



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - YLEMPI AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

NOPEASTI KOVETTUVIEN BETONIEN KUIVUMIS- KÄYTTÄYTYMINEN TYÖMAAOLOSUHTEISSA

TEKIJÄ: Keijo Koskinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Keijo Koskinen	
Työn nimi Nopeasti kovettuvien betonien kuivumiskäyttäytyminen työmaaolosuhteissa	
Päiväys	23.5.2017
Sivumäärä/Liitteet	48
Ohjaaja(t) Lehtori, Harry Dunkel ja lehtori Matti Mikkonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Destia Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinäytetyössä on tutkittu nopeasti kovettuvien ja kuivuvien betonien käyttäytymistä työmaaolosuhteissa. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään työmaan näkökulmasta, mitkä tekijät vaikuttavat betonin kuivumiseen. Tutkimuksessa tarkasteltiin vuosina 2014–2016 Destian sillankorjauskohteiden oikovalujen kuivumisongelmia. Ongelmista johtuen työmaa-aikataulut olivat pettäneet ja kustannukset olivat tämän takia lisääntyneet. Työssä on keskitytty tutkimaan vain olosuhteita työmaalla ja sääsuojan sisällä. Opinäytetyössä oli tavoitteena selvittää, millaiset olosuhteet vallitsevat korjattujen siltojen sääsuojan sisällä.</p> <p>Opinäytetyössä perehdyttiin kirjallisuuteen, joka käsittelee betonin kuivumista ja kostumista. Tämän lisäksi lisätietoa on saatu haastattelemalla alan asiantuntijoita. Haastattelemalla alan asiantuntijoita, saatiin käsitys Destian työmailla käytetyistä kosteudenhallinnan käytännöistä. Työn helpottamiseksi korjatuista silloista tehtiin taulukot, joissa on kohteiden paikkakuntakohtaiset tiedot lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta. Taulukoihin saatiin lämpötilat ja suhteelliset kosteusarvot Freemeteo-paikkakuntakohtaisista säähistoriatiedoista. Saaduilla tutkimustuloksilla voidaan työmailla kehittää toimintaa siten, että päästään toimittajan antamiin kuivumisaikoihin.</p> <p>Lisäksi tässä opinäytetyössä on Wufi-ohjelman avulla simuloimalla tarkasteltu betonin kuivumista. Wufi-ohjelman simuloinnin avulla oli tarkoitus saada tietoa betonin kuivumisesta ja kosteuskäyttäytymisestä kuivumisen aikana. Betonivalusta tehtiin viiden vuoden simulointi, koska haluttiin tietoa, mitä betonissa ja kannen kosteuskäyttäytymisessä tapahtuu pinnoituksen jälkeen viiden vuoden aikana. Simuloinnin ongelmana oli lopulta Wufi-ohjelman tietokannan niukkuus. Sieltä ei löytynyt tietoa tarvittavista materiaaleista ja betonista.</p>	
Avainsanat kuivumisongelma, suhteellinen kosteus, kosteus, lämpötila, kuivuminen, Wufi	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Keijo Koskinen			
Title of Thesis How fast drying concrete reacts during the drying process in the construction site conditions			
Date	May 23, 2017	Pages/Appendices	48
Supervisor(s) Mr Harry Dunkel, Senior Lecturer and Mr Matti Mikkonen, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Destia Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to study how the fast hardening and drying concrete acts in the construction site conditions. The aim was to find out, which factors affect the drying of concrete. The research was done with bridges that Destia Oy built between 2014 and 2016. Due to these problems, the construction site schedules had failed and the costs had increased. The project focused on examining only the conditions on site and under weather protection of the bridges.</p> <p>First, literature discussing drying and wetting of concrete was studied. Information was also obtained by interviewing the experts in this field. In order to facilitate the work, tables were made with information about the repaired bridges. The tables provided information about the location, temperature and relative humidity values taken from Freemeteo local weather data.</p> <p>Additionally in this thesis, by using the Wufi programme simulation, the drying of the concrete was examined. The simulation of the Wufi program was to provide information about the drying and moisture behavior of concrete during drying. To find out what happens in the concrete after coating in five years, a five-years-simulation was done. In the end the problem with the simulation was the scarcity of the Wufi database. There was no information about the required materials and concrete available in the database.</p>			
<p>Keywords desiccation issue, relative humidity, humidity, temperature, desiccation, Wufi</p>			

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	6
2	KOSTEUS RAKENTAMISESSA	8
2.1	Absoluuttinen ja suhteellinen kosteus	9
2.2	Betonin kosteus	10
3	VESIPIIKKAUKSEN KOSTEUSVAIKUTUS OIKOVALUN ALLA OLEVAAN BETONIIN	12
4	BETONIN KUIVUMINEN	13
4.1	Ympäristöolosuhteiden vaikutus betonin kuivumiseen	13
4.2	Betonista haihtuvan veden määrään vaikuttavat tekijät	14
4.3	Betonin paksuuden vaikutus kuivumiseen	15
4.4	Lämpötilan vaikutus betonin kuivumiseen	16
5	BETONINÄYTTEIDENOTTO JA KUIVUUSVAATIMUS	17
5.1	Kuivusvaatimukset sillan kannen eristystyölle	17
5.2	Käytetyt betonit ja niiden kuivumisajat	18
6	TUTKITTUJEN KOHTEIDEN KENTTÄOLOSUHTEET	21
6.1	Vornan ylikulkusilta, Lieksa	21
6.2	Jänisjoen silta, Joensuu	21
6.3	Aseman ylikulkusilta, Siilinjärvi	21
6.4	Ahkiolahden kanavan silta, Maaninka	22
6.5	Metsolahden silta, Laukaa	22
6.6	Keihäskosken silta, Siikalatva	22
6.7	Saikun silta, Loimaa	22
6.8	Palojoen silta, Kontiolahti	23
7	TUTKITUT KOHTEET JA TULOKSET	24
7.1	Vornan ylikulkusilta, Lieksa	24
7.2	Jänisjoen silta, Joensuu	25
7.3	Siilinjärven aseman ylikulkusilta, Siilinjärvi	26
7.4	Metsolahden silta, Laukaa	27
7.5	Ahkiolahden kanavan silta, Maaninka	28
7.6	Keihäskosken silta, Siikalatva	29
7.7	Saikun silta, Loimaa	30
7.8	Palojoen silta, Kontiolahti	31

8	TULOSTEN ANALYSOINTI.....	32
9	OIKOVALUN KUIVUMISTARKASTELU WUFI-OHJELMALLA	34
9.1	Rakennemalli sillan kannesta ennen eristystyötä.	34
9.2	Lähtötiedot simuloinnille.....	34
9.3	Oikovalun kuivumissimulointi	35
9.4	Oikovalun kosteus ja kuivuminen	37
9.5	Vanhan betonin kosteus	38
10	ERISTYKSEN JÄLKEEN TAPAHTUVA KUIVUMISTARKASTELU WUFI-OHJELMALLA.....	39
10.1	Rakennemalli sillan kannesta eristystyön jälkeen.....	39
10.2	Lähtötiedot simuloinnille kannen eristystyön jälkeen.....	39
10.3	Simulointi eristystyön jälkeen.....	40
10.4	Betonin kosteuden muutokset viiden vuoden jälkeen.....	40
11	TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT	41
11.1	Tutkimuksen tausta.....	41
11.2	Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset	41
11.3	Tutkimusmenelmä	42
11.4	Tiedonkeruumenetelmät.....	43
11.5	Tutkimuksen luotettavuus	43
12	JOHTOPÄÄTÖKSET	44
13	POHDINTA.....	45
	LÄHTEET	47

1 JOHDANTO

Ennen silloilla betonoinnin annettiin kuivua taivasalla eli odotettiin kunnes auringon lämpö ja tuulen viire kuivasivat betonin niin, että sen kosteuspaino-% oli alle 5. Tästä seurasi pitkät kuivumisajat eli oltiin säiden armoilla. Nykyisin sillan korjauksen oikovaluissa käytetään betonin kuivumisen varmistamiseksi sääsuojaa ja nopeasti kuivuvia sekä kovettuvia betoneja. Sääsuojat on joko itse tehty tai vuokrattuja. Sääsuojan käyttö sekä nopeasti kuivuvat betonit varmistavat projektien läpimenoaikoja. Tämä tuottaa paremman lopputuotteen. Siltojen valuissa käytetään eri lujuusluokan betoneja, jotka koostumukseltaan eroavat toisistaan. Destian kehittämissuostyöryhmässä on jo pitkään mietitty miksi työmaaolosuhteissa valut kuivuvat eripituisia aikoja, vaikka on käytetty samaa betonimassaa.

Lisäksi kohteissa on käytetty sääsuojaa, jotta valut eivät olisi sääolosuhteista riippuvaisia. Työurani uudis- ja korjausrakentamisessa Destia Oy:ssä on kestänyt 35 vuotta, josta 24 vuotta tein rakennusmiehen töitä, ja tämän jälkeen insinööriopintojen kautta siirryin työnjohtotehtäviin. Monet valut tuli siis itsekkin tehtyä ja nyt olen päässyt seuraamaan vierestä toisten tekemää työtä. Työnjohtotehtävät ovat antaneet uutta näkökulmaa työhön. Nyt työmaan vetäjänä itsellenikin on samansuuntaisia kokemuksia ja havaintoja betonin erilaisista kuivumisajoista. Oma kiinnostukseni asiaa kohtaan heräsi siinä vaiheessa, kun työmaiden aikataulut eivät pitäneet valun kuivumisesta johtuen. Heräsi kysymys miksi asia on näin?

Tässä tutkimuksessa on tarkoitus selvittää miksi työmaaolosuhteissa betonimassojen kuivumisajat poikkeavat niin paljon toisistaan. Työmaaolosuhteissa betonin kuivumisella on erittäin suuri merkitys, jota kautta voidaan saada projektien läpimenoaikoihin huomattavaa lyhenemistä ja tätä kautta kustannussäästöä. Työmaan kustannussäästöt syntyvät yleis- ja työkuukustannuksista, kun kuivuminen saadaan hallintaan. Jos betoni ei kuiva suunnitellussa aikataulussa, tämä aiheuttaa alihankkijan tulon viivästyminen eristystyöhön, joka taas lisää myös merkittävästi kuluja. Tilaajan asettamat kaistavuokrat ja sillan sulkemisajat asettavat suuren haasteen, sillä silta tai kaistat saavat olla vain tietyn ajan suljettuja, jonka jälkeen ylityksestä tulee sakkoa. Aikarajan alituksesta taas voi saada jopa hyvitystä. Tällä tilaaja yrittää varmistaa pintarakenteiden korjauksesta aiheutuneen liikennehaitan mahdollisimman lyhytkestoiseksi. Tapauskohtaisesti silta joudutaan sulkemaan tai vain toinen ajokaista on käytössä.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus kerätä tietoja muutaman vuoden ajalta jo valettujen siltojen oikovaluista. Kerätyistä tiedoista tehdään analyysi, jossa tarkastellaan mitkä tekijät ovat vaikuttaneet kuivumisaikaan? Korjausbetoneina on käytetty samoja nopeasti kovettuvia ja kuivuvia oikovalumassoja. Kuivumisajat ovat kuitenkin hyvin paljon toisistaan poikkeavia. Tutkimusaineiston kerääminen tapahtuu siten, että työmaiden arkistoista kerätään betonointipöytäkirjat, päiväkirjat ja suhteitustiedot sekä haastatellaan puhelimitse ko. työmaiden asiantuntijoita. Tästä aineistosta tehdään excel-työkalut silloittain ja taulukot analysoidaan. Tutkittavat kohteet sijaitsevat eripuolilla Suomea.

Betonimassat eroavat talorakennuksissa käytetyistä massoista siten, että massaan on lisätty kuituja sekä ilmaa, jolloin puhutaan p-luku massoista eli säänkestävästä betonista. Säänkestävä betoni tarkoittaa sitä, että ylimääräinen ilma estää hyvin pakkasrapautumista. Betonin pakkasrapautuminen aiheutuu betonin huokosverkostossa olevan veden jäätymislaajenemisen aiheuttamasta hydraulisesta paineesta. Betonin jäätyessä lisäilmahuokokset vastaanottavat ylimääräisen veden ja estävät tehokkaasti betonin pakkasrapautumista. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan myös wufi-ohjelman avulla simuloimalla oikovalun kuivumista sekä kosteus käyttäytymistä sen jälkeen, kun sillan kansi on eristetty. Simulaatiossa on tarkoitus selvittää Wufi-ohjelmalla, missä ajassa saavutetaan pinoittamiselle vaadittu kuivuus betonissa. Simuloinnilla oli myös tarkoitus saada tutkittua viiden vuoden kosteuskäyttäytymisen eristeen alla.

Nykyisin talonrakennustuotannossa on ruvettu enenevässä määrin käyttämään säänkestäviä betoneja. Yleisimmin oikovaluissa käytettyjä p-luku betoneja ovat C 30/37, P 30 ja P 50 sekä itsetiivistävä korjausbetoni SRL60/6/RH. P-luku tarkoittaa sitä, että betonimassaan on lisätty huokosilmaa, joka lisää betonin pakkaskestävyyttä. P-luvun määrittäminen tapahtuu siten, että työmaalla otetaan ilmamäärät ja laskentakaavaan laittamalla ilmamäärä saadaan P-luku.

Suunnitelmissa pakkaskestävyysvaatimus betonissa esitetään pakkaskestävyyslukuna P. Siltarakenteet jaotellaan P20, P30, P50 ja P70 pakkasen kestävyysluokkiin. Mitä suurempi pakkaskestävyysluku on, sitä parempi pakkaskestävyys betonilla on. (Liikennevirasto 2016, 7.)

2 KOSTEUS RAKENTAMISESSA

Kemiallisesti sitoutunutta vettä kutsutaan kosteudeksi. Veden olomuodot ovat: nestemäisenä ja kiinteänä eli jäätyneenä sekä kaasumaisena eli vesihöyrynä. Painoprosentteina ilmoitettu kosteuden määrä kuvaa tiettyyn aineeseen sitoutuneen kosteuden massan suhdetta kuivan aineen massaan verrattuna. (RT 05-10710 1999, 1.)

Kun betonissa on alhainen vesisementtisuhte, sen tiiviimpää se on. Tämä johtaa siihen, että betonista haihtuvan veden määrä hidastuu. Alhaisen vesisementtisuhteen omaava betoni sisältää huomattavasti vähemmän rakennekosteutta ja näin ollen kuivuu nopeammin kuin korkean vesisementtisuhteen omaava. Tiiviiseen betoniin sadeveden tunkeutuminen on huomattavasti pienempää. Betonin kuivumisnopeuteen olosuhteilla on suuri merkitys. Se miten nopeasti betonin pinnalta kosteus haihtuu ja rakenteen sisällä oleva kosteus siirtyy pintaan, on suuri vaikutus ympäristön olosuhteilla, kuten lämpötilalla, suhteellisella kosteuspitoisuudella ja ilma virtauksella. (Lumme ja Merikallio 1997, 14 - 15.)

Ilma sisältää tietyn määrän vesihöyryä tietyssä lämpötilassa. Ilmaan mahtuu vesihöyryä sitä enemmän mitä korkeampi lämpötila on. Kyllästymiskosteudeksi kutsutaan ilmaan mahtuvaa maksimaalista vesihöyryn määrää. Kun ilmasta vesihöyry poistuu vetenä, lumenä, jäänä tai sumuna, silloin on ylitetty maksimaalinen vesihöyryn määrä ilmassa. (Björkholtz 1990, 23.)

Kosteuden hallinnalla tarkoitetaan sitä, että on tarkoitus estää ylimääräisen kosteuden syntyminen tai siirtyminen rakenteeseen projektihallinnon suunnittelun, toteutuksen, ylläpidon ja käytön keinoin. Kosteudenhallintaan kuuluu estää veden, lumen, jään ja vesihöyryn pääsy rakenteeseen. (RIL 250 2011, 11.)

Alhaisempi lämpötila ottaavastaan lämpöä korkeammasta lämpötilasta. Lämmön siirtymismuodot ovat johtuminen, säteily ja konvektio. Pinnan lämpötila auringon paisteisella puolella on 5-10 °C korkeampi kuin varjon puolella. (Björkholtz 1990, 10 - 15.)

