

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Niko Nuutinen

KOVETTUNEEN BETONIN PAKKASRAPAUTUMAN TESTAUSME-
NETELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO

Opinnäytetyö

Toukokuu 2014



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2014
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
(013) 260 6800

Tekijä
Niko Nuutinen

Nimeke
Kovettuneen betonin pakkasrapautuman testausmenetelmän käyttöönotto

Toimeksiantaja
Petteri Härkönen, Riku Tiira, Karelia-amk Rakennuslaboratorio

Tiivistelmä

Ulkotiloihin sijoitettavien betonirakenteiden suunnittelussa tulee huomioida jäätymis-sulamisrasitus. Jäätymis-sulamisrasitusluokan omaava betonimassa voidaan testata laboratoriossa todellisen jäädytys-sulatuskestävyyden selvittämiseksi.

Betoni sisältää aina kosteutta. Lämpötilan laskiessa pakkaselle betonikivessä nesteinä oleva vesi jäätyy ja sen tilavuus suurenee. Tilavuuden suureneminen aiheuttaa painetta betonin huokosrakenteeseen ja jäätymis-sulamisrasituksen toistuessa betoni alkaa hilseillä pinnastaan ja säröillä sisäisesti. Tätä hilseilyä ja säröilyä kutsutaan pakkasrapautumaksi.

Jäätymis-sulamisrasitukselle altistuva betonikappale rapautuu erityisesti ulkopinnaltaan. Pintarapautuman simuloimiseksi Euroopan standardointikomitea on kehittänyt standardin EN 12390-9 Jäädytys-sulatuskestävyys, pintarapautuminen, jonka mukaan betonikappaleen jäädytys-sulatusrasituksesta aiheutuva pintarapautuma voidaan määrittää laboratoriossa suoritettavalla testillä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli standardiin EN 12390-9 perehtyminen, testilaitteiston kalibrointi, testaustyöomakkeen ja punnituspöytäkirjan laadinta, sekä koekappaleiden valmistelu- ja testin suorittamisohjeen laadinta.

Paikallinen valmisbetonitehdas toimitti koekuutiot koetestiä varten. Koekuutioiden valmistelu ja koetesti suoritettiin Karelia-amk:n rakennuslaboratoriossa.

Kieli
suomi

Sivuja 42
Liitteet 5

Asiasanat

Kovettunut betoni, jäätymis-sulatuskestävyys, pintarapautuminen, testaus



THESIS
May 2014
Degree Programme in Civil Engineering

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU, FINLAND
(013) 260 6800

Author
Niko Nuutinen

Title
Testing of Freeze-Thaw Attack on Hardened Concrete

Commissioned by
Petteri Härkönen, Riku Tiira, Karelia UAS Laboratory of Construction Engineering

Abstract

Concrete structures exposed to effects of freezing and thawing need to be durable and need to have adequate resistance to this action. It is desirable, especially in the case of new constituents or new concrete compositions to test for such properties.

Concrete contains humidity. This humidity is concealed inside the concrete pore structure as liquid water. When the temperature drops below zero degrees centigrade, liquid water starts to freeze and expands in volume. Expanding water causes stress on the concrete pore structure. Repeated freezing-thawing can damage the concrete especially on its surface. The pore structure cannot stand the stress and starts to scale off.

Scaling starts from the concrete surface structure. The European commission of standardization has created the standard EN12390-9 Freeze-thaw resistance, scaling to instruct testing of freeze-thaw attack on hardened concrete in a laboratory.

The core of this thesis is to get familiar with the EN12390-9 standard, to calibrate the equipment that is needed to execute the test, to create necessary forms to run the test according to instructions and to make written instructions on how to perform each step of the testing procedure.

Standard test cubes from a local concrete supplier were used for the calibration. Preparation of the test cubes and testing itself were carried out in Karelia UAS Laboratory of Construction Engineering.

Language

Finnish

Pages 42

Appendices 5

Keywords

Hardened concrete, freeze-thaw attack, scaling, testing

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Kovettunut betoni	6
2.1	Pakkasrapautuminen	6
2.2	Karbonatisoituminen ja kloridien tunkeutuminen	9
2.3	Betonin rasitusluokat.....	9
3	Kovettuneen betonin testaaminen.....	12
3.1	EN 12390 -standardisarja	12
3.2	EN 12390-9 Jäädytys-sulatuskestävyys. Pintarapautuminen	13
4	Testauslaitteisto	14
4.1	Jäädytys-sulatuskaappi.....	15
4.2	Jäädytys-sulatuskaapin ohjelmointi.....	17
4.3	Testaus jäädytys-sulatuskaapilla	22
4.4	Suhteellinen dynaaminen kimmokerroin	23
5	Koekappaleiden valmistelu	23
6	Koetesti.....	26
6.1	Koetestin koekappaleiden valmistelu	26
6.2	Jäädytys-sulatussyklit	32
6.3	Rapauman keräys.....	35
6.4	Rapauman keräysten tulokset.....	37
7	Raportointi	39
7.1	Testaustyölomake.....	39
7.2	Tutkimusraportti	40
8	Pohdinta.....	40
	Lähteet.....	42

Liitteet

Liite 1	Koekappaleiden valmisteluohje
Liite 2	Jäädytys-sulatuskaapin testauskäyttöohje
Liite 3	Testaustyölomake ja punnituspöytäkirja
Liite 4	Paikallisen valmisbetonitehtaan testausraportti
Liite 5	Koetestin testaustyölomake ja punnituspöytäkirja

1 Johdanto

Vesi laajenee jäätyessään noin 9 %. Betonin huokosrakenteessa oleva vesi aiheuttaa laajetessaan jännityksiä betonin mikrorakenteeseen. Kun nämä jännitykset betonin sisällä jäätyminen ja sulamisen toistuessa kasvavat, ne voivat lopulta ylittää betonin murtorajan. Betonikappale rapautuu pinnaltaan ja rakenteeseen muodostuu sisäistä säröilyä. Pitkälle edenneen pakkasrapautumisen seurauksena betoni alkaa halkeilla ja lohkeilla näkyvästi.

Betonin suunnittelussa tulee varautua pakkasrapautumista vastaan. Betonin vesi-sementtisuhteella ja erilaisilla lisäaineilla voidaan vaikuttaa betonin ominaislujuuteen sekä pakkasenkestävyyteen. Lujempi betoni kestää enemmän rasitusta ja sisältää lähtökohtaisesti vähemmän jäätyvää vettä, joten se kestää paremmin myös pakkasrasitusta. Kosteudelle altis betonikappale voi imeä itseensä kosteutta. Lisähuokostusta käyttämällä betoniin muodostuu normaalia enemmän pieniä, ilmaa sisältäviä ns. suojahuokosia, jotka eivät kapillaarihuokosten tapaan täyty vedellä vaan toimivat laajenemistilana jäätyvälle vedelle ja näin suojaavat betonia pakkasrasitukselta. Betonilla on suunniteltu käyttöikä ja sen ominaisuuksien mukaan määritetyt rasitusluokkien tunnukset, jotka kertovat, millaisissa olosuhteissa kyseistä betonilaatua voidaan käyttää.

Kovettuneen betonin laadunvalvontaan on kehitetty sarja standardisoituja testejä betonin ominaisuuksien todentamiseksi. Tämä opinnäytetyö keskittyy betonin pintarapautumisen testaamiseen jäätymis-sulatusrasituksessa eurooppalaisen standardin CEN/TS 12390-9 laattakokeen mukaisesti. Laattakokeessa koekappale altistetaan toistuvalla jäätymis-sulatusrasitukselle ja koekappaleen pinnalta irtoava rapautunut materiaali kerätään ja punnitaan määrätyn väliajoin. Kumuloitunut punnitustulos, eli rapauma, ilmoitetaan kilogrammoina neliometriä kohden ja sitä verrataan Betoniyhdistyksen sallimaan maksimirapaumaan.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda jäädytys-sulatuskaapille laattatestin testi-profiili ja laatia ohjeistus sekä testauslomakkeet testin suorittamiseksi. Kehitys ja testaus suoritettiin laboratorioinsinööri Riku Tiiran ohjauksessa.

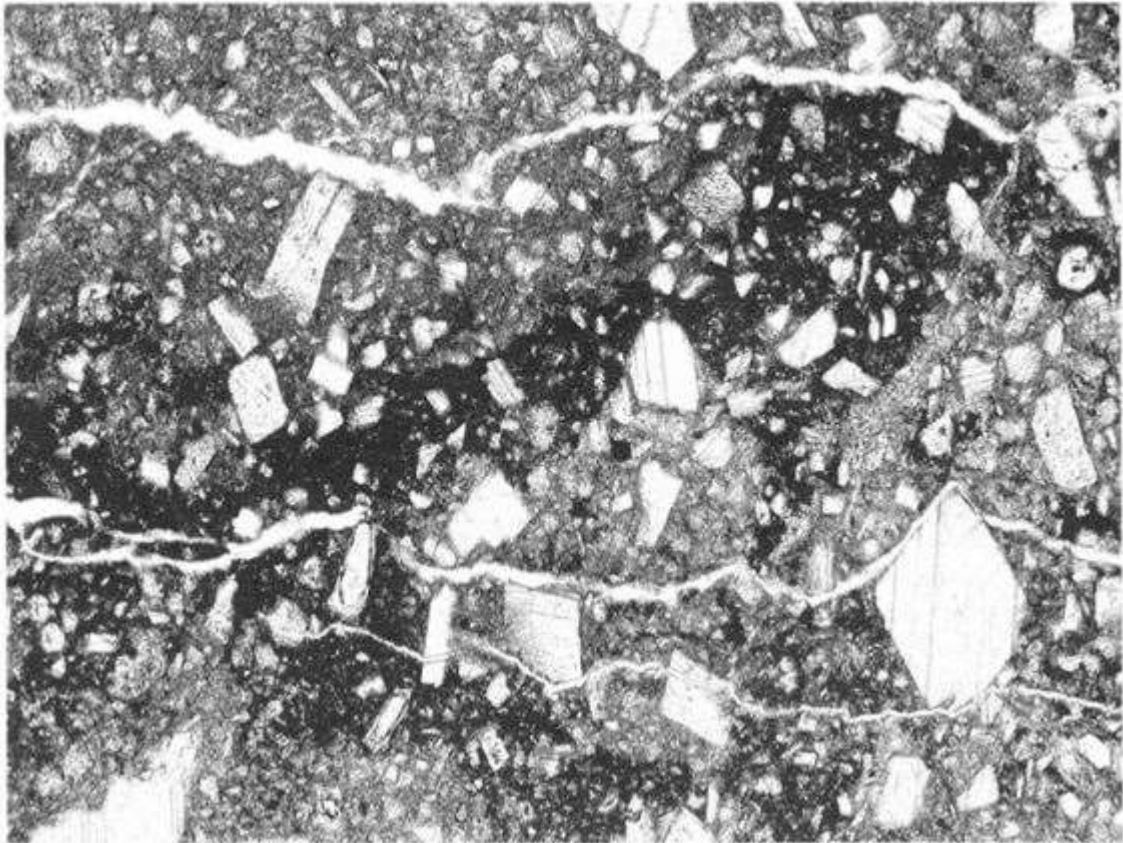
2 Kovettunut betoni

2.1 Pakkasrapautuminen

Betoni on huokoinen materiaali. Yksi betonin pääraaka-aineista on vesi, jota on betonissa kemiallisesti sitoutuneena sekä betonin huokosrakenteessa ns. vapaana vetenä. Betoni voi myös imeä vettä kapillaarihuokosiinsa joutuessaan alttiiksi kosteudelle. Kapillaarihuokosissa oleva vesi voi jäätymä, joten se on pakkasrasituksen kannalta haitallista betonille. Pakkasrasitus aiheutuu kapillaarihuokosissa olevan vapaan veden jäätymislaajeneman synnyttämästä paineesta, jota kasvattaa edelleen jääkiteen tilavuuden kasvu lämpötilan jälleen noustessa. [2, s. 27.]

Pakkasrapautuminen käsittää ulkoisen ja sisäisen vaurion ja se aiheutuu betonin sisältämän veden toistuvasta jäätymisestä. Ulkoinen vaurio aiheuttaa betonikappaleen pinnan hilseilyä, eli rapaumaa. Sisäinen vaurio ilmenee betonikappaleen rakenteen säröilyinä (kuva 1), joka heikentää betonin lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia sekä lisääntyessään aiheuttaa betonin lohkeilua ja rapautumista [3, s. 50]. Säröily lisää veden imeytymistä betoniin, joka osaltaan kiihdyttää sisäistä pakkasrapautumista. [2, s. 30.]

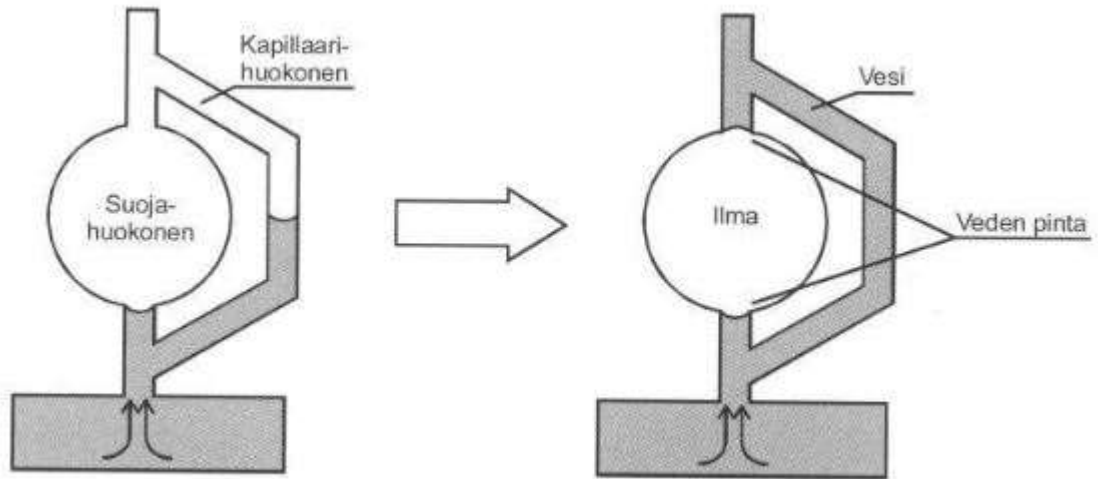
Alkuvaiheessa tapahtuvaa pakkasrapautumista ei voi havaita silmämääräisesti tai rakennetta vasaroimalla, vaan se edellyttää tarkempia tutkimuksia. Pitkälle edennyt pakkasrapautuminen näkyy rakenteen pinnan selvästi havaittavina halkeamina, elementtien kaareutumisena ja lopulta betonin lohkeiluna. [2, s. 30.]



