	35	35	35,5	31
43	Ilma	42	42	39	39	40	41	41	33	38	35	39	37
10	ilma	42	44	48	38	40	42	44	35	34	38	40,5	39
5	Ilma	43	41	44	40	41	43	37	37	32	36	39,4	37
23	Ilma	37	37	33	34	34	24	32	35	33	34	33,3	28
12	Bornit	36	39	41	40	32	35	32	39	43	40	37,7	34
2	Bornit	42	39	39	40	43	38	37	41	36	46	40,1	39
47	Bornit	20	20	20	20	26	20	24	31	32	29	24,2	14
57	Bornit	35	35	31	34	20	30	28	27	29		29,8	21
32	Bornit	31	31	35	32	37	26	20	26	20		27,5	18
7	Bornit	35	31	25	39	29	40	46	36	50		36,7	32

Lisa 2 järg

Tabel L.2.3. Katsekehade mõõtmistulemused purustaval meetodil pärast 28. päeva vees

Keha nr.	Võõp	Katsekehade mõõdud		Pindala	Fc max jõud	survetugevus Fc	
						N/mm ² v	Mpa
						28- päeva	keskmine
1	Labor	150	149	22350	1065	47,65101	38,72559
11	Labor	149	150	22350	1005	44,96644	
21	Labor	150	148	22200	765	34,45946	
31	Labor	149	149	22201	820	36,93527	
41	Labor	149	149	22201	657,5	29,61578	

Tabel L.2.4. Katsekehade mõõtmistulemused purustaval meetodil pärast 1 kuud silos

Jrk. Nr	Katsekeha nr	Võõp	Katsekehade mõõdud		Pindala (mm ²)	Fc jõud survele (kN)	Survetugevus N/mm ²
3	29	semtu	149,53	149,5	22354,7	805,00	36,01
4	16	semtu	149,52	150,57	22513,2	839,00	37,27
5	36	semtu	150,1	150,4	22575,0	990,00	43,85
6	54	spreylock	149,37	149,07	22266,6	650,00	29,19
7	17	Bornit	150,58	150	22587,0	839,00	37,15
8	52	Bornit	150,97	150,49	22719,5	702,50	30,92
9	4	spreylock	148,97	152,27	22683,7	825,50	36,39
10	30	ilma	150,09	152,39	22872,2	892,50	39,02
11	14	spraylock	149,99	152,66	22897,5	1055,00	46,07
12	9	semtu	149,83	152,87	22904,5	1147,50	50,10
13	20	ilma	149,48	149,44	22338,3	967,50	43,31
14	33	ilma	150,15	153,28	23015,0	755,00	32,80
15	42	labor	149,66	149,86	22428,0	657,50	29,32
16	58	spraylock	149,35	150,2	22432,4	745,00	33,21
17	26	labor	150,46	150,81	22690,9	915,00	40,32
18	25	labor	150,4	151,2	22740,5	1030,00	45,29
19	22	Bornit	150,57	150,52	22663,8	525,00	23,16
20	27	Bornit	150,84	151,49	22850,8	527,50	23,08
21	34	labor	149,5	148,33	22175,3	807,50	36,41
22	37	labor	149,45	150,61	22508,7	837,50	37,21
23	46	semtu	150,37	148,98	22402,1	710,00	31,69
24	24	spraylock	149,68	150,45	22519,4	1065,00	47,29

25	13	ilma	149,95	152,64	22888,4	1027,50	44,89
----	----	------	--------	--------	---------	---------	-------

Lisa 2 järg

Tabel L.2.5. Katsekehade mõõtmistulemused purustaval meetodil pärast 3 kuud silos

Jrk. Nr	Katsekeha nr	Võõp	Katsekehade mõõdud		Pindala (mm ²)	Fc jõud survele (kN)	Survetugevus N/mm ²
3	57	Bornit	150	150	22500,0	450,00	20,00
4	7	Bornit	150	153	22950,0	1025,00	44,66
5	32	Bornit	151	151	22801,0	835,00	36,62
6	47	Bornit	150	151	22650,0	610,00	26,93
7	2	Bornit	151	153	23103,0	640,00	27,70
8	12	Bornit	150	154	23100,0	772,00	33,42
9	23	ilma	150,24	149,73	22495,4	660,00	29,34
10	5	ilma	149	152	22648,0	792,50	34,99
11	10	ilma	149,5	155	23172,5	875,00	37,76
12	43	ilma	150	150	22500,0	915,00	40,67
13	40	ilma	149	149	22201,0	790,00	35,58
14	48	spraylock	150	152	22800,0	865,00	37,94
15	28	spraylock	149	149	22201,0	745,00	33,56
16	44	spraylock	149	150	22350,0	670,00	29,98
17	38	spraylock	149	150	22350,0	920,00	41,16
18	8	spraylock	150	150	22500,0	890,00	39,56
19	59	Semtu	149	150	22350,0	765,50	34,25
20	49	Semtu	149	150	22350,0	723,00	32,35
21	6	Semtu	150	153,00	22950,0	835,00	36,38
22	56	Semtu	151	150,00	22650,0	767,50	33,89
23	39	Semtu	150	150,00	22500,0	765,00	34,00
24	53	Labor	149	150,00	22350,0	955,00	42,73
25	19	Labor	150	150,00	22500,0	812,00	36,09
26	60	Labor	149	151,00	22499,0	1002,00	44,54
27	51	Labor	149	148,00	22052,0	675,00	30,61
28	45	Labor	150	150,00	22500,0	827,50	36,78
29	15	Labor	150	151,00	22650,0	1010,00	44,59
30	18	Labor	150	150,00	22500,0	1172,00	52,09
31	61	Labor	151	151,00	22801,0	927,00	40,66
32	55	Labor	150	151,00	22650,0	970	42,83

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning
juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Ken Karja,

(sünnipäev 04.03.1993)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Kaitsevõõpade mõju betooni kestvusele agressiivses keskkonnas,
mille juhendaja on prof. Jaan Miljan,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks pärast tähtajalise piirangu
lõppemist

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 28.05.2018

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

