



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Tartu kolledž

**EESTI TURUL SAADAOLEVATE  
JÄRELHOOLDUSAINETE ANALÜÜS  
HORISONTAALSETE PINDADE JAOKS  
TOOTEINFO PÕHJAL**

**ANALYSIS OF CURING COMPOUNDS ON THE  
ESTONIAN MARKET FOR HORIZONTAL  
SURFACES BASED ON PRODUCT INFORMATION**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Triin Kallingo

Üliõpilaskood: 182334EAEI

Juhendaja: Mihkel Kiviste, abiprofessor  
Mati Laurson, insener

Tartu, 2023

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

29. mai 2023

Autor: Triin Kallingo

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud

nõuetele "....." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele

lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS

Mina, Triin Kallingo

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

**Eesti turul saadaolevate järelhooldusainete analüüs horisontaalsete pindade jaoks tooteinfo põhjal**

mille juhendajad on prof Mihkel Kiviste ja ins Mati Laurson

- 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.
- 

29. mai 2023

TalTech Tartu kolledž

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Triin Kallingo, 182334EAEI

Õppekava, peaeriala: EAEI02/17 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine, projekteerimise ja arhitektuuri peaeriala

Juhendajad: abiprofessor, Mihkel Kiviste, [mihkel.kiviste@taltech.ee](mailto:mihkel.kiviste@taltech.ee)  
insener, Mati Laurson, [mati.laurson@savekate.ee](mailto:mati.laurson@savekate.ee)

**Lõputöö teema:**

**Eesti turul saadaolevate järelhooldusainete analüüs horisontaalsete pindade jaoks tooteinfo põhjal**

Analysis of curing compounds on the Estonian market for horizontal surfaces based on product information

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Selgitada järelhooldusviise, eelkõige järelhooldusainete vajalikkust betoonkonstruktsioonide valmistamisel
2. Koostada ülevaade Eesti turul saadaolevate järelhooldusvõõpade kohta
3. Võrrelda järelhooldustoodete omadusi ning anda hinnang nende efektiivsusele

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

<b>Nr</b>	<b>Ülesande kirjeldus</b>	<b>Tähtaeg</b>
1.	Kirjanduse ülevaade, toodete infoga tutvumine	31.03.2023
2.	Teoreetilise osa koostamine	12.05.2023
3.	Võrdlustabelisse tootjate väljastatud info koondamine	17.05.2023
4.	Hooldusainete võrdlus ja analüüs	19.05.2023
5.	Töö kokkuvõte, vormistamine	22.05.2023

**Töö keel:** eesti keel**Lõputöö esitamise tähtaeg:** 29. mai 2023

**Üliõpilane:** Triin Kallingo ..... ".....".....20....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Mihkel Kiviste ..... ".....".....20....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Mati Laurson ..... ".....".....20....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** Mihkel Kiviste ..... ".....".....20....a  
/allkiri/

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	7
1. ÜLEVAADE JÄRELHOOLDUSEST .....	8
1.1 Betooni, järelhoolduse ja kaitsevõõba mõiste .....	8
1.1.1 Betooni koostise mõju järelhooldusele .....	9
1.1.2 Praod betoonis .....	10
1.1.3 Järelhoolduse mõiste .....	13
1.1.4 Kaitsevõõba mõiste .....	16
1.2 Järelhoolduse olulisus .....	18
1.3 Järelhooldusainete olemus .....	22
1.3.1 Järelhooldusainete koostis .....	22
1.3.2 Järelhooldusainete kvaliteedinõuded .....	24
1.3.3 Nõuded järelhooldusainetega kaetud pindadele .....	27
1.3.4 Järelhooldusainete paigaldamine ja ohutusabinõud .....	28
1.4 Varasemad uurimused .....	29
2. BETOONI JÄRELHOOLDUSVÕÕBAD EESTI TURUL .....	33
2.1 Kasutusjuhend .....	33
2.1.1 Semtu järelhooldusainete kasutamine .....	35
2.1.2 Fescon, DCP, Topfloor ja Armotop järelhooldusainete kasutamine ...	35
2.1.3 Lindolit järelhooldusainete kasutamine .....	36
2.1.4 Betotrade järelhooldusainete kasutamine .....	36
2.1.5 Mapei järelhooldusainete kasutamine .....	37
2.2 Järelhooldusainete vastavus standardiga .....	37
2.2.1 Semtu järelhooldusainete vastavus standardiga .....	37
2.2.2 Fescon, DCP, Topfloor ja Armotop vastavus standardiga .....	38
2.2.3 Lindolit järelhooldusainete vastavus standardiga .....	40
2.2.4 Betotrade järelhooldusainete vastavus standardiga .....	41
2.2.5 Mapei järelhooldusainete omadused ja kasutamine .....	41
2.3 Järelhooldusainete võrdlus .....	42
KOKKUVÕTE .....	45
SUMMARY .....	46
KASUTATUD ALLIKAD .....	48
LISAD .....	52
Lisa 1 Standardites esitatud nõuded katsemeetoditele .....	53
Lisa 2 Järelhooldusainete omaduste võrdlustabel .....	54
Lisa 3 Järelhooldusainete kasutustabel .....	56

## SISSEJUHATUS

Turul on saadaval palju erinevaid vööpasid. Kõigi järelhooldusainete peamine eesmärk on takistada vee kiiret väljakuivamist värskest betoonisegust, mis tagab betooni piisava vastupidavuse, pinnatugevuse ning vähendab pragude teket. Samas erinevad turul pakutavad järelhooldusvööbad oma omaduste poolest. Seetõttu lihtsustaks ülevaade tuntuimatest kaitsevööpadest kasutajal pakutavatest toodetest sobivaima valiku tegemist.

Üks lihtsaim järelhooldusmeetod on betoonplaadi ehituskilega katmine. See tänasel hetkel üks enamlevinud järelhooldusmeetodeid pole aga jätkusuutlik. Betoonplaadi niiskena hoidmine ja kilega katmine on aeganõudev. Suuremahulise ehituspinnaga objektidel on kile kulu ja hiljem kilematerjalijäägi kogused suured, mistõttu pole sellistes kogustes kile tootmine keskkonda säästev. Samuti võib kilega katmisel tekkida betoonile laiguline pind. Järelhooldusainete korrektne kasutamine lihtsustab betoonivalu järgset hooldamist.

Magistritöö käigus koostatakse Eestis saadaolevate kaitsevööpade kohta võrdlus- ja juhendtabel, kus kajastatakse vööpade omadusi, peale kandmise meetodeid, kasutamise keerukust, sobivust erinevate ehituslahenduste puhul, mõju betoonpinna nakkele soovitava pinnakattega, vööba eemaldamise keerukust jms vastavalt tootja poolsele infole. Samuti moodustatakse kasutusjuhend, milles pakutakse soovitusi kasutusala ja kasutusviiside kohta.

Teoreetilises osas kirjeldatakse betooni koostist ning koostisosade mõju järelhooldusainetele. Antakse ülevaade betooni pragunemise põhjustest ja seeläbi järelhoolduse vajalikkusest. Samuti loetletakse erinevaid betoonivalu järgseid hooldusmeetodeid ning nimetatakse nende eelised ja puudused. Selgitatakse lahti järelhooldusaine tähendus ja toimivus. Lisaks tehakse kokkuvõtte sama valdkonna varasematest uurimustest.

Täpsemalt analüüsitakse hooldusainete sisaldust, ainetele esitatavaid kvaliteedinõudeid ja selgitatakse järelhooldusainetega kaasnevat nakkeprobleemi. Kuna järelhooldusained on keemilised ained, siis tuleb järgida paigaldamis- ja ohutusabinõusid, mida käesolevas magistritöös käsitletakse. Magistritöö lõpuosas tehakse järeldused erinevate hooldusainete efektiivsuse ja teiste tehniliste näitajate osas ning võrreldakse saadud tulemusi varasemates uurimustes saadud tulemustega.

Võtmesõnad: hooldusvööp, järelhooldusaine, betooni järelhooldus, põranda järelhooldus, magistritöö

# 1. ÜLEVAADE JÄRELHOOLDUSEST

Betooni eelised teiste levinud materjalide ees on konstruktsiooni pikaealisus ja ökonoomsus. Nõuetekohaselt kavandatud, ehitatud ja regulaarselt hooldatud betoonkonstruktsioon on vastupidav ilmastikule, kõrgetele temperatuuridele, kahjuritele ja kulumisele. Aina rohkem on tootmisprotsessis võimalik kasutada erinevaid ümbertöödeldud materjale, mis aitab vähendada jäätmete hulka. Betoon koosneb tsemendist, veest ning peen- ja jämetäitematerjalidest, milleks on liiv, kruus ja killustik. Nende koostisainete õige doseerimine annab soovitud tingimustele vastava betoonisegu. Ebasobiva koostisega segu, valel betoonivalu töövõtted ning rasked valutingimused ja keskkond võivad betooni eeliseid vähendada.

Järelhooldusel on oluline mõju peaaegu kõigile betooni tähtsatele omadustele. Kuigi betoonisegu võib olla valutingimustele ja kvaliteedinõuetele vastav, siis ebakorrektsed töövõtted muudavad lõpptulemuse ebaõnnestunuks. Samuti ei määra õiged töömeetodid betoonplaadi kvaliteeti, kui kasutatakse sobimatut betooni. Näiteks sõltub järelhooldusest betooni külmakindlus ja seeläbi kogu betoonkonstruktsiooni projekteeritud kasutusiga [1]. Samuti vähendab vett tõrjuva ainega betoonpinna katmine vee pääset betooni, mis võib omakorda suurendada karboniseerumisastet või takistab pinna katmine hooldusainega betooni niiskuse eraldumist, mis võib põhjustada betoonpinna nakke kadu [2]. Põranda vastavus kvaliteedinõuetele tekib kõigi tegurite heast toimivusest ja koostööst.

## 1.1 Betooni, järelhoolduse ja kaitsevõõba mõiste

Betoon on tänapäeval üks enim kasutatud ehitusmaterjale. Levinuim laialdaste kasutusvõimalustega komposiitmaterjal on raudbetoon. Raudbetoonkonstruktsioonis võtab betoon vastu survepinged ja teras tõmbepinged [3]. Õhukeste konstruktsioonide korral kasutatakse sarrustamata betooni, pragude täielikuks vältimiseks pingebetooni ning aina rohkem on koos armatuuriga või ilma kasutusel kiudbetoon.

Lihtne viis betooni kvaliteedi hindamiseks on pragude uurimine. Sageli ei tekita pragude esile tulemine ohtu, kuid halvimal juhul viitavad praod konstruktsiooni kandetaluvuse ületamisele. Lisaks paljudele teistele faktoritele, on üks pragude tekke põhjus puudulik järelhooldus. Järelhooldusmeetodeid on mitmeid ning viimasel ajal üha levinum efektiivne meetod betooni hooldamiseks on selle katmine järelhooldusvõõbaga.



### **1.1.1 Betooni koostise mõju järelhooldusele**

Betooni koostisel on oluline roll järelhoolduse pikkusele ja efektiivsusele. Täitematerjalid ja tsemendis sisalduvad ained ning nende kogus mõjutavad betooni hooldusaega. Samuti on oluline betoonis sisalduv vee kogus ning vee ja tsemendi osakaal. Lisaks betooni põhilistele komponentidele: tsemendile, täitematerjalidele ja veele, on levinud betooni koostises kasutada ka lisandeid, et betoon oleks suuteline kindlate tingimuste ja oludega keskkonnas kauem vastu pidama. Lisandite üks kasutusala on betooni omaduste muutmine valu ajal, et saavutada sobilik töödeldavus ja kontrollida tardumisaega.

Täitematerjalide kvaliteetne kontrollitud koostis ja vee vähene imavus parandavad betooni omadusi ning lihtsustavad järelhooldust. Betoonisegus sisalduv täitematerjal peab olema CE- märgistusega ja vastama standardile EVS-EN 12620. Enamlevinud betooni koostises on kivimaterjalide osakaal 65– 70 %. Suur täitematerjalide kogus betoonis on oluline, et betooni tardumise ja kivistumise protsesside tagajärjel oleks mahukahanemine väiksem. Täitematerjalide puhul on oluline vähene poorsus ja vee vajadus, tänu millele saab valmistada hea töödeldavusega vähe kahanevat betooni. Kui täitematerjalis on liiga suur huumuse sisaldus, siis aeglustub tsemendi tardumine või on see täielikult takistatud, mistõttu suureneb järelhoolduse aeg ning nõutavat tugevust ja kulumiskindlust pole tõenäoliselt võimalik saavutada. [1]

Betooni kivilinenud omadused kujunevad tsemendi hüdratsiooni, tardumise ja kivistumise tulemusel, tänu millele tekib koostisosi kinnitav ja seov tahke betoonmass [4]. Tsemendi ja lisaainete koostis tuleb valida selline, et segu taruks vähem kui kuue tunniga. Sellisel juhul saab betooni pinda viimistlema hakata juba nelja tunni vanusena, mis võimaldab ka järelhooldusega varem pihta hakata ning omakorda väheneb vee aurustumine pinnalt. Betoonisegus kasutatav tsement peab vastama standardile EVS-EN 197-1:2011. Tsemendi osaline asendamine peenlisanditega parandab betooni keemilist vastupidavust ja võimaldab saavutada kõrgtugevat betooni. Kuid väiksem tsemendikogus peenlisandite arvelt aeglustab betooni tardumist ning pikendab betooni järelhooldusaega. [1]

Betooni tugevuse all mõistetakse betooni 28 ööpäeva vanust survetugevust. Tugevust vaadeldakse standardist lähtudes proovikehade minimaalse tugevuse järgi peale 28-päevast kivilinemist 20 °C ja 95– 100 %-lise niiskuse juures. [5] Ideaalne järelhoolduse kestus on 28 päeva, mil betoon on saavutanud 75- 100% oma tugevusest. Alati pole aga 28 päeva pikkune betooni hooldus võimalik ega ka vajalik. Betooni tugevuse kasv jätkub ka peale 28 päeva möödumist, kuid toimub aeglasemas tempos. Betoon tugevneb nii kaua, kuni betoonis on alles reageerimata tsementi ja vaba vett [1].

Sealjuures võib tsementkivis toimuvate protsesside lõplik kustumine kesta aastaid [3]. Erinevad järelhooldusmeetodid ei suuda betooni kivinemist kiirendada, kuid aitavad kontrollitud keskkonnas tagada betooni tugevuse kasvu [1]. Kui on vajadus kiirendada tugevusteket, siis tuleb kasutada spetsiaalse retseptiga betoonisegusid, näiteks lisada segule kiirendit või suurendada betooni kivistumistemperatuuri.

### **1.1.2 Praod betoonis**

Betoonplaadil on suur pinna pindala võrreldes plaadi mahuga ehk plaadi muud mõõtmed on paksusega võrreldes suured, mistõttu on raske kogu plaadi ulatuses ühtlast niiskusesisaldust säilitada. Mida paksem plaat, seda suuremad mahukahanemist tekitavad tõmbejõud. Praod tekivad, kui betooni mahukahanemine ei saa vabalt toimuda, sest valatud konstruktsioon on täielikult või osaliselt takistatud. Samuti põhjustavad pragusid ülekoormus, plastiline kahanemine või kuivamiskahanemine. Plastne mahukahanemine, plastne vajumine ja autogeenne mahukahanemine on varajase perioodi ning kuivamiskahanemine hilise perioodi mahukahanemine. Temperatuurideformatsioonid võivad toimuda betooni tardumise algperioodil betooni kivistumisreaktsioonide hüdratatsioonisoojuse tõttu ning hiljem kasutuse ajal keskkonna temperatuurimuutuste tõttu mahumuutusena. [1] Betooni pragudesse tungiv vesi paisub madalal temperatuuril ning külmumis- ja sulamistsükli vaheldumise käigus lõhub konstruktsiooni [6]. Kandvates konstruktsioonides võib halvimal juhul pragude teke vähendada kandevõimet. Lisaks võib pragunemine põhjustada emissioonide ja radooniprobleemide tõttu erinevaid terviseprobleeme. [1]

Plastsed praod tekivad esimeste tundide jooksul peale tsemendi tardumisreaktsioonide algust betooni pinnalt kiire ja rohke vee aurustumise tõttu. Vesi, kui kõige väiksema tihendusega komponent betoonis, tõuseb betoonisegust pinnale. Kui sügavamalt betoonisegust pinnale eralduv vee hulk ei asenda pinnalt aurustuvat vett ning pinnalt aurustuva vee kogus on ajaühikus suurem, siis tahab betooni pealmine kiht hakata kahanema. Samas alumised, suuremat kogust vett sisaldavad kihid ei saa samas mahus kahaneda. Alumised kihid takistavad pealmise kihi kahanemist, mille tulemusena tekivad pealmises kihis tõmbepinged. [1]

Mitmed ilmastikuolud mõjutavad plastset pragunemist. Plastsete pragude teket soodustab välitingimustes plaadile mõjuv tugev tuul, soe ja kuiv õhk või põrandapinnale paistev otsene tugev päike. Jaheda õhu korral on tardumine aeglasem ning aurustumine kestab kauem. Talvel, köetud siseruumides, kiireneb vee aurustumine kuiva õhu ja kuumaõhupuhurite tekitatud õhuvoo tõttu. Mõlemad olukorrad suurendavad plastsete pragude tekkimise riski. [1]

Plastne mahukahanemine on põrandate puhul kõige levinum pragunemise põhjus. Selle tulemusena moodustub põrandapinnale ämblikuvõrgu sarnane pragude võrgustik, mille praod on harva sügavamad kui 10 - 20 mm. Plastsed praod ei mõjuta konstruktsiooni kestvust, vaid ainult betoonplaadi välisilmet. Praod suletakse ja täidetakse masinhõõrde käigus, kuid need tulevad uuesti nähtavale mitme kuu pärast pinna kulumise või hiljem pinna lihvimise tulemusena. Samuti võivad praod uuesti avaneda kuivamiskahanemise arenedes. Kui plastsed praod on väga sügavad ja laiad, tuleb need injekteerida. [1]