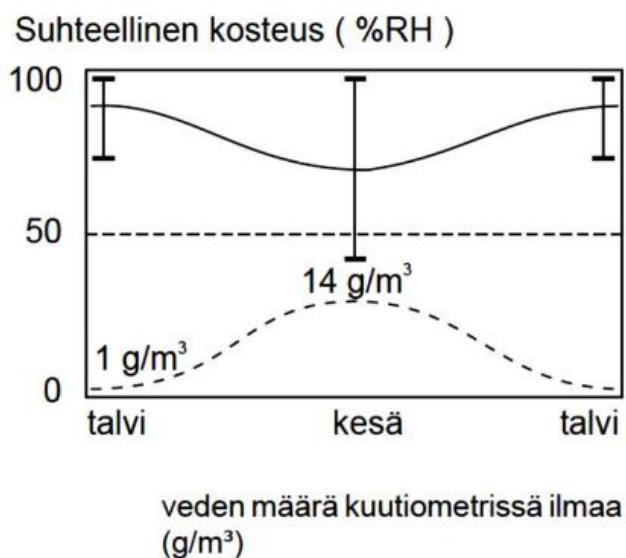
Kosteuden liikkumistavat (RIL 250 2011, 70.):

- vesihöyrynä (diffuusio) suuremmasta vesihöyrypaineesta pienempään
- painovoimaisesti alaspäin (gravitaatio)
- kapillaarisesti materiaalihuokosiin veden pintajännityksen avulla
- vesihöyrynä ilmavirtausten mukana (konvektio)
- vedenpaineen vaikutuksesta
- tuulenpaineen vaikutuksesta jopa ylöspäin (lumi ja sade).

2.1 Absoluuttinen ja suhteellinen kosteus

Absoluuttinen kosteus on vesihöyryn massan suhde joko kuivan tai kostean ilman kokonaistilavuuteen. Absoluuttisen kosteuden yksikkönä käytetään grammoja vettä kuutiometrissä ilmaa (g/m^3). Yläraja absoluuttiselle kosteudelle on kyllästyskosteus, joka määrittelee kuinka paljon vesihöyryä ilmassa voi olla kussakin lämpötilassa. Yleensä lämmin ilma sisältää enemmän vesihöyryä kuin kylmä. Jos vettä haihdutetaan ilmaan väkisin yli kyllästyskosteuden, vesihöyry alkaa tiivistyä pisaroiksi. Samoin käy, kun ilma jäähtyy, sillä silloin kyllästyskosteus laskee. (Ilmatieteenlaitos 2017.)

Ilman vesihöyryn määrän suhdetta ilman lämpötilaan vastaavaan kyllästyskosteuteen kutsutaan suhteelliseksi kosteudeksi (RH %). Tietyn lämpöinen ilma voi sitoa itseensä tietyn määrän vesihöyryä tiivistymättä nesteeksi, tätä raja-arvoa kutsutaan kyllästyskosteudeksi. Talvella ulkoilman suhteellinen kosteus (RH %) on suurempi kuin kesällä. Ilman sisältämä vesihöyry tiivistyy ilman viiletessä rakennusosan pintaan tai sen ilmahuokosiin, koska ilman lämpötilaa vastaava kyllästyskosteus on pienempi kuin ilmankosteus, tätä ilmiötä kutsutaan kondensoitumiseksi (kuva 1; RT 05-10710 1999, 1.)



KUVA 1. Suhteelliset kosteudet eri vuodenaikoina (RT 05-10710 1999, 1)

2.2 Betonin kosteus

Betonin huokosrakenteesta johtuen kosteus voi vaihdella hyvinkin paljon. Huokosrakennetta voidaan parantaa valitsemalla betonimassaan oikea raekoko ja tiivistämällä se huolellisesti. Betonin ominaisuuksista ja lämpötilasta riippuu, miten paljon betonissa on kosteutta (kg/m³) tietyllä suhteellisen kosteuden arvolla. Suhteellinen betonin kosteus ei kerro, mikä on betonin todellinen kosteuspitoisuus (kg/m³). (Nilsson 1979, 15.) Betonin suhteellinen kosteus pitäisi olla tasapainossa myös ympäröivän kosteuden kanssa.

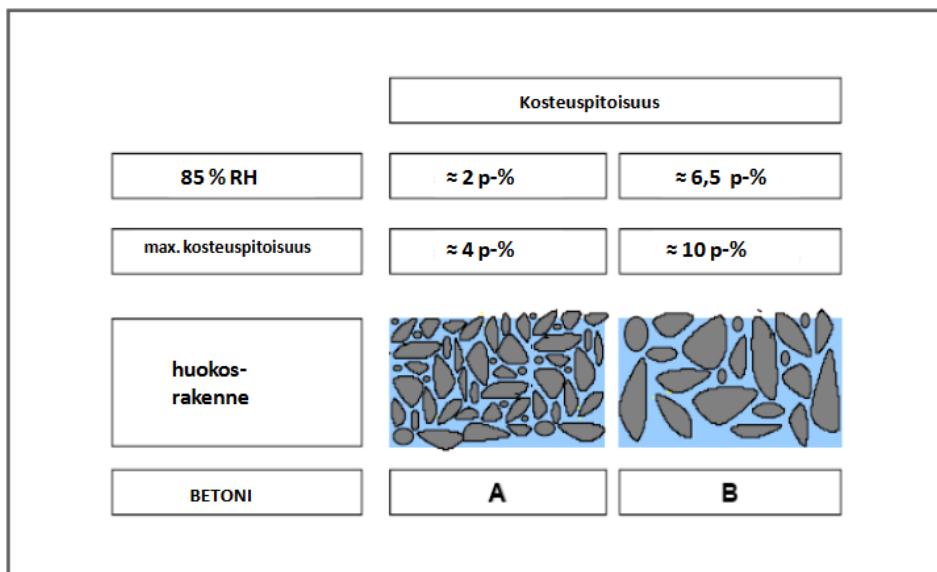
Sama suhteellinen kosteus RH % voi olla kahdella eri betonilla, mutta kosteuspitoisuuksissa painoprosentteina (p-%) voi olla huomattavia eroja sekä päinvastoin. Littmann et al. (2000) mukaan suhteellisen kosteuden ollessa 85 % alhaisen huokosmäärän omaavan betonin kosteuspitoisuus on noin 2 p-%, kun vastaavasti huokoisemmalla betonilla se voi olla jopa yli 6 p-%. Maksimi kosteuspitoisuudet voivat vaihdella huomattavasti eri betoneilla. Betonin 4 p-% voi tarkoittaa toiselle betonille hyvinkin korkeaa kosteutta, kun taas vastaavasti toiselle alhaista (kuva 2). Al-Neshawy (1996) on määrittänyt tutkimuksessaan kolmesta eri betonilaadusta tehtyjen betonikoekappaleiden kosteustilan kuivumisen eri vaiheissa sekä suhteellisena kosteutena että painoprosentteina. Havainnot tutkimuksessa oli muun muassa, että kosteuspitoisuuden ollessa noin 4 p-% eräillä betoneilla suhteellinen kosteus oli noin 80 %, kun taas toisilla se saattoi olla jopa 95 % (kuva 3; Merikallio 2009, 16).

2.3 Kosteuden sitoituminen betoniin

Kosteutta betoniin tulee valmistuksen yhteydessä, jolloin osa vedestä hydratoitumisprosessissa sitoutuu kemiallisesti ja loput fysikaalisesti betonin huokosrakenteeseen. Kemiallisesti sitoutunut vesi ei voi poistua betonista, kun taas fysikaalisesti sitoutunut vesi poistuu. Fysikaalisesti sitoutunut vesi betonissa on haihtumiskykyistä vettä, joka on kuivattamalla saatava sille tasolle, ettei siitä ole haittaa pinnoitteelle ja pinnoitustyön onnistumiselle. (Merikallio 2009, 26.)

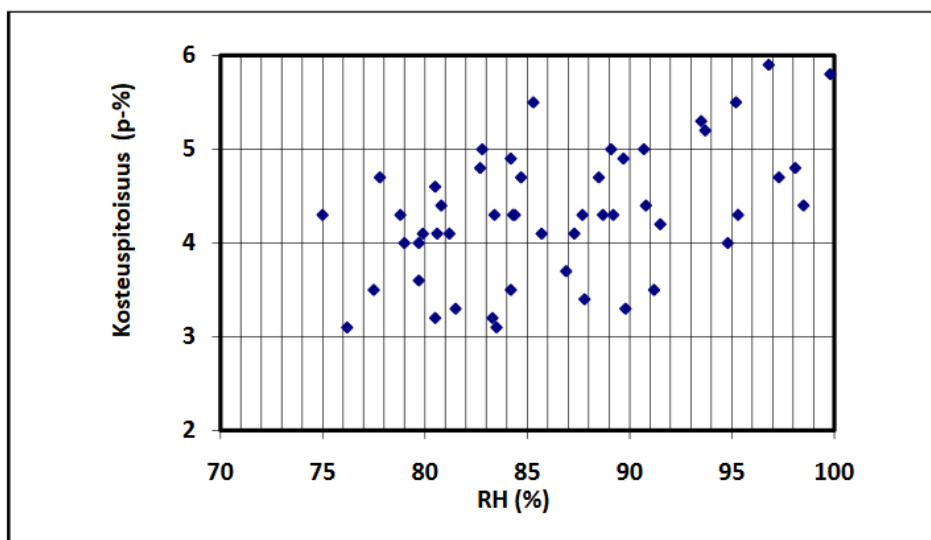
Tasapaino asettuu aineen kosteuden ja ympäröivän ilman välille, jota sorptiokäyrä eli tasapainokosteuskäyrä kuvaa. Jos määritetään absorptioisotermi ja desorptioisotermi, voidaan todeta niin sanottu hygroskooppinen hystereesi. Siirryttäessä portaittain ympäristön kosteudesta 0 % RH ympäristön kosteuteen 100 % RH ja mittaamalla aineseseen sitoutunut tasapainotilaa vastaava kosteus määritetään absorptio isotermi. Siirryttäessä ympäristön kosteudesta 100 % RH ympäristön kosteuteen 0 % RH määritetään desorptioisotermi mittaamalla tasapainokosteudet portaittain. Vettä voi sitoutua betoniin ja siitä voi poistua sitä. (kuva 4; Dunkel 2015, 28.)

Kahden eri betonin kosteuspitoisuudet



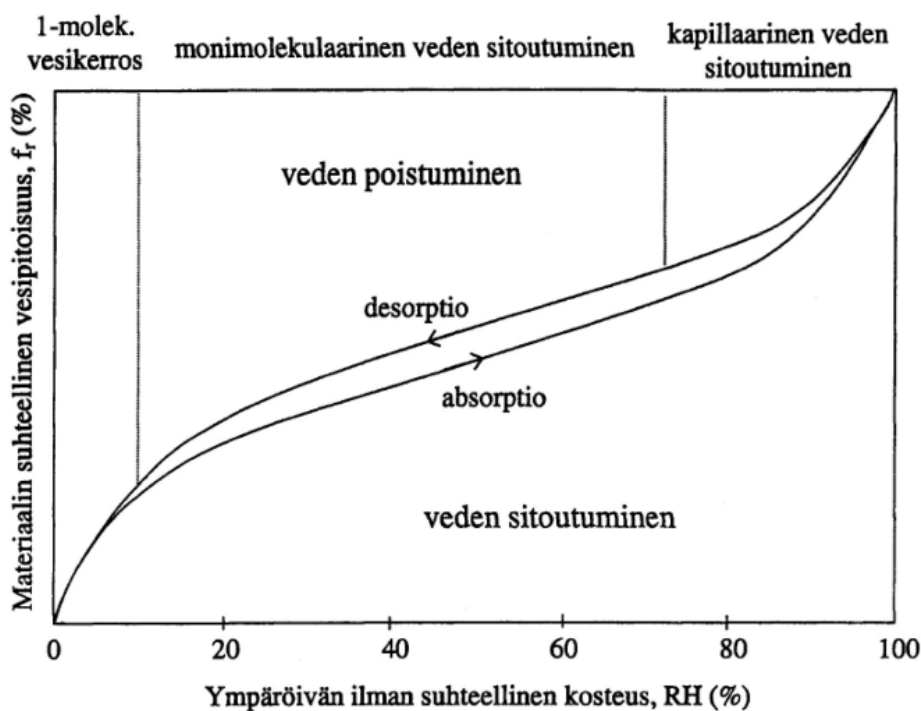
KUVA 2. (Merikallio 2009, 17)

Kahdelle eri betonille eri iässä suhteellisen kosteuden ja painoprosentin suhde



KUVA 3. (Merikallio 2009, 17)

Tasapainokosteuskäyrä



KUVA 4. Tasapainokosteuskäyrän toimiminen. (Dunkel 2015, 29)

3 VESIPIIKKAUKSEN KOSTEUSVAIKUTUS OIKOVALUN ALLA OLEVAAN BETONIIN

Betonisillan kansi kostuu vesipiikkauksesta johtuen arviolta 1-2 paino- % . Tästä johtuen vanhan betonin vesipitoisuus nousee pakkasvaurioita ajatellen vaarallisen korkeaksi. Tämä vesi nousee jo muutamien kuukauden kuluttua tehtyyn muotoiluvaluun, jossa riskitekijöiksi voidaan lukea pakkasrapautuminen ja mahdollinen eristeen irtoaminen. Vesipiikkauksessa käytetty vesi pitäisi poistaa mahdollisimman nopeasti, jotta vanha kansi ei kostuisi. Imurilla varustetut piikkauslaitteet ovat tätä varten. Imulaitteilla varustetulla kuorma-autolla voidaan myös liika vesi poistaa nopeasti. Näin tehden veden imeytyminen alla olevaan betoniin jää mahdollisimman lyhyeksi. (kuva 5; Liikennevirasto, 2011,11.)

Suurilla teollisuusimureilla voidaan myös tehokkaasti poistaa vettä ja piikkausjätettä vesipiikkauksen jäljessä. On tärkeää saada nopeasti pois piikkausjäte sekä piikkauksesta syntyvä betoniliete, sillä jos betoniliete ehtii kuivua, se on erittäin vaikea saada tarkkaan pois karkealta pinnalta. Tehokas tapa poistaa betoniliete on käyttää paloautoa tai vastaavaa, joiden avulla saadaan vedelle suuri paine. Pesu on hyvä aloittaa sillan keskeltä molempiin suuntiin, jotta kertynyt betoniliete saadaan poistettua paineveden avulla sillan molempiin päihin. Pesun jälkeen on hyvä poistaa liika vesi puhaltamalla paineilmalla tai imuroimalla.



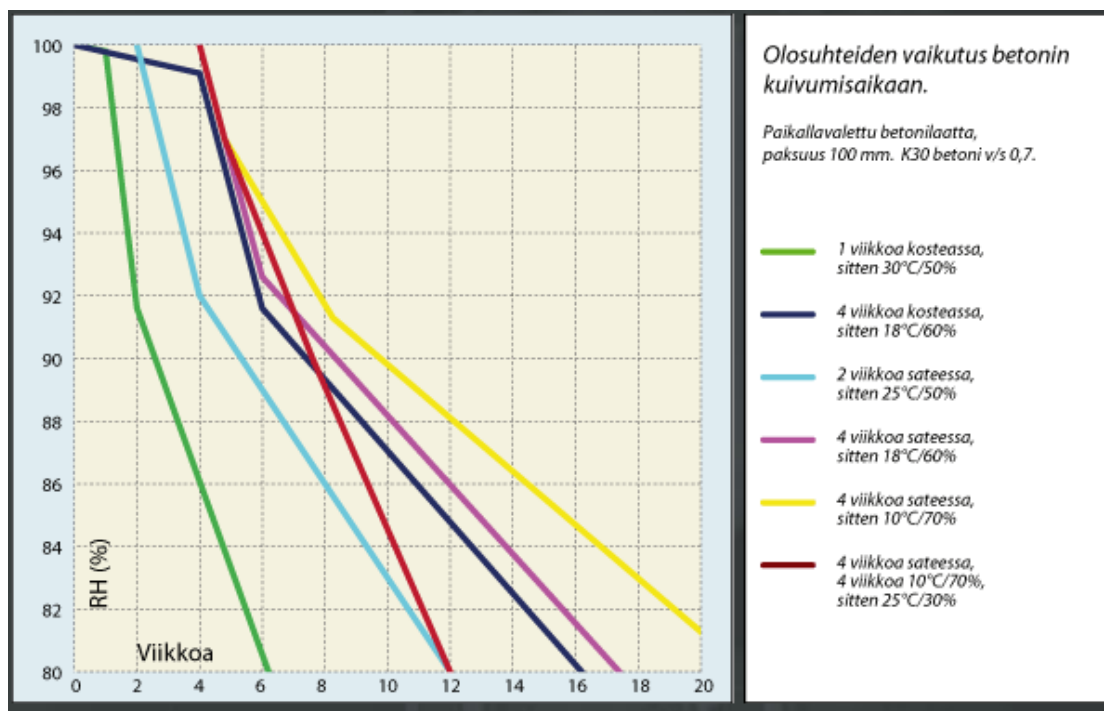
KUVA 5. Piikatur betonipinnan puhdistaminen (Liikennevirasto 2011, 10.)