Kuva 1. Pakkasrapautumisesta johtuvaa säröilyä betonissa, kuva-ala noin 6 mm X 5 mm [2, s. 30]

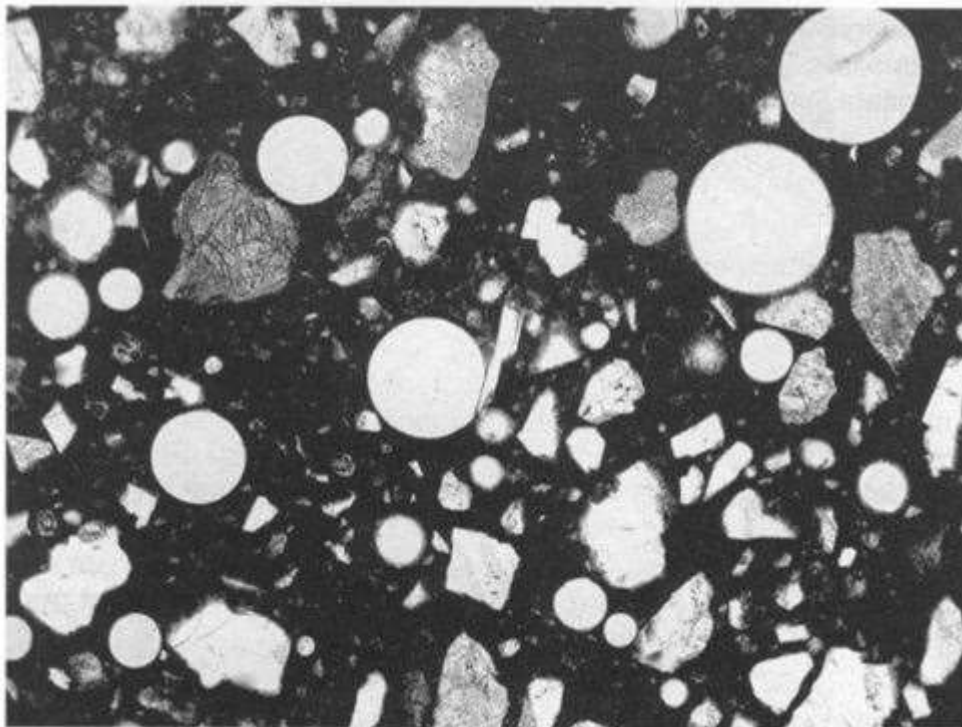
Jotta jäätyvän ja sulavan veden aiheuttama paine ei vaurioittaisi betonia, on betonin lujuuden oltava riittävän korkea ja/tai betonissa on oltava ilmahuokosia, jotka eivät täyty vedellä kapillaarivoimien vaikutuksesta, ja joihin laajeneva vesi voi tunkeutua. Näiden ns. suojuhuokosten keskinäisen välimatkan tulisi olla riittävän pieni eli suojuhuokosia olisi tasaisesti jakautuneena sementtikivessä. [2, s. 28.]

Pakkasenkestävyyden kannalta riittävän tiheä suojuhuokoisuus saadaan aikaan ainoastaan lisähuokostusta käyttämällä. Betonissa olevia kapillaarihuokosia suuremmat ilmahuokokset eli suojuhuokokset pysyvät ilmatäytteisinä vaikka betoni olisi pitkäänkin kosketuksessa veden kanssa. Olennaista on, että sementtikivessä on tasaisesti jakautuneena paljon oikean kokoisia (halkaisija 0,15–0,3 mm) suojuhuokosia oikein jakautuneena (kuva 3), (0,4–0,5 mm päässä toisistaan). [2, s. 28.]



Kuva 2. Suojahuokosten toimintaperiaate veteen kosketuksessa olevassa betonissa [2, s. 28]

Betonin pakkasenkestävyyteen vaikuttavat ulkoisesti rakenteeseen vaikuttava kosteus, mahdollinen suolarasitus ja jäätymis-sulamissyklien määrä. Sisäisesti betonin pakkasenkestävyyteen vaikuttavat alhainen vesi-sementtisuhte (siten myös korkea betonin lujuus), jäätyvän veden määrä ja suojahuokosrakenne eli suojahuokosten määrä, koko ja jakautuminen. [2, s. 29; 4, s. 10.]



Kuva 3. Ohuthiekkuva lisähuokostetusta betonista, vaaleat ympyrät ovat suojahuokosia, kuva-ala noin 2,5 mm X 2 mm [2, s. 102]

Kovettuneen betonin pakkasrasituksen kestävyyttä voidaan testata useilla vaihtoehtoisilla ja samanarvoisilla testausmenetelmillä, joita ovat huokosjako, laatukoe, jäädytys-sulatuskoe ja kuutiokoe. Kaikki testausmenetelmät ovat monivaiheisia ja vaativat erikoisosaamista sekä -laitteita. Pakkasrasituksen testausmenetelmien kestot ovat useita viikkoja. Huokosjaon määrittäminen on kestoaltaan lyhin, noin kuukausi, ja ainakin toistaiseksi yleisimmin käytetty. [5, s. 1.]

2.2 Karbonatisoituminen ja kloridien tunkeutuminen

Karbonatisoituminen ja kloridien tunkeutuminen ovat yhteydessä pakkasrapautuman kehittymiseen. Sisäinen pakkasvaurio eli säröily nopeuttaa hiukan betonin karbonatisoitumista. Karbonatisoituminen vähentää betonin kestävyyttä kloridien tunkeutumista vastaan. Betonin huokokset voivat täyttyä vedellä huomattavasti enemmän, jos betoniin on tunkeutunut klorideja. Enemmän vettä sisältävä betoni on alttiimpi sisäiselle pakkasvauriolle. [3, s. 53.]

2.3 Betonin rasitusluokat

Suunniteltaessa betonirakennetta suunnittelija valitsee betonirakenteen rasitusluokan/-luokat seuraavien rasitustekijöiden mukaisesti [1, s. 88]:

1. karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio
2. kloridien aiheuttama korroosio
3. merivedessä olevien kloridien aiheuttama korroosio
4. jäätymis-sulamisrasitus
5. kemiallinen rasitus.

Betonirakenteella voi olla useita eri rasitusluokkia. Rasitusluokat sekä suunniteltu käyttöikä ovat tärkeimpiä betonin säilyvyysuunnittelun määreitä. Yleisimmät betonirakenteiden suunnitellut käyttöiät ovat 50 ja 100 vuotta. [1, s. 93.]

Betonin jäätymis-sulamisrasitusluokat [1, s. 89–90]:

- XF1 Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
- XF2 Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
- XF3 Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
- XF4 Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet.

By50:ssä on taulukoitu myös vesi-sementtisuhteen, vähimmäislujuusluokan, vähimmäissementtimäärän ja ilmamäärän raja-arvot, kun suunniteltu käyttöikä on 50 tai 100 vuotta [1, s. 108–109]. Suomen betoniyhdistyksen taulukossa (taulukko 1) on ilmoitettu rapauman sallittu enimmäisarvo (g/m^2) betonin neljälle jäätymis-sulamisrasitusluokalle, kun suunniteltu käyttöikä on 50 tai 100 vuotta. Taulukossa on ilmoitettu myös suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen arvot jäätymis-sulamisrasitusluokille XF1 ja XF3.

Taulukko 1. Kovettuneen betonin pakkasenkestävyyden vaatimukset, kun suunniteltu käyttöikä on 50, tai 100 vuotta [1, s. 240]

Suunniteltu käyttöikä [a]	Rasitusluokka	1		2			3	
		Huokosjako VTT TEST-R003-00- 2010 mukaan ¹⁾		Jäädytys-sulatuskoe, SFS 5447 ³⁾			Laattakoe CEN/TR 15177 luokissa XF1 ja XF3 ⁴⁾ , CEN/TS 12390-9 luokissa XF2 ja XF4, jälkimmäisessä väliaine 3 % NaCl-liuos	
		Enimmäisarvo [mm]		Syklien lukumäärä	Taivutus- tai halkaisu- vetolujuuksien suhde [%]	Suhteellinen dynaaminen kimmokerroin γ [%]	Rapauma m [g/m ²]	Suhteellinen dynaaminen kimmokerroin γ [%]
w/c > 0,40	w/c ≤ 0,40							
50	XF1	0,27	0,27	100	≥ 67	≥ 75	$m_{50} \leq 500$	$\gamma_{50} \geq 67$
	XF2	0,25	0,30	-	-	-	$m_{50} \leq 400$	-
	XF3	0,23	0,23	300	≥ 67	≥ 75	$m_{50} \leq 200$	$\gamma_{50} \geq 75$
	XF4	0,25	0,30	-	-	-	$m_{50} \leq 200$	-
100	XF1	0,25	0,25	300	≥ 67	≥ 75	$m_{50} \leq 200$	$\gamma_{50} \geq 75$
	XF2 ²⁾			-	-	-		-
	XF3	0,22	0,22	-	-	-	$m_{50} \leq 100$	$\gamma_{50} \geq 85$
	XF4 ²⁾			-	-	-		-

¹⁾ Huokosjako voidaan selvittää hyväksytyssä testauslaitoksessa ohut- tai pintahieestä myös muulla soveltuvalla menetelmällä, jonka korrelaatio suhteessa referenssimenetelmään on todettu testauslaitosten välisellä tasokokeella.

²⁾ InfraRYL 2006 kohdan 42020.1.2 mukaiset vaatimukset

³⁾ Vaatimuksen tulee täyttää joko lujuuden tai kimmokertoimen osalta.

⁴⁾ Vaatimusten tulee täytyä sekä kimmokertoimen että pinnan rapauman osalta.

3 Kovettuneen betonin testaaminen

3.1 EN 12390 -standardisarja

Standardi on tunnustetun elimen vahvistama, konsensusperiaatteella laadittu, julkisesti saatavilla oleva suositusluontoinen asiakirja. Suomessa standardisoinnin keskusjärjestönä toimii Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Vain osa SFS-standardeista on saatavilla suomeksi. Standardit laaditaan nykyisin valtaosin eurooppalaisena tai maailmanlaajuisena yhteistyönä. [4, s. 2.]

Rakennusalalla keskeisin standardisoimisjärjestö on CEN (European Committee for Standardization) eli Euroopan standardisointikomitea, joka on laatinut EN 12390 -standardisarjan ohjeistamaan kovettuneen betonin laboratoriotestaaamista. Siihen kuuluvat seuraavat osat:

- 12390-1 Muoto, mitat ja muut koekappaleiden ja muottien vaatimukset
- 12390-2 Koekappaleiden valmistus ja säilytys lujuustestejä varten
- 12390-3 Koekappaleiden puristuslujuus
- 12390-4 Puristuslujuus. Vaatimukset testauskoneille
- 12390-5 Koekappaleiden taivutuslujuus
- 12390-6 Koekappaleiden halkaisuvetolujuus
- 12390-7 Kovettuneen betonin tiheys
- 12390-8 Paineellisen veden tunkeutumasyvyys
- 12390-9 Jäädytys-sulatuskestävyys. Pintarapautuminen
- 12390-10 Karbonatisoitumisominaisuuksien määrittäminen
- 12390-11 Kloridivastuksen määrittäminen. Yksisuuntainen diffuusio
- 12390-13 Sekanttikimmokertoimen määrittäminen puristuksessa.

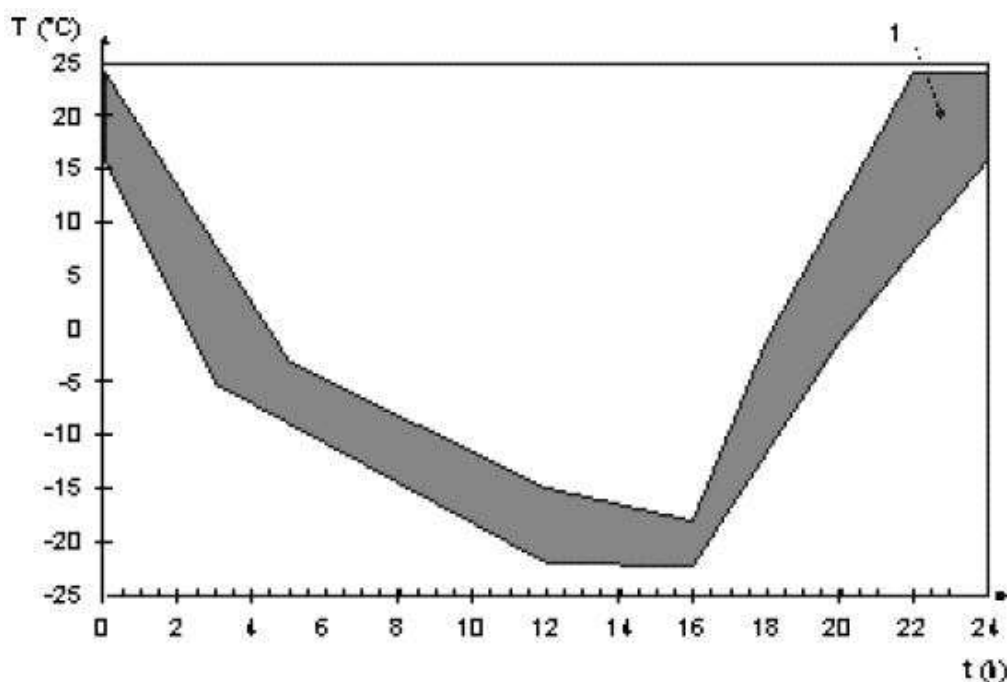
Tämä opinnäytetyö käsittelee EN 12390 -sarjan yhdeksättä osaa CEN/TS 12390-9 Jäädytys-sulatuskestävyys, pintarapautuminen. Betonin pakkasrapautuminen käsittää pintarapautumisen lisäksi myös sisäisen vaurion. Standardi CEN/TR 15177 sisältää menettelyn betonin sisäisen vaurion testaamiseksi. Standardista CEN/TR 15177 on enemmän tietoa luvussa 4.4.

3.2 EN 12390-9 Jäädytys-sulatuskestävyys. Pintarapautuminen

Euroopan standardointikomitea julkaisi standardin CEN/TS 12390-9 toukokuussa 2006. Standardi sisältää ohjeistuksen laattakokeen, jäädytys-sulatuskokeen ja kuutiokokeen suorittamiseksi. [7.] Tämä opinnäytetyö käsittelee laattakoetta.

Laattakokeen idea on altistaa betonikoekappale jäädytys-sulatusrasitukselle laboratoriossa. Betonin rapautumista mitataan jäädytys-sulatussykliä toistuen. 56 jäädytys-sulatussyklin jälkeen lasketaan testin lopputulos, joka on betonikoekappaleen pinnalta hilseilleen betonin kokonaismäärä, eli rapauma. [7, s. 6.]