Plastse vajumise tulemusena tekivad betooni tihenemisele ja vajumisele takistuseks olevate sarruse, taridetailide ja teiste konstruktsiooniosade kohale praod, mida saab ära hoida mõõduka töödeldavusega betoonisegu (S2 - S3) kasutamisega, järelvibreerimisega, sobiva täitematerjalide sõelkõvera ja mõõduka veekoguse kasutamisega. Autogeenne mahukahanemine, mis toimub ilma välise kuivamiseta, on põhjustatud madalast vesi-tsementtegurist. Plastset vajumist ja plastset mahukahanemispragunemist vähendab mikropolümeerkiudbetooni kasutamine. Samuti vähendavad kiud vee eraldumist ja parandavad betoonisegu koospüsivust ning sobivad hästi kasutamiseks kattematerjalidega kaetavatel põrandatatel, kus alusbetooni pragunemine pole soovitatav. [1]

Betooni kuivamiskahanemine toimub olukorras, kus kahanemisest tingitud deformatsioon on osaliselt või täielikult takistatud, betoonis tekivad tõmbepinged ja konstruktsioon praguneb kohtadest, kus tõmbepinged ületavad betooni tõmbetugevuse. Mahukahanemine saab alguse ajal, mil järelhooldus lõpetatakse ja algab betooni kuivamine. 35 % mahukahanemisest toimub esimese kuu jooksul, 80 % 3 kuu ja 90 % esimese aasta jooksul. Madala vesi-tsementteguriga betoonid mahukahanevad ka järelhoolduse ajal autogeense mahukahanemise kaudu. Normaalebetooni kuivamiskahanemine on tavaliselt kuni 0,8 mm/m. Kõrge temperatuur kiirendab kuivamist ja selle tõttu ka mahukahanemist, kuid ei mõjuta kahanemisdeformatsiooni suurust. Tuule või puhurite tekitatud õhuvood ei mõjuta kuivamiskahanemist, sest kivistunud betooni kuivamiskiiruse määrab niiskuse liikumiskiirus betooni sisemistest osadest betooni pinnale. Betoonplaadi varajane koormamine võib põhjustada plaadi alapinna pragusid, mis nõrgendab plaadi tõmbekandevõimet ja viib mahukahanemispragude tekkimiseni. [1]

Ebaühtlasest kuivamisest ning plaadi üla- ja alapinna vahelisest temperatuuride erinevusest tingitud mahukahanemise erinevused kõverduvad plaati. Plaadi külmemal poolel tekib paindetõmbepinge ja soojemal poolel survepinge. Sellele vastu mõjub plaadi omakaal, mis ei pruugi plaadi nurga- ja servaaladel olla piisav plaadi sirgena püsimiseks. Kuna plaadi ülapinna mahukahanemine on suurem võrreldes alapinnaga, siis tõusevad põrandaplaadi servad ja nurgad ülespoole. Betoonplaadi all kile asemel liivakihi

kasutamine vähendab plaadi kõverdumist, sest niiskus pääseb allapoole kiiremini liikuma. Suur kaardumine võib põhjustada lokaalselt plaadi kontakti kadumise alusega ja lõpuks plaadi murdumise koormuse all. Liialt avanenud pragu ei võimalda koormust üle prao ühtlaselt plaadi ulatuses üle kanda ning prao servade vahele võib tekkida raskesti parandatav kõrguste erinevus. Laiadesse ja sügavatesse pragudesse tungiv kloriidede hulk suurendab armatuuri korrosiooniohtu ja lühendab konstruktsiooni kasutusiga. Ohtlike pragude ilmnmisel betoonpinna kahjustused ja nendest tingitud kahjud suurenevad ajas. Põranda servad võivad pragude kohal üles tõusta, mis hakkab põrandal liikuvaid sõidukeid kulutama. Liikumise tõttu purunevad ja murduvad laiade pragude servad, mis omakorda vähendab põranda taset ja lühendab kasutusiga. [1]

Kuivkahanemist saab piirata õige vahekaugusega vuukide ja lisasarruse kasutamisega ning betooni koostise valimisega. Betooni tugevus tuleb hoida mõõdukana, võimalikult suur kogus maksimaalse terasuurusega (põrandabetoonisegus maksimaalselt 65 %, et töödeldavus oleks tagatud ning 35 % täitematerjalist 12, 16 ja 32 mm fraktsiooniga) täitematerjali kasutamine, tsemendipasta koguse minimeerimine ja plastifitseeritud betooni kasutamine. Oluline on jälgida ka keskkonna niiskusesisaldust. [1]

Järelhooldusel on kuivamiskahanemispragude suurusel minimaalne roll, kuid korrektne järelhooldus vähendab kuivamiskahanemisest põhjustatud pragude teket. Pikem järelhooldus lükkab kuivamiskahanemise algusaega edasi, mis tagab betooni tugevuse kasvu ning betoon suudab paremini tõmbepingeid vastu võtta. Lühike järelhooldusaeg ja kiire intensiivne kuivatamine suurendavad lõplikku mahukahanemist. [1]

Temperatuurideformatsioone põhjustavad temperatuurierinevused välistingimustes. Kui temperatuurimuutustest põhjustatud paisumine või kahanemine ei saa toimuda vabalt ning betooni tõmbetugevus ületatakse, siis konstruktsioon praguneb või kahjustub muul viisil. Piisavalt väikse vahekaugusega ja õigel ajal saetud deformatsiooni- ja eraldusvuugid ning temperatuurierinevuste minimeerimine vähendavad pragude tekkimist. Temperatuurideformatsioonid on põhjustatud välistingimustes paiknevate betoonkonstruktsioonide õhutemperatuuri muutustest. Suvel + 20 kraadi juures valatud 20 m deformatsioonivuukide vahekaugustega betoonplaat lüheneb talvel umbes 8 mm. [1]

Temperatuurideformatsioonid võivad olla põhjustatud betooni kivistumise käigus tekkivast hüdratatsioonisoojusest. Tsemendi ja vee reaktsioon eraldab kivinemisel betooni soojust, mis on intensiivsem paksemas konstruktsioonis, suurema tsemendi koguse ja kivistumiskiiruse korral. Kivistumisreaktsioonide aeglustudes hakkab konstruktsioon mõne päeva pärast jahtuma ja mahus kahanema. Konstruktsioon jahtub kiiremini pinnalt kui seest, mistõttu võivad konstruktsiooni pindmises osas tekkivad

tõmbepinged põhjustada pragunemist. Hüdratatsioonisoojuse mõjul võivad temperatuurideformatsioonid toimuda olukorras, kus uus betoonkonstruktsioon valatakse jäigalt kinni varem valatud konstruktsiooni külge. Uue ja vana konstruktsiooni vahel tekib hüdratatsioonisoojuse tõttu temperatuuride erinevus ning tulemuseks on hiljem valatud konstruktsiooni pragunemine. [1]

Tagamaks betoonkonstruktsiooni pikaelisus on oluline pragunemist piirata, kui praod halvendavad konstruktsiooni toimimist ja sihtotstarbelist kasutamist või mõjutavad välisilmel viisil, mis pole aktsepteeritav [1]. Praoks loetakse üle 0,05 mm laiust süvendit betooni pinnal [7]. Kuni 0,3 mm laiade pragude esinemine ei ole konstruktsiooni kandevõime seisukohalt ohtlik. Siiski korrosiooni soodustava keskkonna või korrosioonitundliku armatuuri korral tuleb pragusid võimaluse korral piirata näiteks pingbetooni kasutamisega. [1] Pingebetooni eelpingestamiseks kasutatakse konstruktsiooni paigaldatavat pingearmatuuri. Pingebetooni puhul konstruktsiooni valmistamise ajal betoonis tekitatud survepinged vähendavad konstruktsiooni kasutusseisundis tekkivaid betooni tõmbepingeid või väldivad neid. Järelpingestamine võimaldab pragudeta plaadi ehitamist. [3]

Pragude vähendamiseks võib kasutada SRA-aineid ehk mahukahanemist vähendavaid lisaaineid, mis on glükooli ja propüleenglükooli baasil eetrid. Lisaks on osadel SRA-ainetel betooni plastsust ja töödeldavust parandav mõju. Aine kantakse betooni pinnale või lisatakse betooni segamise ajal segusse. Pinnale pihustamise või harjamise eeliseks on kõrgem SRA-ainete kontsentratsioon betooni pinnakihtides, kuhu tekivad vee aurustudes suurimad pinged. Lisaks kasutatakse SCC-aineid, mis kompenseerivad mahukahanemist betooni paisutamisega. Lisaaine mõjul suureneb betooni tugevuse kasvades betooni maht ja lisaaine kompenseerib kuivamiskahanemise toimet tekkivaid tõmbepingeid. [8]

### **1.1.3 Järelhoolduse mõiste**

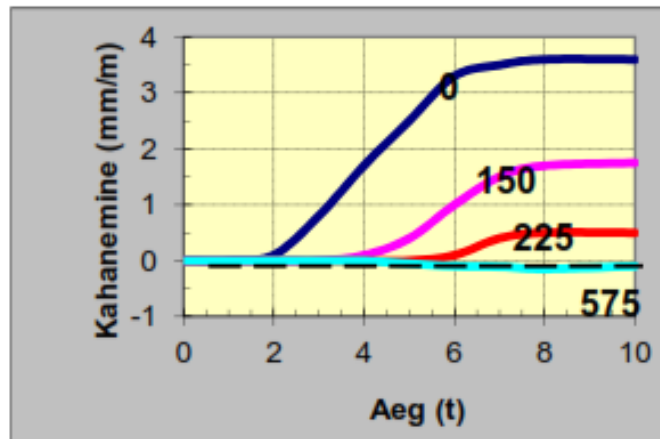
Järelhoolduse all mõeldakse betooni kaitsmist välismõjude eest ning õigete niiskus- ja temperatuuritingimuste tagamist betooni kivistumise algstaadiumis. Betooni kivistumiseks vajaliku vee koguse tagamiseks betoonplaadi pindmises osas tuleb takistada betoonis sisalduva vee ja niiskuse liigset aurustumist ning betoonpinna kuivamist alates betoonpinna lattimisest kuni järelhoolduse lõpuni. Arvesse tuleb võtta betooni kivistumisaegset temperatuuri tõusu ja hilisemat jahtumist. Piisavalt pikk ja hoolikas järelhooldus tagab betooni tugevustekke ja parandab betoonpinna kulumiskindlust, keemilist kestvust, tihedust, vähendab pinna tolmamist, soodustab betoontasanduskihi nakkumist alusega, parandab kaetavust ning vähendab pragunemiseriski. [1]

Järelhooldust on kõige kasulikum alustada kohe peale betoonsegu laotamist. Keskkonna temperatuurierinevused põhjustavad betoonis ebaühtlast kivistumist ja liigset vee aurustumist värskelt betooni pinnalt. Tugev aurustumine tekitab vajaduse alustada järelhooldust varakult, tavaliselt silumise ajal, hiljemalt kohe pärast viimistlustööde lõppu. Normaalingimustes, varast järelhooldust kasutamata, alustatakse hooldusega järgmisel päeval peale valu. Valuala ümbritseva õhu temperatuur peaks olema põranda tasapinnal vähemalt +10 kraadi ja põrandapinna temperatuur järelhoolduse ajal vähemalt +5 kraadi. Talveperioodil on oluline jälgida betooni servaaladel minimaalse temperatuuri tagamist, et vältida soojuspaisumisest tingitud pragunemisriski. Piisavalt kõrge ja ühtlase õhutemperatuuriga tagatakse, et betooni tardumine ja pinnaviimistlus toimuvad mõistliku aja jooksul. Kui betooni plastne staadium lüheneb, väheneb ka plastse pragunemise risk. [1]

Betooni kuivamist ja järelhooldusaja pikkust mõjutavad betooni keskkonnaklass, kivistumiskiirus, konstruktsiooniline lahendus, betooni niiskumine ehituse ajal ja kuivamistingimused. Järelhoolduse võib lõpetada keskkonnaklassides X0 ja XC1, kui betoon on saavutanud 60 % ja teistes keskkonnaklassides 70 % nominaaltugevusest. Pinnakõvendiga viimistletavatel pindadel peaks järelhooldusaeg päikesepaistelites või tuulistes tingimuses või alla 50 % suhtelise niiskuse korral olema vähemalt 7 päeva ning kulutamiskoormusega põrandatel vähemalt 2 nädalat [1].

Varane järelhooldus on vajalik, kui vee aurustumiskiirus betooni pinnalt ületab 1 kg/m<sup>2</sup> tunnis. Näiteks olukorrad, kus värskel valupind on kuiv; betoneerimisel kasutatakse sooja betoonisegu; õhu suhteline õhuniiskus on madal; tuulutus kuivatab liigselt pinda puuduliku soojustuse, lahtiste akna- ja ukseavade või välitingimuste tõttu; segu tardub aeglaselt või kui kasutatakse polümeertsementbetooni. Plastifitseeritud betoonid, ilmastikukindlad ja kõrge lõpptugevusega betoonisegud vajavad varajast järelhooldust, sest neile on omane madal vee-eraldumis näitaja. [1]

Varaseks järelhoolduseks kasutatakse plastkilet või niisket (filter)kangast, mis laotakse valatud pinnale. Suurte pindade valamisel raskendab kilega katmist selle paigaldamise keerukus ja võimalus sellega värsket pinda kahjustada. Järelhooldades koos kilega või eraldi, pihustatakse peene pihustiga vett põranda pinnale või selle kohale. Tuleb vältida veeloikude teket betoonpinnale, sest vesi-tsementteguri suurendamine nõrgendab betooni tugevust pinnakihi. Kui pinnalt nõutakse head kulumiskindlust, siis veega pihustamist ei kasutata. [1]



Joonis 1.1 teaduslikust aruandest „Betooni kahanemine“ Betoonpinna plastne kahanemine varase järehoolduse hooldusaine erinevate koguste ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) pihustamisel, tuulekiirus  $2,5 \text{ m/s}$ ,  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{RH } 40 \%$  [9]

Varast järehooldusainet pritsitakse betoonpinnale lattimise ajal, pidevalt valu edenes ja kohe peale silumist. Et betoonpind püsiks niiskena, laotatakse viimistlevate pindade jaoks ajutiselt või muudel juhtudel püsivalt ehituskile. Varased järehooldusained aeglustuvad vee aurustumist ja hõlbustavad pinna viimistlemist. Nõudlikes tingimustes pihustatakse ainet enne silumist ja silumiskordade vahepeal, sest ainete mõjuaeg on piiratud. Oluline on jälgida, et peale kantav kogus vastaks valmistaja juhiste. Piisav kogus järehooldusainet vähendab betoonpinna plastset kahanemist. [1] Joonis 1.1 näitab, et  $575 \text{ g}/\text{m}^2$  hooldusainet suudab kahanemist maksimaalselt vähendada. Väiksemate koguste juures on oluline hoolduse aeg, mis peaks kestma vähemalt 7 tundi.

Tavalise järehooldusega tagatakse konstruktsioonile soodsad kivistustingimused peale betoonpinna masinhõõret. Võimalused järehoolduseks on pihustada järehooldusainet viimase masinhõõrde ajal; katta betoonpind ehituskilega peale viimistluse lõppu; kasta kivistunud betoonpinda veega ning katta seejärel ehituskile või tiheda presendiga; hoida pinda niiskena jätkuva kastmise abil või katta pinna geotekstiiliga, mida aeg-ajalt vajadusel kastetakse. Intensiivselt kuivavates keskkonnatingimustes on üldiselt ainuke võimalik ja piisavalt efektiivne järehooldusmeetod ühtlaselt kogu valatavale pinnale viimase masinhõõrde ajal pihustatud piisavalt suur kogus järehooldusainet. Lihvitavate põrandate lihvimisjärgne järehooldus teostatakse pärast lihvimisjäädide eemaldamist loputusega, misjärel niiske pind kaetakse ehituskile või kangaga, kui järehooldus on veel pooleli. [1]

Betonkonstruktsiooni karboniseerumiskiirus näitab aja jooksul  $\text{CO}_2$  imendumist betooni, mis omakorda tekitab armatuuri korrodeerumist. Lisaks betooni tugevuse kasvu tagamisele vähendab 30 päeva pikkune järehooldus 60- 70 % betooni karboniseerumissügavust võrreldes järehoolduse tegemata jätmisega. 7 päevane järehooldus võimaldab karboniseerumissügavust betoonis vähendada 40 %. Hetkel

puudub rahvusvaheliselt kasutusel olev mudel, millega määrata korrosiooniperioodi pikkust betooni pragunemise või kandevõime kaotamiseni. Kasutusea projekteerimisel kasutatakse piirseisundina olukorda, kus armatuuri pinnal on pH langenud väärtuseni 8- 9. [6] Standardi IS 456:2000 põhjal ei tohi betooni sisaldava vee pH tase olla alla 6 [10]. Seetõttu on ka oluline, et betooni hooldava vee pH tase ei oleks sellest madalam.

Nõudlikes tingimustes, näiteks varakevadel, kus päike paistab, tuule kiirus on 5- 10 m/s ja õhu suhteline niiskus 20- 30 %, tuleks kasutada varikatuseid, telke või muid ilmastikukaitse vahendeid, tänu millele saab elimineerida tugeva päikese ja tuule mõju betooni pinnaosale. Lisaks suureneb telgi sees õhu niiskus, kuna õhuvool on vähene. Samuti saab vajadusel telgi all õhku niisutada. [1]

#### **1.1.4 Kaitsevõõba mõiste**

Järelhooldusained on üks levinuim kinni kaetava betoonihoolduse meetoditest. Järelhooldusained kantakse betoonpinna peale. Kui järelhooldust ei tehta, kuivab betoonipind kiiremini kui betoonplaadi kese, mistõttu tekivad tõmbepinged ja seeläbi praod. Betooni järelhooldusainete peamine eesmärk on tekitada õhuke, kuid tihe membraan, et takistada värskes betoonisegus oleva vee liigkiiret väljakuivamist.