4 BETONIN KUIVUMINEN

Seuraavat asiat vaikuttavat betonin kuivumiseen kiviaineksen koko, vesisementtisuhte, kuinka nopeasti betoni kovettuu ja kuivaa, estämällä rakenteen kastuminen, luodaan betonirakenteelle hyvät kuivumisolot, pidetään pinta puhtaana, rakenteen lämpötila, sementin laatu, rakenteen koko ja paksuus, kuivumissuunta ja poistamalla ylimääräinen vesi. (Kivitalo 2017.)

4.1 Ympäristöolosuhteiden vaikutus betonin kuivumiseen

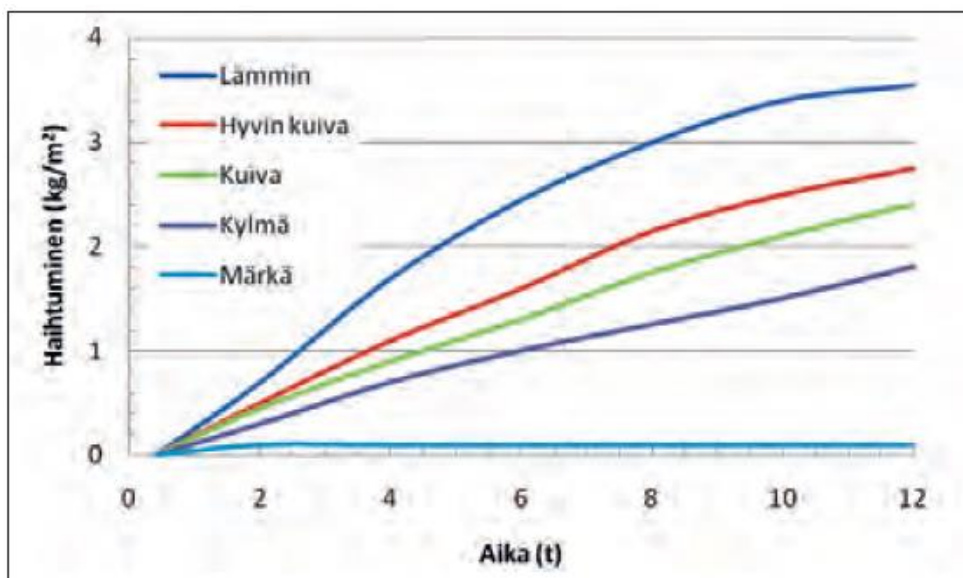
Kun betonissa oleva vapaa huokosvesi poistuu, tapahtuu betonin kuivuminen. Tämä saa aikaan sen, että betoni kutistuu. Kovettuakseen sementti tarvitsee vettä, mutta sementin kemiallisesti sitoma vesimäärä on vain noin 40 % sementin painosta. Paremman työstettävyyden takia betoniin tarvitaan vettä enemmän, 40–80 % sementin painosta. Tämä vesi määrä jää vapaaksi vedeksi betonin huokosiin ja ennen pinnoitusta betonissa tietty osa vapaasta vedestä on kuivamalla poistuttava. Kuivuminen betonirakenteissa tapahtuu varsin hitaasti. Rakenteiden paksuudella ja betonin koostumuksella sekä ympäristön olosuhteilla on kuivumisnopeuteen suuri merkitys (kuva 6). Jos betonissa on runsas vesi ja sementtiliimamäärä, joka vaikuttaa siten että kuivuminen kestää kauemmin ja kutistumat ovat betonissa suurempia. Jälkihoitoajan jälkeen noin 6–7 vrk jälkeen kuivumista voi nopeuttaa 2–4-kertaiseksi betonia lämmittämällä ja huolehtimalla, että valun jälkeinen ilmansuhteellinen kosteus pysyy lämmitettävässä tilassa mahdollisimman alhaalla. (Finsementti 2017.)



KUVA 6. (Reditalot, 2017)

4.2 Betonista haihtuvan veden määrään vaikuttavat tekijät

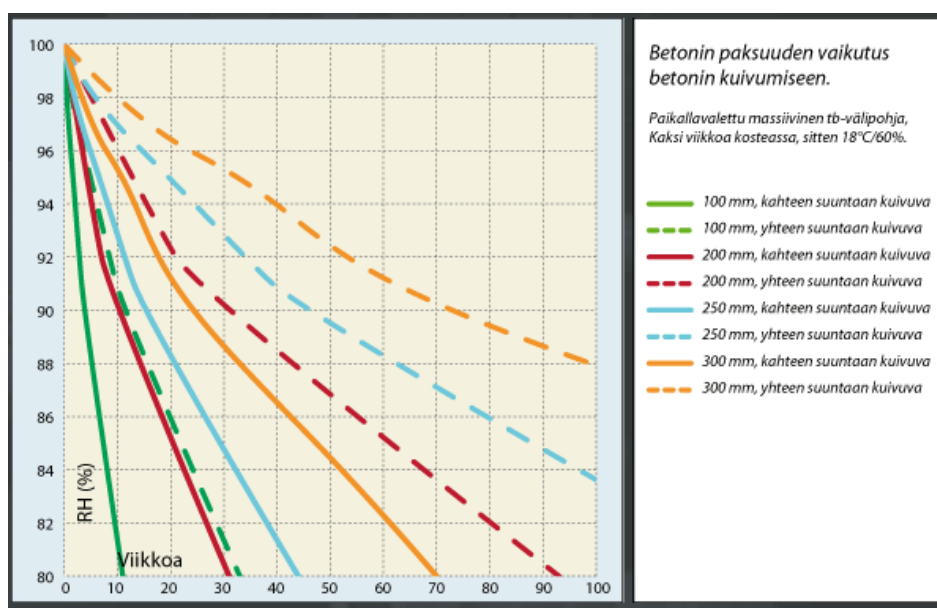
Betonipinnalta haihtuvan veden määrään ja haihtumisnopeuteen ilman kosteuspitoisuudella on suuri vaikutus. Usein verkkomaisen halkeilun syynä betonipinnalla on runsas veden haihtuminen. Talvisin lämpimissä olosuhteissa veden haihtuminen on runsasta, jolloin ilman suhteellinen kosteus voi olla jopa alle 20 %. Lämpiminä päivinä kevätkesällä ilman suhteellinen kosteus voi laskea varsin alhaiseksi. Kiihdyttävänä tekijänä veden haihtumiselle betonipinnalta on tuuli. Betonipinnan halkeilu on varmaa tuulisena ja aurinkoisena keväisenä päivänä, ellei käytetä ruiskutettavaa varhaisjälkihoitoainetta, joka on ruiskutettava heti, kun betonipinnan tasaus on suoritettu. Tästä johtuen valutilan suhteellisen kosteuden seuraaminen tulisi työmaalla kuulua rutiinitoimenpiteisiin. Lämpötilalla ja ilman suhteellisella kosteudella on suuri merkitys haihtuvan veden määrään (kuva 7; Rudus 2017.)



KUVA 7. Veden haihtuminen erilaisissa olosuhteissa. Kylmä = +5 °C/RH 40 %, Lämmin = +30 °C/RH 40 %, Hyvin kuiva = +20 °C/RH 40 %, Märkä = +20 °C/RH 100 %, Kuiva = +20 °C/RH 70 % (Rudus 2017.)

4.3 Betonin paksuuden vaikutus kuivumiseen

Kuten alla olevasta taulukosta huomataan, on lämpötilalla ja kuivumissuunnalla hyvin suuri merkitys kuivuuko rakenne yhteen vai kahteen suuntaan. Myös valu paksuudella on suuri merkitys kuivumisaikaan. Oikovalujen paksuuden keskimittana on tässä tutkimuksessa 85 mm. Taulukossa on tutkimuskohteenä ollut normaali betoni C 30 v/s suhde 0,7, joten meidän vesisementti suhteella 0,35–0,37 kuivumisajat pitäisi olla huomattavasti lyhyemmät taulukkoon verrattuna (kuva 8).



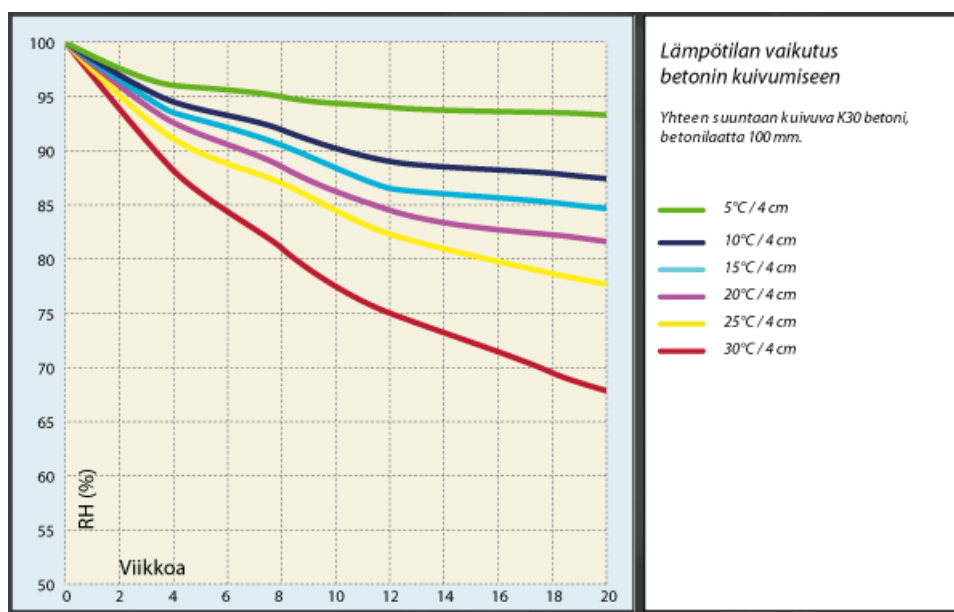
KUVA 8. (Reditalot, 2017)

4.4 Lämpötilan vaikutus betonin kuivumiseen

Betonin tulee olla lämmintä, jotta sen kuivuminen tapahtuisi nopeasti. Kun betonin lämpötilaa nostetaan se saa aikaan sen, että vettä poistuu betonista nopeammin. Kun betonin lämpötilaa nostetaan +30 °C:en, kuivumisaika voidaan saada lyhentymään jopa puolella. Betonirakenteen riittävän kuivumisnopeuden saavuttamiseksi lämpötilan on oltava +20 °C:tta. Kuivuminen nopeutuu merkittävästi, kun lämpötila nostetaan +30 °C:en (kuva 9).

Tavoitetasona ympäröivän ilman suhteellista kosteutta voidaan pitää arvoa noin 45 - 50 % (RH), tätä alemmat suhteellisen kosteuden prosentit eivät merkittävästi lyhennä betonin kuivumisaikaa. Betonin kuivumisaika voi jopa kasvaa 4–5-kertaiseksi, jos lämmitettävän tilan suhteellinen kosteus nousee. Talvikuukausina lämpötilaa nostamalla kuivattavassa tilassa suhteellinen kosteus saadaan helposti tasolle RH 50 %. Kesäaikaan betonia kuivattaessa on otettava huomioon, että kuivattavan tilan ilmanvaihto on mahdollisimman pieni, jottei kosteaa ilmaa siirry ulkoa sisätiloihin.

Rakenteessa oleva betoni alkaa käytännössä kuivua vasta sen jälkeen, kun saadaan tiivis katos tai rakennuksen vaippa on tiivis sekä lämpö saadaan rakennukseen päälle. Huomioitavaa betonin kuivumisajassa on se, että kuivuuko betoni yhteen vai kahteen suuntaan. Betonin kuivuessa yhteen suuntaan kuivumisaika on moninkertainen verrattuna kahteen suuntaan kuivuvaa betonia. Betonirakenteita voidaan lämmittää erilaisilla lämmittimillä. Lämmittimiä käytettäessä on huomioitava se, että betonirakenne pysyy kauttaaltaan tasalämpöisenä. Muutoin betonirakenne kuivuu epätasaisesti ja ennakkolaskelmat eivät pidä paikkaansa. (Reditalot 2017.)



KUVA 9. (Reditalot, 2017)

5 BETONINÄYTTEIDENOTTO JA KUIVUUSVAATIMUS

Betoninäytepalojen otto

Betoninäytepala porataan lieriöporalla, jonka halkaisija on 50 mm. Poraus ulotetaan syvyyteen 30mm. Porauksen jälkeen pala irroitetaan pienellä piikkausvasaralla. Irroitettu pala laitetaan muovipussiin, ettei kuivumista tapahtuisi ennen uuniin laittoa. Pala murennetaan uuniin laitton yhteydessä.

Näytteenottoon tarvittavat välineet, laitteet ja näytteen kuivaus

- Porakone
- Timanttikruunulla varustettu lieriöpora, jonka halkaisija noin 55 mm
- Metrimitta
- Laboratoriovaaka 0,1g tarkkuudella
- Ilmanvaihdolla varustettu lämpöuuni, lämpötilan säädön tarkkuus ± 2 astetta
- Vasara
- Näytepalan irroituskiila
- Näytepusit
- Suojalasit
- Paikkaustarvikkeet näytteenottoreikiin, jos kantta ei epoksoida
- Kuulosuojaimet

Betonipala murennetaan ja punnitaan ennen uuniin laittoa. Näyte kuivataan 105 asteen c:n lämpötilassa 12 tunnin ajan. Painon putoamista seurataan koko kuivumisajan, kunnes paino ei enää putoa. Kuivanäyte punnitaan.

5.1 Kuivuusvaatimukset sillan kannen eristystyölle

Kosteus mitataan tällä hetkellä paino-%, sillä työmaaolosuhteissa ulkoilmassa suhteellisella mittaus-tavalla voidaan saada tilaajan näkökulmasta hyvin herkästi väärä mittaustulos. Silta joka on kooltaan alle 100 m² ja rakenne paksuudeltaan alle 400 mm ei kosteusmittauksia tehdä, vaan kannen annetaan kuivua kolmen viikon ajan ennen eristystyön alkamista. Absoluuttinen kosteus todetaan vähintään kahdella 30 mm:n syvyydeltä betonin pinnasta otetulla näytepalalla. Palojen kosteus todetaan ns. kuivatus-punnitus menetelmällä. Kun sillan kannen pinta-ala ylittää 500 m², tulee urakoitsijan lisätä punnitsemalla tehtäviä kosteusmäärittämiä yhdellä jokaista alkavaa 500 m² kohti. Urakoitsijan tulee laatumittauksia tehdessään tukeutua Infraryl taulukon 42310: T1 antamiin sallittuihin kosteuksiin (kuva 10; InfraRYL 2015, 199.)

Taulukko 42310: T1

Materiaali	Eristysalustan suurin sallittu kosteus Absoluuttinen kosteus (VTT-2650) m-%
Kauttaaltaan kiinnitetty kermi, nestemäisenä levitettävä eristys tai epoksitiivistys	5,0
Paineentasauskermi tai kumibitumimastiksi	6,0

KUVA 10. Ennen eristystyön aloitusta vaaditut eristysalustan kosteudet (InfraRYL 2015, 199.)

5.2 Käytetyt betonit ja niiden kuivumisajat

Suomen Rakennelujitus Oy:n nopeasti kuivuvaa IT korjausbetonia SRL60/6/RH, toimittajan antama kuivumisaika 3vrk. Toimittaja on alla olevista tuloksista tehnyt omat johtopäätökset ja ajatellut, että heidän kysessä oleva massa kuivuu 3 vrk hyvissä olosuhteissa keväällä. Ennakkokokeet oli suoritettu työmaaolosuhteissa sääsuojan sisällä. Suonenjoen sillalla kohde oli toteutettu kahdessa osassa 22.7–15.8.2009. Ulkolämpötilat olivat olleet noin +20 astetta, mutta sääsuojan olosuhteista ei ole mittaus-tietoa. Kuusjoen silta oli toteutettu 8.6–17.6.2009 välisenä aikana. Lämpötila oli vaihdellut kuivumisen aikana +10 ja +16 asteen välillä. Sääsuojan sisäolosuhteista ei ole tietoa. Pihlajamäen risteysilta oli toteutettu 17.5.–24.6.2010 välisenä aikana. Sääsuojan sisäolosuhteista ei ole tietoja. Kaikissa kol-messa kohteessa Suomen Rakennelujituksen korjausbetonin kuivuminen kesti eristyskuntoon 5-7 vuo-rokautta. (Liikennevirasto 2011.)