Esivarastoinnin ja valmistelun jälkeen 150 mm:n koekuutioista sahattu 50 ± 2 mm korkea koekappale vuorataan kumilla ja lämmöneristetään siten, että 150 mm X 150 mm kokoinen pinta jää testipinnaksi. Testipinnalle kaadetaan 3 mm:n testi-liuoskerros (suolaliuos tai de-ionisoitu vesi). Koekappale altistetaan jäädytys-sulatusrasitukselle 56 jäädytys-sulatussyklin ajan. Rapautunut betoni kerätään ja punnitaan määrätyn väliajoin. Testin tulos, eli rapauma, on kumuloitunut rapautuneen betonin määrä 56 jäädytys-sulatussyklin jälkeen. Rapauma ilmoitetaan kilogrammoina neliometriä kohden (kg/m^2). [7, s. 10.]



Kuvio 1. Yhden jäädytys-sulatussyklin lämpötila-alue [7, s. 9]

Jäädytys-sulatuskaapin testiprofiili ohjelmoidaan siten, että betonikoekappaleen, 3 mm:n testiliuoskerroksen alla olevan testipinnan lämpötila seuraa standardin lämpötila-aluetta 24 h:n jäädytys-sulatussyklin ajan (kuvio 1). Taulukossa 2 ovat lämpötilan raja-arvot koekappaleen testipinnalla syklin aikana, joten sitä voidaan käyttää lähtökohtana testiprofiilin ohjelmointiin. Lämpötilaa koekappaleen pinnalla tarkkaillaan erillisellä lämpötila-anturilla, joka sijoitetaan testiliuos-pinnan alle, kontaktiin koekappaleen testipinnan kanssa (kuva 8).

Taulukko 2. Lämpötilan maksimi- ja minimiarvot, joihin 24 h:n jäädytys-sulatussyklin (kuvio 1) lämpötila-alue perustuu [7, s. 10]

upper limit		lower limit	
t in h	T in °C	t in h	T in °C
0	+ 24,0	0	+ 16,0
5	- 3,0	3	- 5,0
12	- 15,0	12	- 22,0
16	- 18,0	16	- 22,0
18	- 1,0	20	- 1,0
22	+ 24,0	24	+ 16,0

4 Testauslaitteisto

Tärkeimmät laitteet standardin CEN/TS 12390-9 mukaisesta testauslaitteistosta löytyivät jo rakennuslaboratoriosta ja puuttuvat tarvikkeet hankittiin paikallisesta rautakaupasta. Standardin mukainen testauslaitteisto on seuraava [7, s. 6–7]:

1. välineet 150 mm betonikuution valmistamiseen standardin EN 12390-2 mukaan
2. Ilmastointikaappi, jonka lämpötila on 20 ± 2 °C ja haihtuvuus veden pinnalta on 45 ± 15 g/m²h. Nämä arvot saavutetaan asettamalla kaapin veto $\leq 0,1$ m/s ja 65 ± 5 RH %.

3. timanttileikkuri betonin leikkaamista varten
4. Kumilevyä, jonka paksuus on $3\pm 0,5$ mm, joka kestää suolaliuosta ja säilyy elastisena -27 °C saakka.
5. Liimamassa, joka on suolan ja pakkasenkestävä.
6. Eristelevyä, jonka paksuus on 20 ± 1 mm ja lämmönjohtavuus $\geq 0,036$ W/mK.
7. Polyeteenimuovikalvo, jonka paksuus on 0,1 mm tai 0,2 mm.
8. Testiliuos, jonka koostumus on joko 97 massa-% talousvettä ja 3 massa-% NaCl, tai pelkästään de-ionisoitua vettä, eli akkuvettä.
9. jäädytys-sulatuskaappi
10. dataloggeri ja nesteen sekä pakkasen kestävä mittapää
11. Astia rapautuneen materiaalin keräämiseen, jonka on kestävä testi-liuosta ja $+120$ °C:n lämpötila ilman massahäviötä.
12. harja koekappaleen puhdistukseen testin aikana, messinkinen
13. Suihkupullo, jossa on hanavettä.
14. Lämpökaappi, jonka lämpötila on 110 ± 10 °C.
15. Tarkkuusvaaka, jonka tarkkuus on $\pm 0,05$ g.
16. Työntömitta, jonka tarkkuus on $\pm 0,1$ mm.

4.1 Jäädytys-sulatuskaappi

Jäädytys-sulatuskaapin valmistaja on Espec ja malli PL-2KPH. Jäädytys-sulatuskaappi on hankittu rakennuslaboratorioon loppuvuodesta 2009. Jäädytys-sulatuskaapissa voidaan pitää tasaista lämpötilaa ja suhteellista kosteutta, tai se voidaan ohjelmoida ajamaan testiprofiilia vaihtelevalla lämpötilan- ja/tai suhteellisen kosteuden asetuksilla.



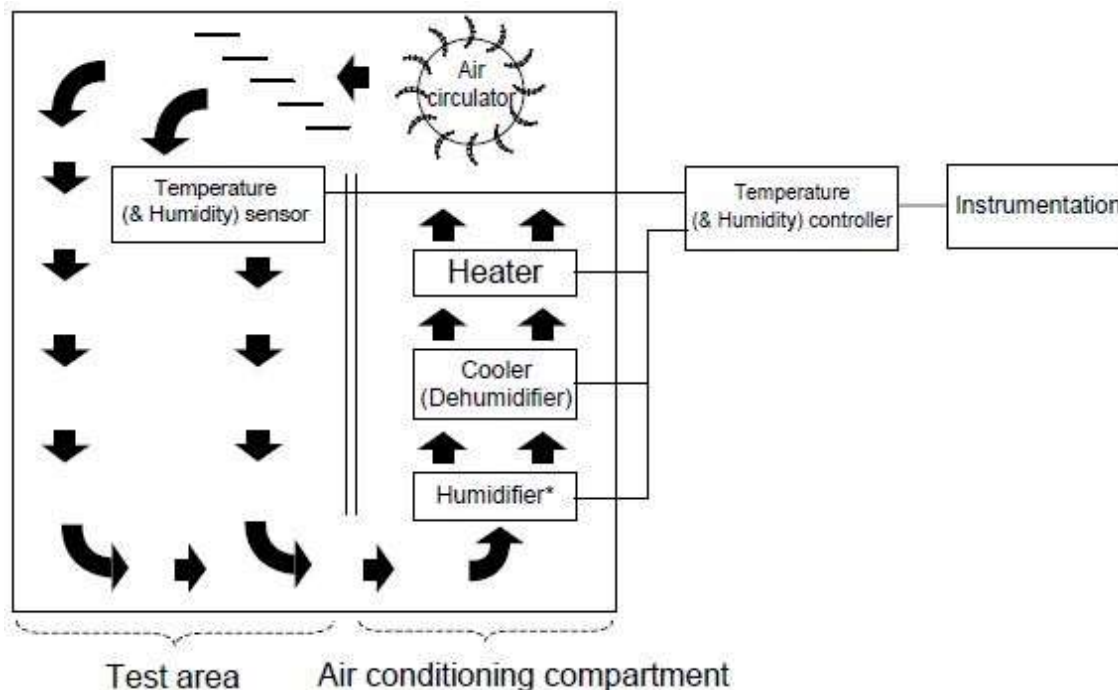
Kuva 4. Japanilaisvalmisteinen Espec jäädytys-sulatuskaappi

Jäädytys-sulatuskaapin tärkeimmät ominaisuudet ovat [8, s. 129]

- graafinen kosketusnäyttö ohjelmointia varten
- lämpötilan säätöalue: $-40\text{ °C} \dots +150\text{ °C}$
- lämpötilan tarkkuus: $\pm 0,5\text{ °C}$, tasaisuus $\pm 0,75\text{ °C}$
- suhteellisen kosteuden säätöalue: 20–98 RH %
- suhteellisen kosteuden tarkkuus: $\pm 2,5\text{ RH %}$, tasaisuus $\pm 3,0\text{ RH %}$
- sisätilavuus 225 litraa
- kaksi hyllyä, joiden kantavuus on yhteensä 20 kg.

Yksi tämän opinnäytetyön tarkoituksista oli luoda testiprofiili jäädytys-sulatuskaapille lämpötila-alueen (kuvio 1) mukaan. Testiprofiili soveltuu neljälle koekappaleelle, joka on normaali tilaajan lähettämä koekappaleiden määrä. Jäädytys-sulatuskaappiin mahtuu enimmillään kahdeksan koekappaleetta. Kah-

deksan koekappaletta todennäköisesti muuttaa ilmankiertoa jäädytys-sulatuskaapin sisällä, joten uuden ohjelman luominen kahdeksalle koekappaleelle lienee tarpeellista.



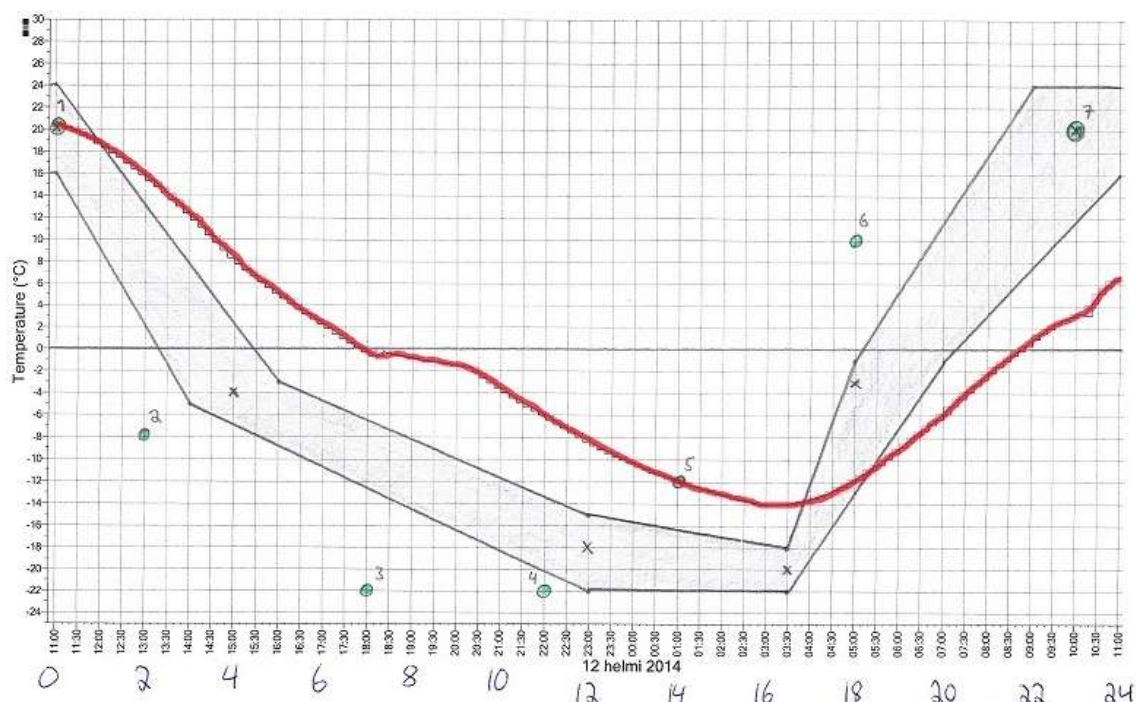
Kuva 5. Jäädytys-sulatuskaapin periaatekuva [8, s. 27]

4.2 Jäädytys-sulatuskaapin ohjelmointi

Standardissa CEN/TS 12390-9 taulukoidut (taulukko 2) lämpötilan raja-arvot on mitattu koekappaleen testipinnalta, testiliuosinnan alta. Jäädytys-sulatuskaappi ohjelmoidaan sisäilman lämpötilan perusteella. Jäädytys-sulatuskaapin testiprofiili ohjelmoitiin aluksi standardin lämpötilan raja-arvojen keskiarvoilla. Ensimmäisessä testiajossa huomasimme, että koekappaleen testipinnan lämpötila seuraa jäädytys-sulatuskaapin sisäilman lämpötilaa, mutta koekappale reagoi massansa vuoksi hitaammin jäädytys-sulatuskaapin sisälämpötilan muutoksiin (kuvio 2).

Seuraavissa 24 h:n jäädytys-sulatussykliä kuvioissa lämpötila on pystyakselilla ja aika vaakakselilla. Tummennettu alue kuvaa koekappaleen testipinnan lämpötilan raja-arvoja. Punaisella korostettu viiva kuvaa lämpötilaa koekappa-

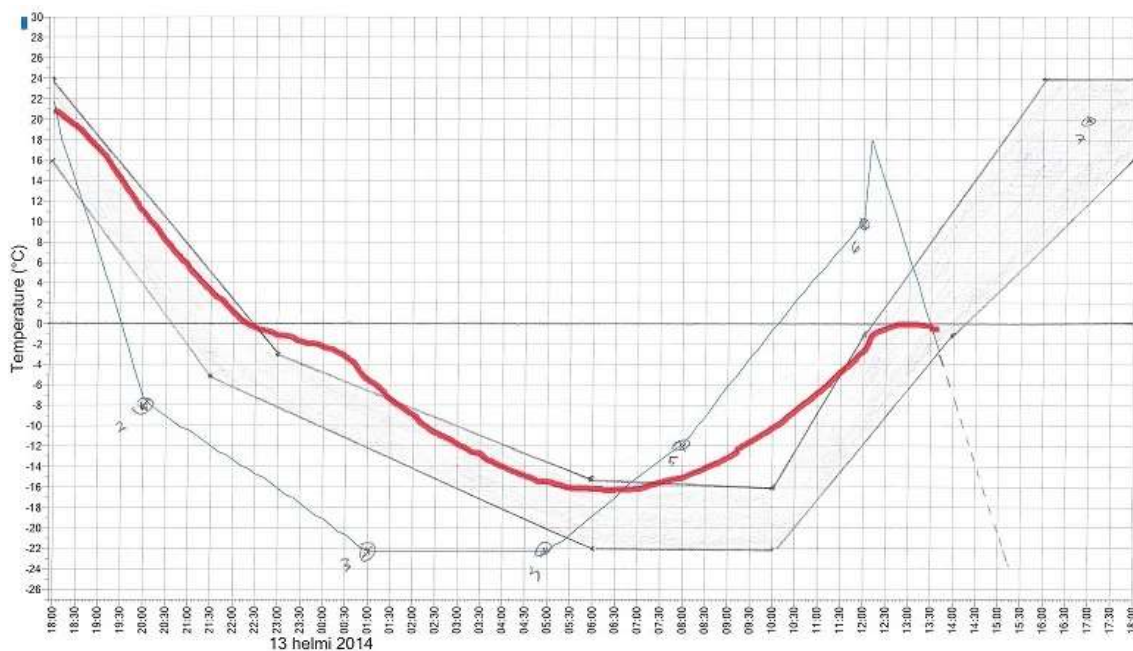
leen testipinnalla. Punaisen viivan tulee kulkea tummennetun alueen sisällä. Kuvioiden keskellä horisontaalisesti kulkeva suora viiva on 0 °C.



Kuvio 2. Testiajo 1. Rastit tummennetun alueen sisällä ovat 1. testiprofiilin ohjelmointipisteitä. Numeroidut vihreät pisteet ovat seuraavaan testiprofiiliin määritetyt uudet ohjelmointipisteet.