Hooldusained on vedelal kujul ja enamasti kantakse neid betoonpinnale pihustades või harjates. Peale paigaldamist hooldusained kuivavad ning moodustavad mitteläbilaskva membraani, mis katab ja sulgeb avatud betoonpinna. Soovituslik on hooldusaine peale kandmisega alustada esimesel võimalusel, peale vaba vee kadumist betooni pinnalt. Kui järelhooldusaine kanda peale liiga vara, siis koguneb voolav vesi pinna ja hooldusaine katte vahele. Nendes kohtades tekivad järelhooldusaine moodustatud membraani augud, mis põhjustavad tõmbepingeid [11]. Oluline on enne pinnale katmist hoolikalt aine läbi segada, et vältida pigmendi ladestumist, ebaühtlast katvust ning nende tulemusel ebaefektiivset järelhooldust. [12]

Standardis EVS-EN 1504-2 on nimetatud ja kirjeldatud mitmeid keemilisi pinnakaitstesüsteeme betooni kaitseks. Üks liik on pooride pinnale hüdrofoobse katte (hüdrofoobimine) moodustavad vedelad ained, mis tungivad betooni [13]. Eesmärk on tekitada mittemärguv pind, kus betooni pinnale nähtavat aine kihti ei teki. Struktuurilt on pooride sisepind kaetud, kuid pole täidetud (joonis 1.2). Aines sisalduvad aktiivühendid on silaanid, siloksaanid vms. [14]

Teine kaitstesüsteemi tüüp on betoonpinda imenduv keemiline pinnakaitsevahend, mis sisaldab betooni tungivaid ja pooridesse imenduvaid vedelaid aineid ning tulemuseks on poore kattev tahke aine [13]. Eesmärk on tugevdada pinda ja vähendada pinna poorsust. Erinevalt hüdrofoobimisest on immutamisel betoonpinna poorid osaliselt või



täielikult ainega täidetud (joonis 1.3) ning pinnale tekib nähtav õhuke aine kiht, katkendlik kelme. Sideainena kasutatakse orgaanilisi polümeere. [14]

Samuti pakub pinna kaitset betoonpinnale kantav vedel aine, mis moodustab pinnale ühtlase ja pideva kile (joonis 1.4) [13]. Enamasti on paksus vahemikus 0,1 mm kuni 5,0 mm. Sideaine võib olla orgaaniline polümeer, orgaaniline polümeer koos tsemendi kui filleriga või polümeerdispersiooniga modifitseeritud hüdrauliline tsement. [14]

Reaktsioonivõimelised polümeeril põhinevad sideained on üldjuhul kahekomponentsed ained, mis koosnevad reaktsioonivõimelisest polümeerist ja kõvendist või katalüsaatorist. Aine kivineb keskkonnatemperatuuril ning mõnel juhul võib keskkonna õhuniiskus toimida kõvendi või katalüsaatorina. Sideaine võib olla epoksiid, küllastumata polümeervaik (polüester), ristseotud akrüülvaik (akrüülid), ühe- või kahekomponentne polüuretaan. [13]



Joonis 2.2 Standardist EVS-EN 1504-2:2007 Kujutlik skeem hüdrofoobsest kihist avatud pooridega pinnal [14]



Joonis 3.3 Standardist EVS-EN 1504-2:2007 Kujutlik skeem immutatud kihist avatud pooridega pinnal [14]



Joonis 4.4 Standardist EVS-EN 1504-2:2007 Kujutlik skeem pidevast kihist betoonpinnal [14]

## 1.2 Järelhoolduse olulisus

Järelhooldus on vajalik saavutamaks tugev betoonkonstruktsioon. Hooletu järelhoolduse tulemusena võib betoonpind olla madala tugevusega, vähese kulumiskindlusega, poorne, intensiivselt tolmap ja pragunenud [1]. Õigesti hooldatud betoonis on piisav hulk niiskust, et hüdratatsioon saaks toimuda ja tugevus areneda, betoonimaht püsib stabiilse temperatuuri ja niiskuse juures ning on vastupidav [15].

Puuduliku järelhoolduse ja konstruktsioonis esinevate temperatuuride erinevuste tulemuseks on mahukahanismispraod, mida on hiljem töömahukas ja kulukas parandada. Tööstus- ja laohoonetes on põranda kvaliteedil väga tähtis osa. Põrandaplaati tekkinud ja pikka aega süvenenud praod lõhuvad tõstukite veermikke. Pragude tõttu lisaks põrandate ja tõstukipargi remontimisele on ka remonditöödest põhjustatud tootmistegevuse katkestamine väga kulukas. Õige järelhoolduse abil on võimalik vähendada paksemate plaatide keskosa ja ülapinna vahel tekkivate kivistumistemperatuuride erinevust ning konstruktsiooni kiiret jahtumist või jäätumist talveperioodil. Selle abil kaitstakse betoonpinda liiga varajaste mehaaniliste mõjude, määrdumise ning hilisemate võimalike pragude tekkimise eest. [1]

Järelhooldus on oluline ka tasandusvalu puhul. Kuna tasanduskihid on õhukesed, üldjuhul 40- 80 mm, ja tsemendi reaktsiooniks vajalik vee kogus väike, siis tuleb betooni tardumise ja kivistumise varajases staadiumis vältida vee aurustumist ka väikses koguses [1]. Samas 100 % aurustumist betoonpinnalt hooldusained ära ei hoia, mis on kasulik, sest kui niiskus eraldub betoonist aeglaselt, siis on sügamates kihtides ja pealmise pinna vahel niiskuse erinevus väiksem ning betooni kividamine toimub rahulikumalt [16]. Puudulik järelhooldus võib põhjustada hiljem valatava tasanduskihi eraldumise alusplaadist [1].

Betooni hooldamiseks on mitmeid meetodeid. Et tagada betooni nõuetekohane vastupidavus, tuleb valida kõige sobivam järelhooldusviis, õige algusaeg ja kestvus. Järelhoolduse meetodit valides tuleb arvestada järelhooldusele seatud eesmärkidega, betoneerimise tingimustega, kasutatavate töömeetoditega, betooni omadustega, konstruktsiooni suuruse ja vormiga, põrandate pindamise ja katmisega ning pinna kvaliteedinõuetega. Järelhooldusena võib sobida betooni raketises hoidmine, betoonpinna katmine veeaurutiheda kattega, mis on servades ja ühenduskohtades tõmbetuule eest kaitstud, betoonpinna katmine märja kattega ja selle niiskena hoidmine, veega hooldamine või hooldusainete kasutamine. [1]

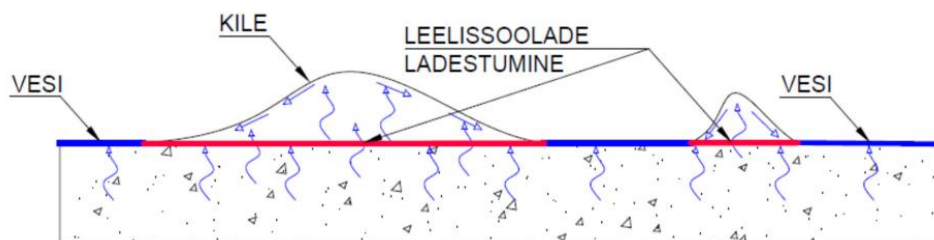
Liigset aurustumist betoonipinnalt takistab plaadi niiskena hoidmine vee pihustamise või niiske materjaliga katmise abil. Geotekstiil, kotiriie või puuvillasest materjalist kattematt tagab ühtlase niiskuse kogu järelhooldataval alal [1]. Tõhus hooldamisviis on läbipärisva plastikuga kaetud kotiriide niisutamine perforatsiooniga voolikutega [17]. Lisavee imendumine betoonpinda pikendab põranda kuivamisega, mis pole üldjuhul soovitatav kui põrandat hiljem pinnatakse või kaetakse põrandakattega. Plastsete kahanemispragude ärahoidmiseks ei sobi veega järelhooldus, sest kastmist saab alustada alles siis, kui pihustatud vesi ei uhu enam pinnalt tsementi ja peenmaterjali, vastasel juhul saab betoonipind kahjustada. Samuti ei sobi veega järelhooldus talvetingimustes betoneerimisel. Jahedal veel on betoonpinda jahutav ja temperatuurierinevusi suurendav mõju, mis võib põhjustada pinna pragunemist. Kuna pind peab olema pidevalt niiske, siis betoonpinna kastmisega niiskena hoidmine on töömahukas järelhooldusmeetod. Kui pind jõuab niisutamise vahel ära kuivada, kahjustab see betooni pinnatugevust. Minimaalne järelhoolduse kestus on 7 ööpäeva ning vastavalt ilmastikuoludele- päikse intensiivsusele, tugevale tuulele- peab betoonpinda niisutama 3- 6 korda 24 h jooksul. [1] Ideaalsed ilmastikuolud betooni kivistumiseks on niiske, kergelt vihmane või udune ilm [17].

Järelhoolduse ajal kasutatud vee pihustamine või märg järelhooldus ei aeglusta betooni hilisemat kuivamist. Samas nädal peale valu betoonplaadile sattuv vesi aeglustab kuivamist. Et betoonplaat saavutaks piisava niiksussisalduse pinnakatte või pindamisaine paigaldamiseks, tuleb jälgida, et vihmavesi või ehitusplatsi tabevesi ei imbuks kuivamisetapil betoonplaadile. Betooni märjaks saamise riski vähendamiseks võib kasutada eribetoone, millel on madalam vesi- tsementtegur, poorsus 8- 10 % või võimalikult suure terasuurusega täitematerjali. Betooni vesi- tsementteguri vähendamine tihendab betooni ja tänu sellele vähendab vee imendumist betoonpõranda konstruktsiooni, kuid madalam vesi- tsementtegur võib põhjustada plastseid pragusid. Lisaks soodustavad plaadi kuivamist ruumi suhtelise õhuniiskuse alandamine alla 50 % ja ruumi õhutemperatuur üle 20 kraadi, konstruktsiooni temperatuuri tõstmine betooni soojendamise, põrandapinna lihvimine ja puhtana hoidmine. Kuivatamist võib alustada siis, kui betoon on saavutanud piisava tugevuse, soovitatavalt vähemalt 60 % 28- ööpäevase tugevusest. [1]

Betoonplaadi katmine kilega aitab takistada vee aurustumist betoonplaadilt. Pinda pole vaja lisaks kilele veega järelhooldada, sest betoonist eralduv niiskus jääb kile ja betoonipinna vahele. Kile eelis teiste hooldusvõtete ees on pinna kaitse sademete eest ja pinna ühtlane kate, tänu millele on betoonplaadis ka vähem mahukahanemispragusid [18]. Kile kasutades on oluline vältida tuule sattumist kile alla, et tuul pinda ei kuivataks. Selleks tuleb kilepaanid asetada piisavalt suure ülekattega, teipides vuugid tihedalt ja

paigaldada kilele paigalhooldmiseks raskused. Kui betoonpind kuivab ehituskile olemasolule vaatamata, tuleb seda uuesti kasta ja kilega katta. Ehituskile paigaldamine tihedalt värsele betoonpinnale kahjustab tihti katmise käigus betoonpinda. Järgmisel päeval toimuv pinna veega kastmine ja kile paigaldamine sobib vaid väga soodsates tingimustes ning on üldjuhul liialt hiline järelhooldusmeetod vähendamaks varasest kuivamisest ja kahanemisest tulenevaid riske, eriti suure kulumiskoormusega põrandatel. [1]

Kilega järelhooldus võib betoonpinnale jätta ebaühtlase väljanägemise. Kilega järelhooldades võib betoonpind olla peale osalist kivinemisaega ebaühtlast värvitooni, suurte toonierinevustega või võib näha olla konkreetseid ja terava üleminekuga laiike. Tsemendi hüdratiseerumise tulemusel eralduva soojuse või päikese peale paistmisest põhjustatud vee aurustumisest tekkinud niiskus kondenseerub kile all ning veeks muutudes hakkab voolama mööda kile kortse ja volte. Vesi voolab kohtadesse, kus kile on vastu betoonpinda. Nendes kohtades ei toimu betooni pinnalt aurustumist ja seetõttu ei toimu nendel aladel ka leelissoolade ladestumist. Kile ja plaadi vahel olevates tühimikes esineb intensiivne ja pidev aurustumine. Niiskuse aurustumise mõjul liiguvad leelissoolad tühimikesse ning tekitavad nendel aladel betoonpinnal visuaalselt nähtavaid toonierinevusi (joonis 1.5). Probleem on tõsisem suurema kaltsiumkloriidi sisaldusega betoonides, paksemate kattekilede puhul, paksemates betoonplaatides ja kõrgemate temperatuuride juures, sest vee aurustumine on intensiivsem. [18] Laigulise pinna teket saab ennetada, kui kasutada kilega hoolduse asemel vaha ja akrüülivaba järelhooldusainet, mille eesmärk on hiljem ka betooni kaitsta [19].



Joonis 5.5 Betotrade juhendist „Betonpinna järelhooldusest tekkinud laigulisus“ leelissoolade ladestumise skeem [18]

Kui järelhoolduseks pole saadaval piisavas koguses vett või muul põhjusel pole veega järelhooldust võimalik teha, siis on variandiks järelhooldusainete kasutamine. Suurtel pindadel, näiteks betoonteedel on kile kasutamine kulukas ning niiskuse säilitamine ainult veega hooldades võib osutuda võimatuks. Kui pinnad on lisaks tugeva päikse ja tuule käes on järelhooldusaine kasutamine kõige lihtsam viis. Samuti ei võimalda töötlusnõuded tihti kilega katmist valu ajal või kohe peale valu, kuid siis ei ole võimalik plastsete pragude teket vältida. Sel juhul tuleb järelhoolduseks kasutada eeljärelhooldusainet, mida kantakse rasketes tingimustes betoonpinnale tihendamise ja

tasandamise ajal. Tavalise järelhooldusega jätkatakse peale pinna hõõrumist. Järelhooldusained sobivad hästi betoonist teede, parklate, sillatekkide jms hooldamiseks. Paremateks järelhooldusaineteks peetakse neid, mille võib pinnalt ära harjata ning mis haihtuvad betoonpinnalt 4- 6 nädalaga. Pindasid, mida ei plaanita järeltöödelda võib järelhooldada ka mittehahituvate ainetega. [20]

## 1.3 Järelhooldusainete olemus

Järelhooldusainete omadusi kirjeldab hästi nendes sisalduv baasaine. Hooldusainete koostise tundmine annab ülevaate aine toimimisest, mis lihtsustab hooldusvõõbate seast sobiva valiku tegemist ning kasutamist ja paigaldamist. Näiteks veebaasil hooldusained on külmakartlikumad. Samuti aitab järelhooldusainete tundmine ohutumalt aineid kasutada ja lihtsustab ohutusnõuete järgimist.

Vastavalt betoonplaadi soovitud lõpptulemusele mängivad rolli järelhoolduse alustamise aeg, hoolduse pikkus ja hooldusmeetodid. Kõige olulisem on betoonpinna puhtus nii enne järelhooldusvahenditega katmist kui hiljem enne pinnakattematerjalide paigaldamist või töötlust. Et järelhooldusest oleks maksimaalselt kasu, siis on vaja teada õigeid paigaldusvõtteid vajaliku tulemuse saavutamiseks.

### 1.3.1 Järelhooldusainete koostis

Järelhooldusainete ülesanne, kaitsta pinda liigse aurustumise ja teiste mõjutavate keskkonnategurite eest, on kõigil sama, kuid koostisi ja erinevatel baasainel põhinevaid tooteid on mitmesuguseid. Baasaine põhjal on turul saadaval sünteetilise vaigu, akrüüli, parafini ja vaha, kummi ja klooriühendite ning liitiumsilikaadi põhiseid järelhooldusaineid. Baasaine on lahustatud lahustis või segatud veega (näiteks rasvained vaik ja vaha), mis tekitavad ühtlase emulsiooni. Veeosakesed või lahusti aurustuvad ja jätavad pinnale kaitsva hooldusaine kihi [11]. Silikooni põhjal hooldusained imenduvad betoonpinda, reageerides betoonisegus sisalduva kaltsiumhüdroksiidiga [21].

Liitiumsilikaadi baasil (*lithium silicate curing agent*) hooldusainete puhul peab järelhooldusaine toimimiseks tungima silikaat betooni pinnalt umbes 5 mm sügavusele betoonikihti. Pärast betooni immutamist tekib silikaadi ja kaltsiumhüdroksiidi vahel keemiline reaktsioon. Kaltsiumhüdroksiid on betoonipulbri veega kokku saamisel tekkiv kõrvalsaadus. Reaktsiooni tulemusel tekib kaltsiumsilikaat, mis täidab betooni pinna poorid ning katab ja muudab betoonpinna tihedaks ja vetthülgavaks [21]. Selle juures jääb betoonpind auru läbilaskvaks [22]. Järelhooldusaine kuivamisega on optimaalselt 6 tundi ega vaja teist kihti. Mida suurem silikaadi kontsentratsioon, seda vähem hooldusainet kulub ning hiljem peab vähem hooldusainet plaadilt eemaldama. Silikaati sisaldavad hooldusained võivad peale kuivamist jätta tolmu pinna. [21]

Sünteetilise vaigu põhised (polümeervaik) ained katavad betooni moodustades pinnale katva membraani [15]. Need võivad olla nii läbipaistvad, valge kui ka muu värvusega. Tähelepanu tuleb pöörata tuleohtlikkusele. Krohvimiseks jms pinnakatete paigaldamiseks saab membraani eemaldada kuumaga pestes. [12]

Akrüülipõhised hooldusained tekitavad samamoodi betooni pinnale membraani, kuid erinevalt sünteetilise vaigu põhistest on akrüülipõhistel ainetel omadus nakkuda peale kantava pinnakattega ning seetõttu pole vajadust akrüüliga kaetud pinda kuuma veega pesta. Hooldusained võivad olla nii lahusti kui veebaasil. Peale kandmise kulu on võrdlemisi väike. Akrüülipõhised hooldusained on UV kindlad ega muutu kollakaks. Järelhooldusaine kuivab kiirelt ja kulub kiiremini maha, mille tõttu tuleb ainet teatud aja möödudes uuesti peale kanda. Lisaks parandab hooldusaine laigulist betoonpinda. [12]

Parafini ja vaha sisaldavaid järelhooldusained võivad olla nii läbipaistvad kui ka valget värvi ning on tavaliselt lahustivabad. Hooldusaine värvus lihtsustab ainet ühtlaselt pinnale kanda ja tulemuseks on homogeenne tihe kate betoonpinnal. Vaha sisaldavad hooldusained võivad peale kuivamist jätta libeda pinna, mis tuleb enne edasiste tööde teostamist põhjalikult eemaldada. Seetõttu ei sobi aine enamasti siis, kui soovitakse betoonplaat katta värvi või muu naket vajava põrandakattematerjaliga. Samas on vaha sisaldavatel hooldusainetel sarnased omadused vaigühendiga, kaotades aja jooksul oma tõhususe. [12]

Kummi ja klooriühendeid (*chlorinated rubber compound*) sisaldav vaigupõhine hooldusaine moodustab peale kandmisel võrreldes teiste ainetega paksema kihi. Aines sisalduvad ühendid ei reageeri betoonis sisalduva tsemendiga [23]. Hooldusaine katab betooni tihedalt ja täidab ka betoonis olevad väikesed poorid. Tekkinud kile kulub ajaga betoonpinnalt maha. [12]

Veepõhiste ainete eelised on kasutaja suurema ohutuse tagamine ning tööriistade lihtsam puhastamine veega ning lahustit kasutamata on võimalik saada madala viskoossusega aineid. Veepõhiste ainete väljakutsed on värvistabiilsus, võime kuivada läbipaistva paksema kihina, tsemendiga ühilduvus ja pikaajaline kestvus. Aine värvistabiilsus on oluline näiteks pigmenteeritud pealiskihide või katteta betoonpinna jaoks. Madal viskoossus võimaldab suuremat tahkeaine sisaldust. [24]

### 1.3.2 Järelhooldusainete kvaliteedinõuded

Keskkonnatingimuste mõju arvestamine, tingimuste kontrolli all hoidmine betoonpinnal ja selle läheduses, olude järgi vastavalt õigete hooldusmeetodite valimine ja nende korrektne teostamine aitab tagada betoonpinna kvaliteedinõuete täitmist. Põrandate puhul on betoonvalu pealispind alati kontaktis keskkonnaga ning ka suurem osa kvaliteedinõudeid on kehtestatud betooni pealispinna kohta. Olulisemad kvaliteedinõuded funktsionaalsuse seisukohalt on tasasus, kulumiskindlus ja vähene pragunemine. [1] Keskkonnatingimustest nagu tuuline ja kuum ilm, sõltub betoonpinnalt aurustuva vee kogus, millest omakorda oleneb pragunemine ja teised betoonkonstruktsiooni tugevuse ja vastupidavuse näitajad. Seetõttu valutingimuste reguleerimise ja kontrolli all hoidmise abil paranevad valmis betoonpinna omadused ning konstruktsioon vastab suurema tõenäosusega ette antud kvaliteedinõuetele.