Peab Industri Oy:n nopeasti kuivuvaa IK betonia C 35/45 P 50 w/c suhde 0,35, toimittajan antama kuivumisaika on 7 vrk. Ennakkokokeet oli tehty 6.5.2014 säältäsuojassa 18-20 astetta ja $RH \leq 50\%$. Kosteusmittaukset paino-% oli tehty 2 d ja 7 d ikäiselle betonille. Koelaatta oli kokoa 3650x3650 mm ja paksuudeltaan 200 mm. Laatassa kuivuminen oli tapahtunut yhteen suuntaan. Laatan absoluuttinen kosteus 2 d jälkeen oli 4,9 % ja 7 d jälkeen 4,6 %. (Vanha-Kuitti 2017.)

Ruskon Betoni Oy:n normaalisti ja nopeasti kuivuvaa betonia C 30/37, P 30 w/c suhde 0,45 ja C 35/45, P 30 w/c suhde 0,36 (C 30/37, P 30 w/c suhde 0,45 ei nopeasti kuivuva betoni), toimittajan antama kuivumisaika 7 vrk (Anttalainen 2017).

Lujabetoni Oy SuperSiltabetonin ennakkokokeet oli tehty helmikuussa 2015 säältäsuojassa 15–20 as-tetta ja $RH \leq 50\%$. Kosteusmittaukset paino-% oli tehty 7 d ja 14 d ikäiselle betonille. Koelaatat oli kokoa 1000x800 mm ja paksuudeltaan 100 mm. Laatoissa kuivuminen oli tapahtunut yhteen suun-taan. (Ruuska 2017.)

VM1-3 = vesi + muovi

M1-3 = pelkkä muovi

J1-3 = mastercure C110

Jälkihoito vedellä ja muovilla

Jälkihoito suoritettu vedellä ja muovilla						
			pvm	pvm		
			16.2.	17.2.		
	valupvm.	ikä	alkupaino	loppupaino	kosteuspaino-%	Keskiarvo
VM1	9.2.	7d	162,8	153,9	5,8	5,8
VM2	9.2.	7d	155,6	146,7	6,1	
VM3	9.2.	7d	195,3	185	5,6	

			pvm	pvm		
			23.2.	24.2.		
	valupvm.	ikä	alkupaino	loppupaino	steuspaino-	Keskiarvo
VM1	9.2.	14d	156,8	148,5	5,6	5,6
VM2	9.2.	14d	191,9	181,9	5,5	
VM3	9.2.	14d	159,3	150,6	5,8	

TAULUKKO 1. (Ruuska 2017)

Jälkihoito muovilla

Jälkihoito suoritettu pelkällä muovilla						
			pvm	pvm		
	Jälkihoito muovilla		16.2.	17.2.		
	valupvm.	ikä	alkupaino	loppupaino	kosteuspaino-%	Keskiarvo
M1	9.2.	7d	139,8	133	5,1	5,5
M2	9.2.	7d	187,9	178,1	5,5	
M3	9.2.	7d	191,7	181	5,9	

			pvm	pvm		
			23.2.	24.2.		
	valupvm.	ikä	alkupaino	loppupaino	steuspaino-	Keskiarvo
M1	9.2.	14d	129,3	122,5	5,6	5,4
M2	9.2.	14d	194,7	185,5	5,0	
M3	9.2.	14d	136,6	129,3	5,6	

TAULUKKO 2. (Ruuska 2017)

Jälkihoito Mastercure C110

Jälkihoitoaine MasterCure C110						
			pvm	pvm		
			16.2.	17.2.		
	valupvm.	ikä	alkupaino	loppupaino	kosteuspaino-%	Keskiarvo
J1	9.2.	7 d	126,8	121,1	4,7	5,0
J2	9.2.	7 d	208,8	197,9	5,5	
J3	9.2.	7 d	122	116,3	4,9	

			pvm	pvm		
			23.2.	24.2.		
	valupvm.	ikä	alkupaino	loppupaino	steuspaino-	Keskiarvo
J1	9.2.	14d	189,9	180,4	5,3	4,6
J2	9.2.	14d	202,7	193,9	4,5	
J3	9.2.	14d	66	63,4	4,1	

TAULUKKO 3. (Ruuska 2017)

6 TUTKITTUJEN KOHTEIDEN KENTTÄOLOSUHTEET

Kenttäolosuhteista selvitettiin seuraavat asiat betoni laadut, lämmitys ja lämmittimien termostaattien säätö, kuivumisen kesto aika, olosuhteet sääsuojan sisällä ja oliko samaa betoni massaa käytetty sillan molemilla puolilla. Kenttäolosuhteet selvitettiin Vornan ylikulkusillalta, Jänisjoen sillalta, Aseman ylikulkusillalta, Ahkiolahden kanava sillalta, Metsolahden sillalta, Keihäskosken sillalta, Saikun sillalta ja Palojoen sillalta. Nämä asiat selvitettiin siksi, että saatiin kenttäolosuhteista todenmukainen käsitys.

6.1 Vornan ylikulkusilta, Lieksa

Molemmat osat oikovaluista tehtiin Suomen Rakennelujitus Oy:n nopeasti kuivuvalla itsetiivistyvällä korjausbetonilla SRL60/6/RH. Massan pitäisi toimittajan mukaan kuivua 3 vrk:ssa eristyskuivaksi. Molemmilla puolilla käytettiin sääsuojaa, jotta ulkopuolinen kosteus ei haittaisi kuivumista. Ensimmäinen osa saatiin kuivaksi 12 vrk:n jälkeen ja toinen osa 11 vrk:n jälkeen. Toisen osan sääsuojan katto repeytyi osittain johtuen kovasta myrskytuulesta. Katon korjaus tehtiin heti, ettei lisäkustannuksia tapahtuisi. Toisella osalla jouduttiin käyttämään Betoxin lämmittimiä, jotka oli säädetty noin +25 asteen lämpötilalle. Sääolosuhteet olivat korjaustyön aikana erittäin haastavat. Vettä satoi melkein joka viikko, eikä jo vesipiikkua pintaa voitu suojata, mikä saattoi aiheuttaa vanhassa betonikannessa veden imeytymistä syvemmälle betonissa. Sääsuojan sisällä vallitsevista olosuhteista ei ole tietoa. (Koskinen 2017.)

6.2 Jänisjoen silta, Joensuu

Molemmat osat oikovaluista tehtiin Suomen Rakennelujitus Oy:n nopeasti kuivuvalla ja itsetiivistyvällä korjausbetonilla SRL60/6/RH. Molemmilla puolilla käytettiin sääsuojaa, jotta ulkopuolinen kosteus ei haittaisi kuivumista. Ensimmäinen osa saatiin kuivaksi 11 vrk:n jälkeen ja toinen osa 17 vrk:n jälkeen. Toisella osalla jouduttiin käyttämään Betoxin lämmittimiä, jotka oli säädetty noin 25 asteen lämpötilaan. Päälysrakenteen korjauksen eli oikovaluja ennen ja jälkeen ensimmäisellä osalla sadepäiviä oli joka toisella viikolla, mutta toisella osalla sadepäiviä oli joka viikko. Toisella osalla vanha betonikansi vesipiikkauksen jälkeen oli alttiina sateelle ja betonikannen huokosiin pääsi imeytymään vettä. Sääsuojan sisällä vallitsevista olosuhteista ei ole tietoa. (Koskinen 2017)

6.3 Aseman ylikulkusilta, Siilinjärvi

Siilinjärvellä molemmat oikovalun osat oli valettu Lujabetonin nopeasti kuivuvalla Supersiltabetonilla C30/37, P30. Lujabetonin mukaan betonin pitäisi kuivua eristyskuuntoon 7 - 14 vrk:ssa. Molemmilla puolilla oli käytetty sääsuojaa, jotta ulkopuolinen kosteus ei haittaisi kuivumista. Ensimmäinen osa oli saatu kuivaksi 20 vrk:n jälkeen ja toinen osa 39 vrk:n jälkeen. Sääsuojan sisällä vallitsevista olosuhteista ei ole tietoa. (Rönkä 2017.)

6.4 Ahkiolahden kanavan silta, Maaninka

Ensimmäinen oikovalun osa oli valettu Lujabetonin nopeasti kuivuvalla Supersiltabetonilla C30/37, P30 ja toinen osa Suomen Rakennelujitus Oy:n nopeasti kuivuvalla itsetiivistyvällä korjausbetonilla SRL60/6/RH. Toisella osalla oli käytetty Betoxin lämmittämiä, jotka oli säädetty termostaatilla 35–40 asteeseen. Ensimmäinen osa oli saatu kuivaksi 32 vrk:n jälkeen ja toinen osa 8 vrk:n jälkeen. Säasuojan sisällä vallitsevista olosuhteista ei ole tietoa. (Niskanen 2017.)

6.5 Metsolahden silta, Laukaa

Kansi oli valettu kolmessa osassa ensimmäinen ja toinen osa oli valettu Lujabetonin nopeasti kuivuvalla Supersiltabetonilla C30/37, P30 ja kolmas osuus Suomen Rakennelujitus Oy:n nopeasti kuivuvalla itsetiivistyvällä korjausbetonilla SRL60/6/RH. Kolmososuudella oli käytetty Betoxin lämmittämiä, jotka oli termostaatilla säädetty lämpötilaan 25–30 astetta. Ensimmäinen osa oli saatu kuivaksi 7 vrk:n jälkeen ja toinen osa 20 vrk:n jälkeen sekä kolmas osuus 12 vrk:n jälkeen. Säasuojan sisällä vallitsevista olosuhteista ei ole tietoa. (Taipale 2017.)

6.6 Keihäskosken silta, Siikalatva

Oikovalu oli suoritettu kahdessa osassa. Oikovalubetonina oli käytetty ensimmäisellä osalla C 30/37, P30 normaalia muotoiluvalubetonia ja toisella osalla nopeasti kovettuvaa ja kuivuvaa C 35/45, P30 muotoiluvalubetonia. Toista osaa oli lämmitetty 3 vrk ennen eristystyön aloitusta sähköpuhaltimilla, jotka oli termostaatilla säädetty +20 asteen lämpötilaan. Ensimmäinen osa oli saatu 5,5 % kuivuuteen 35vrk:n kuluttua ja toinen osa 23 vrk:n jälkeen. Molemmilla osilla oli jääty 5,5 % absoluuttiseen kuivuuteen, vaikka vaatimus on 5 %. Tilaaja oli kuitenkin antanut luvan eristystyölle, vaikka kuivuusvaatimus ei täytynyt. Säasuojaa käytettiin molemmilla osilla. Säasuojan sisällä vallitsevista olosuhteista ei ole tietoa. (Anttalainen 2017.)

6.7 Saikun silta, Loimaa

Oikovalu oli tehty kahdessa osassa. Molemmilla osilla muotoiluvalubetonina oli käytetty nopeasti kuivuvaa C35/45, P50 IK betonia, jonka vesisementtisuhte oli 0,35. Kummankin oikovalun päällä oli käytetty säasuojaa, jotta ulkopuolinen kosteus ei haittaisi kuivumista. Ensimmäinen osa oli saatu kuivaksi 7 vrk:n jälkeen ja toinen osa 18 vrk:n jälkeen. Toisella osalla oli käytetty Betoxin lämmittämiä, jotka oli säädetty termostaatilla 25–30 asteeseen. Säasuojan sisällä vallitsevista olosuhteista ei ole tietoa. (Vanha-Kuitti 2017.)

6.8 Palojoen silta, Kontiolahti

Oikovalu tehtiin kahdessa osassa itsestivistävällä korjausbetonilla SRL60/6/RH. Sääsuoja käytettiin molemmilla valuosilla. Molemmat osat saatiin eristys kuivaksi 7 vrk:n jälkeen. Kuivumisen aikana lämpötilat päivisin olivat kohtalaisen korkeat, ensimmäisellä osalla 18–27 asteen välillä ja toisella osalla 19–26 asteen välillä. Pintarakenteiden uusimisen aikana sadepäiviä oli molemmilla osilla joka toinen viikko. Sääsuojan sisältä olevista olosuhteista ei ole pidetty olosuhdepöytäkirjaa. (Koskinen 2017.)

Kaikista kohteista ulkoilmanlämpötila ja ilman RH-% on katsottu paikkakunta kohtaisesti Freemeteon säähistoria tiedoista. Lämpötilat ja ilman RH-% oli mitattu puolen tunnin välein. Freemeteon säähistoria tiedoissa mittaukset oli aloitettu päivittäin klo. 00:20 ja päättyneet klo. 23:50. Koska sääsuojan sisällä vallitsevista olosuhteista ei ollut tietoa, ovat taulukoiden mittaustulokset otettu sääsuojan ulkopuolella vallitsevista sääolosuhteista. Jokaisessa taulukossa mittaustulokset on merkitty taulukoihin päivän alimman ja ylimmän lämpötilan sekä alimman ja ylimmän ilman RH-% mukaan.

7 TUTKITUT KOHTEET JA TULOKSET

7.1 Vornan ylikulkusilta, Lieksa

Vornan ylikulkusilta, Lieksa oikovalu kahdessa osassa 345 m², 2016						
Muotoiluvalubetoni SRL 60/6/RH massamäärä 29 m ³						
Oikovalu paksuuden keskimitta 84 mm						
Vesisementtisuhte salainen tieto						
1 osa	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	2 osa lämmitys	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	
8.7.2016	12...21	50...100	26.8.2016	12...19	43...100	valu pv
9.7.2016	12...20	50...96	27.8.2016	10...20	49...100	
10.7.2016	13...21	50...94	28.8.2016	2...12	41...93	
11.7.2016	10...23	47...100	29.8.2016	1...15	51...100	
12.7.2016	12...20	73...100	30.8.2016	9...13	76...100	
13.7.2016	15...21	60...94	31.8.2016	8...17	48...100	
14.7.2016	14...22	57...100	1.9.2016	7...18	78...100	
15.7.2016	11...22	53...100	2.9.2016	7...17	51...100	
16.7.2016	15...18	83...100	3.9.2016	7...16	48...100	
17.7.2016	15...19	68...88	4.9.2016	7...17	52...100	
18.7.2016	13...19	49...94	5.9.2016	8...17	45...100	
19.7.2016	12...22	41...100	6.9.2016	5...14	41...100	eristystyö
20.7.2016	14...23	44...82				eristystyö

7.2 Jänisjoen silta, Joensuu

Jänisjoen silta, Joensuu oikovalu kahdessa osassa 250 m², 2016						
Muotoilubetoni SRL 60/6/RH massamäärä 16 m ³						
Oikovalu paksuuden keskimittia 64 mm						
Vesimenttisuhte salainen tieto						
1 osa	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	2 osa lämmitys	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	
22.7.2016	14...19	78...94	2.9.2016	7...14	47...100	valu pv
23.7.2016	15...19	83...94	3.9.2016	7...17	48...100	
24.7.2016	16...22	65...94	4.9.2016	5...17	52...100	
25.7.2016	14...25	57...100	5.9.2016	8...17	45...100	
26.7.2016	15...27	39...100	6.9.2016	5...14	41...100	
27.7.2016	16...27	45...100	7.9.2016	9...14	64...100	
28.7.2016	17...25	42...94	8.9.2016	11...14	55...88	
29.7.2016	15...19	78...100	9.9.2016	9...13	67...100	
30.7.2016	14...21	73...100	10.9.2016	9...12	82...100	
31.7.2016	16...21	64...100	11.9.2016	11...15	94...100	
1.8.2016	13...22	44...100	12.9.2016	11...15	51...94	
2.8.2016	12...20	53...100	13.9.2016	8...15	42...87	eristystyö
			14.9.2016	3...14	55...100	
			15.9.2016	8...15	67...100	
			16.9.2016	9...11	67...87	
			17.9.2016	7...10	58...100	
			18.9.2016	3...10	54...93	
			19.9.2016	2...13	51...100	eristystyö