Toisessa testiajossa huomioitiin betonikappaleen hidas reagointi jäädytys-sulatuskaapin sisäilman lämpötilaan ja tavoiteltiin lämpötilan raja-arvokäyrää ennakoimalla jäädytys-sulatuskaapin sisäilman lämpötilaa testiprofiilissa.

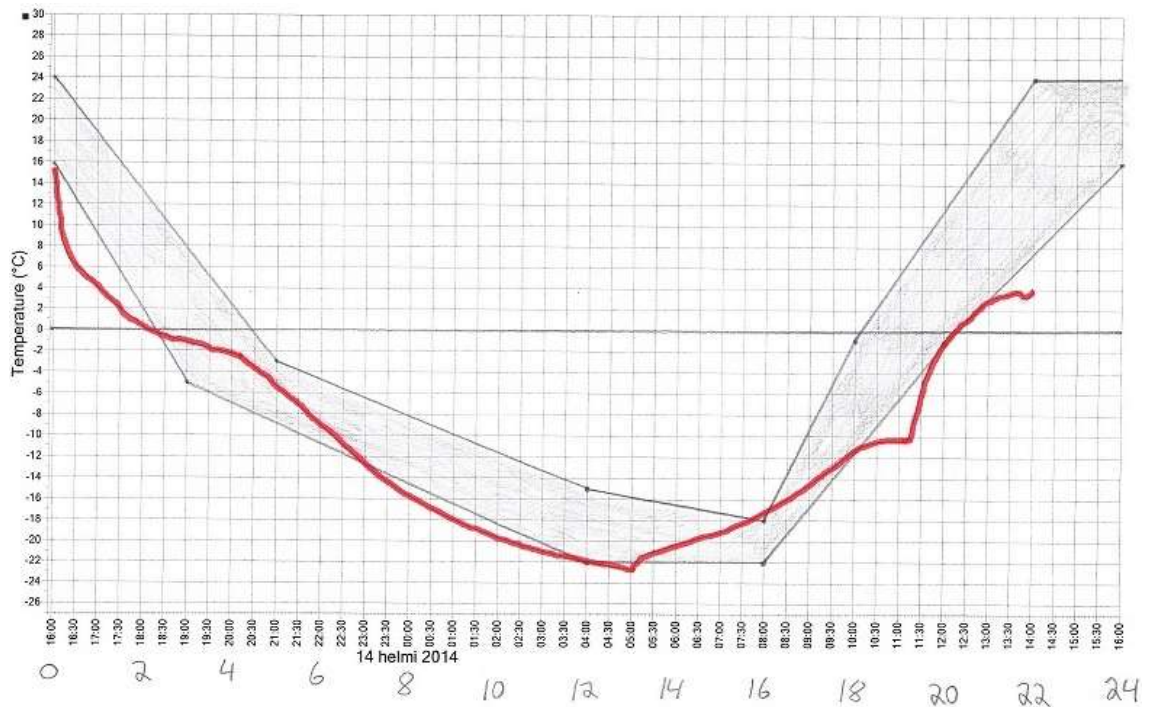
Toisessa testiajossa päästiin lähemmäksi tavoiteltuja lämpötilan raja-arvoja (kuvio 3). Jäädytys-sulatuskaappi alkoi testiprofiilista poiketen pakastaa ohjelman kuudennen askeleen jälkeen. Syy yllättävään pakastukseen selvisi myöhemmin jäädytys-sulatuskaapin ohjelmointiasetuksista.



Kuvio 3. Testiajo 2. Testiprofiilin ohjelmointipisteet on numeroitu 2–7. Jäädytys-sulatuskaapin sisälämpötiläkäyrä kulkee ohjelmoitujen pisteiden kautta.

Ensimmäisissä testiajoissa käytetty koekappale oli noin 60 mm korkea, standardin mukaisen 50 ± 2 mm korkean sijaan. Myös käytetty lämmöneriste oli 10 mm standardin mukaista paksumpaa. Tämä luultavasti lisäsi ensimmäisten testiajojen epätarkkuutta. Tarkoituksena oli kuitenkin käyttää hyödyksi kaikki mahdollinen aika ja testiajoista saatava data.

Kolmas testiajo tehtiin samalla koekappaleella, mutta korjatulla jäädytys-sulatuskaapin ohjelmalla. Koekappaleen testipinnan lämpötiläkäyrän muoto alkoi muistuttaa standardin lämpötila-alueen muotoa (kuvio 4).

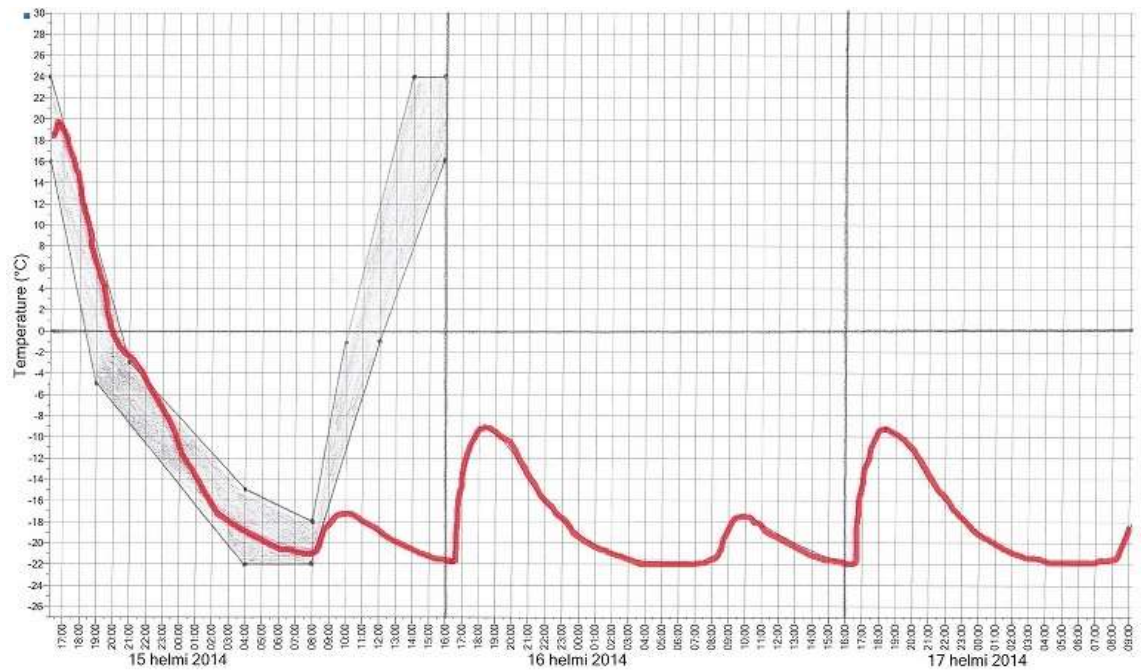


Kuvio 4. Testiajo 3

Neljättä testiajoa varten valmisteltiin kolme standardin mukaista koekappaletta. Neljäs testiajo oli 72 h pitkä, joten jäädytys-sulatuskaappi ehti suorittaa kolme 24 h:n jäädytys-sulatussykliä.

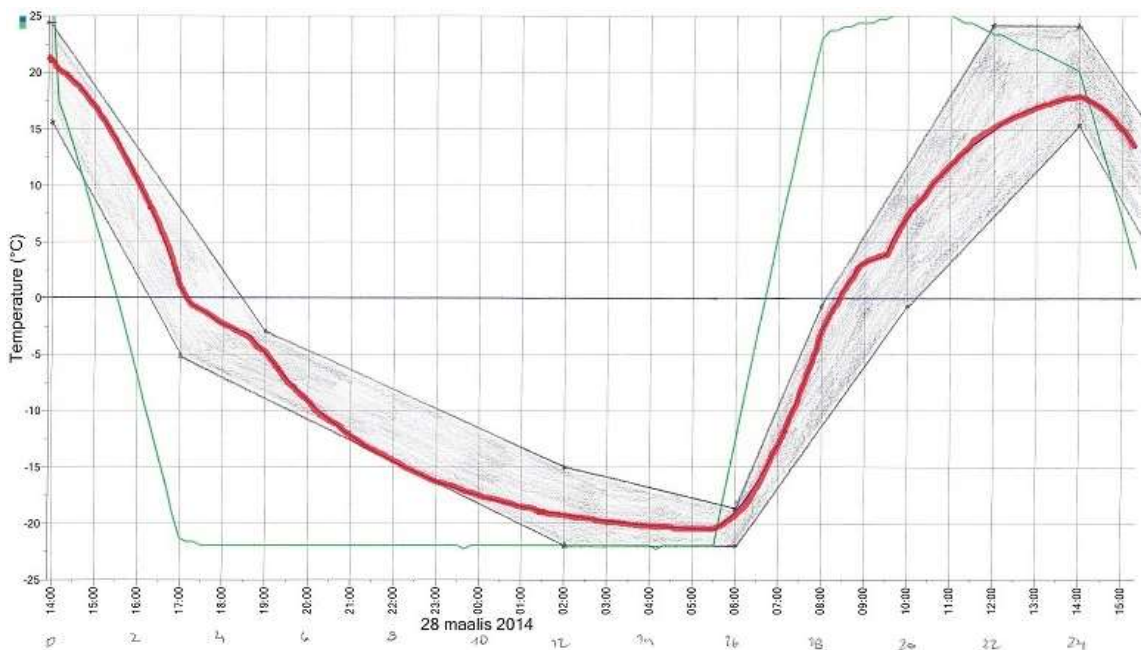
Neljäs testiajo alkoi hyvin, mutta noin 17 h:n kohdalla ensimmäistä jäädytys-sulatussykliä jäädytys-sulatuskaappi alkoi toistaa vain testiprofiilin loppuosaa (kuvio 5). Syy tähän selvisi jäädytys-sulatuskaapin asetuksista, joissa oli päällä counter-valikon asetus, jonka takia jäädytys-sulatuskaappi toisti 24 h:n jäädytys-sulatussyklin askelia 2–6.

Testiajossa kaksi havaittu yllättävä pakastaminen johtui todennäköisesti samasta asetuksesta. Counter-asetus oli päällä myös ensimmäisessä testiajossa, mutta koska ensimmäinen testiprofiili sisälsi vain kuusi askelta, asetus ei vaikuttanut ensimmäisen testiajon lämpötiläkäyrään.



Kuvio 5. Testiajo 4

Viidennellä testiajolla päästiin todella lähelle standardin raja-arvoja koko syklin ajalla. Kuudenteen testiajoon testiprofiilia yksinkertaistettiin poistamalla ylimääräiset ”askeleet”. Koekappaleen testipinnan lämpötiläkäyrä kulkee täysin raja-arvojen välissä. Lämpötiläkäyrän loiventuminen ohitettaessa 0 °C:n lämpötila aiheutuu todennäköisesti koekappaleen testipinnalla olevan testiliuoksen jääytymisestä ja sulamisesta.



Kuvio 6. Testiajo 6. Vihreä viiva kuvaa valmista testiprofiilia

4.3 Testaus jäädytys-sulatuskaapilla

Testi alkaa, kun koekappaleet asetetaan jäädytys-sulatuskaappiin ja ohjelmoitu jäädytys-sulatussykli käynnistetään. Lämpötilaa koekappaleiden testipinnalla seurataan vähintään yhden koekappaleen testipinnalta, anturi upotettuna nesteeseen ja kontaktissa testipinnan kanssa. Yhden jäädytys-sulatussyklin aikana lämpötila koekappaleen testipinnalla täytyy olla yli 0 °C vähintään 7 h, muttei yli 9 h:n ajan. Ilman lämpötila kaapissa ei saa missään vaiheessa laskea alle -27 °C:n. [7, s. 9.]

7±1, 14±1, 28±1, 42±1 ja 56 jäädytys-sulatussyklin jälkeen suoritetaan seuraavat toimenpiteet syklin loppuosalla tuntien 20–24 välissä, kun sisälämpötila jäädytys-sulatuskaapissa on lähellä laboratorion huonelämpötilaa [7, s. 10]:

1. Suodatinpapereita kuivataan vähintään 30 min ajan lämpökaapissa, 110±10 °C:n lämpötilassa.
2. Kuivat suodatinpaperit punnitaan ja asetetaan pesuseuloille. Koekappaleet poistetaan yksi kerrallaan jäädytys-sulatuskaapista. Rapautunut materiaali ja testiliuos valutetaan huolellisesti koekappalekohtaiselle suodatinpaperille ja testipintaa harjataan ja huuhdellaan messinkiharjan ja suihkupullon avulla.
3. Koepinnalle kaadetaan uusi 67 ml (3 mm:n kerros) testiliuosta.
4. Käsitelty koekappale asetetaan takaisin jäädytys-sulatuskaappiin ja rapauma-aineksen keräysmenettely toistetaan seuraavalle koekappaleelle.
5. Seuloja ja suodatinpapereita kuivataan lämpökaapissa 110±10 °C:n lämpötilassa 2 h:n ajan.
6. Suodatinpaperit siirretään varovasti pesuseuloilta tarkkuusvaa'alle ja punnitaan 0,01 g:n tarkkuudella. Koekappalekohtainen rapauma jokaisen jäädytys-sulatussyklimäärän jälkeen on kunkin koekappaleen suodatinpaperin punnitustulosten erotus. Punnitustulokset merkitään punnituspöytäkirjaan ja siirretään testaustyölomakkeeseen (pyöristys 0,1 g).

4.4 Suhteellinen dynaaminen kimmokerroin

Suhteellinen dynaaminen kimmokerroin on koekappaleesta, ennen ja jälkeen 56 jäädytys-sulatussyklin, mitattujen kimmokertoimien suhde.

Standardeissa CEN/TS 12390-9 ja CEN/TR 15177 jäädytys-sulatusmenettely on yhtenevä ja samoista 56 jäädytys-sulatussyklillä rasitetuista koekappaleista voidaan ennen kumivuorausta ja viimeisen rapauman keräyksen jälkeen mitata dynaamiset kimmokertoimet ja määrittää suhteellinen dynaaminen kimmokerroin sisäisen pakkasvaurion selvittämiseksi. Karelia-amk:n rakennuslaboratorioon hankitaan laitteistoa dynaamisen kimmokertoimen testaamiseksi standardin CEN/TR 15177 mukaan. [7, s. 5; 9, s. 5.]