Hetkel pole üheseid kvaliteedinõudeid ega standardeid järelhooldusainete kohta Eestis ega Euroopas. Standardi EVS-EN 13670:2010 avaldamise ajaks polnud CEN lõpetanud hooldussegude omadusi iseloomustavate katsemeetodite koostamist, kuid soovitati järgida juhiseid dokumendi CEN/TS 14754-1 järgi [17]. Euroopas mittekehtiv USA standard ASTM C 309 esitab võimalikud testmeetodid hooldusainete koostise ja käitumise kontrollimiseks [25]. Peale nende standardite juhinduvad järelhooldusainete tootjad Saksa standardist TL NBM-StB 09 või Euroopa standardist BS 7542:1992. Viimane on Suurbritannia standard, milles on esitatud meetodid veepidavuse efektiivsuse leidmiseks orgaanilise lahusti baasil järelhooldus toodetes.

Standardis ASTM C 309 on nimetatud nõudeid hooldusvõõpade toimivuse kontrollimiseks, mis on esitatud tabelis 1.1 lisa 1. Tabelis on Ameerika Ühendriikide standardi võrdlus Eesti või selle puudumisel Euroopa standardiga, kus kajastatakse soovituslike kvaliteedikriteeriume, mille põhjal on võimalik hooldusaineid testida ja tulemusi võrrelda. Kuna hetkel puudub ühtne ja konkreetne standard Euroopas müüdavate hooldusainete nõuete kohta, siis on võimalik tabeli 1.1. abil koostada standard, millele peavad järelhooldustooted vastama ning millele saaksid tulevikus kasutajad tugineda. Kõik tabelis nimetatud omadused pole hooldusaine toimivuse jaoks olulised ega esmatähtsad. Standardi koostamise käigus võib omaduste olulisust hinnata eraldi vastavalt hooldusaine vajalikule toimivusele ning ebaolulised kriteeriumid välja jätta.



Vedelal kujul järelhooldusainete puhul ei tohi veekadu 72 tunni jooksul olla suurem kui 0,55 kg/m<sup>2</sup> ning 4 tunni jooksul peab kaetud pind olema kuiv. Valge pigmendiga hooldusained peavad vähemalt 60 % ulatuses päevavalgust peegeldama. [25] Töövuukidel, töödeldavatel pindadel või pindadel, mis peavad teiste materjalidega nakkuma, on hooldusainete kasutamine ainult siis lubatud, kui need enne täielikult eemaldatakse või nende kahjutus on tõestatud [17].

Standard jagab hooldusained kolme kategooriatesse: läbipaistev ilma värvaineta, läbipaistev koos värvainega ja valge pigmendiga hooldusained. Läbipaistev koos värvainega järelhooldusaine peab olema silmaga nähtav vähemalt 4 tundi jooksul alates peale kandmisest ning välitingimustes (päikse käes) muutuma läbipaistvaks 7 päeva jooksul. Värvainega järelhooldusained ei tohi vähemalt 6 kuu jooksul seistes paakuda ega tekkida liigset setet ning segamise või loksutamise järel peab tekkima ühtlane konsistents. Valge pigmendiga hooldusainete maksimaalne säilivusaeg on standardi ASTM C309 järgi 6 kuud, sest pikalt seistes eraldub valge pigment hooldusaine lahusest ning aine ei muutu segades homogeenseks. [25]

Värvi muutus oleneb suurel määral peale kantavast kogusest ja välitingimustest. Suurem osa järelhooldusained on läbipaistvad või valget värvi. Hooldusvõõba valge värvus aitab soojust peegeldada ning tänu sellele väheneb pinnatemperatuur ja liigne aurustumine. Järelhoolduse võib pidada lõppenuks kui ained, mis peale kandes on valged, haihtuvad või värvuvad läbipaistvaks. [12] Läbipaistvad ja lenduva värvainega hooldusainetel pole tavaliselt ohtu muutuda kollakaks, kuid vaigupõhised läbipaistvad ja lenduva värvainega hooldusained võivad värvuda kollaseks. [23]

Vedela membraani moodustavad ühendid kleepuvad tardunud betoonpinna külge, et vältida määrdumist peale kandmise ajal, kuid hooldusaine ei tohi betooniga reageerida. [25] Immutuse sügavuse leidmiseks võetakse betoonkonstruktsioonist puusüdamiku proov, see lõhestatakse pooleks ja pealmine pind kaetakse uuritava ainega. Vett imav osa värvub tumehalliks ja vett mitteimav pind jääb helehalliks. [26] Kuivamisaja test näitab, kaua kulub hooldusainel aega kuivada membraaniks, mis ei tule pinna küljest lahti. Hooldusaine kuivamisaja teadmine võimaldab kasutajal sellega arvestada ja läbi viia muid toiminguid betooniga, näiteks hiljem vuukide lõikamist. [25]

Kui järelhooldusaine membraan on kahjustunud ega pole pidev, siis hooldusaine ei toimi. Betooni minimaalne vesi-tsementtegur, mille puhul on mõistlik järelhooldusaineid kasutada on 0,38 [11]. Hooldusaine membraan ei tohi 48 tunni jooksul laguneda ega tekitada väikseid mulle, mis katki minnes kattemembraani poore jätavad. Järelhooldusaine paigalduse temperatuur ASTM C1315-19 standardi järgi peab olema üle 4 kraadi. [23]

Järelhooldusainete omaduste uurimiseks on soovitatav läbi viia katseid. Olulised järelhooldusaine omadused on veepidavus, peegelduvus, kuivamisaeg, pikaajaline toimivus ja lenduvate ainete sisaldus [11]. Veepidavust saab analüüsida kasutades tootja poolt määratud järelhooldusaine kogust või kui seda pole antud, siis kattes betoonpind hooldusainega 5,0 m<sup>2</sup>/l. Tuleb valmistada katsekehad etteantud parameetrite järgi ning kui vormis on katsekehadelt vaba vesi kadunud, tuleb proovikehad katta järelhooldusainega. Proovikeha kaalutakse enne ja peale järelhooldusaine kandmist ning peale 72 tundi leitakse massikadu pindalaühiku kohta. [25]

Järelhooldusainete tuletundlikkus sõltub nende keemilisest koostisest. Näiteks lahustipõhised hooldusained võivad sisaldada lenduvaid orgaanilisi ühendeid, mis võivad olla süttivad. Hooldusainet peale kandes võib keskkonda eralduda süttivad aurusid, mistõttu on oluline tagada ruumi ventileeritavus. Kui hooldusaine massis sisaldub kuni 1 % homogeenselt jaotunud orgaanilisi materjale, siis võib tuletundlikkuse klassiks ilma testi läbi viimata määrata A1. 1 %- st rohkem homogeenselt jaotunud orgaanilisi materjale sisaldavad aineid tuleb klassifitseerida EN 13501-1 standardi kohaselt. [27]



tsementi. Et betoon kestaks võimalikult kaua, tuleb kasutada tihedat madala vesitsementteguriga betooni, välistingimustes olevates konstruktsioonides täiendavate pooridega. Need aga vähendavad vee eraldumist betooni pinnale. Puisteaine ja betoonaluse soovitud nakke asemel võib puisteaine tulla kõvenedes lahti mõnemillimeetriste kihtidena. [1]

Pinnatavate või katematerjalidega viimistletavad betoonpõrandad on lähtuvalt keskkonnatingimustest soovitatav hooldada varase järelhoolduse jaoks mõeldud pihustatava hooldusainega. Näiteks kulutuskooormusega põrandatel on soovituslik varane järelhooldus. Kui varast järelhooldust ei kasutata, siis tehakse järelhooldus polümeervaigu baasil valmistatud või analoogse järelhooldusainega viimase masinhõõrde ajal. Täiendavalt soovitatakse kasta betoonpinda järgmisel hommikul veega ja katta seejärel ehituskile või presendiga järelhoolduse ajaks. Ehituskilega kaetud niisutatud filterkangas on praktikas tunnistatud heaks järelhoolduse meetodiks. Kui betoonpinna võimalik plastne pragunemine on lubatav ning ei sega katematerjali paigaldust, võib järelhooldust alustada valule järgneval hommikul betoonpinda kastes ja seejärel ehituskilega kattes. Kui tingimused ja pinnaviimistlus võimaldab, võib tegeliku järelhoolduse teha ilma järelhooldusaineteta, kastes ja kaitstes pinda 2-3 tundi pärast pinna viimistlemist. [1]

#### **1.3.4 Järelhooldusainete paigaldamine ja ohutusabinõud**

Hooldusaine kasutaja jaoks on oluline jälgida tootjapoolseid juhiseid ja nõuandeid aine kasutamise, hoiustamise, ohutuse ja utiliseerimise kohta. Oluline on teada aine leekpunkti ja süttivuse ohtlikkust eriti lahusti baasil hooldusainetel. Kuna järelhooldusained on suuremal või vähesemal määral keemilised ained, siis on vajalik tagada hooldusainete õige ümber käimine vältimaks pinnase saastamist.

Hooldusained võivad põhjustada allergilist reaktsiooni, mistõttu tuleb vältida aine sissehingamist või sattumist silma, suhu, nahale või toiduainetele. Nahale sattumisel pesta naha pinda jooksva vee all. Silma sattumise korral loputada vähemalt 15 minutit ettevaatlikult veega ning võtta kiiresti ühendust mürgistusteabekeskuse või arstiga. Allaneelamise või sissehingamise korral tuleb minna värske õhu kätte, juua rohkesti vett ja pöörduda koheselt arsti poole. Arsti poole pöördudes on vajalik kaasa võtta tootejuhend või etikett. Järelhooldusaine kasutamisel tuleb kanda kaitsekindaid, kaitseprille ja kaitsemaski, millel on CE märgis. [29]

Peale kandmise kulunorm on hooldustoodetel vahemikus 3- 20 m<sup>2</sup>/l. Kui peale kandmise kogust pole märgitud, siis ASTM C1315 standardi kohaselt võib läbipasitvaid hooldustooteid kanda kulunormiga 7,4 m<sup>2</sup>/l ja valge pigmendiga aineid 5,0 m<sup>2</sup>/l [23]. Samas oleneb peale kantav kogus pinna konarlusest, peale kandmise vahendist ja ilmastikuoludest, näiteks tuulest.

Väga kuuma ja/või tuulise ilma korral aitab vee liigset aurustumist vähendada varane järelhooldus või vahehooldus. Varast järelhooldusainet pritsitakse betoonpinnale lattimise ajal, pidevalt valu edenes ja kohe peale silumist. Õigesti tehtud varane järelhooldus võimaldab õigeaegset hõõret ja paremat kulumiskindlust. Vahehoolduseks pritsitakse peale betooni paigaldust ja lattimist, kuid enne lõppviimistlust betoonpinnale järelhooldusainet. Sellega välditakse väga raskesti viimistletava kuiva kooriku tekkimist pealispinnale. [16] Tavalise järelhoolduse puhul pihustatakse hooldusainet peale betoonpinna masinhõõret või viimase masinhõõrde ajal. Järelhooldusaine efektiivsust võib vajadusel suurendada, pihustades või rullides järgmisel hommikul betoonpinnale teise kihi järelhooldusainet. Piisavalt pikk ja õigesti teostatud järelhooldus tagab sobivad kivistumistingimused. Järelhoolduse võib lõpetada kui betoon on saavutanud 80 % projektugevusest. [1]

Peale järelhooldust tuleb pinnakatte paigaldamise vajaduse korral eemaldada hooldusaine betoonpinnalt, et parandada aluspinna naket pealekantava materjaliga. Seda võib teha survepesuriga, kuid veesurve ei tohi olla suurem kui 18 MPa, et vältida betooni eemaldamist pinnalt. Kõrgsurve veejoaga veejugapuhastus eemaldab betoonpinnalt kuni 2 mm sügavuselt. [17]

## 1.4 Varasemad uurimused

Filip Chyliński, Agnieszka Michalik ja Mateusz Kozicki Poola ülikoolist Instytut Techniki Budowlanej uurisid ja hindasid 2022. aastal Euroopas kasutatavate järelhooldustoodete efektiivsust. Katsed tehti 11 erineva järelhooldusainega. [30] Uurimuses teostati FTIR spektroskoopia tuvastamise test, millega tuvastatakse orgaanilisi ja polümeerseid materjale ning jälgitakse nende keemilisi omadusi. Pull-off meetodiga uuriti järelhooldusega kaetud katsekehade tõmbetugevust. SEM elektronmikroskoobi abil vaadeldi katsekehade mikrostruktuuri. Samuti analüüsiti katsetavate võõpade veepidavust ja kuiva massi sisaldust. [30]

Betoonist katsekehadele piserdati peale järelhooldusaine ning asetati kuivatuskappi 35 ± 2 °C õhuniiskuse 40 ± 3 % juures. Katsekehad kaaluti enne kuivatamist ning peale 6, 24 ja 72 tundi kapis seismist. Lisaks vaadeldi vett mitteimava aluse peal hooldusaine

kadu samades tingimustes, kus asusid katsekehad. Kõige enam vett oli eraldunud ilma järelhoolduseta katsekehalt. ASTM C 309 standardi nõuet (72 tunni jooksul ei tohi olla eraldunud rohkem vett kui  $0,55 \text{ kg/m}^2$ ) ei täitnud ükski hooldusaine. [30]

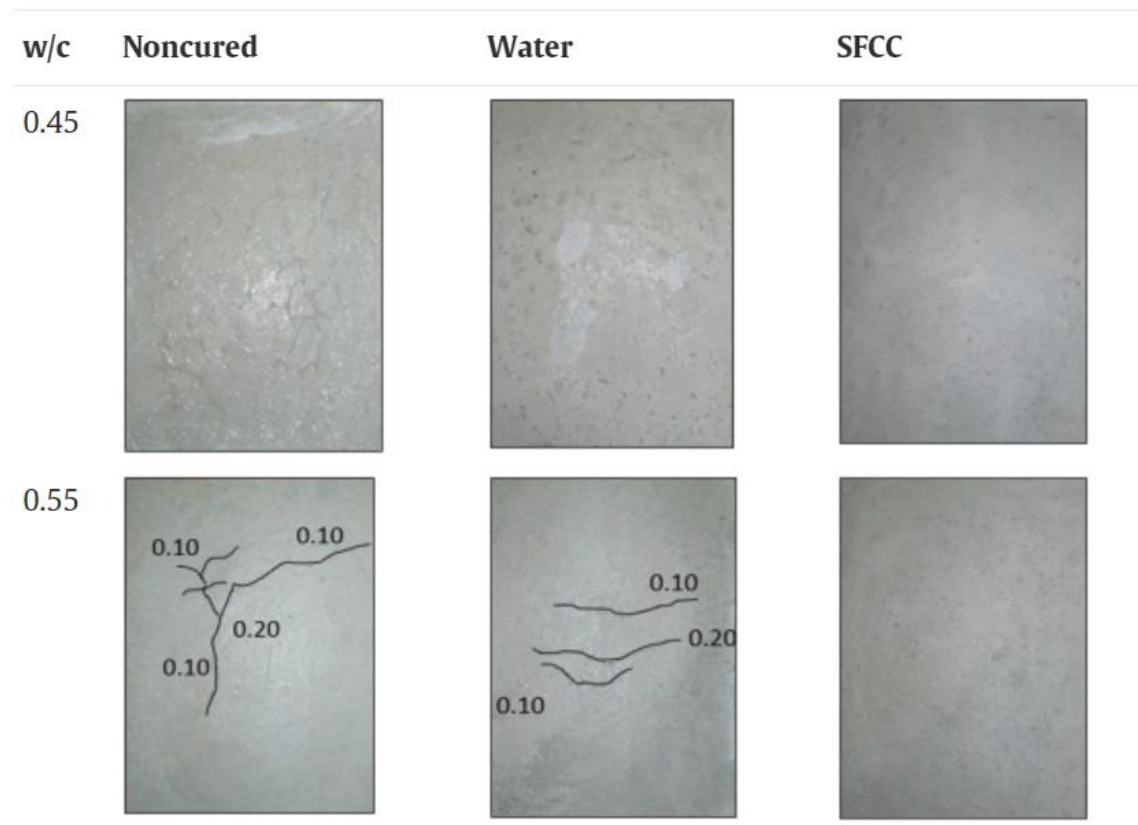
FTIR meetodi puhul asetati katseklaasile piserdatud järelhooldusained  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  juures 24 tunniks kuivama. Ainete käitumise vaatlemisest selgus, et võõbad saab jagada sõltuvalt toimeaine tüübist kahte põhilisse kategooriasse- parafiini baasil hooldusained ja modifitseeritud sünteetilised akrüülvaigud. [30]

Kuna betooni kivilinimisprotsess võib mõjutada betoonipinna lähedal tõmbetugevust, siis analüüsiti peale 28 päeva pull-off meetodiga järelhooldusainetega kaetud ja ilma katsekehi. Parima tulemuse saavutas sama hooldusaine, millel oli veepidavuse katses parim tulemus. Sellest järeldub, et mida hoolikamalt on tehtud järelhooldus ning mida paremini järelhooldusaine suudab vee üleliigset aurustumist vähendada, seda suurem on betooni tõmbetugevus. [30]

SEM katsest selgus, et parafiini sisaldavad hooldusained on efektiivsemad kile tekitamises betoonpinnale kui modifitseeritud sünteetilise vaigu baasil ained, millega hooldatud katsekehade struktuuri puhul võis täheldada õhutühimikke ja pragusid. Sellest hoolimata oli polümeere sisaldavate hooldusainetega katsekehade puhul tsemendi mikrostruktuur kompaktsem ja tihedam ning tänu sellele takistavad betooni kuivamist palju efektiivsemalt kui hooldusaineta katsekehad. [30]

Tokyo tudengite uurimusest selgus, et vett kinnihoidev efekt kestis kuni 8 tundi, mis oli piisav, et taktistada plastsete pragude teket. Katsekehadele, mis olid hooldatud veega või jäetud hooldamata tekkisid plastsed praod (joonis 1.5). Lisaks uuriti kivinevat tsemendipastat, millele kanti järelhooldusainet, vett ning osad katsekehad jäeti ilma hoolduseta. Kõigi katsekehade esialgsed ja lõplikud tardumisajad olid sarnased, mis näitab, et järelhooldusaine kasutamine ei takista betooni kõvenemist. [31]

(width unit: mm)



Joonis 6.5 Plastsete pragude teke hooldamata, veega ja hooldusainega betoonpindade puhul [31]

Brewsteri nurkmikroskoobi abil vaadeldi hooldusainet veekihi peal. Veele moodustusid kahte tüüpi ained: kile ja kristallilaadsed aglomeraadid, millest kile vähendas efektiivsemalt vee aurustumist. Lahjendatud hooldusaine moodustas veepinnal kile ja aglomeraate, suure kontsentratsiooniga hooldusaine moodustas põhiliselt aglomeraate.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sisaldav hooldusaine sõltumata kontsentratsiooni suurusest ei moodustanud kilet. [31] Uurimusest saab järeldada, et suurema kontsentratsiooniga hooldusaine ei vähenda vee aurustumist sama efektiivselt kui lahjendatud hooldusaine kasutamine.