7.3 Siilinjärven aseman ylikukkusilta, Siilinjärvi

Siilinjärven aseman ylikukkusilta, Siilinjärvi oikovalu kahdessa osassa 620 m ² , 2016						
Supersiltabetoni C 30/37 massamäärä 59 m ³						
Oikovalu paksuuden keskimitta 95 mm						
Vesisementtisuhde 0,37						
1 osa	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	2 osa	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	
13.5.2016	7...16	31...71	1.7.2016	16...23	47...94	valu pv
14.5.2016	5...18	32...76	2.7.2016	16...25	51...94	
15.5.2016	9...20	38...87	3.7.2016	16...25	57...100	
16.5.2016	6...20	30...100	4.7.2016	13...14	88...100	
17.5.2016	8...14	51...87	5.7.2016	11...15	94...100	
18.5.2016	6...14	44...93	6.7.2016	12...16	88...100	
19.5.2016	7...18	34...87	7.7.2016	13...21	60...100	
20.5.2016	8...17	45...87	8.7.2016	13...22	50...100	
21.5.2016	9...13	72...94	9.7.2016	13...18	68...94	
22.5.2016	8...18	49...100	10.7.2016	14...20	60...100	
23.5.2016	9...22	41...100	11.7.2016	14...23	33...100	
24.5.2016	13...24	41...82	12.7.2016	15...20	64...100	
25.5.2016	13...22	57...94	13.7.2016	16...21	60...94	
26.5.2016	9...14	82...94	14.7.2016	16...21	60...94	
27.5.2016	8...11	76...87	15.7.2016	14...22	60...100	
28.5.2016	11...16	59...82	16.7.2016	15...20	60...100	
29.5.2016	10...22	47...100	17.7.2016	15...19	68...94	
30.5.2016	13...24	36...94	18.7.2016	14...21	53...94	
31.5.2016	14...23	33...73	19.7.2016	13...21	43...88	
1.6.2016	13...23	36...94	20.7.2016	12...22	46...82	
2.6.2016	14...25	31...100	21.7.2016	14...17	68...88	eristystyö
			22.7.2016	15...21	69...88	
			23.7.2016	17...19	83...94	
			24.7.2016	17...22	69...94	
			25.7.2016	18...25	61...94	
			26.7.2016	17...27	51...100	
			27.7.2016	19...26	54...94	
			28.7.2016	16...23	44...88	
			29.7.2016	16...22	60...94	
			30.7.2016	16...24	61...100	
			31.7.2016	16...22	69...100	
			1.8.2016	15...22	47...94	
			2.8.2016	13...20	60...88	
			3.8.2016	12...21	53...94	
			4.8.2016	13...21	53...94	
			5.8.2016	15...21	64...100	
			6.8.2016	14...21	69...100	
			7.8.2016	14...21	64...100	
			8.8.2016	14...23	50...100	
			9.8.2016	15...21	40...88	eristystyö

7.4 Metsolahden silta, Laukaa

Metsolahden silta, Laukaa oikovalu kolmessa osassa 381 m², 2015						
1 osa Supersiltabetoni, 2 osa Supersiltabetoni C 30/37, 3 osa SRL60/6/HR massamäärä 22 m ³						
Oikovalu paksuuden keskimitta 57 mm						
Supersiltabetonin vesisementtisuhte 0,37						
1 osa	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	2 osa	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	
9.7.2015	12...20	60...100	12.8.2015	14...20	60...100	valu pv
10.7.2015	11...20	46...100	13.8.2015	9...17	45...100	
11.7.2015	13...18	59...94	14.8.2015	9...18	52...100	
12.7.2015	11...16	52...100	15.8.2015	7...19	49...100	
13.7.2015	11...14	55...100	16.8.2015	7...20	30...94	
14.7.2015	10...18	43...94	17.8.2015	4...21	33...100	
15.7.2015	6...15	45...100	18.8.2015	6...23	31...100	
16.7.2015	5...19	46...100	19.8.2015	6...24	31...100	eristystyö
			20.8.2015	7...24	33...100	
			21.8.2015	10...23	27...100	
			22.8.2015	7...24	39...100	
			23.8.2015	8...25	39...100	
			24.8.2015	9...25	36...100	
			25.8.2015	10...24	36...100	
			26.8.2015	9...21	57...100	
			27.8.2015	13...18	77...100	
			28.8.2015	15...17	83...100	
			29.8.2015	11...19	49...94	
			30.8.2015	8...20	40...100	
			31.8.2015	5...19	60...100	
Lämmitys			1.9.2015	5...20	49...100	eristystyö
3 osa						
24.9.2015	6...15	82...100				valu pv
25.9.2015	11...14	77...100				
26.9.2015	8...13	63...100				
27.9.2015	3...11	82...100				
28.9.2015	8...10	71...94				
29.9.2015	0...12	62...100				
30.9.2015	7...14	51...94				
1.10.2015	7...13	63...100				
2.10.2015	8...14	44...100				
3.10.2015	1...10	50...93				
4.10.2015	0...13	67...100				
5.10.2015	1...7	46...93				
6.10.2015	- 4...5	57...100				eristystyö

7.5 Ahkiolahden kanavan silta, Maaninka

Ahkiolahden kanavan silta, Maaninka oikovalu kahdessa osassa 580 m², 2016						
1 osa Supersiltabetoni C 30/37, 2 osa SRL60/6/HR massamäärä 51,5 m ³						
Oikovalu paksuuden keskimitta 88 mm						
Vesisementtisuhde 0,37						
1 osa	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	2 osa lämmitys	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	
23.6.2016	13...22	43...94	20.9.2016	7...13	63...100	valu pv
24.6.2016	15...21	57...94	21.9.2016	5...11	67...100	
25.6.2016	14...25	47...94	22.9.2016	8...10	71...87	
26.6.2016	14...22	36...94	23.9.2016	7...9	76...93	
27.6.2016	15...20	43...68	24.9.2016	8...9	87...100	
28.6.2016	14...17	64...100	25.9.2016	7...11	82...100	
29.6.2016	13...21	69...100	26.9.2016	11...14	88...100	
30.6.2016	14...26	39...100	27.9.2016	11...14	82...100	
1.7.2016	16...23	47...94	28.9.2016	10...13	77...94	eristystyö
2.7.2016	16...25	51...94				
3.7.2016	16...25	57...100				
4.7.2016	12...16	88...100				
5.7.2016	11...15	94...100				
6.7.2016	12...15	88...100				
7.7.2016	13...21	60...100				
8.7.2016	13...22	50...100				
9.7.2016	13...18	68...94				
10.7.2016	14...20	60...100				
11.7.2016	14...20	64...100				
12.7.2016	14...20	64...100				
13.7.2016	16...21	60...94				
14.7.2016	16...21	60...94				
15.7.2016	14...22	60...100				
16.7.2016	15...20	60...100				
17.7.2016	15...19	68...94				
18.7.2016	14...21	53...94				
19.7.2016	12...20	43...88				
20.7.2016	12...22	46...82				
21.7.2016	14...17	68...88				
22.7.2016	15...21	69...88				
23.7.2016	17...19	83...94				
24.7.2016	17...22	69...94				
25.7.2016	18...25	61...94				
26.7.2016	17...27	48...100				eristystyö

7.6 Keihäskosken silta, Siikalatva

Keihäskosken silta, Siikalatva oikovalu kahdessa osassa 166 m², 2016						
Muotoiluvalubetoni 1 osa C 30/37 P30, 2 osa C 35/45 P30 massamäärä 11 m ³						
Oikovalu paksuuden keskimitta 66 mm						
Vesisementtisuhte 1 osa 0,45 ja 2 osa 0,36						
1 osa	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	lämmitys 2 osa	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	
28.7.2016	14...23	50...94	20.9.2016	2...13	63...100	valu pv
29.7.2016	12...24	41...100	21.9.2016	2...12	67...100	
30.7.2016	11...24	57...100	22.9.2016	5...9	62...87	
31.7.2016	12...20	78...100	23.9.2016	7...9	71...87	
1.8.2016	14...22	50...100	24.9.2016	7...9	82...100	
2.8.2016	9...20	64...100	25.9.2016	5...10	76...100	
3.8.2016	9...21	46...94	26.9.2016	10...14	72...100	
4.8.2016	11...20	46...100	27.9.2016	9...15	72...100	
5.8.2016	11...19	73...100	28.9.2016	10...13	72...88	
6.8.2016	8...20	69...100	29.9.2016	10...12	77...94	
7.8.2016	8...21	60...100	30.9.2016	8...13	63...94	
8.8.2016	9...22	47...100	1.10.2016	6...11	62...93	
9.8.2016	11...19	49...88	2.10.2016	0...10	58...93	
10.8.2016	12...18	49...82	3.10.2016	0...7	62...100	
11.8.2016	12...13	77...94	4.10.2016	- 4...7	57...93	
12.8.2016	8...15	48...94	5.10.2016	- 6...7	57...93	
13.8.2016	7...14	82...94	6.10.2016	- 4...7	76...100	
14.8.2016	11...17	63...100	7.10.2016	- 1...8	66...100	
15.8.2016	9...19	68...100	8.10.2016	1...5	70...81	
16.8.2016	13...16	82...94	9.10.2016	- 3...8	66...93	
17.8.2016	11...20	49...94	10.10.2016	1...6	71...93	
18.8.2016	11...19	64...100	11.10.2016	1...4	81...93	
19.8.2016	14...21	60...94	12.10.2016	2...5	81...87	
20.8.2016	11...17	77...100	13.10.2016	3...5	87...100	eristystyö
21.8.2016	12...18	73...100				
22.8.2016	14...22	61...100				
23.8.2016	14...19	68...100				
24.8.2016	7...14	72...94				
25.8.2016	9...13	77...100				
26.8.2016	9...17	55...94				
27.8.2016	8...19	52...94				
28.8.2016	2...11	47...93				
29.8.2016	0...14	48...93				
30.8.2016	1...15	52...100				
31.8.2016	9...16	48...100				
1.9.2016	12...17	67...94				eristystyö

7.7 Saikun silta, Loimaa

Saikun silta, Loimaa oikovalu kahdessa osassa 575 m², 2014						
IK betoni 1 osa ja 2 osa C 35/45 P50 massamäärä 81 m ³						
Oikovalu paksuuden keskimitta 140 mm						
Vesisementtisuhte 0,35						
1 osa	Ulkoilman lämpötila	Ulkoilman RH %	2 osa lämmitys	Ulkoilman lämpötila	Ulkoilman RH %	
21.7.2014	16...28	32...100	18.9.2014	4...18	52...100	valu pv
22.7.2014	13...28	26...94	19.9.2014	6...19	52...100	
23.7.2014	13...30	27...94	20.9.2014	11...19	64...100	
24.7.2014	13...30	27...88	21.9.2014	12...18	64...100	
25.7.2014	14...31	33...94	22.9.2014	4...12	70...100	
26.7.2014	14...30	22...94	23.9.2014	0...7	31...81	
27.7.2014	13...30	35...94	24.9.2014	- 1...9	43...100	
28.7.2014	19...28	45...100	25.9.2014	5...11	88...100	eristystyö
			26.9.2014	8...14	72...100	
			27.9.2014	8...14	51...100	
			28.9.2014	10...16	55...94	
			29.9.2014	5...14	51...100	
			30.9.2014	1...12	54...100	
			1.10.2014	- 3...12	54...100	
			2.10.2014	5...13	63...94	
			3.10.2014	11...14	82...100	
			4.10.2014	7...16	68...100	
			5.10.2014	4...12	58...100	
			6.10.2014	3...8	66...87	eristystyö

7.8 Palojoen silta, Kontiolahti

Palojoen silta, Kontiolahti oikovalu kahdessa osassa 84 m², 2016						
Muotoiluvalubetoni SRL 60/6/RH massamäärä 7 m ³						
Oikovalu paksuuden keskimitta 83 mm						
Vesisementtisuhde salainen						
1 osa	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	2 osa	Ulkoilman lämpötila °C	Ulkoilman RH %	
28.6.2016	13...18	64...100	27.7.2016	16...26	45...100	valu pv
29.6.2016	14...20	68...100	28.7.2016	17...25	42...94	
30.6.2016	12...24	44...100	29.7.2016	15...19	78...100	
1.7.2016	15...23	41...94	30.7.2016	14...21	73...100	
2.7.2016	13...25	44...94	31.7.2016	16...21	64...100	
3.7.2016	18...27	45...94	1.8.2016	13...22	44...100	
4.7.2016	15...17	94...100	2.8.2016	12...20	53...100	
5.7.2016	14...20	88...100	3.8.2016	12...19	60...100	eristystyö

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin siltojen oikovalujen kuivumisolosuhteita eripuolilla Suomea. Sääsuojan sisäpuolen olosuhteisiin ei tässä tutkimuksessa saatu tietoja, sillä mistään kohteesta ei olosuhdepöytäkirjaa löytynyt. Oikovalumassoina oli käytetty jo aikaisemmin todettuja nopeasti kovettuvia betonilaatuja. Kaikista kohteista sääsuojan ulkopuoliset olosuhteet löytyivät Freemeteo paikkakuntakohtaisista säähistoriatiedoista. Vuorokausi kohtaiset lämpötilat liikkuvat kohteissa $-6 - +30$ asteen välillä. Kohteiden ulkoilman RH:n vaihtelu välit liikkuvat RH 22–100 %. Ulkoilman lämpötilat liikkuvat suurimmalta osaltaan alle $+20$ asteen ja ilman suhteellinen kosteus vuorokauden aikana liikkui erittäin korkealla tasolla iltayön ja aamuyön tunteina RH 100 %:a, joka kuivumisen kannalta on erittäin tärkeä tekijä. Jokaisessa kohteessa RH kävi päivälläkin 100 %:ssa johtuen vesisateesta ja sadekuuroista. Kaikissa kohteissa ulkoilman RH:sta päätellen oikovalut saivat ulkoilmasta lisäkosteutta, joka hidastutti niiden kuivumista.

Voisi olettaa, että sääsuojan sisällä vallitsevat olosuhteet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden osalta olisivat likimain ulkoilmaa vastaavat. Vaikka ulkoilmassa sattui olemaan muutamia hyviä kuivumispäiviä, niin umpinaisen sääsuojan sisällä vallitseva liiallinen ilmankosteus poistuu erittäin hitaasti ja näin ollen hidasti siten betonin kuivumista. Kahdeksasta kohteesta kuudessa oli sääsuojan sisällä jouduttu käyttämään lämmitystä apuna sääolosuhteista johtuen. Vaikka kohteita oli lämmitetty, ei toimittajien antamiin kuivumisaikoihin oltu päästy. Siispä tämäkin tieto tukee sitä, että olosuhteet sääsuojan sisällä eivät ole olleet betonin kuivumiselle suosiolliset. Keihäskosken sillan ulkolämpötilat näyttävät päivittäin erittäin alhaisilta, jopa ollut pakkasen puolella, eikä näin ollen betonille ole pystytty luomaan sille annettuja kuivumisolosuhteita.

Tehokkailla lämmittimillä sääsuojan sisällä näyttää olevan kuivumisaikaan iso vaikuttava tekijä, kun verrataan Jänisjoen sillan ja Ahkiolahden kanavasillan lämmittimien termostattien säätöä. Jänisjoella lämmittimien termostaatit oli säädetty 25 asteeseen ja Ahkiolahden kanava sillalla 35–40 asteeseen. Ahkiolahden kanavasilta oli saatu todennäköisesti korkeampaa lämpötilaa käyttäen 9 vuorokautta nopeammin eristyskuivaksi kuin Jänisjoen silta. Tämä käsitys tukee sitä, että lämpötilaa nostamalla voidaan kuivumisaikaa nopeuttaa huomattavasti. Kuivumisen kannalta tärkeää olisi ollut luoda sääsuojan sisälle kuivumisen kannalta hyvät olosuhteet. Vaikka sääsuojan sisällä olevista olosuhteista ei ole tietoa, 7 vuorokautteen ovat kuivuneet Saikun sillan ensimmäisen osan ja Palojoen sillan molemmat osat.

Edellä mainituissa kohteissa ulkoilman lämpötilalla näyttäisi olleen tuntuva merkitys, sillä molemmissa päivälämpötilat liikkuvat vuorokauden aikana enimmäkseen yli $+20$ astetta mikä vaikuttaa myös laskevasti ilman RH:hon. Kuivumisen kannalta olisi hyvä luoda sääsuojan sisälle olosuhteet, jossa lämpötila on yli $+30$ astetta ja ilman RH $\leq 50\%$, joka varmistaisi betonin kuivumisen toimittajan antamaan aikaan. Olosuhteista pitäisi tehdä mittaukset päivittäin ja täyttää olosuhdepöytäkirjaa. Jos olosuhteisiin tulee muutoksia, niihin on reagoitava nopeasti, ettei kuivumisessa tapahtuisi hidastumista.