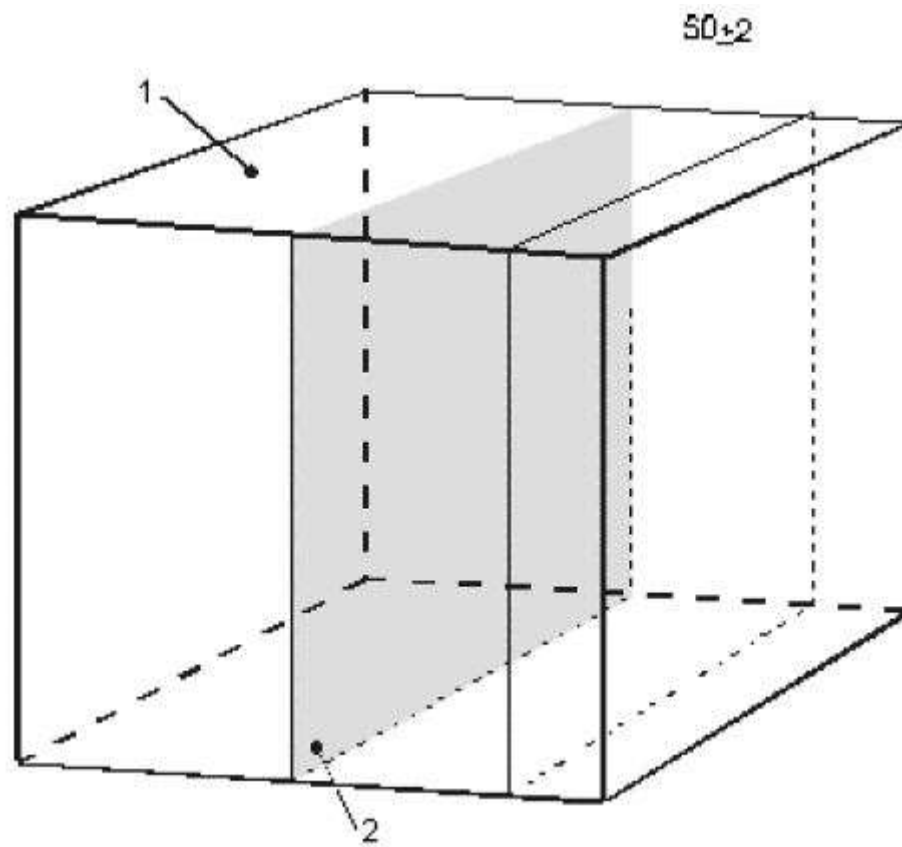
Kovettuneen betonin pakkasenkestävyyden vaatimukset (taulukko 1) sisältävät minimiarvot myös suhteelliselle dynaamiselle kimmokertoimelle rasitusluokissa XF1 ja XF3. Näissä rasitusluokissa vaatimusten tulee täytyä sekä suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen, että rapauman osalta. Luokissa XF2 ja XF4 tarkastellaan vain rapaamaa. [1, s. 240.]

5 Koekappaleiden valmistelu

Ennen jäädytys-sulatustestaamisen aloittamista 150 mm koekuutiot valmistellaan testaamista varten. Valmistelu käsittää ajanjakson koekappaleiden valusta ensimmäisen jäädytys-sulatussyklin käynnistymiseen, kokonaisuudessaan 31 päivää. Standardin valmisteluohje koekappaleille on seuraava [7, s. 7–9]:

1. 150 mm koekuutiot valetaan standardin EN 12390-2 mukaan. Koekuutioiden annetaan kovettua muoteissa muovilla suojattuna. Lämpötila on 20 ± 2 °C.
2. 24 ± 2 h valun jälkeen muotit puretaan ja koekuutiot upotetaan talousvedellä täytettyyn astiaan. Veden lämpötila on 20 ± 2 °C.

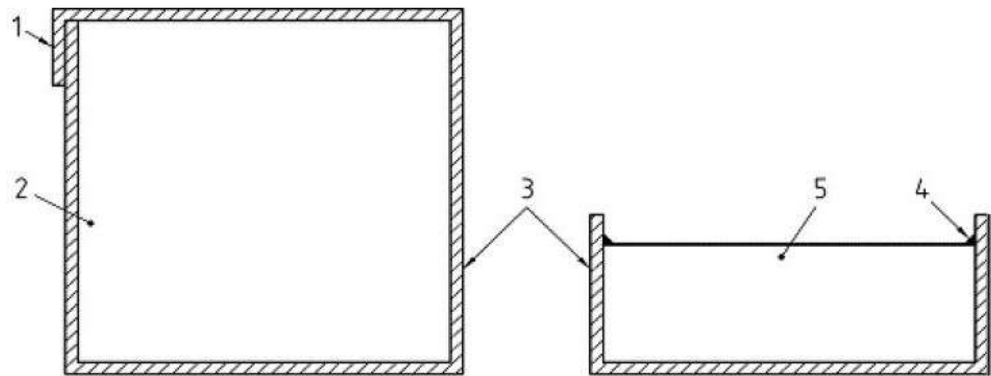
3. Kun valusta on kulunut seitsemän (7) päivää, koekuutiot nostetaan vedestä ja asetetaan ilmastointikaappiin.
4. Kun valusta on kulunut 21 päivää, koekuutiot sahataan kolmeen osaan poikittain valupintaan nähden siten, että jokaisesta saadaan yksi 50 ± 2 mm paksu koekappale (kuva 6). Huomioi sahanterän leveydestä riippuva materiaalihävikki. Koekappale on kuvassa 6 keskimäinen ”viipale” ja sen tuleva testipinta on tummennettu. Koekuution valupinta on merkitty numerolla 1.



Kuva 6. Koekappaleen sahaus koekuutiosta [5, s. 7]

5. Heti sahausten jälkeen 50 ± 2 mm korkeat koekappaleet pestään hana vedellä ja ylimääräinen kosteus pyyhitään pois. Tämän jälkeen koekappaleiden ulottuvuudet mitataan työntömitalla $\pm 0,5$ mm:n tarkkuudella ja merkitään testaustyölomakkeeseen. Sahausten ja mittauksen jälkeen koekappaleet palautetaan ilmastointikaappiin pystyasentoon, vähintään 50 mm:n päähän toisistaan.

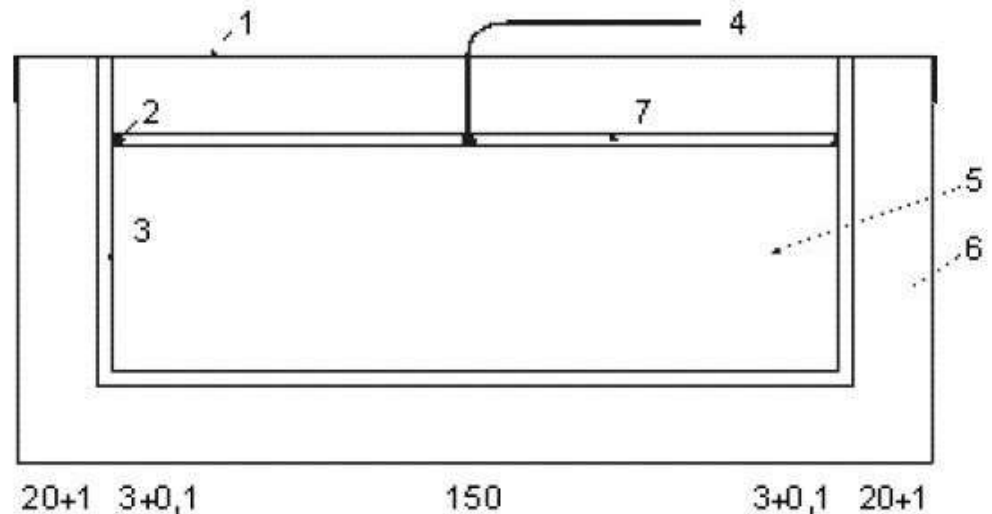
6. Kun valusta on kulunut 25 ± 1 päivää, koekappaleet vuorataan kumilevyllä. Kuvassa 7 on standardin suosittama liimausmenetelmä. Kuvassa 13 on esitetty käytännössä helpommaksi ja nopeammaksi todettu liimausmenetelmä. Kumin tulee muodostaa 20 ± 1 mm korkea reunas testipinnan ympärille. Kumin ja testipinnan välinen kulma saumataan massalla siten, että vähintään 90 % testipinnasta jää näkyviin. Toimenpiteen jälkeen koekappaleet palautetaan ilmastointikaappiin.



Kuva 7. Koekappaleen kumivuoraus ja saumaus [7, s. 8]

7. 28 päivää valun jälkeen koekappaleet poistetaan ilmastointikaapista 20 ± 2 °C:n lämpötilaan ja testipinnoille kaadetaan noin 3 mm:n kerrokset de-ionisoitua vettä, eli akkuvettä. De-ionisoidun veden pinta pidetään noin 3 mm korkeana 72 ± 2 h:n ajan. (67 ml de-ionisoitua vettä riittää 3 mm:n kerrokseen 150 mm X 150 mm kokoisella testipinnalla.)
8. Koekappaleiden lämmöneristelaatikot valmistellaan tai valmistetaan ennen testauksen aloittamista jäädytys-sulatuskaapilla. Lämmöneristeenä käytetään 20 ± 1 mm paksua polystyreeniä (EPS tai XPS), tai vastaavaa lämmöneristettä (kuva 8).
9. Kun valusta on kulunut 31 päivää, jäädytys-sulatus-testaus alkaa. Aikaisintaan 15 minuuttia ennen kaappiin asettamista, lämpötilassa 20 ± 2 °C, koekappaleet asetetaan lämmöneristelaatikoihin ja testipinnalla oleva neste korvataan 3 mm:n kerroksella testiliuosta (suolaliuos tai de-ionisoitu vesi, 67 ml liuosta riittää 3 mm:n kerrokseen 150 mm X 150 mm kokoisella testipinnalla). Testiliuoksen haihtuminen estetään

koekappaleen päälle asetettavalla muovikalvolla (kuva 8), jonka kuminauhat pitävät paikoillaan. Muovikalvon ja testiliuoksen yläpinnan väliin tulee jäädä vähintään 15 mm vapaata tilaa.



Kuva 8. Koekappale valmiina asetettavaksi jäädytys-sulatuskaappiin 1. muovikalvo, 2. saumanauha, 3. kumilevy 4. dataloggerin anturi, 5. koekappale, 6. eristelaatikko, 7. testiliuos. Kuvan alareunassa olevat mitat ovat millimetrejä [7, s. 9]

6 Koetesti

Koetestillä selvitettiin lämmöneristys-, liimaus- ja tiivistysmateriaalien toimivuutta, jäädytys-sulatuskaapin ohjelmoinnin onnistumista ja rapauman keräämiseen valittujen välineiden ja toimenpiteiden toimivuutta. Koetestiä varten paikalliselta valmisbetonitehtaalta tilattiin neljä XF3 jäätymis-sulamisrasitusluokan koekuutiota. Koekuutiot valettiin 17.2.2014. Ensimmäinen jäädytys-sulatussykli alkoi 20.3.2014 ja viimeinen päättyi 15.5.2014.

6.1 Koetestin koekappaleiden valmistelu

Koekuutiot oli valettu 17.2.2014. Seuraavana päivänä 18.2.2014 riittävästi kovettuneet koekuutiot haettiin paikalliselta valmisbetonitehtaalta Karelia-amk:n

rakennuslaboratorioon. Koekuutioiden valmistelu suoritettiin standardin ohjeiden mukaisesti. Koska ilmastointikaappia ei saatu hankituksi koetestiä varten, koekuutioita ja koekappaleita säilytettiin valmistelun aikana jäädytys-sulatuskaapissa, standardin ilmastointikaapille määraamissä olosuhteissa. Koekuutiot upotettiin veteen 24 h valun jälkeen. 7 päivää valun jälkeen koekuutiot nostettiin vedestä ja asetettiin ilmastointikaappina toimivaan jäädytys-sulatuskaappiin, jossa lämpötila oli 20 ± 2 °C ja suhteellinen kosteus 65 ± 5 RH %.



Kuva 9. Koekuutiot vesialtaassa

21 päivää valun jälkeen jokaisesta koekuutiosta sahattiin yksi standardin mukainen 50 ± 2 mm korkea koekappale. Sahausten jälkeen koekappaleet pestiin hanavedellä ja niiden ulottuvuudet mitattiin työntömitalla. Mittauksen jälkeen koekappaleet asetettiin takaisin ilmastointikaappina toimivaan jäädytys-sulatuskaappiin.



Kuva 10. Koekuutio sahauksen jälkeen, koekappale on keskimäinen "viipale"



Kuva 11. Koekappaleen testipinta, joka sijaitsee koekuution keskilinjalla

Kun koekappaleita vuorattiin kumilla, kumilevyt leikattiin eri tavoin kuin standardissa, liimaamisen helpottamiseksi. Pohjapala leikattiin koekappaleen pohjan kokoiseksi (150 mm X 150 mm) ja se liimattiin ensimmäisenä. Sivuille leikattiin neljä erillistä suikaletta (153 mm X 73 mm) yhden pitkän suikaleen sijaan (kuva 12). Neljän erillisen sivupalan liimaus oli huomattavasti helpompaa, kuin nurkien yhden pitkän suikaleen. Liimaamiseen käytettiin Sikaflex-221 massaa.



Kuva 12. Vaihtoehtoinen kumilevyjen leikkaustapa



Kuva 13. Sivulevyjen liimaus

Sikaflex-221 Saumamassaa kannattaa käyttää reilusti (enemmän kuin kuvassa 14) ja enimmäkseen kumireunuksen päällä, koska saumamassa saa peittää korkeintaan 10 % koekappaleen testipinnan pinta-alasta (kuva 19). Liimaamisen ja saumaamisen jälkeen koekappaleet asetettiin takaisin ilmastointikaappina toimivaan jäädytys-sulatuskaappiin.



Kuva 14. Kumivuoratut ja saumatut koekappaleet

Kun valusta oli kulunut 28 päivää, koekappaleet asetettiin lämmöneristelaatikoihin huoneenlämpöön. Koekappaleiden testipinnoille kaadettiin noin 3 mm: kerrokset de-ionisoitua vettä. Testipinnan kostutus jatkui 72 ± 2 h:n ajan. Nestepinta pidettiin tämän ajan noin 3 mm:n korkuisena.



Kuva 15. Koekappaleiden valmistelua jäädytys-sulatussyklejä varten

Kolme päivää myöhemmin, kun valusta oli kulunut 31 päivää, testipinnoilla ollut liuos poistettiin ja tilalle kaadettiin testiliuos. Koekappaleet suojattiin muovikalvoilla ja asetettiin jäädytys-sulatuskaappiin jäädytys-sulatussykliä varten. Koekappaleiden testipinnan lämpötilaa tarkkailtiin dataloggerilla yhdestä koekappaleesta.



Kuva 16. Koekappaleen testipinnan ja jäädytys-sulatuskaapin sisäilman dataloggerien lämpötila-anturit

6.2 Jäädytys-sulatussyklit

Jäädytys-sulatuskaapin jäähdytyskennoon voi muodostua jäätä, jos kaapin olosuhteet ovat pitkään esimerkiksi $+20\text{ °C}$ ja suhteellinen kosteus 85 RH \% [8, s. 129]. Koska varsinaista ilmastointikaappia ei ollut saatavilla, jäädytys-sulatuskaappia käytettiin ilmastointikaappina koekappaleiden valmistelussa. Ennen koetestin aloittamista kaapin olosuhteet olivat jään muodostumisen kannalta otolliset usean päivän ajan.