Tudengid Israeli ülikoolist leidsid, et akrüülühendeid sisaldavatel hooldusainetel on halvemad vastupidavusomadused (suurem õhu läbilaskvus, kapillaarneeldumine ja karboniseerumine) ega taga piisavat kaitset veekao eest. Hooldamata ja järelhooldusainetega hooldatud katsekehade veekadu oli varajases faasis suur ning samuti esinesid katsekehade pinnal suurema diameetriga poorid. Kõige paremad tulemused olid 28 päeva veega järelhooldamisel. Samuti soovitati olemasolevate konstruktsioonide järelhoolduse kvaliteedi hindamisel kasutada MIP testi. *Mercury Intrusion Porosimetry* test on mõeldud hindamaks avatud poorsust ja pooride suuruse jaotust vahemikus 0,003 kuni 350  $\mu\text{m}$ . [32]

Indias vaadeldi betoonkatsekehade survetugevuse arengut 28 päeva jooksul. Katsekehad kaeti parafiini või vaigu baasil hooldusainetega või veega, millest osa katsekehi hoiti päikese käes ja osa varjus. 7 päeva jooksul oli veega hooldades ja vaigu baasil ainega kaetud betooni survetugevuse areng sarnane, vaha baasil hooldusaine ei suutnud betooni tugevust võrreldes teiste meetoditega säilitada. 28 päeva vanuselt oli veega hooldatud katsekehal kõige kõrgem survetugevus. Järelhooldusainetega varjus hoitud katsekehadel oli samuti kõrge survetugevus. Kõige väiksem survetugevus oli päikse käes hoitud järelhooldusainega kaetud proovikehal. [11]



## **2. BETOONI JÄRELHOOLDUSVÕÕBAD EESTI TURUL**

Eesti turul on saadaval järgmiste tootjate ja maaletoojate järelhooldustooted: Fescon, Betotrade (Betotex, Korotex, Granitex), Lindolit (Lindolit W, Lindolit S), Semtu (Curing 101 SF, MasterKure 220 WB, Pieri Curing TP 2002, Sem Curing Binder), Don Construction Products (Setcrete 6), Topfloor (AC 1000), Armotop (Armo seal, Armocure) ja Mapei (Mapecure – 1, Mapecure WG, Mapecure AF). Vaadeldi viite parafiini, üheksat polümeervaigu, ühte silikaadi ja kahte akrüülemulsiooni põhise järelhooldusvahendit. (lisa 2, tabel 2.1)

Hooldusainete puhul on mitmeid omadusi, mis on olulised nende toimivuse ja tõhususe jaoks. Järelhooldusained aitavad betoonpinnal tugevneda kile tekitamise või immutamise meetodil. Betoonis on oluline säilitada niiskust varases kivistumisetapis. Hooldusained erinevad hooldusaja poolest: osad järelhooldusained püsivad kauem betoonpinnal, teised kuluvad kiiremini maha või kaotavad oma tõhususe. Lisaks tuleb jälgida soovituslikku hooldusaine peale kandmise viisi ja kogust.

### **2.1 Kasutusjuhend**

Hooldusained on mõeldud liigse väljakuivamise takistamiseks värskelt valatud betoonpindadelt. Järelhooldusainete kasutamine aitab ennetada pragude teket ja betooni pindmist kahjustumist ning tekitab betooni pinnale ühtlase niiskust hoidva membraani ehk kilekihi. Enne kasutamist tuleb toodet hoolikalt segada ja pind ette valmistada: puhastada enne järelhoolduskihi peale kandmist ja eemaldada betoonpinnalt üleliigne vesi. Toode on soovitatav põlve kõrguselt (pihusti ots töödeldavast betoonpinnast 20- 30 cm kaugusel) õhuvaba aia- või tööstuspritsiga ühtlaselt pinnale kanda. Rulliga aitab ühlust saavutada ristisuunaline peale kandmine. Materjali tuleb paigaldada seni, kuni pind on materjalist küllastunud, kuid samas saavutab parima tulemuse ühtlane, võimalikult õhuke kiht. Pihustamise ajal tuleb arvestada tuulega eemale liikuvat järelhooldusaine hulka. Samuti tuleb hoolikalt vältida liigset sattumist ühte kohta ning loikude teket, mis võib tekitada pinna laigulisust. Oluline on kaitsta hooldatud pinda võimalike vigastuste, saastuse ja liikluse eest. Tavaliselt võib kaetud betoonil kõndida 8- 12 tundi peale betoonivalu. Töövahendid puhastatakse kohe peale kasutamist veega. Tööriistadel ära kuivanud hooldusaine puhastatakse lahustiga. Järelhooldusained on veekeskkonda kahjustavad ja tuleohtlikud. Kindlasti ei tohi aineid valada kanalisatsiooni või maha ning tuleb vältida aine läheduses lahtise tule või suitsu tegemist. Lisaks tuleb silmas pidada, et ained on külmatundlikud

ning neid tuleb säilitada plusskraadide juures. [33] [28] [29] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40] [41] Erandiks on Mapecure AF, mida võib kasutada kuni -15 °C juures [40].

Hooldusaine eelised tulevad eelkõige välja välitingimuses asuvate valude juures, mis on otsese päikese ja tuule käes. Betooni on oluline kohehelt järelhooldada, kui betoneerimine toimub kõrgete temperatuuridega või madala õhuniiskuse käes. Samuti on vajalik betooni kaitsta pideva tuuletõmbuse eest. Kui betoonivalu ja järelhoolduse kandmise ajal on vihmajärgi tõenäosus, siis järelhooldusainete omadused ei pruugi olla sama head kui kuiva ilma korral. Samuti ei toimi suurem osa hooldusaineid üle 30 °C temperatuuri juures. [12]

Lisa 3 tabel 2.2 annab ülevaate hooldusainete toimivusest ning järelhooldusainete sobivusest erinevate kasutusviiside korral. Tabel aitab orienteeruda sobiva hooldusaine valikul. Konstruksiooniga sobivus ja kuivamiskiiruse andmed on saadud toote juhenditest. Kuivamiskiiruse otsustamisel arvestati standardi ASTM C 309 nõuet, et maksimaalne kuivamisaeg võib olla 4 h. Kauem kui 4 h kuivavad tooted märgiti aeglaselt kuivavaks.

Nakkuvuse hindamine põhineb sellel, kas hooldusaine peale kandmine mõjutab hilisemat naket kattermaterjalidega või mitte. Osade järelhooldusainete puhul on kindlaks tehtud, mis koostisega kattermaterjalid nakkuvad hooldusainega ja millised mitte. Need hooldusained on tabelis märgitud eraldi reana. Näiteks MasterKure 220 WB ei mõjuta värvitava betoonpinna naket, kuid epoksü-pinnatöötlemise korral tuleb järelhooldusaine kiht eemaldada. Samuti ei nakku osad tooted orgaanilisel baasil kattega (nt akrüülvaik, sünteetilise vaigu dispersioon).

Hooldusaine eemaldatavus oleneb sellest, millega ja kuidas aine betoonpinnalt maha tuleb. Osad kile moodustavad hooldusained tulevad maha vaid haavelpuhastuse, liivapritsi või aurupesuriga ning kuuma puhastusainelahusega [42]. Teisi aineid on võimalik eemaldada kuumtöötlemise või lihvimise teel [43]. Kui pinna nakkuvus pole hiljem oluline, siis võib kasutada hooldusaineid, mis kuluvad ja haihtuvad pinnalt mehhaanilisel teel, betoonpinnal liikumise tagajärjel.

Paigaldatavusel on lähtunud hooldusainete viskoossusest. Mida kõrgem on viskoossus, seda keerulisem on ainet pritsides paigaldada. Sel juhul on soovitatav aine pinnale rullida, mis on suuremate pindade puhul aga aeganõudvam ning muudab paigalduse seetõttu keerukamaks. Analüüsitud hooldusainete viskoossus varieerub 10 cps-st 500 cps-ni. Seetõttu liigitatakse alates 255 cps viskoossusega hooldusained kõrgema väärtusega hooldusainete hulka.

### **2.1.1 Semtu järelhooldusainete kasutamine**

Semtu hooldusained pihustatakse betooni pinnale vahetult peale vormide eemaldamist või pinnaviimistlust [42] [43] [44]. Sem Curing Binder soovitatakse pinnale kanda kohe pärast viimistluse lõppu või peale saalungite või vormi eemaldamist [45]. Pieri Curing TP 2002 puhul piisab ühekordsest peale kandmisest [44].

Liigne või ebaühtlane MasterKure 220 WB kiht võib põhjustada betooni värvimuutusi. Enne betoonpinna lõplikku viimistlust võib teha vahejärelhooldust kasutades veega lahjendatud toodet: 1 osa järelhooldust, 5 osa vee kohta. Vahehooldus tehakse vahetult peale betoonivalu, tasandamist või viimistlusaja pikendamisel. Vahehooldusega töödeldud pind tuleb lihvida pinna lõpliku viimistluse käigus. [43]

Sem Curing Binder toode koosneb põhiainest ja kõvendist. Komponentid segatakse suhtes 1 : 1, kuni tekib ühtlane valge mass. Segamise ajal tuleb lisada vähehaaval 18 osa puhast vett. Segu tuleb ära kasutada 2 tunni jooksul. Hiljem saab töövahenditelt aine eemaldada kuivanud tükkidena. Eemaldamisel kasutada pehmeid puhastusainelahuseid, lahjendatud äädika- või ammoniaagilahuseid. [45] Soovitatav pihusti suurus hooldusaineid peale kandes on X10 või X18 [44].

### **2.1.2 Fescon, DCP, Topfloor ja Armotop järelhooldusainete kasutamine**

DCP toode Setcrete 6 suurendab betoonpõranda vastupidavust mustuse, vee, õlide ja kemikaalide ees. Koos pinnakõvendiga võimaldab hooldusaine rajada kõrgekvaliteedilisi tolmuvabu ja kulumiskindlaid tööstusbetoonpõrandaid. Järelhooldusaine tuleb peale kanda kohe peale viimistluslihvimise lõppemist, kuid kindlasti mitte hiljem kui 12 h lihvimise lõppemisest. Tähtis on, et betoonpind püsib niiskena. Kuuma ilma, kõrge õhutemperatuuri ja teiste äärmuslike valu- või kuivamistingimuste korral, võib aine harilikku kulunormi kuni 30 % suurendada. Kasutamisel tuleb ruumi piisavalt ventileerida või pidada pause. [36]

AC 1000 parandab peamiselt betoonpinna keemilist ja füüsikalist vastupanu. Lisaks on suurem vastupanu külmumisele, sulamisele ja sooladele. Betoonpind tuleb järelhooldusainega AC 1000 katta hiljemalt peale tsemendipiima ilmumist. Materjali kasutamise käigus muutub materjali värvus valgest siniseks ja seejärel veel tumedamaks, hakates mõne tunni möödudes tuhmuma. Selle abil on lihtne eristada hooldatud pindu hooldamata pindadest. Lahjendamine veega on lubatud kuni 1 : 4. [37]

ArmoSeal kantakse betoonpinnale piserdamise teel pärast viimast lihvimist. Järelhooldusainet võib kanda ka vanale, varem valatud betoonpinnale, mis parandab selle tolmu- ja veevastupidavust. Vana betoonpinna katmisel on oluline, et pind oleks kuiv ning vaba

tolmust, õlist jm jääkidest. Kuuma ilma, kõrge õhutemperatuuri ja äärmuslike kuivamistingimuste korral tuleb 2- 3 tunni möödudes peale esimest pritsimist kanda betoonpinnale teine järelhooldusaine kiht, et tagada piisav immutamine. Vana betoonpinna katmisel järelhooldusainega Armo seal tuleb teine kiht betoonpinnale kanda 5- 8 tunni möödumisel esimesest pritsimisest. [38]

### **2.1.3 Lindolit järelhooldusainete kasutamine**

Lindolit S on valmistatud spetsiaalsete akrüülkopolümeeride segus ning talub jala- ja sõidukiliiklusest tingitud hõõrdumist. Lindolit W ja Lindolit S tuleb peale kanda kohe peale viimast silumist või esimesel võimalusel. Aine soovitatakse peale pihustamist jaotada pinnale ühtlaselt pühkimismasinaga. Korrektselt peale kandmise tulemusena on betoonpind läikiv. Lindolit S võib suurema läike saavutamiseks peale kanda ka teise kihi kohe peale esimese kihi ära kuivamist. Lindolit W on võimalik kasutada valmis lahjendatud konstantaadinaga (kulunorm on 0,20 l/m<sup>2</sup>) või lahjendamata kujul. Sel juhul tuleb segada veega 1 : 1 (kulunorm on 0,10 l/m<sup>2</sup>). Töövahendid tuleb koheselt peale kasutust puhastada ainega aromatic 100 või ksüleeniga. [34] [35]

### **2.1.4 Betotrade järelhooldusainete kasutamine**

Korotexi ja Betotexi eelised on mittesüttivus ja mittekorrodeeruvus. Granitex on tolmu siduv, vastupidav suurele osale orgaanilistele hapetele, rasvadele ja naftasaadustele. Tungides betooni pealispinda, reageerivad Betotrade'i järelhooldusained betoonis sisalduva kaltsiumhüdroksiidiga ning moodustavad tiheda kristalse struktuuri, mis takistab vee kiiret aurustumist. [28] [29] [22]

Korotexi ja Betotexi on soovitatav paigaldada võimalikult vara, kohe peale betooni silumist. Ainet pihustatakse tavaliselt viimase töökäiguna betoonpõranda või tasanduskihi pealispinnale. Ainet võib kasutada ka vahejärelhoolduseks. See vähendab mahukahanemipragude tekke riski enne lõppviimistluse valmimist. Vahehoolduseks võib Betotexi lahjendada veega, vahekorras 1 : 2, Korotexi vahekorras 1 : 3. Granitexiga võib värskelt valatud betooni immutada peale betoonpinna lihvimist või viimistlemist. Aluspinna puhtuse tagamiseks võib kasutada masinpesu. Järelhooldusaine paigaldamisel tuleks vältida pihusteid, millega on varasemalt kantud silikooni või raketiseõli. Alternatiivina võib kasutada lambanahkset rulli, kuid sellega on aine kulu suurem. Oluline on jälgida, et rulliga kattes ei rikutaks betoonpinna viimistlust. Parim tulemus jääb, kui hooldada 14- 28 päeva peale betoonivalu. [28] [29] [22]

## 2.1.5 Mapei järelhooldusainete kasutamine

Rasketes kuivamisoludes tuleb Mapecure- 1 kanda kohe peale betooni paigaldamist. Teine kiht tuleb kanda betooni silumise ajal. Kilekiht laguneb paari nädala jooksul, kuid täielikult ise ära ei kulu. Tööstuslike pindade puhul kanda Mapecure WG peale viimistluse lõppu. [40] [41] [46]

## 2.2 Järelhooldusainete vastavus standardiga

Järelhooldusainete tooteinfos on tavaliselt liiga vähe infot toote omaduste kohta ja rohkem rõhutatakse järelhooldusainete üldist kasulikkust. Osade hooldusainete puhul pole ära märgitud, millise standardi järgi on katseid läbi viidud või millise standardiga tulemusi võrreldud. Kuna puudub ühtne standard, siis on hooldusainete tulemused lünklikult esitatud ning omaduste andmed nimetatud erineval kujul ja erinevates ühikutes. Mõne hooldusaine omaduste kirjeldamiseks on kasutatud mitme erineva standardi nõudeid.

Toote kirjelduses on oluline nimetada just kindla hooldusaine andmed ja vältida piirväärtuse kasutamist. Täpsemalt esitatud andmed annavad parema väärtuse puhul eelise teiste järelhooldusainete ees. Järgnevalt on vaadeldud, kas hooldusained vastavad USA standardis ASTM C 309 ja Eesti EVS-EN 1504 standardis kehtestatud nõuetele.