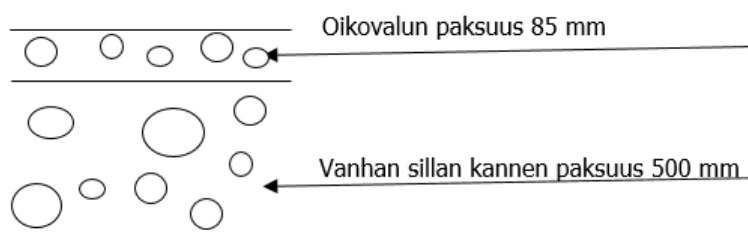
Mitä todennäköisimmin kosteus siirtyy sääsuojan sisälle ulkoilmasta. Voidaan ajatella, että ulkoiman lämpötila olisi vaikka 18 astetta ja RH 100 % eli ilmassa on 15,37 g/m³ vettä ja sääsuojan sisällä lämpötila sama 18 astetta ja RH 95 % sääsuojan sisäilmassa on 14,60 g/m³ vettä. Sääsuoja ei ole koskaan niin tiivis, ettei ulkoilmasta siirtyisi kosteutta sääsuojan sisälle ja näin ollen kosteudet pyrkivät tasapainottumaan suuremmasta pienempään. Voidaan todeta, että olosuhteet sääsuojan sisällä olisi samat kuin ulkoilmassa.

9 OIKOVALUN KUIVUMISTARKASTELU WUFI-OHJELMALLA

Mikä on WUFI ohjelma, mitä sillä saa?

WUFI on tietokoneohjelma, joka antaa analyysin rakennuksen vaipan rakenteista. WUFI-ohjelma on helppo käyttää tietokoneessa. Se on valikkopohjainen ohjelma, joka voi tarjota räätälöityjä ratkaisuja vahinkojen arviointi ja kosteudelle tekniikan ongelmia eri rakennuksen vaipan osiin. Rakenteen kosteuskäyttäytymistä voidaan arvioida kosteussimuloinilla sekä tutkia homehtumisriskiä, kuivumisaikoja ja kosteuden kertymistä rakenteisiin. WUFI-ohjelma on saksalainen, Fraunhofer institut für bauphysik valmistama kosteuden- ja lämmönsiirron simulointiohjelma. Ohjelmassa on kattava 97 kaupungin sää-tiedosto ja materiaaliteriaalitietokanta sekä dokumentointi, joka on verkossa. Yhteistyökumppanina Suomessa IBP:n kanssa toimii VTT Expert Services Oy, joka toimii jälleenmyyjänä ohjelman lisensseille. (Wufi 2017.)

9.1 Rakennemalli sillan kannesta ennen eristystyötä.



9.2 Lähtötiedot simuloinnille

Tässä wufi-ohjelmalla on simuloimalla tarkasteltu oikovalua, jonka kuivumistarkastelu paksuudeksi on otettu 85 mm. Uudessa valussa on huomattavasti ohuempia kohtia johtuen siitä, että paksuus on keskimittaa. Tarkastelu ei ota huomioon valussa olevaa ohuempaa kohtaa eikä myöskään paksumpaa kohtaa. Oikovalun paksuserot johtuvat sillan kannelle tehtävästä kaksipuoleisesta kallistuksesta eli kannen keskikohdasta reunapalkkiin päin tehdään yleensä 2-3 % kallistus riippuen kannen leveydestä. Kallistuksella asfaltin läpi menevä vesi ohjataan tippuvesiputkilinjalle, joiden kautta vesi pääsee poistumaan. Yleensä ohuin valupaksuus sijaitsee reunapalkista 25 cm:n päässä tippuvesiputkilinjalla, jonka takia tämä kohta voi kuivua hyvin nopeastikin.

Alla oleva vanhan sillan kansi on saanut vesipiikkauksesta johtuen 1-2 paino-% lisäkosteutta. Lähtöarvot lämpötila, RH % ja betonilaatu on otettu suoraan wufi-ohjelman tietokannasta. Oikovalun simuloinnissa osat ovat ulkopinnasta lukien vapour retardet $sd=100$ (katoksen kevytpeite) 2 metrin ilmakerros, joka kuvaa tilaa katon ja valupinnan väliä. Wufi-ohjelman tietokannassa ei löytynyt meidän käyttämälle betonille tasapainokosteuskäyrää, joten oikovalu betoniksi on valittu Fraunhofer-IBP-Holzkirchen tietokannasta betoni, jonka lujuus on C 35/45 ja alkukosteus 147 kg/m^3 . Oikovalu on jaettu seuraavasti 20 mm, 20 mm, 20 mm ja 25 mm näin saadaan 20–40 mm syvyydeltä tärkeää tietoa kosteudesta. Vanha betoni kannen paksuus 50 cm ja vesi-sementtisuhde 0,7 ja alkukosteus 62,5

kg/m³ (kuva 11). Simuloinnissa on tarkoituksena nähdä kuinka kauan kestää oikovalun kuivuminen ko. betonilla.

Wufi-ohjelmaan syötetyt materiaali kerrokset

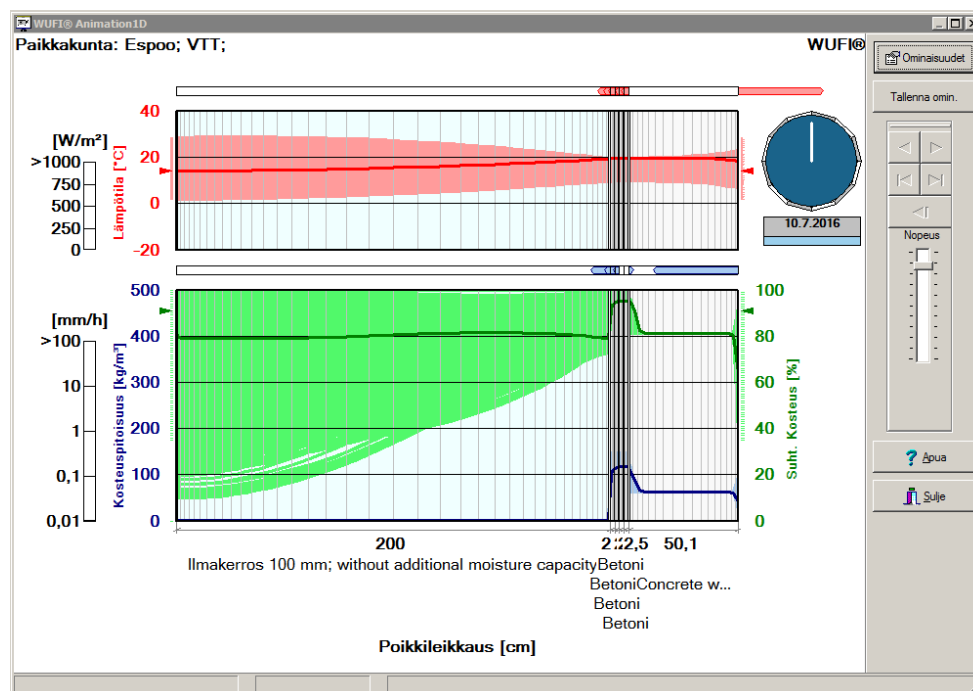
Eri kerroksien alkutilanteen kosteuspitoisuus			
No.	Materiaali Kerros	Paksuus [m]	Kosteus- pitoisuus [kg/m ³]
1	vapour retarder (sd=100m)	0,001	0
2	Ilmakerros 100 mm; without additional moisture capacity	2	0,017
3	Betoni, C35/45	0,020	147
4	Betoni, C35/45	0,02	147
5	Betoni, C35/45	0,02	147
6	Betoni, C35/45	0,025	147
7	Concrete w/c 0,7	0,5	62,5

KUVA 11.

9.3 Oikovalun kuivumissimulointi

Simulointi on aloitettu 1.6.2016 ja päättynyt 10.7.2016. Ulko- ja sisäilma on otettu Wufi-ohjelman ilmastotietokannasta ja sieltä otettu espoon ilmasto. Vanhan betonin suhteellinen kosteus on 60 % ja sen päälle valetussa pintabetonissa 100 % ja lämpötila 18 C°. Kuvasta huomataan, että oikovalu kuivuu sekä sääsuojan ilmatilaan sekä vanhaan betoniin päin. Lämpövirta näyttäisi kulkevan vain sääsuojan sisälle päin (kuva 12).

Lämpövirran ja kuivumisen kulku suunnat

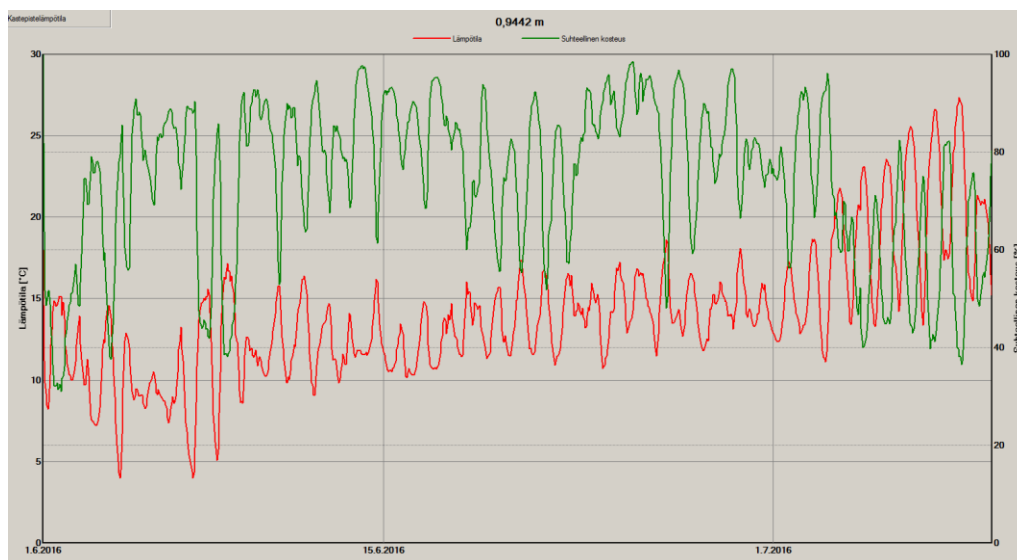


KUVA 12.

Sääsuojan sisällä oleva kosteus

Sääsuojan sisällä oleva suhteellinen kosteus näyttäisi asettuvan RH 70 % tasolle. (kuva 13). Betonipinnan eristystyöt voidaan aloittaa sillä sääsuojan sisällä oleva suhteellinen kosteus RH 67 % alittaa eristystyön aikana sallitun RH 85 %. Simuloinnin tulos RH 70 % tukee ennen eristystyötä mitattuja suhteellisen kosteuden mittaustuloksia, jotka ovat olleet RH 60–80 % välillä.

Suhteellinen kosteus ja lämpötila sääsuojan sisällä

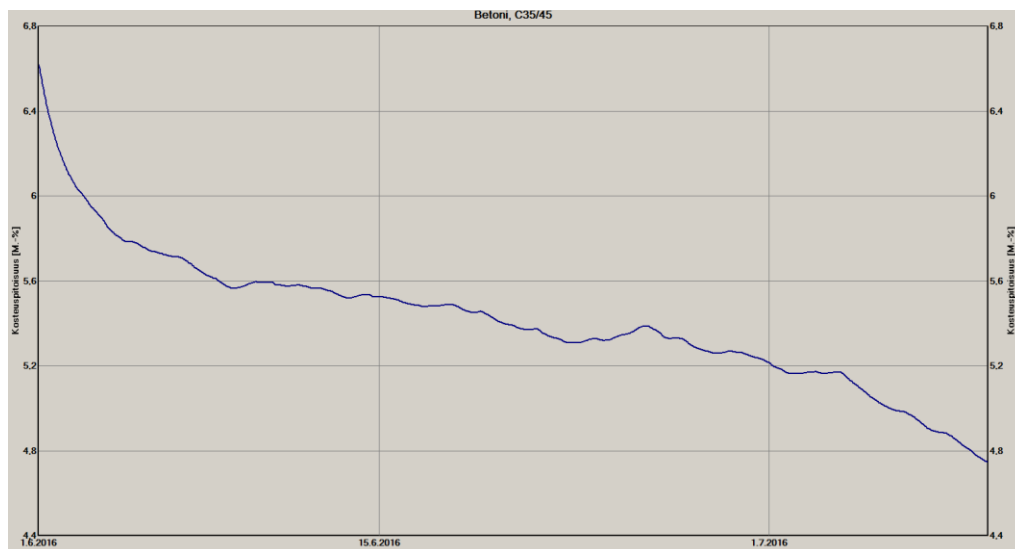


KUVA 13.

9.4 Oikovalun kosteus ja kuivuminen

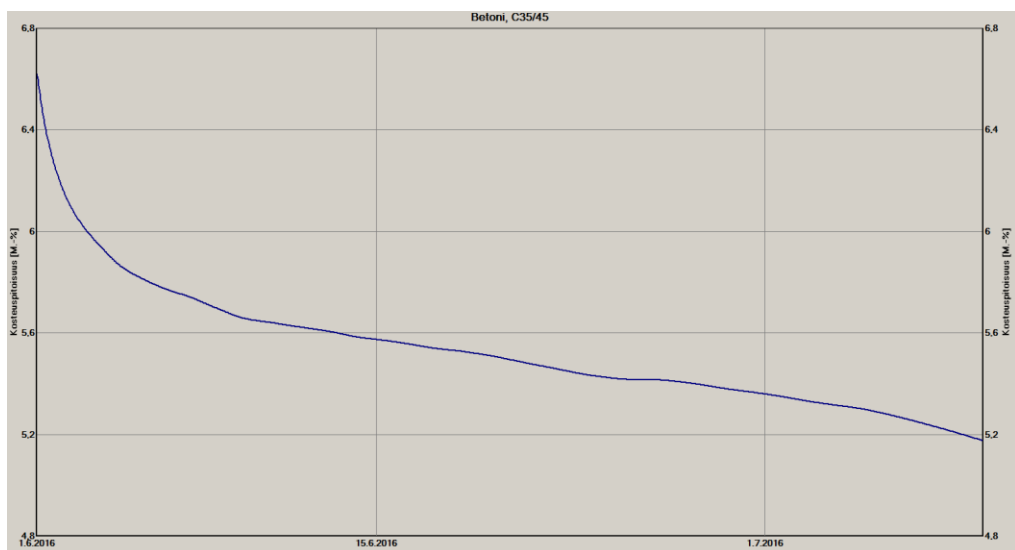
Oikovalu kuivui simuloinissa 0-20 mm syvyydeltä 4,76 paino-% (kuva 14) noin 6 viikossa, joka yhteenlaskettuna 20-40 mm syvyydeltä saadun tuloksen 5,18 paino-% (kuva 15) alittaa eristysalustalle annetun kuivuuksivaatimuksen. Oikovalun alkukosteudesta 147 kg/m^3 poistuu noin 6 viikon kuivumisen aikana 37 kg/m^3 vettä.

Oikovalun kosteus syvyydellä 0-20 mm



KUVA 14.

Oikovalun kosteus syvyydellä 20-40 mm

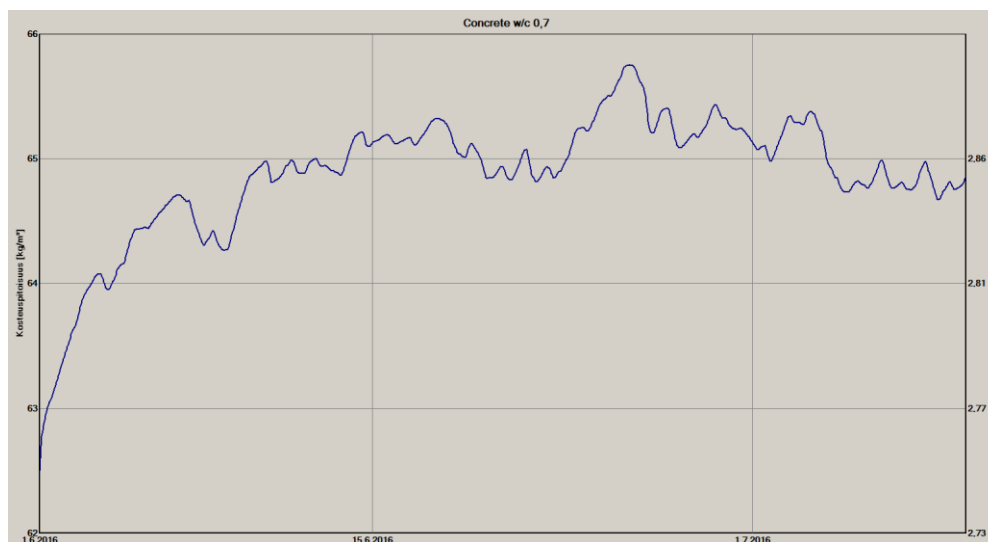


KUVA 15.