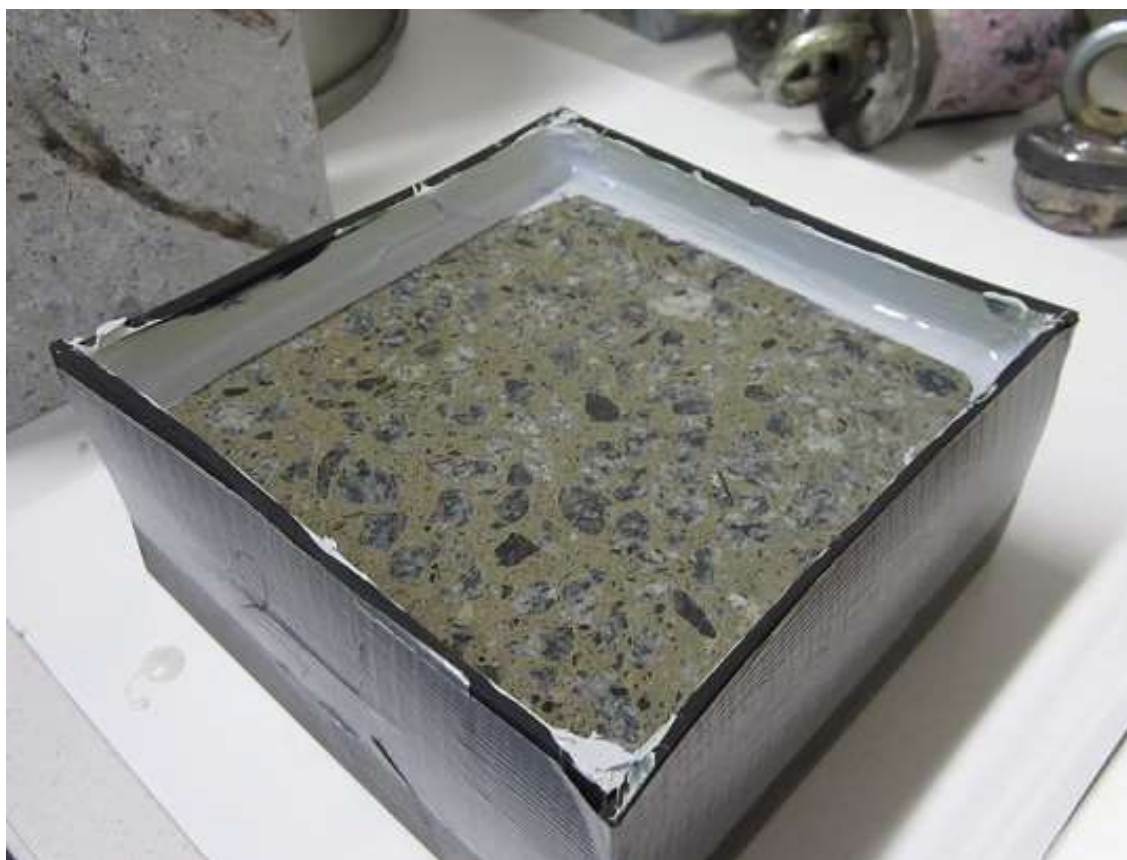
Torstaina 20.3.2014 ennen koetestin aloittamista jäädytys-sulatuskaapin takaseinän alareuna oli paksun jääpeitteen alla. Jää takaseinän pinnalta sulatettiin, mutta seinälevyn takana oleva jäähdytyskenno oli myös jään peitossa. Jää toimi lämmöneristeenä kennossa ja aiheutti pakastuksen tehottomuuden. Koetestin seitsemän ensimmäisen jäädytys-sulatussyklin aikana koekappaleiden pinnan lämpötila ei pysynyt standardin raja-arvojen välissä.



Kuva 17. Neljä koekappaletta jäädytys-sulatuskaapissa

Ensimmäisen rapauman keräyksen (27.3.2014) tulokset hylättiin pakastuksen tehottomuuden takia. Ennen seuraavan syklin käynnistämistä jäädytyskenno sulatettiin. Sulatuksen jälkeen koekappaleiden testipinnan lämpötila alkoi seurata standardin raja-arvoja.

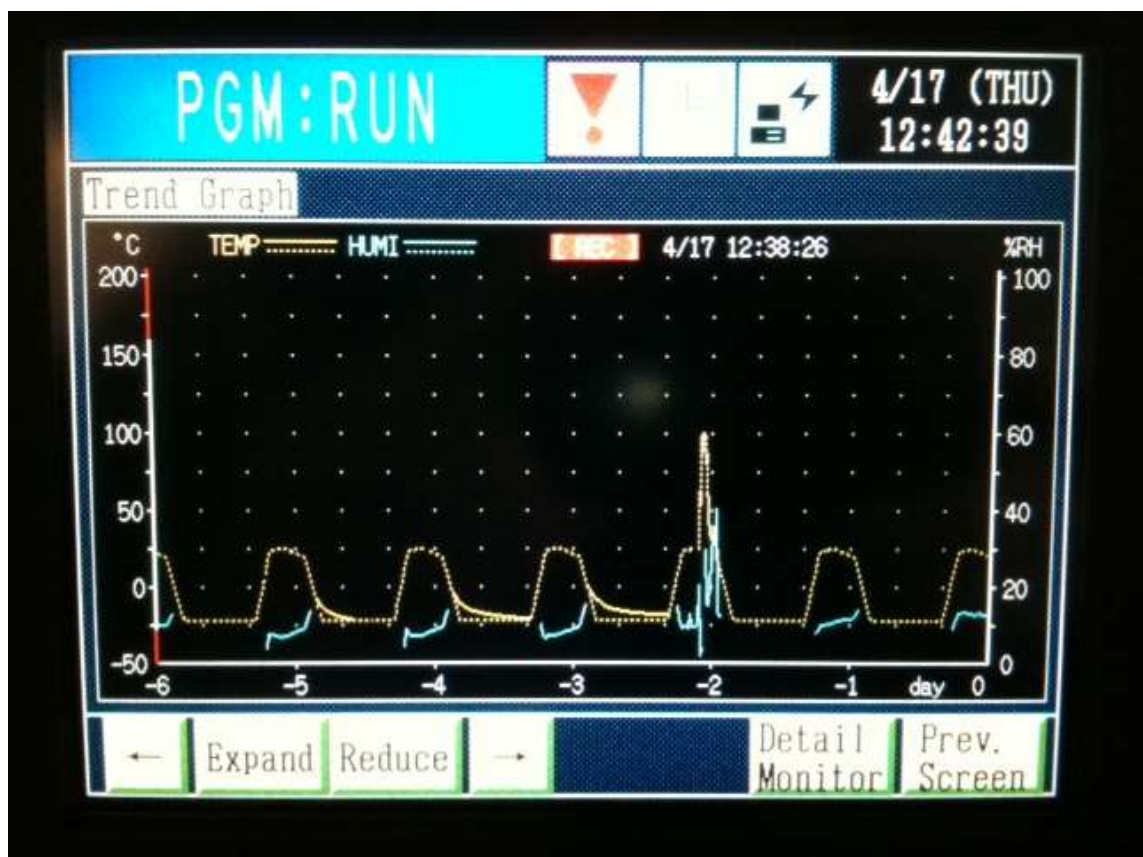
Toinen rapauman keräys oli 3.4.2014. Dataloggerin mukaan lämpötila koekappaleen testipinnalla edeltävällä viikolla oli pysynyt raja-arvojen välissä. Kun koekappaleita nostettiin pois jäädytys-sulatuskaapista, eristelaatikoiden huomattiin olevan kosteita. Saumamassa oli paikoittain irtoillut kumireunuksesta. Koekappaleiden pinnalla oli kuitenkin vielä testiliuosta. Rapauman keräys suoritettiin normaalisti.



Kuva 18. Paranneltu saumaus

Rapauman keräyksen jälkeen koekappaleiden kumit, sekä eristelaatikot kuivatettiin ja kumireunuksille lisättiin saumamassaa. Testipinnoille kaadettiin uudet testiliuokset ja koekappaleet asetettiin takaisin jäädytys-sulatuskaappiin.

Koetestin neljännellä viikolla jäädytys-sulatuskaapin sisälämpötilan kuvaajassa havaittiin poikkeama (kuva 19). Kuvassa 19 yhtenäinen keltainen viiva kuvaa poikkeamaa, pisteviivan ollessa testiprofiilin ohjelmoitu lämpötila. Pakastus alkoi hidastua, joten jäädytyskenno sulatettiin kesken jäädytys-sulatussyklin. Jäädytys-sulatuskaappi muodostaa jäätä jäädytyskennon pinnalle noin puolitoista viikkoa testiprofiilin käynnistämisen jälkeen. Jäädytys-sulatuskaapin ohjekirjan mukaan CEN/TS 12390-9 testiprofiilin kaltaisissa olosuhteissa jäätä ei pitäisi muodostua. Kuten standardissa ohjeistetaan, on lämpötilaa koekappaleen pinnalla ja jäädytys-sulatuskaapissa todellakin seurattava säännöllisin väliajoin.

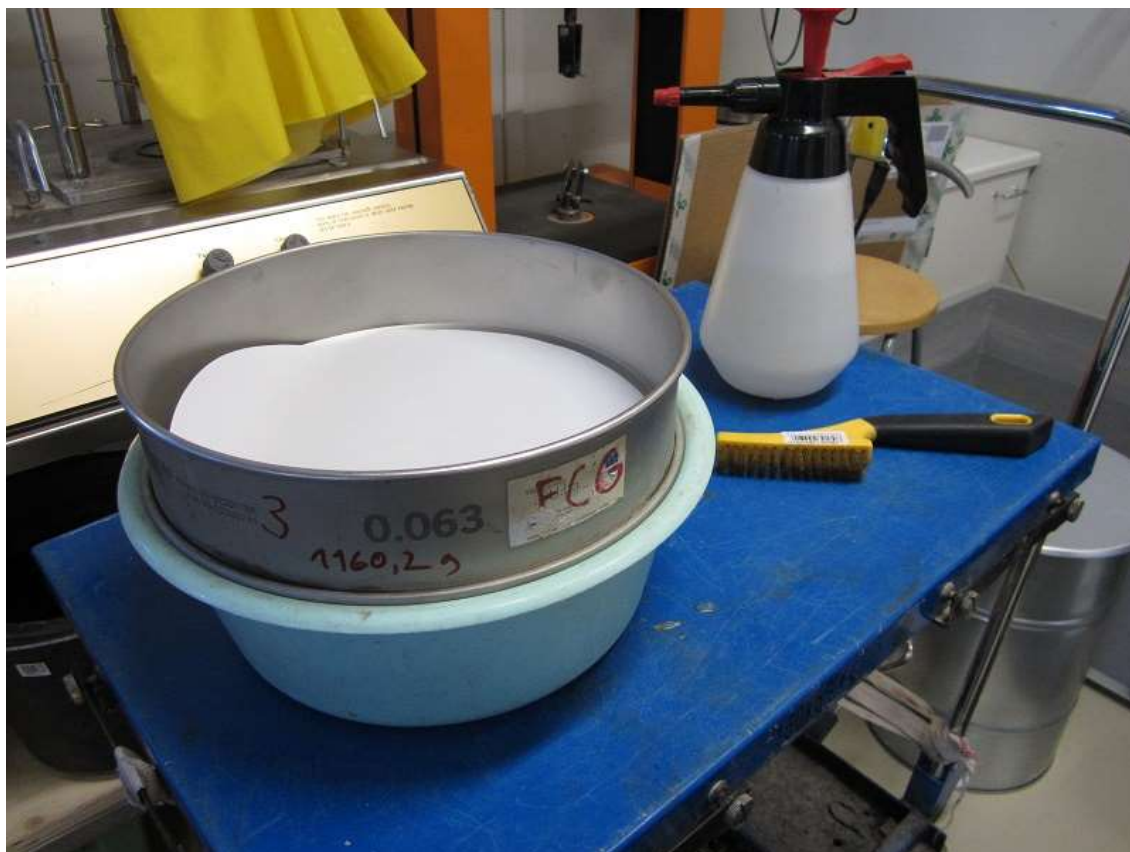


Kuva 19. Jäädytys-sulatuskaapin graafinen kuvaaja, jossa näkyy ohjelmoitu sisälämpötila keltaisella pisteviivalla ja toteutunut sisälämpötila yhtenäisellä viivalla.

Kuudennella viikolla jäädytyskennon pinnalle oli jälleen muodostunut reilusti jäätä. Jäätämisiongelman korjaamiseksi testiprofiiliin lisättiin suhteellisen kosteuden asetus ja jäädyttimen tehoa laskettiin silloin, kun lämpötila jäädytys-sulatuskaapissa on positiivinen.

6.3 Rapauman keräys

Rakennuslaboratorioon valmisteltiin neljä tiheää pesuseulaa, suodatinpapereita, laakea kulho, suihkupullo ja messinkiharja sekä tarkkuusvaaka rapauman keräämistä ja punnitusta varten (kuva 20).