### 2.2.1 Semtu järelhooldusainete vastavus standardiga

Tabel 2.3 Semtu Pieri Curing TP 2002 vastavus standarditega NFT 30 ja NF P 18-371 [44]

omadused	Pieri Curing TP 2002
tahke aine sisaldus	0,45 ± 2,5
tuhasisaldus	< 1 %
viskoossus	1 min 20 s ± 20 s
veepidavus	96 % peale 6 tundi 92 % peale 24 tundi

Märkus: teiste Semtu toodete kohta standardis käsitletud omaduste toimivuse info puudus.

Kuna tootejuhises viidatud Prantsuse standard pole kättesaadav, siis analüüsitakse toote omadusi Eesti ja USA standardi nõuetega. Tahke aine sisaldus peab standardi ASTM C 309 kohaselt olema vähemalt 25 %, mis on Pieri Curing TP 2002 hooldusainega pea kahekordselt tagatud. Veepidavus on USA standardis määratud 72 h põhjal. Semtu hooldusainel on veepidavus esitatud 6 tunni (96 %) ja 24 tunni (92 %) vanuselt. Nende

andmete põhjal saab järeldada, et peale 72 tundi võib järelhooldusaine veepidavuseks eeldada ligikaudu 82 %. Standardiga veepidavust võrrelda ei saa, sest seal on veepidavus väljendatud läbi aine koguse (kg/m<sup>2</sup>). (tabel 2.3 ja tabel 1.1)

Järelhooldusaine viskoossus on 60– 100 s, mis on leitud ISO nr. 4 anumaga 23 °C temperatuuri juures. Elcometer ElcoCalc mobiilirakenduse teisenduse tulemusena on kinemaatiline viskoossus 79- 135 cSt, mis dünaamilise viskoossusena, arvestades aine tihedust, on 73- 130 cP. Hooldusaine viskoossuse näitaja on sarnane vedelamatele õlile. Eesti standardis EVS-EN 1504 on viskoossuse sisalduse maksimum lubatud väärtus 500 cP. Järelikult vastab hooldusaine viskoossus standardi nõuetele. (tabel 2.3 ja tabel 1.1)

Sem Curing Binder on lõplikult kuivanud peale 24 h. Lõpliku tugevuse saavutab betoonplaat peale 7 päeva. Seetõttu ei vasta Sem Curing Binder standardis esitatud nõudele, kus on nõutud, et 4 h jooksul peab hooldusainega kaetud pind olema katsudes kuiv. (tabel 1.1 ja tabel 1.2)

Semtu ainete säilivusaeg on tootja poolt määratud 12 kuud, kuid standard ASTM C 309 sisaldab nõuet, et valget või muud pigmenti sisaldavate ainete kasutamise aeg peaks olema maksimaalselt 6 kuud, et tagada hooldusaine koostise homogeensus. (tabel 1.1 ja tabel 1.2) Koostise säilivust tuleb kohapeal kontrollida segades või loksutades hooldusaine anumad, mille tulemusel ei tohi olla aine kihistunud ega sisalda tükkidena ainejääke.

### **2.2.2 Fescon, DCP, Topfloor ja Armotop vastavus standardiga**

Fescon, Armoseal, Armocure ja Setcrete 6 hooldusaine tooteinfos pole märgitud, millisel standardil on põhinetud toote omaduste kvalifitseerimiseks. AC 1000 hooldusaine omadused on vastavuses Saksa standardiga TL NBMStB:09 [37].

Tabel 2.4 Fesconi hooldusaine omadused [33]

<b>omadused</b>	<b>Fescon</b>
tahke aine sisaldus	8– 10 %
osakeste suurus	0,1 µm
viskoossus	10– 200 mPa·s
erikaal	1,02 kg/l
tuletundlikkus	leekpunkt > 60 °C

USA standardil ASTM C 309 põhinedes ei vasta Fesconi järelhooldusaine tahke aine sisaldus nõuetele. Standardi järgi peab hooldusaine koostises olema vähemalt 25 % tahkeid aineosakesi. Fesconi toote puhul on ainete sisaldus vaid 8- 10 %. Aine koostises paiknevate osakeste suurusele nõudeid pole määratud. Hooldusaine viskoossus on esitatud suure vahemikuna. Selle vahemiku keskmine viskoossuse väärtus vastab kõige

paremale kasutustingimusele. Järelhooldusaine süttivuse oht on väike ja tänu sellele pole aine tuleohtlik. Standardi ASTM C 309 järgi on ained, mille leekpunkt on 10 kraadi ja alla selle väga tuleohtlikud. (tabel 2.4 ja tabel 1.1)

Fesconi hooldusainega kaetud pind on kuivanud 1– 4 h jooksul, mis vastab standardi ASTM C 309 nõuetele, kus maksimaalne kuivamisaeg võib olla 4 h (tabel 1.1 ja tabel 1.2). Kuigi kuivamiskiirust mõjutavad ilmastikuolud, peale kandmise kogus ja muud tegurid, siis antud ajavahemik võiks olla rohkem piiritletud.

Valge värvusega Fesconi kuivamisaeg on 12- 15 kuud ning värvaineid sisaldavad Armocure ja AC 1000 kuivamisaeg 12 kuud, mis ei vasta standardis ASTM C 309 määratud värvi pigmenti sisaldavate ainete kasutamise ajale, milleks on maksimaalselt 6 kuud (tabel 1.1 ja tabel 1.2). Hooldusaine koostise homogeensuse tagamiseks on oluline toote säilivusaega jälgida. Koostise säilivust tuleb kohapeal kontrollida segades või loksutades hooldusaine anumad, mille tulemusel ei tohi olla aine kihistunud ega sisalda tükkidena ainejääke.

Tabel 2.5 Setcrete 6, Armo seal, Armocure, AC 1000 hooldusaine omadused [39] [36] [38]

<b>omadused</b>	<b>Armo seal</b>	<b>Armocure</b>	<b>AC 1000</b>	<b>Setcrete 6</b>
tuletundlikkus	leekpunkt 40 °C			leekpunkt 40 °C
kloriidisaldus		< 0,2 massiprotsendist	< 0,2 massiprotsendist	

Setcrete 6, Armo seal, Armocure ja AC 1000 hooldusainete omadusi ei olnud tooteinfos piisavalt nimetatud. Väheste antud omaduste põhjal võib eeldada, et ainete toimivus on sarnane. Ained on tuletundlikud, kuid standardi ASTM C 309 tuleohtlikku piirväärtust ei ületa. Armocure ja AC 1000 sisaldavad alla 0,2 ühiku hooldusaine massist kloriide. Kloriidisaldus tuleb betooni hooldamisel hoida võimalikult madal, sest kloriidide tungimine betooni konstruktsiooni põhjustab armatuuri korrodeerumise ja madalatel temperatuuridel võib tekitada paisumist ja kahanemist [47]. (tabel 2.5 ja tabel 1.1)

Hooldusainete Setcrete 6 ja Armo seal optimaalne kuivamisaeg on 4- 24 h, mis ideaalsete ilmastikutingimuste korral vastab standardi ASTM C 309 nõuetele, kus maksimaalse kuivamisaja piir on 4 h. (tabel 1.1 ja tabel 1.2) Kui esineb kuivamist takistavaid tegureid, siis hooldusained nõuetele ei vasta.

Fesconi eelis teiste hooldusainete ees on selle kõrge leekpunkt, mis on üle 60 °C. Armo seal ja Setcrete 6 süttivad 40 °C ning Lindolit S 43 °C juures. (tabel 2.4) (tabel 2.5) (tabel 2.6) Võrdluseks Betotrade-i tooted on märgitud A1 tasemega mittepõlevaks. (tabel 2.7).

### 2.2.3 Lindolit järelhooldusainete vastavus standardiga

Lindolit W toodet on testitud Euroopa standardi BS 7542:1992 kohaselt, kuid tulemusi polnud toote tutvustuses esitatud. Lindolit S tulemused vastavad USA standardi ASTM C1315 nõuetele. (tabel 2.6 ja tabel 1.1)

Lindolit S viskoossus on 300 cps, mille voolavus on sarnane õlide voolavusega. Kuigi väärtus vastab Eesti standardi EVS-EN 1504 nõuetele, siis on heaks töödeldavuseks ja aine pinnale pihustamiseks soovituslik viskoossuse väärtus lähedal 100 cps-le. Võimalik süttivustemperatuur (43 °C) ei ületa ohtlikku tuletekke piirväärtust. ASTM C1315 testi tulemusena on järelhooldusaine tahke aine sisaldus suurem kui 25 %, mis on täpselt lubatu piiril. UV kiirguse taluvus vastab B ja C klassi nõuetele, kus C klassi aineid kollasusele ei testita ja B klassi hooldusaine värv peab olema testmeetodi Gardner Color Standard No. 3 D1544 etteantud värvist heledam või sama värvi. Betooni veekadu on hooldusainet kasutades väiksem kui 0,35 kg/m<sup>2</sup>, mis jääb alla lubatud maksimumi 0,55 kg/m<sup>2</sup>. 72 h pärast peale kandmist on veepidavus on 75 % ning hooldusaine kadu 0,47 kg/m<sup>2</sup>. Happe- ja leelisekindlus vastab toote andmete põhjal nõuetele, kuid hooldusaine pH pole eraldi nimetatud. (tabel 2.6 ja tabel 1.1)

Lindolit S kuivamiskiirus jääb 1– 3 h vahele, mis vastab USA standardi ASTM C 309 nõuetele, milles maksimaalne kuivamise aeg on piiritletud nelja tunniga. Lõplik tugevus saavutatakse 7- 10 päeva jooksul. (tabel 1.1 ja tabel 1.2) Lindolit W valge värvusega hooldusaine säilivusaeg on tootja andmete põhjal 12 kuud. Standardis ASTM C 309 on määratud valget pigmenti sisaldavate ainete kasutamise ajaks maksimaalselt 6 kuud, et tagada hooldusaine koostise homogeensus. (tabel 1.1 ja tabel 1.2) Koostise säilivust tuleb kohapeal kontrollida segades või loksutades hooldusaine anumad, mille tulemusel ei tohi olla aine kihistunud ega sisalda tükkidena ainejääke.

Tabel 2.6 Lindolit S toote vastavus standardiga ASTM C1315 [35]

omadused	Lindolit S
tahke aine sisaldus	> 25 %
UV-kiirguse taluvus	Vastab B ja C klassi nõuetele
hooldusaine kadu	0,47 kg/m <sup>2</sup>
veekadu	< 0,35 kg/m <sup>2</sup>
happe/leelisekindlus	vastab nõuetele
tuletundlikkus	leekpunkt 43 °C
viskoossus	300 mPa·s
veepidavus	75 %



## 2.2.4 Betotrade järelhooldusainete vastavus standardiga

Tabel 2.7 Betotrade toodete vastavus standardiga EN 1504-2:2004, EN 1504-2:2007 ja EN1504-2:2005 [29] [28] [22]

omadused	Betotrade toode		
	Betotex	Korotex	Granitex
tuletundlikkus	A1 (mittepõlev)	A1 (mittepõlev)	A1 (mittepõlev)
vastupanu löökidele	klass III: $\geq 20$ Nm	klass III: $\geq 20$ Nm	klass III: $\geq 20$ Nm
nakketugevus	$> 1,50$ MPa	$> 1,50$ MPa	$> 1,50$ MPa
ohtlikud koostisosad	vastab 5.4	vastab 5.4	vastab 5.4
sissetungimissügavus	puudub info	puudub info	$\geq 5$ mm
kulumiskindlus	puudub info	puudub info	läbinud
vastupidavus	puudub info	puudub info	5,2 (I)

Kõik tabeli näitajad on standardiga kooskõlas ja mahuvad ettenantud piiridesse, kuid piirväärtustest paremaid tulemusi pole saadud või tabelis näidatud (tabel 2.7 ja tabel 1.1). Valge värvusega Betotexi ja Korotexi säilivusaeg on tootja andmete põhjal 12 kuud. Standardis ASTM C 309 on määratud valget pigmenti sisaldavate ainete kasutamise ajaks maksimaalselt 6 kuud, et tagada hooldusaine koostise homogeensus. (tabel 1.1 ja tabel 1.2) Koostise säilivust tuleb kohapeal kontrollida segades või loksutades hooldusaine anumad, mille tulemusel ei tohi olla aine kihistunud ega sisalda tükkidena ainejääke.

## 2.2.5 Mapei järelhooldusainete omadused ja kasutamine

Mapei toodetest vähendab vee aurustumist kõige efektiivsemalt Mapecure- 1, mille veekadu peale 72 tundi oli kõige madalam ning veepidavuse määr kõige kõrgem. Mapecure WG veepidavuse ja veekao andmed olid esitatud ebatäpsemalt viidates maksimaalsele või minimaalsele võimalikule väärtusele. (tabel 2.8 ja tabel 1.1)

ASTM C309/C156 katse järgi on aurustumine 72 tunni jooksul kasutades Mapecure- 1 hooldusainet väiksem kui  $0,3 \text{ kg/m}^2$  (84 %), Mapecure WG  $0,55 \text{ kg/m}^2$  (70 %), Mapecure AF  $0,4 \text{ kg/m}^2$  (81 %). EN 480-8 standardi järgi on Mapecure WG tahke aine sisaldus 30 % ning kuulub ASTM C309 standardi järgi klassi A, tüüpi 1. Standardis CEN/TS 14754 -1 kirjeldatud katse põhjal saadi Mapecure WG veepidavuseks üle 70 % ( $200 \text{ g/m}^2$ ). (tabel 2.8 ja tabel 1.1)

Valge värvusega Mapecure-1 säilivusaeg on tootja andmete põhjal 6 kuud, mis on kooskõlas standardis ASTM C 309 määratud valget pigmenti sisaldavate ainete kasutamise ajaks maksimaalselt 6 kuud, et tagada hooldusaine koostise homogeensus. Samuti valge värvusega Mapecure WG ja Mapecure AF säilivusajaks on 12 kuud, mis ei toeta USA standardi nõudeid. (tabel 1.1 ja tabel 1.2)

Tabel 2.8 Mapei toodete vastavus standardiga ASTM C309/C156, CEN/TS 14754-1 ja EN 480-8 [40] [41] [46]

omadused	Mapei tooted		
	Mapecure - 1	Mapecure WG	Mapecure AF
viskoossus	madal		madal
veekadu	0,3 kg/m <sup>2</sup>	< 0,55 kg/m <sup>2</sup>	0,4 kg/m <sup>2</sup>
veepidavus peale 72 h	84 %	> 70 %	81 %
tahke aine sisaldus		30 %	
klassifikatsioon standardi ASTM C309 järgi		tüüp 1- värvaineta läbipaistev aine klass A (pole vaigu baasil, tahke aine sisaldusele piirangud puuduvad)	

## 2.3 Järelhooldusainete võrdlus

Semtu Curing 101 SF, MasterKure 220 WB, Sem Curing Binder, Fesconi, Betotexi, Korotexi, Granitexi, Armocure, Armoseal, Secrete 6, Mapecure- 1, Mapecure WG, Mapecure AF tooteid võib kasutada nii horisontaal- kui vertikaalpindadel. Näiteks tööstus, büroo, kaubandus ja lao betoonpõrandad; toiduainete töötlemise tehaste pinnad; parklad; tanklad; betoonist seinad; vahelaed; postid; soklid; vundamendid; betoonteed ja platsid. [29] [28] Lindolit W, Topfloori AC 1000 ja Pieri Curing TP 2002 sobivad vaid betoonpõrandate järelhoolduseks [37] [34] [44].

Hooldusained on enamasti kas valget värvi või läbipaistvad. Erandiks on Topfloori AC 1000 tumesinine ja Armocure helesinine värvus. Lindolit W, Korotex ja Fescon kaotavad hooldamise käigus värvi, Pieri Curing kulub ise maha. Järelhoolduse tulemusena annab Korotex betoonpinnale läike. (tabel 2.1) Täiendavat läiget saab betoonile lisada betooni immutusainetega.

Järelhooldusainete eelis teiste hooldusainete ees väljendub lõpptulemusena valminud betoonplaadi tolmupeetavuses. See omadus oli vaadeldavatest hooldusainetest ära märgitud nendel toodetel: Sem Curing Binder, Lindolit S, Granitex, Secrete 6, Armoseal. Viimast järelhooldusvahendit võib kasutada ka vanadel betoonpindadel, mille puhul ongi aine põhiline eesmärk tolmupeetavuse tekitamine. (tabel 2.1) Betoonpõranda tolumamise vältimiseks on olemas spetsiaalselt selleks mõeldud ained, tihti pinnakõvendite nime all.

Kõigil järelhooldusainetel on sarnased tihedused. Veepõhiste hooldusainete tihedus on sarnane vee tihedusega, mis on ligikaudu 1000 kg/m<sup>3</sup>. Lahustipõhised hooldusained võivad olla suurema tihedusega tänu nendes sisalduvatele lisakoostisosadele. Kõige suurema tihedusega hooldusained on Betotrade'i Betotex, Korotex ja Granitex. Samas

saab Betotrade tooteid paigaldada paar kraadi madalamatel temperatuuridel kui teisi hooldusaineid. Kahekomponentse Sem Curing Binder paigaldustemperatuur, märgitud + 20 °C, on teistest järelhooldustoodetest kõrgem ja seeõttu nõuab kontrollitud valutingimusi. (tabel 2.1)

Hooldusainet kulub rohkem poorsemate betoonpindade, pintsliga peale kandes, kõrge temperatuuri ja tugeva tuule puhul. Mapei järelhooldustoodet kulub kõige rohkem betoonpinna katmiseks. Märgatavalt kõrgem kulu on Mapecure AF, mis võib olla põhjustatud hooldusaine suutlikkuses miinuskraadidega toimida. Kõige väiksem kulu on Lindolit W ja Granitexi hooldusainetel. Parafiini baasil Armocure ja vaigu baasil Sem Curing Binder on vaja enne kasutamist veega lahjendada. (tabel 2.1) Tokyo tudengite Yoko Ito, Yuya Sakai, Rie Makiura, Seunghyun Na ja Taro Toyota uurimusest selgus, et lahjendatud hooldusaine kasutamine suurendas hooldusaine efektiivsust. Tooteandmete põhjal selle kohta järeldust teha ei saa, sest puuduvad andmed Armocure ja Sem Curing Binder veepidavuse kohta. Enamasti on kõik hooldusained sobilikud lahjendamiseks näiteks vahehoolduse tegemiseks. Tavaliselt on sel juhul tootele märgitud vee ja hooldusaine segamise vahekord.