9.5 Vanhan betonin kosteus

Simuloinilla huomaa miten vanha betoni saa kosteuslisää kuivumisjakson aikana. Tämä johtuu siitä, että pintabetonissa on enemmän kosteutta. Kosteus pyrkii aina tasoittumaan siirtymällä suuremmasta kosteudesta pienempään. Vanhan betonikannen alkukosteupitoisuus $62,5 \text{ kg/m}^3$ lisääntyy lähtötilanteen noin $2,35 \text{ kg/m}^3$ noin 6 viikon kuivumis ajanjaksolla (kuva 16).

Vanhan betonin kosteus

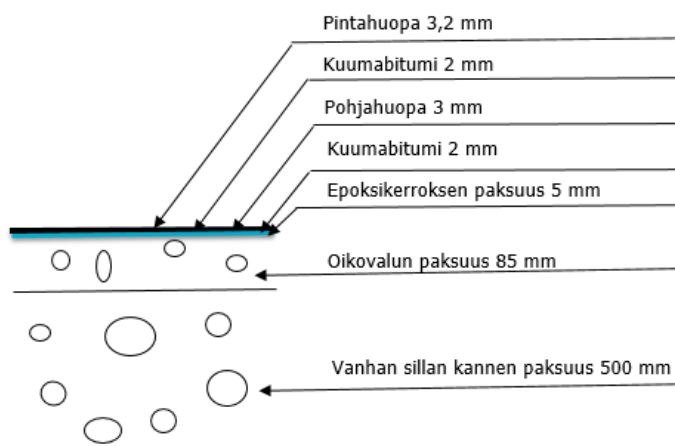


KUVA 16.

10 ERISTYKSEN JÄLKEEN TAPAHTUVA KUIVUMISTARKASTELU WUFI-OHJELMALLA

Vanhan korjattavan sillan kannen paksuus on yleensä 400 - 600 mm välillä. Tarkasteluun on otettu sillan kansi, jonka paksuus on 500 mm, oikovalu 85 mm, epoksi 5 mm, kuumabitumi 2 mm, pohjahuopa 3 mm, kuumabitumi 2 mm, pintahuopa 3,2 mm.

10.1 Rakennemalli sillan kannesta eristystyön jälkeen.



10.2 Lähtötiedot simuloinnille kannen eristystyön jälkeen

Viiden vuoden simuloinnille lähtöarvot oikovalu betonille ja vanhalle kannen betonille on otettu wufi-ohjelman tietokannasta, muut kerrokset on syötetty itse ja diffuusiovastuskerroin on otettu RIL 255-1-2014 rakennusfysiikka 1 rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset kirjasta. Simuloinnilla on tarkoitus saada tietoa oikovalun kosteuden muutoksista. Viiden vuoden simulointi tehtiin siksi, kun eristystyölle on annettu 5 vuoden laatutakuu. Kerrokset (kuva 17).

Wufi-ohjelmaan syötetyt materiaali kerrokset

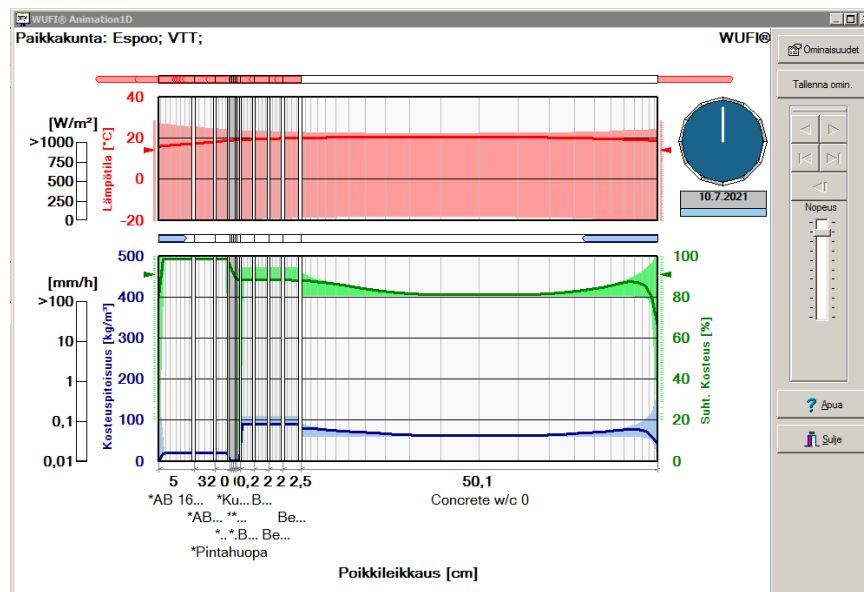
Eri kerroksien alkutilanteen kosteuspitoisuus			
No.	Materiaali Kerros	Paksuus [m]	Kosteus- pitoisuus [kg/m ³]
1	AB 16/120	0,05	21
2	AB 11/70	0,03	21
3	AB 6/50	0,02	21
4	Pintahuopa (Avoin)	0,0032	0
5	Kumibitumi (Avoin)	0,002	0
6	Alushuopa (Avoin)	0,003	0
7	Kumibitumi (Avoin)	0,002	0
8	Epoksi (Avoin)	0,005	0
9	Betoni, C35/45	0,020	108
10	Betoni, C35/45	0,020	108
11	Betoni, C35/45	0,020	108
12	Betoni, C35/45	0,025	108
13	Concrete w/c 0,7	0,5	62,5

KUVA 17.

10.3 Simulointi eristystyön jälkeen

Simulointi on tehty aikavälillä 10.7.2016–10.7.2021. Ulko- ja sisäilma on otettu Wufi-ohjelman ilmastotietokannasta ja sieltä otettu espoon ilmasto. Asfalttien alkukosteus on otettu asfalttinormeista. Oikovalun alkukosteus 108 kg/m^3 ja vanhan betonikannen kosteus $62,5 \text{ kg/m}^3$. Lämpövirta näyttäisi siirtyvän kannen sisältä ylös- ja alaspäin. Eristyksen alla betonin kuivumista tapahtuu vain vanhaan betoniin päin (kuva 18).

Lämpövirran ja kuivumisen kulkusuunnat

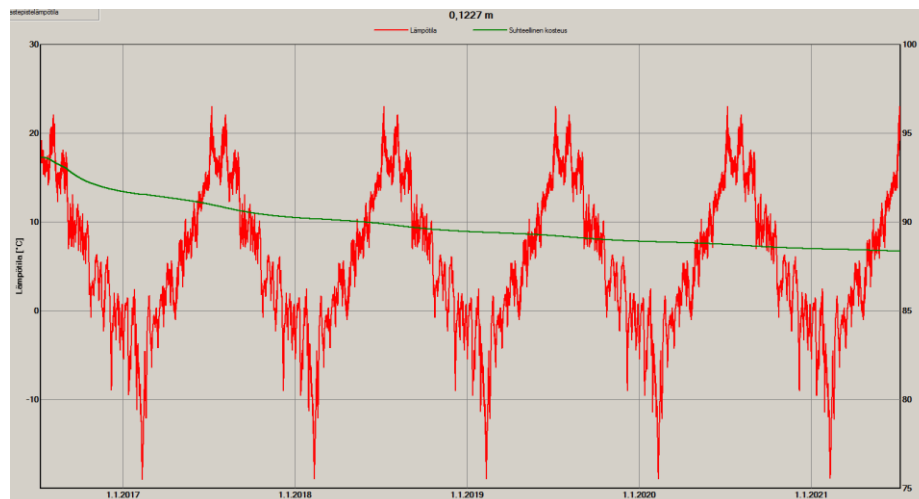


KUVA 18.

10.4 Betonin kosteuden muutokset viiden vuoden jälkeen

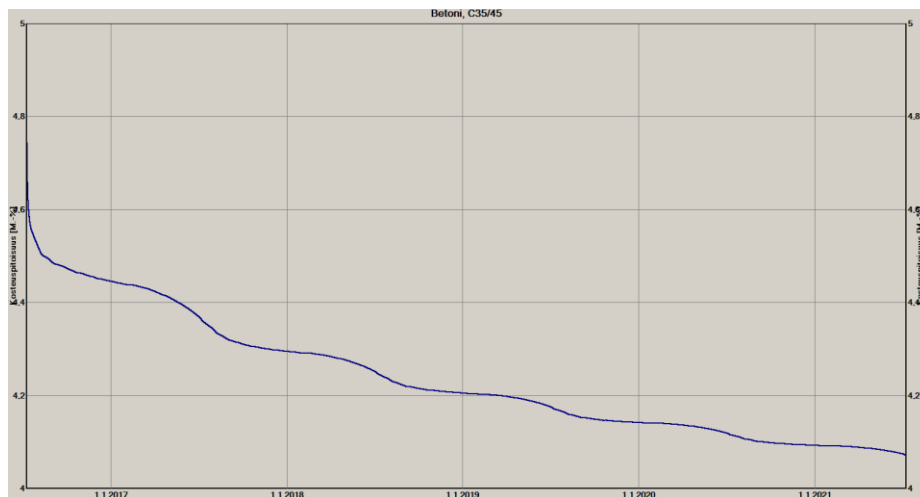
Eristystyön jälkeen viiden vuoden simuloinnilla huomataan, että suhteellinen ja absoluuttinen kosteus betonissa laskee tasaisesti. RH 94 % suhteellinen kosteus laskee RH 88,5 % (kuva 19) ja absoluuttinen 4,76 paino-% laskee arvoon 4,07 paino-%:iin (kuva 20).

Suhteellinen kosteus ja lämpötila



KUVA 19.

Absoluuttinen kosteus



KUVA 20.

11 TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT

11.1 Tutkimuksen tausta

Opinnäytetyön aiheen sain Destia Oy:n kehittämissyöryhmän kehittämisspäällikö Markku Savolalta. Ennen Destia Oy:tä yritys toimi valtion omistuksessa nimillä TVH, TVL ja Tieliikelaitos, joista Destia Oy nimi syntyi vuonna 2007. Valtion omistuksesta Destia siirtyi kaupan myötä perheyritys Alström Capitalsin omistukseen vuonna 2014. Destia on infra- ja rakennusalan yritys, joka toimii Suomessa ja joka suunnittelee, rakentaa ja ylläpitää liikenneväylien ja ratojen sekä liikenne- ja teollisuusympäristöjen lisäksi kokonaisia elinympäristöjä. Yrityksen liikevaihto vuonna 2016 oli 493,2 miljoonaa euroa. Destian henkilöstömäärä oli vuonna 2016 keskimäärin 1492 henkilöä. (Destia vuosikertomus 2016, 2.)

Aiheen valitsin siksi, kun itsellenikin on monen vuoden ajalta kokemusta oikovalun kuivumisongelmista. Kuivumisongelman syiden selvittely on ollut kehitystyöryhmässä jo pidemmän aikaa esillä ja tätä kautta sain itseäni kiinnostavan aiheen tutkia sitä. Olin tietoinen, että kuivumisongelmia oli laajalti koko Destian työmailla. Kollegoiltani sain lisäpontta tutkimukselleni, että voin haastatella ja kerätä tietoja heidän oikovalujen kuivumisongelmista. Aikaisempaa tutkimustulosta kyseisestä aiheesta en löytänyt, joten vertailu kohtaa en tälle tutkimustyölleni saanut.

Tutkimuksella on tarkoitus saada vastaus kysymykseen miksi kuivumisajassa ei olla päästy toimittajan antamiin kuivumisaikoihin? Lisäksi tarkoituksena oli saada myös läpimurtavia tuloksia, jotka voidaan ottaa työmailla kehitettäväksi. Toivon myös, että saatujen tulosten perusteella Destian työmailla ryhdyttäisiin tarvittaviin toimenpiteisiin, jotta kuivumisongelmasta päästäisiin eroon.

11.2 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Ongelmana on ollut pitkittyneet kuivumisajat korjattujen siltojen oikovaluissa, josta seuraamuksena on ollut aikataulujen pettäminen ja korjauskustannuksien nousu.

Mitkä asiat vaikuttavat betonin pitkittyneeseen kuivumisaikaan?

Betonin pitkittyneisiin kuivumisaikoihin syyt ovat olosuhteissa. Olosuhteet sääsuojan sisällä eivät ole sitä mitä betonin kuivuminen tarvitsee, että saavutetaan toimittajan antamat kuivumisajat. Olosuhteilla eli lämmöllä ja suhteellisella ilmankosteudella on suuri merkitys kuivumisaikaan.

Kuinka oikovalun lämmittäminen vaikuttaa kuivumisaikaan?

Betonin lämmityksellä saadaan betoni kuivumaan sille anettuun kuivuuteen jo 20 asteessa ja kun lämpötilaa nostetaan 10 asteella, kuivuminen nopeutuu huomattavasti.

11.3 Tutkimusmenelmä

Tässä tutkimuksessa on käytetty laadullista sekä määrällistä tutkimusmenetelmää, sillä jos olisi käytetty vain määrällistä tutkimusmenetelmää, olisi tieto ollut vain numeraalista. Laadullisella tutkimuksella tehdyt alan asiantuntijoiden haastattelut tukevat määrällistä tutkimustulosta.

Kolme tärkeintä tiedonkeruumenetelmää laadullisessa tutkimuksessa ovat erilaiset dokumentit, havainnointi ja teemahaastattelu. Tutkittavasta ilmiöstä riippuu käytettävä tiedonkeruumenetelmä sekä sen ominaisuuksista ja halutun tiedon autenttisuudesta ja tarkkuudesta. Tutkija on itse mukana toiminnassa osallistavassa ja osallistuvassa havainnoinnissa. Tiedon analysointi eri tekniikoin perustuu menneisiin dokumentteihin. (Kananen 2010, 48 - 49.)

Laadullisessa tutkimuksessa rajat eivät ole selkeät. Haastattelussa voidaan käyttää sekä laadullista ja määrällistä lähestymistapaa ja kerättyä haastattelu aineistoa voidaan vastaavasti analysoida kvantitatiivisesti sekä kvalitatiivisesti. Käyttövoimansa kvalitatiivinen tutkimus on saanut enemmän suhteesta kvantitatiiviseen tutkimukseen. Aineisto, joka pelkistetyimillään on ilmaisultaan tekstiä, tarkoitetaan sillä laadullista aineistoa. Syntynyt teksti voi riippua tai olla riippumatta tutkijasta. Laadullisen aineiston keruumenetelmiä ovat erilaiset haastattelut, havainnoinnit, henkilökohtaiset päiväkirjat, omaeläkerrat ja kirjeet sekä kirjallisesti ja kuvallisesti tai äänimateriaalisesti kerätty muuta tarkoitusta varten tuotettu aineisto. (Eskola ja Suoranta 1998, 13 - 15.)

Tutkimuskysymykset ovat tiedossa määrällisessä tutkimuksessa, sillä ilmiöt selittävistä teorioista on johdettu kysymyksiä. Struktrutoituihin kysymyksiin määrällinen tutkimus tuottaa lukuja sekä avoimiin kysymyksiin laadullisessa tutkimuksessa sanoja ja lauseita, joilla tutkija voi ilmiöstä muodostaa käsityksen. Laadullista tutkimusta tarvitaan tueksi määrälliselle tutkimukselle, sillä tutkimusongelma voi olla hyvinkin monisyinen. (Kananen 2012, 32 - 33.)

Prosenttiosuuksiin liittyviä kysymyksiä ja lukumääriä selvitetään määrällisellä eli kvantitatiivisella tutkimuksella. Kvantitatiivisella tutkimuksella haetaan vastauksia seuraaviin kysymyksiin mikä, miksi, missä paljonko ja kuinka usein? Määrällinen tutkimus edellyttää riittävän kattavaa ja edustavaa otosta. Valmiita vastausvaihtoehtoin varustettuja tutkimuslomakkeita käytetään aineiston keruussa. Numee-

risten suureiden avulla kuvataan asioita ja selvitetään eri asioiden välisiä riippuvuuksia tai mitä muutoksia on tapahtunut tutkittavassa ilmiössä. Määrällisen tutkimuksen avulla olemassa oleva tilanne saadaan yleensä kartoitettua, mutta asioiden syitä ei riittävästi pystytä selvittämään. (Heikkilä 2014, 8.)

Triangulaation avulla voidaan etsiä laajojen kehittämis- ja tutkimushankkeiden ratkaisuja. Monimutkaisten ongelmien ratkaisuun soveltuu triangulaatio, joissa menetelmä ei riitä tai jos on yksi lähestymistapa. Tutkimuksen laatua ja luotettavuutta parannetaan käytettäessä triangulaatiota. Tutkimustulosta voidaan pitää luotettavana, jos monimutkaisiin ongelmiin ratkaisuja etsiessä lähestymistavasta riippumatta antaa saman lopputuloksen. Samassa tutkimuksessa, jossa useampi lähestymistapa on yhdistetty, kutsutaan triangulaatioksi. (Kananen 2012, 178 - 179.)