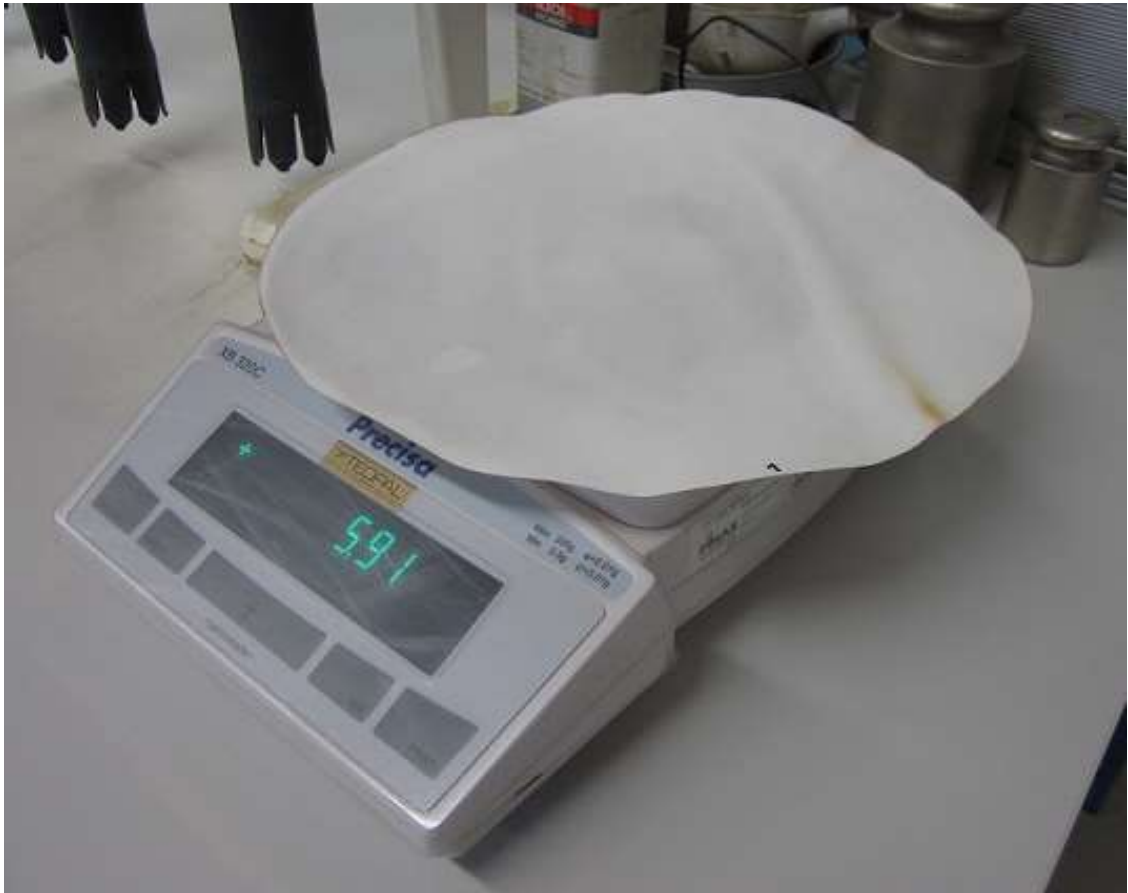
Kuva 20. Rapauman keräystarvikkeet: pesuseula, suodatinpaperi, messinkiharja ja suihkupullo

Rapautunutta kerätään koekappalekohtaisesti. Ensin suodatinpaperit kuivatetaan lämpökaapissa ja punnitaan. Sitten koekappaleen testipinnalla oleva testiliuos kaadetaan suodatinpaperille. Testipintaa harjataan messinkiharjalla ja huuhdellaan suihkupullolla suodatinpaperin päällä (kuva 21). Kaikki huuhteluvesi valuteaan suodatinpaperin läpi, jolloin rapautunut materiaali jää suodatinpaperille.



Kuva 21. Harjaus suoritetaan messinkiharjalla ja huuhtelu suihkupullolla.

Koekappaleiden harjaamisen ja huuhtelun jälkeen märät pesuseulat ja suodatinpaperit asetetaan lämpökaappiin $+110\pm 10$ °C:n lämpötilaan, jossa niiden annetaan kuivua kahden tunnin ajan. Kuivauksen jälkeen suodatinpaperi nostetaan varovasti pesuseulalta ja asetetaan tarkkuusvaa'alle punnittavaksi (kuva 22).



Kuva 22. Suodatinpaperin punnitus

Koekappalekohtainen rapauman massa saadaan suodatinpaperin punnitustulosten erotuksena.

Kunkin rapauma-aineksen keräyskerran punnitustulos merkataan punnituspöytäkirjaan 0,1 g:n tarkkuudella. Testin lopputulos eli rapauma on kunkin koekappaleen kumuloitunut rapauman määrä. Mitattua rapaamaa verrataan taulukko 1:ssä [1, s. 240] annettuun maksimirapaumaan.

6.4 Rapauman keräysten tulokset

Koekappaleiden jäätymis-sulamisrasitusluokan XF3 sallittu maksimirapauma 50 vuoden suunnitellulla käyttöiällä on 200 g/m² (taulukko 1). Koekappale kohtaisella testipinnalla se tarkoittaa noin 4,5 g/testipinta. Rapauman keräysten tulokset on esitetty koetestin testauspöytäkirjasta leikatussa taulukossa 3.

Taulukko 3. Rapaumat koetestin testaustyöomakkeesta

Tunnus	Testin aloitus pvm	7±1	14±1	28±1	42±1	56	Rapauma [g]	[g/m ²]	Sallittu rapauma [g/m ²]
		27.3.	3.4.	17.4.	30.4.	15.5			
1.	20.3.	-	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	13,3	< 200
2.	20.3.	-	0,0	0,2	0,1	0,0	0,3	13,3	< 200
3.	20.3.	-	0,0	0,2	0,1	0,1	0,4	17,7	< 200
4.	20.3.	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	17,7	< 200

Ensimmäinen rapauman keräys suoritettiin torstaina 27.3.2014, seitsemän jäädytys-sulatussyklin jälkeen. Keräyskerran tulokset hylättiin, koska standardin lämpötilan raja-arvot eivät täytyneet ensimmäisen seitsemän jäädytys-sulatussyklin aikana ja koska punnitut rapaumamäärät olivat alle 0,01 g:n suuruisia (taulukko 3).

Toinen rapauman keräys suoritettiin torstaina 3.4.2014, 14 jäädytys-sulatussyklin jälkeen. Kaapin ohjelmointi toimi toisella viikolla mutta mittaustulokset jäivät jälleen pieniksi ja vain yhden koekappaleen rapauma ylitti testausraportin tarkkuusmarginaalin (taulukko 3).

Kolmas rapauman keräys suoritettiin torstaina 17.4.2014, 28 jäädytys-sulatussyklin jälkeen (taulukko 3). Edellisestä keräyksestä (3.4.2014) oli kulunut kaksi viikkoa. Näistä kahdesta viikosta jälkimmäisen puolivälissä jäädytys-sulatuskaappi alkoi muodostaa jäätä jäädytyskennoon. Tämä aiheutti pakastustehon lievän heikkenemisen. Jäädytyskenno sulatettiin ja pakastusteho palasi normaaliksi. Aiheutunut häiriö jäi vähäiseksi.

Neljäs rapauman keräys suoritettiin keskiviikkona 30.4.2014, 41 jäädytys-sulatussyklin jälkeen (taulukko 3). Jäädytyskenno sulatettiin päivää ennen tarkastusta. Samalla testiprofiiliin tehtiin sivulla 34 kuvatut muutokset.

Viides ja viimeinen rapauman keräys suoritettiin torstaina 15.5.2014, 56 jäädytys-sulatussyklin jälkeen (taulukko 3). Jäädytyskennoa ei tarvinnut sulattaa.

56 jäädytys-sulatussyklin jälkeen koekappaleiden kumuloituneet rapaumat olivat (suluissa rapauma kerrottuna neliömetrille):

1. 0,3 g (13,33 g/m²)
2. 0,3 g (13,13 g/m²)
3. 0,4 g (17,78 g/m²)
4. 0,4 g (17,78 g/m²).

Koekappaleet rapautuivat pinnaltaan huomattavasti vähemmän, kuin 200 g/m² maksimirapauma (taulukko 1) sallii. Mitatut kumuloituneet rapaumat olivat noin 7–9 % sallitusta maksimirapaumasta. Tämä voi osittain johtua koetestin ensimmäisten seitsemän jäädytys-sulatussyklin tehottomuudesta. Koetestissä oli muitakin pieniä ongelmia, mutta ensimmäistä testausviikkoa lukuun ottamatta jäädytys-sulatuskaapin sisälämpötila seurasi standardin raja-arvoja ja koetesti eteni standardin mukaisesti.

Rakennuslaboratoriolla ei toistaiseksi ole tietoa valmisbetonitehtaiden XF-luokkien betonimassoissa käyttämistä varmuusmarginaaleista. Koetestin tulokset viittaavat siihen, että nämä varmuusmarginaalit saattavat olla suuria.

7 Raportointi

7.1 Testaustyölomake

Jäädytys-sulatustestiä varten laadittiin testaustyölomake ja punnituspöytäkirja, jotka helpottavat testauksen toimenpiteiden oikeaa ja oikea-aikaista suorittamista. Punnituspöytäkirjaan merkataan kaikkien koekappaleiden punnitustulokset. Testaustyölomake ja punnituspöytäkirja sisältävät kaikki oleelliset mittaus- ja punnitustiedot, sekä testin lopputuloksen. Testaustyölomake ja punnituspöytäkirja löytyvät liitteestä 3 ja koetestissä käytetty testaustyölomake, sekä punnituspöytäkirja liitteestä 5.

7.2 Tutkimusraportti

Standardin mukaisesta raportista tulee selvittää seuraavat asiat [7, s. 11]:

- testauslaitteiston tekniset tiedot
- koekappaleiden merkkaukset ja alkuperä
- testatun betonin tyyppi, ominaisuudet ja rasitusluokat
- käytetyn testiliuoksen koostumus
- rapautuneen betonin määrä jokaisesta koekappaleesta, sekä rapaumien keskiarvot pyöristettynä lähimpään 0,02 kg/m², 7±1, 14±1, 28±1, 42±1 ja 56 jäädytys-sulatussyklin jälkeen.
- silmämääräiset havainnot koekappaleiden kunnosta ennen ja jälkeen 7±1, 14±1, 28±1, 42±1 ja 56 jäädytys-sulatussyklin
- poikkeamat standardin testausmenettelystä
- testatun betonin resepti (vaihtoehtoinen).

8 Pohdinta

Opinnäytetyön aihetta etsiessäni jäädytys-sulatuskaappi ja rakennuslaboratorion ympäristö kuulostivat mielenkiintoisilta. Se, että standardi CEN/TS 12390-9 oli saatavilla pelkästään englanninkielisenä ainoastaan lisäsi kiinnostustani aihetta kohtaan. Sovimme opinnäytetyöprosessin käynnistämisestä ja aloimme testata jäädytys-sulatuskaapin ohjelmistoja rakennuslaboratoriossa

Kun yksi jäädytys-sulatuskaapin asetus saatiin kohdalleen, seuraavassa testiajossa ilmeni seuraava ongelma. Lopulta jäädytys-sulatuskaappi alkoi kuitenkin totella ja lämpötila alkoi käyttäytyä halutulla tavalla. Vielä koetestin loppupuolellakin löytyi uusia asetuksia jäädytys-sulatuskaapin ohjelmointiin.

Standardin ohjeita kääntäessä pyrittiin olemaan mahdollisimman huolellisia. Testausmenettelyn alussa on monia vaiheita, joissa testin suorittajan on oltava tarkkana ja noudatettava tinkimättömästi standardin ohjeita. Kun koekappaleet

saadaan sisälle jäädytys-sulatuskaappiin ja jäädytys-sulatussyklit alkavat, muuttuu toiminta lähinnä laitteiston oikean toiminnan varmistamiseksi. Rapauman keräys sujuu muutaman ensimmäisen kerran jälkeen rutiinilla.

Tavoitteena oli luoda selkeät ja järjestelmälliset testausohjeet sekä -lomakkeet testin suorittamiseen sekä lisätä jäädytys-sulatuskaapin tuntemusta testin läpiviennin helpottamiseksi ja mahdollisten ongelmien ennalta ehkäisemiseksi. Testauslaitteisto, erityisesti jäädytys-sulatuskaappi on täsmällisiä asetuksia seuraava laite, jonka käyttö vaatii huolellisuutta asetusten säädössä ja valvontaa testauksen aikana.

Koetesti oli ehdottoman tärkeä testausmenetelmän ja -lomakkeiden toiminnan tarkastamiseksi. Koetestin aikana tehtiin vielä muutoksia testin ohjeistukseen havaitessamme esimerkiksi punnituksen olevan helpompi suorittaa vaihtoehtoisella menetelmällä.

Kokonaisuutena opinnäytetyöprojekti oli erittäin mielenkiintoinen. Opin paljon uutta betonista, betonin pakkasenkestävyydestä, sekä rakennuslaboratorion toiminnoista. Standardi antaa selkeän ohjeistuksen, jonka mukaan toimia ja sen asettamien vaatimuksien täyttäminen oli ajoittain haastavaa. Tulosten luotettavuuden varmistamiseksi ohjeita on noudatettava tarkasti, joka vaatii kurinalaisuutta testaajalta. Oikein suoritettun testin luotettavia tuloksia on varmasti mielekästä raportoida.

Opinnäytetyön prosessi oli suhteellisen suoraviivainen. Standardi ja muutama betonialan julkaisu tarjosivat hyvät lähtökohdat teoriaosuuden kirjoittamiseen. Heti raportoinnin alussa laadin sisällysluetteluonnoksen, jonka pohjalta oli helppo edetä. Laboratorioympäristö, raportointiin käytettävissäni ollut työhuone ja ohjaajan jatkuva läsnäolo helpottivat opinnäytetyöprosessia huomattavasti.

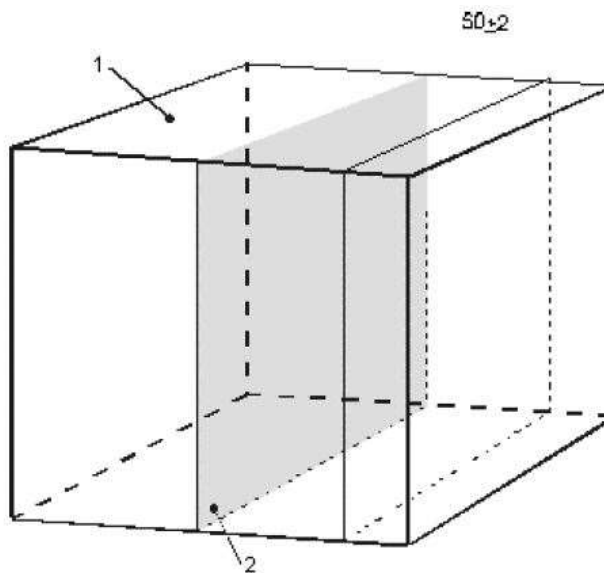
Jatkokehityskohteisiin voisi kuulua jäädytys-sulatuskaapin jäähdytyskennon jäätymisen estäminen, kahdeksan koekappaleen testiprofiilin luominen ja laattatestin suorittaminen suolaliuksella.

Lähteet

1. Suomen Betoniyhdistys ry. Betoninormit 2012 by50. Helsinki. BY-Koulutus. 2013. ISBN 952-5075-43-5
2. Suomen Betoniyhdistys ry. Betonijulkisivun kuntotutkimus by42. Helsinki. Suomen Betonitieto Oy. 2002. ISBN 952-5075-43-5
3. Leivo, M. Betonin vaurioitumismekanismien yhteisvaikutuksen Duralnt-projektissa. Betoni-lehti. 1/2012. 50-54. Saatavissa: www.betoni.com/Download/23743/BET1201_50-54.pdf [viitattu 23.4.2014]
4. Leivo, M. 2000. VTT Tiedotteita 2047. Betonin pakkasenkestävyyden varmistaminen Osa 2. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2047.pdf>
5. Contesta Oy. Tiedote Betonin huokosjaon määrittäminen. Vantaa. Contesta Oy. Saatavissa: <http://www.contesta.fi/esitteet/Huokosjako.pdf>
6. Valtanen, E. 2013. Tekniikan taulukkirja. Jyväskylä. Genesis Kirjat. ISBN 978-952-9867-38-7
7. CEN/TS 12390-9 Kovettuneen betonin testaus, Osa 9: Jäädytys-sulatuskestävyys, Pintarapautuminen. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS. 2006.
8. Jäädytys-sulatuskaapin ohjekirja. Hollola. Testware Oy. 2006.
9. CEN/TR 15177 Betonin jäädytys-sulatuskestävyyden testaus, sisäinen vaurio. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS. 2006.