Hooldusaine viskoossus määrab aine pealekandmise keerukuse. Madalama viskoossusega aineid on kergem pritsida, samas kõrgema viskoossusega aineid soovitatakse betoonpinna peale kanda rulliga. Kui hooldusaine viskoossus on madal, siis on suurem tõenäosus, et betoonpinda kattev kiht on ühtlane ja kuivab kiiremini. Immutusainena on madalam viskoossuse väärtus samuti parem, sest see imendub sügavamale betoonpinna pooridesse tekitades parema katvuse. Madalamad määratud viskoossusega hooldusained on Pieri Curing TP 2002 73- 130 cps (tabel 2.3) ja Fescon 10- 200 cps (tabel 2.4). Mapecure- 1 ja Mapecure AF viskoossuse määr oli samuti madal (tabel 2.8). Kõrgema viskoossusega ehk aeglasemalt voolavad on Lindolit S, mille viskoossus on 300 cps (tabel 2.6) ja Mapecure WG, mille viskoossus on 500 cps (tabel 2.8).

Tahke aine sisaldus määratakse peale lahusti või vee aurustumist hooldusainest ning näitab kogust, mis tavaliselt betoonpinnale peale hooldust alles jääb. Tahke aine sisaldus on kõige väiksem Fesconi hooldusainel (8– 10 %), seejärel Lindolit S (üle 25 %) ning Mapecure WG (30 %). (tabel 2.4)(tabel 2.6)(tabel 2.8) Standardi ASTM C 309 kohaselt peavad hooldusained sisaldama vähemalt 25 % tahke aine osakesi, mistõttu ei vasta Fesconi järelhooldusaine USA standardile.

Kõige rohkem erines vahapõhiste ainete pH, varieerudes 7st kuni 9,5ni. Väiksem pH oli sünteetilise emulsiooni põhisel hooldusainel, mille väärtus oli 6,5. Sellele järgnesid polümeerdispersioonipõhiste (8), vahapõhiste (8,5) ja akrüülipõhiste (9,5) ainete pH.

Standardis IS 456:2000 on kehtestatud piirväärtus 6, millest madalama pH väärtusega hooldusaine olla ei tohi. Sellele standardile vastasid kõik hooldusained. Tudengid Tesfaalem Gereziher Atsbha ja Semion Zhutovsky Israeli ülikoolist leidsid, et akrüülühendeid sisaldavad hooldusained on kõige vastuvõtlikumad karboniseerumisele. Akrüülühendite baasil MasterKure 220 WB pH oli kõige kõrgem, mistõttu ei kinnita see uurimuse tulemusi. Samas on MasterKure 220 WB vett tõrjuva omadusega, mis Eesti standardi EVS-EN 1504-9:2008 järgi võib suurendada karboniseerumisastet.

Järelhooldusaine efektiivsus kajastub kõige enam hooldusaine veeauru pidamises. Peale 72 tundi on Mapecure- 1 (84 %) kõige vettpidavam. Pieri Curing TP 2002 (82 %) ja Mapecure AF (81 %) on samamoodi heade vett hoidvate omadustega. Võrdlemisi nõrgemate tulemustega on Lindolit S (75 %) ja Mapecure WG (70 %). (tabel 2.3) (tabel 2.6) (tabel 2.8) Kõige paremini vett hoida suutvad hooldusained on valge värvusega, mis peegeldavad võrreldes läbipaistvate ainetega valgust paremini ning seeläbi hoiavad kuumade ilmade korral betoonpinna temperatuuri madalama, mistõttu on vee aurustumiskiirus aeglasem.

Heade veeauru hoidvate omadustega Mapecure- 1 ja Mapecure AF on vaha-parafiini baasil. Sünteetilise emulsiooni baasil Pieri Curing TP 200-I on samuti kõrge veepidavuse määr. Järelhooldusainete tooteinfo põhjal on modifitseeritud akrüülvaigu ja akrüülemulsiooni baasil hooldusainete veeauru läbilaskvus 72 tunni jooksul kõige suurem. See kinnitab Poola tudengite Filip Chyliński, Agnieszka Michalik ja Mateusz Kozicki uurimust „Effectiveness of Curing Compounds for Concrete“, kus leiti, et parafiini sisaldavate hooldusainete tekitatud kile hoidis vee aurustumist paremini ära kui modifitseeritud sünteetilise vaigu baasil ained. Lisaks kinnitab see Israeli ülikooli tudengite Tesfaalem Gereziher Atsbha ja Semion Zhutovsky uurimuses esitatud tulemusi, kus selgus, et akrüüli põhised hooldusained ei taga piisavat kaitset veekao eest. Indias Rakesh Kumar ja Pankaj Goel läbiviidud uurimuses olid vaha baasil hooldusainete tugevusnäitajad kõige väiksemad, mis ei kinnita siinseid tulemusi. Silikaadipõhine Granitex, vaigupõhine Sem Curing Binder ja akrüülipõhine MasterKure 220 WB on veeauru läbilaskvad (tabel 2.1). Granitex on omaduste poolest immutusaine, mille põhimõte on kaitsta konstruktsiooni välise niiskuse eest.

## KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärk oli vaadelda järelhooldusainete omadusi põhinedes tootja või maaletootja tooteinfo. Võrdlustabel aitab kasutajal tekitada parema ülevaate kõige sobilikumast tootest just talle vastava olukorra ja tingimuste jaoks ning anda teadmise, kuidas hooldusaineid kasutada. Teadlik ja korrektne järelhooldusaine kasutus muudab betooni järelhoolduse efektiivsemaks, parandab betoonplaadi kvaliteeti ja pikendab konstruktsiooni eluiga.

Järelhooldusel on tähtis roll betooni kivinemise protsessis ja hooldusel. Keemiline koostis, baasaine ja teiste sisaldavate ainete omadused ning kuiva massi sisaldus ja kogus hooldusaines mõjutab hooldusaine toimivust. Hoolikalt valitud ja peale kantud järelhooldusaine parandab märgatavalt betooni tugevusomadusi. Teoreetilises osas on selgitatud betoonpinna kvaliteedi sõltuvust korrektsest või vastupidi hooletust järelhooldusest ning nimetatud erinevaid tegureid, mis järelhooldust mõjutavad.

Magistritöö käigus valmis järelhooldusainete võrdlustabel, kus vaadeldi 17 erinevat hooldusainet 8 erineva tootja tootevalikust. Tabel annab ülevaate hooldusainete põhikasutusalaadest ja konstruktsioonidega sobivustest, vajaminevast hooldusaine optimaalsest kogusest ning esitatakse muid järelhooldusainete omadusi. Hooldusainete omaduste koondamine tabelisse annab parema ülevaate ja lihtsustab hooldusainete omavahelist võrdlemist. Lisaks on koostatud üldised soovitusel ja tähelepanekud hooldusainetega käitlemisel.

Tulemustest selgus, et valge värvusega hooldusained on veepidavuse poolest efektiivsemad tänu nende peegeldamise omadusele. Samas tuleb hoolikalt jälgida värvaineid sisaldavate hooldusainete säilivusaega, mis võib värvaineid sisaldavates hooldusainetes olla lühem kui läbipastvate hooldusainete puhul. Samuti võib võrdlustabeli ja saadavate andmete põhjal järeldada, et efektiivsemad järelhooldusained on vaha-parafiini baasil ning vähem efektiivsemad akrüülipõhised hooldusained.

Ühtse standardi puudumise tõttu on tootjatel suurem valikuvabadus kajastada tootelehel endale sobivaid andmeid endale sobivas ulatuses. See lihtsustab turul tegutsevatel tootjatel toodetega turule tulla, mille tõttu peab kasutaja olema pädev suurema valiku seast õiget otsust teha. Järelhooldusainete valdkonna arengu edendamiseks on oluline edaspidi uurida katseliselt hooldusainete efektiivsust ehk veeauru läbilaskvust. Samuti on vajalik koostada süsteemne standard ning kehtestada ainete toimivusele rangemad piirangud, mis tagab turul kvaliteetsemate hooldusainete saadavuse ning lihtsustab kasutajal hooldustoodete valimist.

## SUMMARY

The aim of this master's thesis was to examine the properties of aftercare products based on the manufacturer's or importer's product information. The comparison table helps the user to gain a better overview of the most suitable product for their specific needs and conditions, and provides knowledge on how to use curing compounds. Correct use of curing compounds makes concrete aftercare more effective, improves the quality of concrete slabs and extends the lifespan of the structure.

Aftercare plays an important role in the concrete curing process and maintenance. The chemical composition, base material, properties of other ingredients, dry mass content, and quantity of the maintenance product all affect the effectiveness of the aftercare product. Carefully selected and applied curing compounds significantly improve the strength properties of concrete. The theoretical part explains the dependence of concrete surface quality on proper or, conversely, careless aftercare, and mentions various factors that affect aftercare.

During the master's thesis, a comparison table of aftercare products was created, examining 17 different curing compounds from 8 different manufacturers. The table provides an overview of the main areas of application and suitability of curing compounds for structures, the optimal amount of maintenance product required, and presents other properties of aftercare products. Consolidating the properties of maintenance products in a table provides a better overview and facilitates comparison between them. In addition, general recommendations and observations for handling maintenance products have been compiled.

The results revealed that maintenance products with a white color are more effective in terms of water resistance due to their reflective properties. However, it is important to carefully monitor the shelf life of maintenance products containing dyes, which may be shorter compared to transparent maintenance products. Based on the comparison table and available data, it can also be concluded that the most effective curing compounds are wax-paraffin based and less effective acrylic-based compounds.

It can be concluded that due to the lack of a unified standard, manufacturers have greater freedom to provide a lot of products to a suitable extent. This facilitates market entry for manufacturers, which means that the user must be competent in making the right decision from a wide range of options.

To promote the development of the aftercare product field, it is important to further investigate experimentally the effects of different curing compounds in different environments. It is also necessary to establish a systematic standard and impose stricter

limitations on the performance of substances, ensuring the availability of higher-quality maintenance products on the market and simplifying the user's selection of curing compounds.

## KASUTATUD ALLIKAD

- [1] Laurson, M., Lember, A., Luuk, S., Oras, R., Pello, J. (2018). Betoonpõrandad BÜ7. Tallinn: Eesti Betooniühing.
- [2] Betoonkonstruktsioonide kaitsmiseks ja parandamiseks kasutatavad tooted. Määratlused, nõuded, kvaliteedikontroll ja vastavuse hindamine. Osa 9: Toodete ja tootesüsteemide kasutamise üldised põhimõtted: EVS-EN 1504-9:2008.
- [3] Valgur, J., täiendanud Kiviste, M. (2021). Betoonkonstruktsioonid I. Loengukonspekt. Sissejuhatus I. Tartu.
- [4] Otsmaa, V. (2015). Betoonkonstruktsioonide arvutamine: õpik kõrgkoolidele. Tallinn: Tallinna Raamatutrükikoda.
- [5] Betoon. Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus: EVS-EN 206:2014+A2:2021.
- [6] Vanamõisa, J. (2021). Raudbetoonkonstruktsioonide kestvuse hindamine toimivuspõhiste mudelitega. Magistritöö. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool. Digikogu <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/43ea2b71-4326-4ce7-9b09-f2a64c0b200d>. Vaadatud 25.05.2023.
- [7] Rakennusteollisuus RT RY. (2006). Pintabetonilattioiden halkeilun syyt ja halkeilun estäminen. Helsinki: Rakennusteollisuuden kustannus RTK OY.
- [8] Hietala, J. (2011). Betonilattioiden kutistuman hallinta. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu.
- [9] Leivo, M., Holt, E. (2001). Betonin kutistuma. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland.
- [10] Plain and reinforced concrete- code of practice: IS 456:2000.
- [11] Kumar, R., Goel, P. (2022). Performance of Curing Compounds in Development of Strengths in Concrete Mix to be Used in the Construction of Rigid Pavements. New Delhi: Rigid Pavements Division, CSIR-Central Road Research Institute.
- [12] Koussa, J. (2018). Different Types of Concrete Curing Compounds, their Properties and Uses. <https://www.linkedin.com/pulse/different-types-concrete-curing-compounds-properties-uses-koussa>. Vaadatud 19.05.2023.
- [13] Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity - Part 1: Definitions: SIST EN 1504-1:1998.
- [14] Betoonkonstruktsioonide kaitsmiseks ja parandamiseks kasutatavad tooted. Määratlused, nõuded, kvaliteedi-kontroll ja vastavuse hindamine. Osa 2: Betooni pinnakaitsesüsteemid: EVS-EN 1504-2:2007.



- [15] Pawar, Y., Kate, S. (2020). Curing of Concrete: A Review. [https://www.researchgate.net/publication/344176273\\_Curing\\_of\\_Concrete\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/344176273_Curing_of_Concrete_A_Review). Vaadatud 20.05.2023.
- [16] Põldoja, A. (2022). Betotrade. Betooni suvine järelhooldus. <https://betotrade.ee/betooni-suvine-jarelhooldus/>. Vaadatud 20.05.2023.
- [17] Betoonkonstruktsioonide ehitamine: EVS-EN 13670:2010.
- [18] Põldoja, A. Betoonpinna järelhooldusest tekkinud laigulisus. <https://betotrade.ee/wp-content/uploads/2022/02/BETOONPINNA-JA%CC%88RELHOOLDUSEST-TEKKINUD-LAIGULISUS.pdf>. Vaadatud 27.05.2023.
- [19] Pinnahooldus. Betoonpõranda lihvimine ja poleerimine. - Ideia OÜ. <https://pinnahooldus.ee/betonporanda-lihvimine-ja-poleerimine/>. Vaadatud 16.04.2023.
- [20] Betoneerimisjuhend. - Rudus. <https://rudus.ee/beton/betoneerimisjuhend/>. Vaadatud 19.04.2023.
- [21] Bisley International. What Does Lithium Silicate Do to Concrete. (2021). <https://bisleyinternational.com/what-does-lithium-silicate-do-to-concrete/>. Vaadatud 28.04.2023.
- [22] Granitex C. Värkelt valatud betoonpindade järelhooldus- ja immutusaine kulumiskindluse ning tugevuse tõstmiseks. - Betotrade OÜ. <https://betotrade.ee/wp-content/uploads/2022/02/GRANITEX-C-eesti-k.pdf>. Vaadatud 02.05.2023.
- [23] Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds Having Special Properties for Curing and Sealing Concrete: ASTM C1315-19.
- [24] Klippstein, A., Monaghan, S. (2012). Polymers for a Sustainable Environment and Green Energy.
- [25] Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete: ASTM C309-19.
- [26] Betoonkonstruktsioonide kaitsmiseks ja parandamiseks kasutatavad tooted. Määratlused, nõuded, kvaliteedikontroll ja vastavuse hindamine. Osa 10: Toodete kasutamine ehitusplatsil ja kvaliteedikontroll: EVS-EN 1504-10:2017.
- [27] Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Part 2: Surface protection systems: BS EN 1504-2:2004.
- [28] Korotex. Curing agent on acrylic resin basis. - Korodur. [https://www.korodur.de/fileadmin/user\\_upload/ENG/Dokumente/Datenbl%C3%A4tter/KOROTEX\\_en.pdf](https://www.korodur.de/fileadmin/user_upload/ENG/Dokumente/Datenbl%C3%A4tter/KOROTEX_en.pdf). Vaadatud 25.05.2023.
- [29] Betotex. Sünteetiliste vaikude baasil järelhooldusaine betoonpõrandatele ja tasanduskihtidele. - Betotrade OÜ. <https://betotrade.ee/wp-content/uploads/2022/02/BETOTEX-eesti-k.pdf>. Vaadatud 17.05.2023.

- [30] Chyliński, F., Michalik, A., Kozicki, M. (2022). Effectiveness of Curing Compounds for Concrete.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9000606/>. Vaadatud 19.05.2023.
- [31] Ito, Y., Sakai, Y., Makiura, R., Na, S., Toyota, T. (2021). Direct causality between film formation and water-retaining effect of surfactant-based film-forming curing compound for concrete.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221007889>. Vaadatud 10.05.2023.
- [32] Atsbha, T.G., Zhutovsky, S. (2021). The effect of external curing methods on the development of mechanical and durability-related properties of normal-strength concrete.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822003968>. Vaadatud 02.05.2023.
- [33] Fescon järelhooldusaine. - Fescon Oy.  
<https://www.fescon.fi/ee/tooted/ehitamine-ja-ehitustoostus/porandakovendusained-ja-kovabetonid/785/jarelhooldusaine>. Vaadatud 16.05.2023.
- [34] Moisture curing LINDOLIT® W. - a. lindec®.  
<https://www.lindec.com/product/lindolit-r-w>. Vaadatud 17.05.2023.
- [35] Lindolit\_s-product\_description. - a. lindec®.  
<https://www.lindec.com/category/moisture-curing-materials>. Vaadatud 17.05.2023.
- [36] SETCRETE® 6. Järelhooldusaine betoonpõrandatele. - AS TOPFLOOR.  
[http://files.voog.com/0000/0029/6792/files/SETCRETE6\\_et.pdf](http://files.voog.com/0000/0029/6792/files/SETCRETE6_et.pdf). Vaadatud 20.05.2023.
- [37] AC 1000. Järelhooldusaine. - OÜ TOPFLOOR.  
[http://media.voog.com/0000/0029/6792/files/AC\\_1000\\_ET-1.pdf](http://media.voog.com/0000/0029/6792/files/AC_1000_ET-1.pdf). Vaadatud 17.05.2023.
- [38] Armoseal. Betooni järelhooldusaine tööstuspõrandatele. - Armotop.  
<http://media.voog.com/0000/0029/6792/files/ARMOSEAL.pdf>. Vaadatud 17.05.2023.
- [39] Armocure. Betooni järelhooldusaine tööstuspõrandatele. - Armotop.  
<http://media.voog.com/0000/0029/6792/files/ARMOCURE.pdf>. Vaadatud 17.05.2023.
- [40] Mapecure 1. - Mapei. [http://www.velvemt.ee/uploads/mapecure1\\_gb.pdf](http://www.velvemt.ee/uploads/mapecure1_gb.pdf). Vaadatud 07.05.2023.
- [41] Mapecure WG. - Mapei.  
[http://www.velvemt.ee/uploads/Mapecure\\_WG\\_gb\\_2020.pdf](http://www.velvemt.ee/uploads/Mapecure_WG_gb_2020.pdf). Vaadatud 08.05.2023.

- [42] Curing 101 SF. - Semtu.  
[https://www.semtu.ee/application/files/2415/5575/4147/EST\\_Curing\\_101\\_2016.pdf](https://www.semtu.ee/application/files/2415/5575/4147/EST_Curing_101_2016.pdf). Vaadatud 17.05.2023.
- [43] MasterKure 220 WB. - Semtu.  
[https://www.semtu.ee/application/files/9015/5575/4145/EST\\_MasterKure\\_220WB\\_2015.pdf](https://www.semtu.ee/application/files/9015/5575/4145/EST_MasterKure_220WB_2015.pdf). Vaadatud 17.05.2023.
- [44] Pieri®Curing TP 2002. - Semtu.  
[https://www.semtu.ee/application/files/1715/5575/4147/EST\\_Curing\\_2002\\_2018.pdf](https://www.semtu.ee/application/files/1715/5575/4147/EST_Curing_2002_2018.pdf). Vaadatud 17.05.2023.
- [45] Sem®Curing Binder. - Semtu.  
[https://www.semtu.ee/application/files/4115/5575/4145/EST-SemCuring\\_Bindre\\_2018.pdf](https://www.semtu.ee/application/files/4115/5575/4145/EST-SemCuring_Bindre_2018.pdf). Vaadatud 17.05.2023.
- [46] Mapecure AF. - Mapei.  
[http://www.velvemt.ee/uploads/Mapecure\\_AF\\_gb\\_2017.pdf](http://www.velvemt.ee/uploads/Mapecure_AF_gb_2017.pdf). Vaadatud 16.05.2023.
- [47] Birnin-Yauri, U. A., Garba, S. (2007). The effect and mechanism of chloride ion attack on portland cement concrete and the structural steel reinforcement. Kaduna: Department of Chemistry, Nigerian Defense Academy.
- [48] Masterkure 111 WB. Vahejärelhooldusaine. - Topfloor.  
[http://media.voog.com/0000/0029/6792/files/Masterkure\\_111\\_WB\\_ET.pdf](http://media.voog.com/0000/0029/6792/files/Masterkure_111_WB_ET.pdf). Vaadatud 17.05.2023.
- [49] Asphalt pavements on bridge decks. (2013). Brussels: European Asphalt Pavement Association.
- [50] Betoonstruktsioonide kaitsmiseks ja parandamiseks kasutatavad tooted. Määratlused, nõuded, kvaliteedi-kontroll ja vastavuse hindamine. Osa 2: Betooni pinnakaitsesüsteemid: EVS-EN 1504-2:2007.

**LISAD**

## Lisa 1 Standardites esitatud nõuded katsemeetoditele

Tabel 1.1 Eesti standardis EVS-EN 1504-10:2017 ja USA standardis ASTM C 309 esitatud nõuded katsemeetoditele [26] [25]

Omadus	Katsemeetodid Euroopa standardis	Katsemeetodid Eesti standardis EVS-EN 1504	Nõuded/piirväärtused Eesti standardis EVS-EN 1504	Katsemeetodid USA standardis ASTM C 309	Nõuded/piirväärtused USA standardis ASTM C 309
veeauru läbilaskvus	EN 1062-3 EN ISO 7783-2	EN 1062-3 EVS-EN ISO 7783-2	$w < 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot h^{0,5}$ klass I $s_D < 5 \text{ m}$ (veeauru läbilaskev) klass II $5 \text{ m} \leq s_D \leq 50 \text{ m}$ (pole veeauru läbilaskev ega tihe) klass III $s_D > 50 \text{ m}$ (veeauru suhtes tihe)	ASTM C 156	$< 0,55 \text{ kg/m}^2$ 72 h jooksul
veeimavus	EN 13580		$< 7,5 \%$ võrreldes mittetöödeldud katsekehaga		
sissetungimissügavus	EN 1766, EN 13579	EVS-EN 1776	hüdrofoobimine: klass 1: $< 10 \text{ mm}$ klass 2: $\geq 10 \text{ mm}$ immutamine: $\geq 5 \text{ mm}$		
kulumiskindlus	EN ISO 5470-1	EVS-EN ISO 5470-1	30 % parem tulemus kui mittekaetud proovikehal	ASTM C1315 ptk 9.3.3 D1308	48 h
libastumis- ja libisemiskindlus	EN 13036-4	EN 13036-4	klass I: $\geq 40 \text{ l}$ (niisked pinnad sisekeskkonnas) klass II: $\geq 40 \text{ l}$ (kuivad pinnad sisekeskkonnas) klass III: $\geq 55 \text{ l}$ (väliskeskkond)		
kuivamiskiirus	CEN/TS 14754-1:2007 BS 7542:1992 EN 13579	EVS-EN 13580:2002	klass 1: $> 30 \%$ klass 2: $> 10 \%$	ASTM C 156 ptk 10.3	$< 4 \text{ h}$
äratõmbekatse (paksemate kui 0,5 mm kihtide korral)	BS EN 1542:1999/ EN 24624:1992 (ISO 4624:1978)	EVS-EN 1542	vertikaalpinnad $\geq 0,8 \text{ N/mm}^2$ koormatud horisontaalpinnad $\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$ koormamata horisontaalpinnad $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$		
võrelõikekatse (alla 0,5 mm paksuse kihi puhul)	EN ISO 2409	EVS-EN 2409	$\leq \text{GT } 2$		
nake märja betooniga	EN 13578	EVS-EN 1542:2001 pull-off test	mullide puudumine EN ISO 4628-2 kohaselt pragude puudumine EN ISO 4628-4 kohaselt ketendamise puudumine EN ISO 4628-5 kohaselt pull off katse tugevus $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$	ASTM C1315-19	$> 0,50 \text{ MPa}$ vähemalt 2/3 katsekehast
peegelduvus <sup>a</sup>				ASTM E 1347	$> 60 \%$
omaduste kestvus <sup>b</sup>				ASTM D 1309	omadused peavad säilima vähemalt 6 kuud
mittelenduvate ainete sisaldus	EN ISO 3251		2,5 % massist	ASTM D 1644 meetod A	
tuletundlikkus	EN 1504-2:2004 (E) EN 13501-1	EVS 812 EVS-EN 13501-1	klassifikatsioon meetodi järgi A1 (mittepõlev)/A2/B/C/D/E/F(kergesti süttiv) vastavalt eurokoodeksile	ASTM D 56	10 °C
tuhasisaldus	EN ISO 3451-1 (Prantsuse standard NFT 30-012)				
tahke aine sisaldus				läbipaistvate ainete puhul D2369 valge pigmendiga ainete puhul: lenduvate ainete test D2369; tahke aine sisaldus lahusti baasil D2371 ja veebaasil D3723	vähemalt 25 %
vastupanu löökidele	EN ISO 6272-1 või koputada betoonipinda kerge löögikajaseadmega	EVS-EN ISO 6272-1		avastada kihistunud piirkonnad klass I: $\geq 4 \text{ Nm}$ klass II: $\geq 10 \text{ Nm}$ klass III: $\geq 20 \text{ Nm}$	
pH	ISO 4316				
viskoossus	EN ISO 3219		500 mPa*s		

Märkused:

<sup>a</sup> peegelduvus valge pigmendiga hooldusainetel

<sup>b</sup> vee-emulsioonid külmatundlikud, neile nõudeid ei kehtestata; valge pigmendiga ained võivad lahusest eralduda

Lisa 2 Järelhooldusainete omaduste võrdlustabel

Tabel 2.2 Eesti turul saadaolevate järelhooldusvahendite omaduste võrdlus

	SEMTU				LINDOLIT		BETOTRADE		
	Curing 101 SF [42]	MasterKure 220 WB [43]	Pieri Curing TP 2002 [44]	Sem Curing Binder [45]	Lindolit W [34]	Lindolit S [35]	Betotex [29]	Korotex [28]	Granitex [22]
Põhiline kasutusala/ lisaomadused	Sobib nii horisontaalse kui vertikaalse betoonipinna järelhoolduseks; sobilik peamiselt pindadele, mida hiljem ei kaeta pinnatöötlusainega	Sobib nii horisontaalse kui vertikaalse betoonipinna järelhoolduseks; betoonipinda võib hiljem töödelda pinnatöötlusainega	Sobib kasutamiseks betoonplaatidel ja tööstuspõrandate (ka pinnakõvendiga töödeldud) puhul	Sobib nii horisontaalse kui vertikaalse betoonipinna järelhoolduseks, tolmupeetaja	Sobib kasutamiseks betoonplaatidel	Sobib nii horisontaalse kui vertikaalse betoonipinna järelhoolduseks; vastupidav enamikele leelistele, hapetele ja sooladele, tolmupeetaja	Sobib nii horisontaalse kui vertikaalse betoonipinna järelhoolduseks	Sobib nii horisontaalse kui vertikaalse betoonipinna järelhoolduseks	Sobib nii horisontaalse kui vertikaalse betoonipinna järelhoolduseks; immutusaine kulumiskindluse ning tugevuse ja kemikaaliskindluse tõstmiseks, tolmupeetaja
Baasaine	vaha-parafiin	akrüüldispersioon (vesi)	sünteeiline emulsioon	akrüülvaik (vesi)	akrüüldispersioon (vesi)	akrüülvaik (vesi)	sünteeiliste kunstvaikude (akrüül)	sünteeiliste kunstvaikude (akrüül)	silikaat (vesi)
Vee läbilaskvus	ei lase	laseb	ei lase	laseb	ei lase	ei lase	ei lase	ei lase	laseb, immutusaine
Vajadus veega lahjendada	ei	ei	ei	jah	ei	ei	ei	ei	ei
Ühekomponentne	jah	jah	jah	kahekomponentne	jah	jah	jah	jah	jah
Mõeldud ainult värske betooni jaoks	jah	jah	jah	jah	jah	jah	jah	jah	jah
Nake tulevaste pinnakatetega	mõjutab	võib mõjutada	mõjutab	võib mõjutada	ei mõjuta	ei mõjuta	ei mõjuta	võib mõjutada	võib mõjutada
Tihedus	985 kg/m <sup>3</sup>	1000 kg/m <sup>3</sup>	920- 960 kg/m <sup>3</sup>			850 kg/m <sup>3</sup>	1100 kg/m <sup>3</sup>	1100 kg/m <sup>3</sup>	1100 kg/m <sup>3</sup>
Materjali kulunorm	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 - 0,2 l 5 - 7 m <sup>2</sup> /l 140 - 200 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 - 0,2 l 6 - 8 m <sup>2</sup> /l 150 - 200 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 - 0,3 l 4 - 7 m <sup>2</sup> /l 150 - 250 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 l 10 - 14 m <sup>2</sup> /l 70 - 100 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 l 20 m <sup>2</sup> /l 50 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 l 8 - 10 m <sup>2</sup> /l 100 - 125 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 l 8 - 15 m <sup>2</sup> /l 70 - 125 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 l 8 - 15 m <sup>2</sup> /l 70 - 125 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 l 12 - 20 m <sup>2</sup> /l 50 - 80 g/m <sup>2</sup>
Värvus kandmise ajal	valge	valge	valge	valge	valge	läbipaistev	valge	valge	läbipaistev
Värvus kuivanult	valge	valge	valge	valge	läbipaistev	läbipaistev	valge	läbipaistev ja õrnalt läikiv	läbipaistev
Lõhn (ohtlikuse/mürgisuse määr)	pole klassifitseeritud ohtlikuks tooteks	pole klassifitseeritud ohtlikuks tooteks	lõhnatu, mürgivaba, ei sisalda lahusteid		lõhnatu, ei tekita gaase ega auru	ohtlik, sisaldab nafta destillaate			
Min kasutus/paigaldustemp	+5 °C	+5 °C	0 (jäätmispunkt -3 °C)	+ 20 °C	0	0	+3 °C	+3 °C	+4 °C
Optimaalne kuivamisaeg				24 h		1 - 3 h			
pH	u. 7,5	u. 9,5	7,5 ± 1						
Säilivusaeg	12 kuud	12 kuud	12 kuud	12 kuud	12 kuud	3 aastat	12 kuud	12 kuud	
Lisapiirangud		ei soovitata kasutada valge betooni puhul, üledoseerimine muudab pinna kollakaks	ei sobi vertikaalsete ja kalde all betoonivalu, värvitud või värvitavate pindade puhul	ei soovitata kasutada valgel betoonil, liiga paks kiht muudab pinna kollakaks					

Tabel 2.3 jätk Eesti turul saadaolevate järelhooldusvahendite omaduste võrdlus

	FESCON	Don Construction Products	Topfloor	Armotop		MAPEI		
	Fescon [33]	Setcrete 6 [36]	AC 1000 [37]	Armoseal [38]	Armocure [39]	Mapecure – 1 [40]	Mapecure WG [41]	Mapecure AF [46]
Põhiline kasutusala/ lisaomadused	Sobib nii horisontaalse kui vertikaalse betoonipinna järelhoolduseks	Immutusaine, tolmutpidur ja pinnakövendi betoonpindadele ja tööstuslikele betoonpõrandatele	Lihvitud betoonpindadele; liiklusehitistele (teed, sillad); eelkõige tööstuspõrandatele, katteta betoonpõrandatele ning pindadele, kuhu on plaanitud lisada tulevikus nakkuv kate	Tolmupidur, nii uutele kui vanadele betoonpindadele ja tööstuslikele betoonpõrandatele	Eelkõige betoonteedele, lennuradadele, põrandatele ja lahti rakestatud betoonelementidele	Eelkõige betoonteedele, lennuradadele, põrandatele ja lahti rakestatud betoonelementidele	Eelkõige betoonteedele, lennuradadele, põrandatele ja lahti rakestatud betoonelementidele	Talvine külmakindel järelhooldusaine kasutamiseks temperatuuridel kuni -15°C, eelkõige betoonteedele, lennuradadele, põrandatele ja lahti rakestatud betoonelementide jaoks
Baasaine	polümeerdispersioon (vesi)	akrüülvaik (vesi)	vaha-parafiin	akrüülvaik (vesi)	vaha-parafiin	vaha-parafiin	veepõhine emulsioon	vaha-parafiin
Vee läbilaskvus	ei lase	ei lase	ei lase	ei lase	ei lase	ei lase	ei lase	ei lase
Vajadus veega lahjendada	ei	ei	ei	ei	jah	ei	ei	ei
Ühekomponentne	jah	jah	jah	jah	jah	jah	jah	jah
Mõeldud ainult värske betooni jaoks	jah	jah	jah	ei, sobib ka vanadele	jah	jah	jah	jah
Nake tulevaste pinnakatetega	ei mõjuta	võib mõjutada	ei mõjuta	võib mõjutada	mõjutab	mõjutab	ei mõjuta	mõjutab
Tihedus	1020 kg/m <sup>3</sup>	900 kg/m <sup>3</sup>	1000 - 1020 kg/m <sup>3</sup>	900 kg/m <sup>3</sup>	970 - 1010 kg/m <sup>3</sup>	960 - 1000 kg/m <sup>3</sup>	1030 - 1070 kg/m <sup>3</sup>	950 - 990 kg/m <sup>3</sup>
Materjali kulunorm	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 l 10 m <sup>2</sup> /l 100 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,08 - 0,1 l 10 - 12 m <sup>2</sup> /l 80 - 100 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 l 7 - 12 m <sup>2</sup> /l 80 - 150 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 l 8 - 12 m <sup>2</sup> /l 80 - 125 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 - 0,2 l 6 - 12 m <sup>2</sup> /l 80 - 150 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,2 - 0,3 l 3 - 5 m <sup>2</sup> /l 200 - 300 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,1 - 0,2 l 5 - 10 m <sup>2</sup> /l 200 - 300 g/m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kulu 0,2 - 0,4 l 3 - 6 m <sup>2</sup> /l 150 - 400 g/m <sup>2</sup>
Värvus kandmise ajal	valge	läbipaistev	valge	läbipaistev	helesinine	valge	valge	valge
Värvus kuivanult	läbipaistev	läbipaistev	tumesinine	läbipaistev	helesinine	valge	valge	valge
Lõhn (ohtlikkuse/mürgisuse määr)	lõhnatu	sisaldab ksüleeni (mürgine)	keemiline aine	keemiline aine	keemiline aine	keemiline aine	keemiline aine	keemiline aine
Min kasutus/paigaldustemp	+5 °C	+5 °C	+5 °C	+10 °C	+5 °C		+5 °C	-15 °C
Optimaalne kuivamisaeg	1 - 4 h	4 - 24 h		4 - 24 h				
pH	7 - 9		8 ± 1			9 ± 1	7,5 ± 1	9,5 ± 1
Säilivusaeg	12 - 15 kuud	12 - 24 kuud	12 kuud	24 kuud	12 kuud	6 kuud	12 kuud	12 kuud
Märkused: Kuivamisaeg sõltub õhuniiskusest ja temperatuurist ning kulunorm aluspinna poorusest ja välistingimustest								

Lisa 3 Järelhooldusainete kasutustabel

Tabel 2.2 Järelhooldusainete kasutamise lihtsustustabel

		SEMTU				LINDOLIT		BETOTRADE			FESCON	DCP	Topfloor	Armotop		MAPEI		
		Curing 101 SF	Master Kure 220 WB	Pieri Curing TP 2002	Sem Curing Binder	Lindolit W	Lindolit S	Betotex	Korotex	Granitex	Fescon	Setcrete 6	AC 1000	Armo- seal	Armo- cure	Mapecure- 1	Mapecure WG	Mapecure AF
sobivus konstruktsiooniga																		
	sobib vertikaalpinna jaoks	X	X		X			X		X	X	X		X	X	X	X	X
nakkuvus																		
	säilitab/tagab hea nakke					X	X	X			X		X					X
	rikub nakke	X		X										X	X	X		X
	oleneb pinnakattematerjalist		X		X				X	X		X						
eemaldatavus																		
	raskesti eemaldatav	X																
	kergesti eemaldatav		X	X	X							X		X	X			
	kulub ise maha			X											X			
paigaldatavus																		
	raskesti paigaldatav						X											X
	kergesti paigaldatav			X							X					X		X
kuivamiskiirus																		
	kiiresti kuivav						X				X							
	aeglaselt kuivav				X							X		X				

Märkused:

Nakkuvuse all on mõeldud betoonaluse naket kattematerjalidega: liimide, pindamisainete, tasandussegudega vms.

Kui pinna nakkuvus pole hiljem oluline, siis võib kasutada hooldusaineid, mis kuluvad ja haihtuvad pinnalt mehhaanilisel teel, betoonpinnal liikumise tagajärjel.

Raskesti eemaldatavad hooldusained: võimalik eemaldada vaid haavelpuhastuse, liivapritsi või aurupesuriga ning puhastusainelahusega.

Kergesti eemaldatavad hooldusained: võimalik eemaldada kuumtöötuse või lihvimise teel.