CEN/TS 12390-9 PINTARAPAUTUMINEN**Koekappaleiden valmisteluohje:**

1. 150 mm koekuutiot valmistetaan standardin EN 12390-2 mukaan. Kuutioiden annetaan kovettua muoteissa ja ne suojataan kuivumiselta muovilla. Lämpötila 20 ± 2 °C.
2. 24 ± 2 h valun jälkeen muotit puretaan ja koekuutiot asetetaan hanavesikylvyyhin, jossa veden lämpötila on 20 ± 2 °C.
3. Kun valusta on kulunut 7 päivää, koekuutiot nostetaan kylvystä ja asetetaan ilmastointikaappiin (lämpötila 20 ± 2 °C ja suhteellinen kosteus 65 ± 5 RH %), jossa niitä säilytetään jäädytys-sulatustestaamisen alkamiseen.
4. 21 päivää valun jälkeen koekuutioista sahataan koekappaleet. Valaessa avoimeksi jäänyt pinta (1) asetetaan ylöspäin ja koekuution toisesta reunasta sahataan ensin 25 mm leveä siivu ja sitten 50 ± 2 mm leveä siivu, joka on testissä käytettävä koekappale (kuva 1). Huomioi sahanterän leveydestä johtuva materiaalihävikki. Kuvassa 1 koekappaleen tummennettu sivu on koekappaleen testipinta.

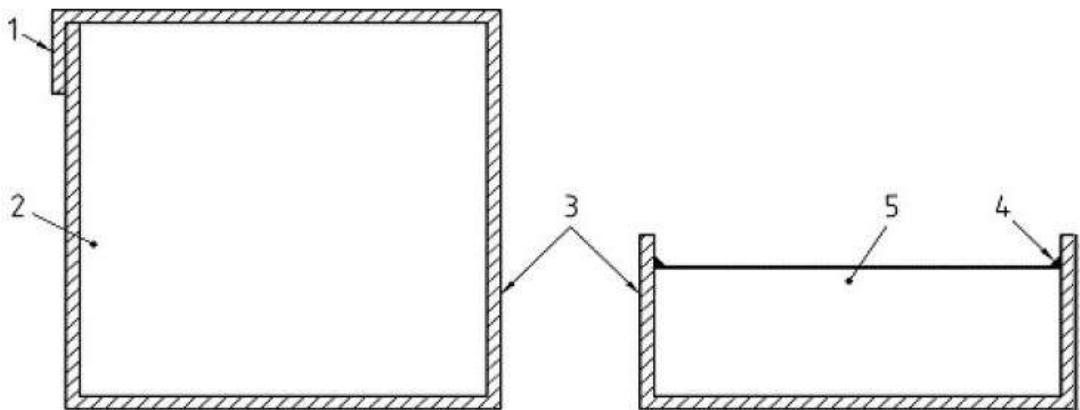


Kuva 1. Koekappaleen sahaus koekuutiosta

5. Heti sahauksen jälkeen 50 ± 2 mm korkeat koekappaleet pestään hanavedellä ja kuivataan pyyhkimällä sienellä. Tämän jälkeen koekappaleen ulottuvuudet mitataan työntömitalla kolmeen kertaan $\pm 0,5$ mm:n tarkkuudella. Mitauksen jälkeen koekappale palautetaan ilmastointikaappiin siten, että testi-

pinta tulee pystyasentoon ja koekappaleiden väliin jäävä tila on vähintään 50 mm.

6. Kun valusta on kulunut 25 ± 1 päivää, koekappaleet vuorataan kumilla. Pohjapala on kooltaan 150 mm X 150 mm ja sivupalat 156 mm X 73 mm. Sivupalojen tulee muodostaa 20 ± 1 mm korkea ”kaulus” testipinnan reunoille. Kumilevyjen ja testipinnan väliset kulmat saumataan saumamassalla siten, että vähintään 90 % testipinnasta jää näkyviin. Kumivuorauksen ja saumauksen jälkeen koekappale palautetaan ilmastointikaappiin.



Kuva 2. Koekappaleen kumivuoraus

7. 28 päivää valun jälkeen koekappaleet poistetaan ilmastointikaapista ja testipinnoille kaadetaan noin 3 mm:n kerros de-ionisoitua vettä, jonka pinta pidetään noin 3 mm korkeana 72 ± 2 h:n ajan 20 ± 2 °C:n lämpötilassa. (67 ml de-ionisoitua vettä riittää noin 3 mm:n kerrokseen 150 mm X 150 mm kokoisella testipinnalla.)
8. Kumivuorattu koekappale lämpöeristetään 20 ± 1 mm paksusta polystyreenistä (EPS tai XPS) valmistetulla lämmöneristelaatikolla.
9. Jäädytys-sulatustestaus alkaa kun valusta on kulunut 31 päivää. Aikaisintaan 15 minuuttia ennen jäädytys-sulatuskaappiin sijoittamista lämpötilassa 20 ± 2 °C testipinnalla oleva de-ionisoitu vesi korvataan 3 mm:n kerroksella testiliuosta (suolaliuos, tai de-ionisoitu vesi). Testiliuoksen haihtuminen estetään koekappaleen päälle asetettavalla muovikalvolla, jonka kuminauhat pitävät paikoillaan. Muovikalvon ja testiliuoksen pinnan väliin tulee jäädä vähintään 15 mm:n vapaa väli.

CEN/TS 12390-9 PINTARAPAUTUMINEN**Jäädytys-sulatuskaapin testausohje:**

Testiprofiili 1. **EN-12390-9 (4)** on kalibroitu neljälle (4) koekappaleelle, kaksi ylähylylle ja kaksi alahylylle limittäin sijoitettuna.

1. Aseta kaksi koekappaletta alahylylle ja kaksi koekappaletta ylähylylle.
2. Toiseen ylähylyllä olevista koekappaleista tulee dataloggerin lämpötila-anturi. Huolehdi, että anturi on kontaktissa koekappaleen pinnan kanssa.
3. Mene pikanäppäimellä Timer-valikkoon ja paina Edit -nappia Start -kohdasta. Aseta Everyday, Program (program 1, step 1), alkamiskellonaika ja talleta asetukset painamalla Save.
4. Jäädytys-sulatuskaappi käynnistyy asetettuna ajankohtana. Lämpötilaa seurataan vähintään yhden koekappaleen pinnalta, nestepinnan alta, sekä jäädytys-sulatuskaapin näytöltä Trend graph-valikosta. Syklin aikana lämpötilan koekappaleen pinnalla täytyy olla yli 0 °C vähintään 7 h:n ajan, muttei kauemmin kuin 9 h. Ilman lämpötila jäädytys-sulatuskaapissa ei saa laskea missään vaiheessa sykliä alle -27 °C:n.
5. 7±1, 14±1, 28±1, 42±1 ja 56 jäädytys-sulatussyklin jälkeen suoritetaan seuraavat toimenpiteet syklin osiolla 20–24 h, kun sisälämpötila jäädytys-sulatuskaapissa on lähellä huonelämpötilaa.
 - a. Suodatinpapereita kuivataan lämpökaapissa 30 min ajan, lämpötila on 110±10 °C
 - b. Kuivat suodatinpaperit asetetaan pesuseuloille. Koekappale kerrallaan, testiliuos valutetaan huolellisesti suodatinpaperille. Testipintaa harjataan ja huuhdellaan suodatinpaperin päällä.
 - c. Testipinnoille kaadetaan 67 ml uutta testiliuosta.
 - d. Koekappaleet palautetaan jäädytys-sulatuskaappiin.
 - e. Pesuseulat asetetaan lämpökaappiin kuivumaan 2 h:n ajaksi.
 - f. Kuivauksen jälkeen suodatinpaperit nostetaan varovasti pesuseulojen päältä ja asetetaan tarkkuusvaa'alle punnittavaksi. Vaa'an lukemat merkitään punnituspöytäkirjaan.
 - g. Koekappalekohtainen rapauma kyseisellä rapauman keräyskerralla saadaan vähentämällä kuivatun suodatinpaperin ja näytteen massa kuivatun suodatinpaperin massasta.



KARELIA AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennuslaboratorio
Karjalankatu 3, 80200 JOENSUU

JÄÄTYMIS-SULAMIS RAPAUTUMISEN TESTAUSTYÖLOMAKE

Tilaaaja _____

Menetelmä

Kohde _____

A=suola, B=vesi

AMK-tunnus	Tunnus	Lujuus-luokka	Suunn. käyttöikä	XF-luokka	Valmistus pvm	Korkeus 50±2 [mm]	Leveys [mm]	Pituus [mm]	Pinta-ala [mm ²]

mitat sahauksen jälkeen

Tunnus	Testin aloitus pvm	7±1	14±1	28±1	42±1	56	Rapauma [g]	Sallittu rapauma [g/m ²]	Sallittu rapauma [g/m ²]
									<
									<
									<
									<

Huomautuksia

Päiväys ja testaajan allekirjoitus



KARELIA AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennuslaboratorio
Karjalankatu 3, 80200 JOENSUU

PUNNITUSPÖYTÄKIRJA

Menetelmä

Tilaaja

A=suola, B=vesi

7±1	suodatinpaperi kuiva	paperi+näyte 1h	paperi+näyte 2h	Huom!	erotus [g]
14±1	suodatinpaperi kuiva	paperi+näyte 1h	paperi+näyte 2h	Huom!	erotus [g]
28±1	suodatinpaperi kuiva	paperi+näyte 1h	paperi+näyte 2h	Huom!	erotus [g]
42±1	suodatinpaperi kuiva	paperi+näyte 1h	paperi+näyte 2h	Huom!	erotus [g]
56	suodatinpaperi kuiva	paperi+näyte 1h	paperi+näyte 2h	Huom!	erotus [g]



Näytteen perustiedot			
Näytteenottopäivä :	17.02.2014	Näytteenottoaika :	
Näytetunnus :	PAKKASSUOLAKOE	Näytteenottaja :	
Betoni-perhe :			
Huomioita :			

Betonin koostumus (suhteitus)			
Reseptin nimi :	13231	Tuotekoodi :	13231
Lujuusluokka :	K45	Lujuusluokka (CEN) :	C35/45
Notkeusluokka :	S4	V/S-suhde (maksimi) :	0,50
Nimellislujuus :	45,00 MPa	Tavoitelujuus :	50,00 MPa
D _{MAX} :	16	Sementin määrä (minimi) :	388,00 kg/m ³
P-luku :		Ilmamäärä (minimi/maksimi) :	2,00 % / 0,00 %
Kloridipitoisuus :		Lämpötila (minimi/maksimi) :	16,00 °C / 0 °C
Tiheys :	0,00 kg/m ³		
Suhteitusryhmä :	HARMAAT ELEM.		
Rasitusluokat :	50v; X0, XC4, XD2, XF3		

Tuoreen betonin testaus			
Kloridipitoisuus :		Kokonaisvesi (tehollinen) :	174,56
Tiheys :	0,00 kg/m ³	Sementin määrä :	360,69 kg/m ³
Lämpötila :	17,00 °C	Ilmamäärä :	5,10 %
Ulkolämpötila :	0,00 °C	P-luku :	0,00
Vebe :	0 s	F-luku :	0,00
Painauma :	110 mm	Leviämä :	0 mm
Tiivistymisaste :	0,00	V/S-suhde :	0,48
Jälkihoitoaika :	7 d		

Annoksen/kuorman tiedot (toteutuneet)			
Kuormakirjanumero :		Annosnumero :	1
Asiakkaan viite :		Kuormakoko :	3,20 m ³
Toimitustapa :	SUPPILO/TASKU	Annoskoko :	3,20 m ³
Asiakas :			
Työkohde/elementti :	UUSI PUOLI		



KARELIA AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennuslaboratorio
Karjalankatu 3, 80200 JOENSUU

JÄÄTYMIS-SULAMIS RAPAUTUMISEN TESTAUSTYÖLOMAKE

Tilaaaja _____

Menetelmä

Kohde _____

B

A=suola, B=vesi

AMK-tunnus	Tunnus	Lujuus-luokka	Suunn. käyttöikä	XF-luokka	Valmistus pvm	Korkeus 50±2 [mm]	Leveys [mm]	Pituus [mm]	Pinta-ala [mm ²]
	1.	K45	50	3	17.2	48,0	150,0	150,0	22 500
	2.	K45	50	3	17.2	49,5	150,0	150,0	22 500
	3.	K45	50	3	17.2	52,0	150,0	149,5	22 400
	4.	K45	50	3	17.2	52,0	150,5	150,5	22 700

mitat sahauksen jälkeen

Tunnus	Testin aloitus pvm	7±1	14±1	28±1	42±1	56	Rapauma [g]	Sallittu rapauma [g/m ²]	Sallittu rapauma [g/m ²]
		27.3	3.4	17.4	30.4	15.5			
1.	20.3	-	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	13,3	< 200
2.	20.3	-	0,0	0,2	0,1	0,0	0,3	13,3	< 200
3.	20.3	-	0,0	0,2	0,1	0,1	0,4	17,7	< 200
4.	20.3	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	17,7	< 200

Huomautuksia Ensimmäinen testi ei kelpo hylätty.

Päiväys ja testaajan allekirjoitus 15.5.2014 Niko Nurminen



KARELIA AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennuslaboratorio
Karjalankatu 3, 80200 JOENSUU

PUNNITUSPÖYTÄKIRJA

Menetelmä

B

Tilaaaja

A=suola, B=vesi

7±1					
27.3.	suodatinpaperi kuiva	paperi+näyte 1h	paperi+näyte 2h	Huom!	erotus [g]
1.				hylätty!	
2.				"	
3.				"	
4.				"	
14±1					
3.4.	suodatinpaperi kuiva	paperi+näyte 1h	paperi+näyte 2h	Huom!	erotus [g]
1.					0,01
2.					0,03
3.					0,01
4.					0,1
28±1					
17.4.	suodatinpaperi kuiva	paperi+näyte 1h	paperi+näyte 2h	Huom!	erotus [g]
1.	5,76		5,87		0,11
2.	5,66		5,85		0,19
3.	5,56		5,72		0,16
4.	5,72		5,84		0,12
42±1					
30.4.	suodatinpaperi kuiva	paperi+näyte 1h	paperi+näyte 2h	Huom!	erotus [g]
1.	5,79		5,84		0,05
2.	5,71		5,80		0,09
3.	5,59		5,67		0,08
4.	5,78		5,85		0,07
56					
15.5	suodatinpaperi kuiva	paperi+näyte 1h	paperi+näyte 2h	Huom!	erotus [g]
1.	5,87		5,92		0,05
2.	5,70		5,72		0,02
3.	5,70		5,75		0,05
4.	5,88		5,93		0,05