11.4 Tiedonkeruumenetelmät

Puhelimen välityksellä ja sähköpostia apuna käyttäen sain kuudelta Destian työmaapäälliköltä seuraavia tietoja: korjauskohteiden nimet, sijainnit, kohteiden koot, käytetyt betonin laadut ja määrät, sääsuojan käyttö ja oliko sääsuojan sisällä käytetty lämmitystä molemilla puolilla vai vain toisella ja millainen lämmitys oli, jos oli sekä oliko valun jälkeen betonipinnan suojauksessa käytetty jälkihoitoainetta vai muovikalvoa.

Määrällisellä tutkimusmenetelmällä selvitin tutkittujen kohteiden sääolosuhteet. Sääolosuhteet löysin Freemeteon säähistoriatiedoista. Säähistoriatiedoista löytyi paikkakuntakohtaiset jokaiselle päivälle puolen tunnin välein mitatut lämpötilat ja suhteelliset kosteudet.

11.5 Tutkimuksen luotettavuus

Saatujen tutkimustulosten pysyvyyttä kuvataan reliabilitetilla eli saadaan samat lopputulokset, jos tutkimus toistettaisiin. Oikeiden asioiden tutkimista kuvataan validiteetilla. Lisäksi alakäsitteitä on molemmissa käsitteissä, joista tärkein on tutkimustulosten yleistettävyyden. Tutkimustulokset saatua ne voidaan siirtää vastaavanlaisiin tilanteisiin ja ne pitävät myös paikkansa. Tutkimuksen luotettavuutta lisää kahden tutkijan sama lopputulos. Kun kaksi tutkijaa päätyy samaan lopputulokseen, on se eräänlainen reliabiliteetti eli kyseessä on tulokinnan ristiriidattomuus. Työlle uskottavuutta luo erittäin hyvin tehty dokumentaatio. Hyvä dokumentaatiokaan ei pelasta, jos on tehty suoria virheitä ja vääriä valintoja. (Kananen 2010, 69 - 70.)

Väitteiden luotettavuutta ja tutkimustuloksia tarkoitetaan reliabiliteetilla: kyetäänkö tutkimustulokset riippumattomasti toistamaan vai johtuuko tulokset vain sattumasta? Tutkimuskertojen välillä tai arvioitsijoiden välillä voi tapahtua toistumista. Kun alkuperäinen tutkimus samoin edellytyksin toistetaan ja se antaa saman tutkimustuloksen, niin tehtyä tutkimusta voidaan pitää luotettavana. (Hiltunen 2009, 11.)

Tutkimuksen tai väitteiden pätevyydellä tarkoitetaan validiteettia eli oikeuttavatko tutkimusmenetelmät, aineisto ja saadut tulokset niihin esitetyt väitteet. Kun tutkimuksesta mittaustuloksilla arvioidaan mielekkyyttä, päätelmien sopivuutta ja käyttökelpoisuutta, tarkoitetaan validiteettia. (Hiltunen 2009, 7.)

Reabiliteetti näkyy työssäni siten, että numeraalinen tieto, jota olen saanut eri puolilta Suomea, on ollut likimain samansuuntaista. Samansuuntaiset tutkimustulokset kohteiden sääolosuhteista tukee käsitystä tulosten luotettavuudesta. Tutkimuksessa validiteetti näkyy siten, että haastateltavat henkilöt pystyin kaikki hastattelemaan ja saamaan tarvittavat tiedot tutkimukseeni. Tulosten oikeellisuus näyttäisi pitävän paikkansa, sillä omien kohteiden tulokset ovat samansuuntaisia kuin muilta paikkakunnilta saadut tulokset. Omassa organisaatiossani saatu tutkimustulos voidaan yleistää. Saadut tulokset on esitetty havainnollisesti ja selkeästi, jos esitettyjä tuloksia tutkii tai analysoi ulkopuolinen henkilö.

12 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus selvittää mitkä tekijät ovat vaikuttaneet oikovalujen kuivumisaikoihin. Saatujen tulosten perusteella voidaan työmailla ryhtyä kehittämistoimenpiteisiin millä ja miten sääsuojan sisällä saadaan olosuhteet sille tasolle, jotta pinnoitustyöt voidaan aloittaa toimittajan antaman kuivumisajan kuluttua.

Tutkitut kohteet olivat Destia Oy:n sillankorjauskohteita ympäri Suomen. Kaikki kohteissa oikovalut oli tehty sääsuojan sisällä eikä toimittajan antamiin kuivumisaikoihin oltu päästy. Koska sääsuojan sisältä ei olosuhteista ole tietoa, ei niitä voida verrata sääsuojan ulkopuolella vallitseviin olosuhteisiin. Voidaan kuitenkin päätellä, että olosuhteet sääsuojan sisällä olivat likimain samanlaiset kuin sääsuojan ulkopuolella, koska sääsuoja ei ole tiivis rakenne, ilmankosteuden on helppo siirtyä ulkoilmasta sisälle. Lisäksi kosteutta siirtyy vanhan betonin kautta sääsuojan alla olevaan ulkoilmaan.

Oikovalujen kuivumisajat vaihtelivat 7 vuorokaudesta 39 vuorokauteen. Kuivumisaikoja selvästi nopeutti ulkoilman korkea lämpötila sekä lämmittimillä sääsuojan sisälle saatu korkea lämpötila. Kun taas kohteiden kuivumisaikoja hidasti alhaiset lämpötilat sekä iltayön ja aamuyön tunteina korkea 100 % suhteellinen ilmankosteus.

Sääsuojan sisälle on luotava betonin kuivumisen kannalta sellaiset olosuhteet, että betoni voi kuivua siellä. Erilaisia kosteuden poistajia pitää käyttää, jotta ilman suhteellinen kosteus saadaan tasolle ≤ 50 % ja lämpötila on saatava vaikka lämmitimien avulla pysymään 20 asteessa tai sen yli. Lämpötilaa ja suhteellista kosteutta pitää mitata päivittäin kuivumisen aikana, jotta olosuhteet pysyvät koko kuivumisen ajan samana. Tällä varmistetaan oikovalun kuivuminen toimittajan antamiin aikoihin.

Wufiohjelmalla simuloimalla saatiin betoni, jonka lujuus on C 35/45 kuivumaan noin 6 viikossa. Tämä tulos ei kuitenkaan anna oikeaa lopputulosta, sillä työmailla käytössä olevan betonin vesisementti-suhde on 0,35–0,37. Tulos on kuitenkin suuntaa antava, joka tukee sitä käsitystä, että sääsuojan sisälle on luotava sellaiset olosuhteet, jotta betoni voi kuivua sille annettuun aikaan. Viiden vuoden simuloinnilla saatu tulos tukee sitä, että oikovalu betoni kuivaa vanhaan betonikanteen päin. Tästä voidaan tehdä sellainen johtopäätelmä, että jos oikovalun päälle tuleva epoksi kerros on ehjä ei eristeen kupliminen kosteudesta ole mahdollinen.

13 POHDINTA

Työmaalle tilatun betonimassan laatu on heitellyt silmämääräisesti hyvin suuresti. Massa on ollut erittäin löysää tai erittäin jäykkää johtuen ilmeisesti veden määrästä. Tasalaatuksen massan valmistuksessa näyttää olevan jonkunlainen ongelma tai ei ole otettu riittävän tarkasti huomioon kiviaineksesta tulevaa vesilisää. Valun jälkeisen betonin liian nopean kuivumisen estämiseksi on vuosien varella käytetty erilaisia suojausmenetelmiä. Valun päälle on vedetty pressut, kevytpeitteet, muovikalvo tai jälkihoitoaine. Peitteiden alle on kuitenkin kuivilla keleillä yleensä lisätty vettä, ettei kuivuminen tapahtuisi liian nopeasti. Keväällä huhti-toukokuulla, kun sääsuojia ei vielä tilaajan määräämänä tarvinnut käyttää, oikovalun kuivuminen tapahtui hyvin nopeasti, silloin kun säät olivat suosiollisia.

On erittäin tärkeää huomioida ulkolämpötilat oikovaluja suojatessa ja laittaa jopa lämpöä eristävät peitot tai lämmittimet, sillä valupaksuudet eivät yleensä riitä kehittämään lämpöä sitotumisen yhteydessä ja näin ollen kuivuminen hidastuu merkittävästi. Jälkihoitoaineella voidaan parhaiten estää betonin liian nopea kuivuminen ja jo kuivumisensa aloittaneen betonin lisäveden saanti. Kuivumista voidaan nopeuttaa jo varhaisessa vaiheessa hiekka- tai sinkopuhaltamalla valupinta. Tällä toimenpiteellä saadaan parhaiten betonin pinnasta veden haitumista estävä betonilimu pois. Betonilimu estää hyvin voimakkaasti betonin kuivumista. Betonipinnan tulee kuivumisen aikaan olla puhdas, siellä ei saa olla roskaa ym. roinaa hidastamassa kuivumista. Omakohtaisena kokemuksena voin esille tuoda, että sillan kannelle oli jäänyt levynpala sekä lastauslava, kun ylimääräinen tavara poistettiin, paljastui niiden alta kosteat kohdat. Hyvällä sääsuojassa tapahtuvalla tuuletuksella saadaan hyvissä olosuhteissa oikovalu nopeammin kuivumaan sille annetun ohjeiston sisäin.

Olen myös huomannut sen, että jo kuivamassa oleva betoni sääsuojan sisällä on hyvin herkkä kostumaan, jopa kastumaan sääolosuhteiden vaihtelusta johtuen. Siksi olisi erittäin tärkeää saada sääsuojan vaippa hyvin tiiviiksi, jotta ulkoinen vesi ei pääsisi haittaamaan kuivumista. Ennen oikovalu-betoneina käytettiin normaaleja betoneja, jotka kuivuivat huomattavasti nykyisiä betonilaatuja kauemmin. Tästä syystä monesti syksyllä urakka-aika ei tahtonut riittää betonin kuivumisesta johtuen. Sitten siirryttiin käyttämään nopeasti kovettuvia ja kuivuvia betoneja. Nykyisin en ole käyttänyt oikovaluja tehdessä muuta kuin Suomen Rakennelujitus Oy:n itsestivistävää SRL60/6/RH korjausbetonia. Kyseisen betonin olen saanut kuivumaan hyvissä sääolosuhteissa 3-4 vuorokaudessa eristyskuuntoon, mutta huonojen sääolosuhteiden vallitessa kuivuminen on kestänyt jopa 2-3 viikkoa.

Tutkimuksessa oli tarkoitus saada syy miksi kuivumisaikoihin ei oltu päästy? Mielestäni ongelmaan saatiin vastaus, että olosuhteet sääsuojan sisällä eivät olleet betonin kuivumisen kannalta riittävät. Niinpä olosuhteisiin sääsuojan sisällä tulisi entistä enemmän kiinnittää huomiota. Tutkimustulos hyödyntää työmaita ja antaa eväät kehittämistoiminnalle.

Tutkimusongelmana pitäisin sitä, että sääsuojan sisäpuolelta ei olosuhdepöytäkirjoja löytynyt. Olosuhteet sääsuojan ulkopuolelta kuitenkin korreloi melko varmuudella sääsuojan sisällä vallitsevaa olosuhdetta. Ongelmana pitäisin myös sitä, että kaikista käytetyistä oikovalu betoneista ei kuivumis ennakkokeiteita oltu tehty. Betonin toimittaja oli vain antanut betonille kuivumisajan, jonka jälkeen betonipinta päästään eristämään.

Olosuhteiden lisäksi olisi voinut tutkia enemmän betonimassan koostumusta, notkeutta ja käytettyjä lisäaineita, mutta aiheen rajaus mielestäni on tälle tutkimukselle riittävä. Jos edellä mainitut aiheet olisivat olleet mukana, työ olisi paisunut liian suureksi ja tulos olisi voinut olla ristiriitainen. Erittäin mielenkiintoisena jatkotutkimuksena pitäisin sitä, että luodaan sääsuojan sisälle oikovalun kuivumiselle oikeat olosuhteet ja pidetään olosuhdepöytäkirjaa jokaisesta betonin kuivumispäivästä. Tällä tutkimuksella saataisiin tutkittua varmuudella oikovalun kuivumisen kesto työmaaolosuhteissa.

Wufi-ohjelman simuloinnissa törmäsin seuraaviin ongelmiin. Tietokannasta ei löytynyt meidän käyttämille betonilaaduille betonia. Ohjelman tietokannassa oli liian suppeat materiaaliluettelot, joka johti siihen, että jouduin itse syöttämään materiaaleja. Tästä syntyi sellainen ongelma, että syöttämilleni materiaaleille ei löytynyt mistään tasapainokosteuskäyriä, vaikka etsin niitä kirjoista ja sähköpostin välityksellä teknillisistä yliopistoista. Ohjelma on muuten hyvä ja helppokäyttöinen.

Molemmat simuloinnit voisi uusia, kunhan Wufi-ohjelman tietokantaan tulee uusia materiaaleja joita nyt ei ollut saatavilla. Jatkotutkimuksena voisi tehdä uusinta simuloinnin betonin kuivumisesta, sillä eri betonilaaduille on tulossa piakkoin uusia tasapainokosteuskäyriä.

LÄHTEET

- ANTTALAINEN, Toivo 2017. Työmaapäällikkö. [Haastattelu]. Kajaani: Destia Oy.
- BJÖRHOLTZ, Dick 1990. Rakennuksen kuivattaminen. Tampere Suomen rakennusteollisuusliitto Ry
- DESTIA. 2016. Vuosikertomus. [Nide] Helsinki
- DUNKEL, Harry 2015. Rakennusfysiikka/oppimateriaali, versio 1,5. Kuopio
- ESKOLA, Jari ja SUORANTA, Juha 1998. Johdatus laadulliseen tukimukseen, Jyväskylä
- FINSEMENTTI, 2017. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 2017-01-10.] Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaille/betonin-kuivuminen>
- FREEMETEO, 2017. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 2016-12-01] Saatavissa: http://freemeteo.fi/saa/joen_suu/saa-talla-hetkella/sijainti/?gid=655808&station=1084&language=finnish&country=finland
- HEIKKILÄ, 2014. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 2017-04-01] Saatavissa: <http://www.tilastollinentutkimus.fi/1.TUTKIMUSTUKI/KvantitatiivinenTutkimus.pdf>
- HILTUNEN, Leena 2009. Reabiliteetti ja valibiliteetti. Jyväskylän yliopisto. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 2017-03-30.] Saatavissa http://www.mit.jyu.fi/ope/kurssit/Graduryhma/PDFt/validius_ja_rehabiliteetti.pdf
- ILMATIETEENLAITOS, 2017. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 2017-02-25] Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>
- INFRARYL, 2015. Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat. Rakennustietosäätiö RTS Helsinki
- KANANEN, Jorma 2010 Opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä
- KANANEN, Jorma 2012. Kehittämistutkimus Opinnäytetyönä. Jyväskylä
- KIVITALO, 2017. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 2016-11-15.] Saatavissa: <http://www.kivitalo.fi/miksi-kivitalo-text-separator/kosteudenhallinta/betonin-kuivumiseen-vaikuttavat-tekijaet.html>
- KOSKINEN, Keijo 2017. Työmaapäällikkö. Joensuu: Destia Oy
- LIIKENNEVIRASTO, 2011. Pintarakenteiden nopeutetut korjausmenetelmät. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 2016-11-1.] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-39_pintarakenteiden_nopeutetut_web.pdf
- LIIKENNEVIRASTO, 2013 P-lukumenettely. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 2016-10-15] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-37_siltabetonien_p-lukumenettely_web.pdf
- LUJABETONI 2017. Supersiltabetoni näyttövedos. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 2017-3-31] Saatavissa: http://www.luja.fi/app/uploads/sites/2/2016/11/SuperSiltabetoni_n%C3%A4ytt%C3%B6vedos.pdf
- LUMME, Pentti ja MERIKALLIO, Tarja 1997. Betonin kosteuden hallinta. Forssa
- MERIKALLIO, Tarja 2009. Väitöskirja. BETONILATTIAN "RIITTÄVÄN" KUIVUMISEN MÄÄRITTÄMINEN UUDISRAKENTAMISESSA. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 2017-3-31.] Saatavissa <https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/4656/isbn9789512299577.pdf?sequence=1>
- NISKANEN, Jani 2017. Työmaapäällikkö. [Haastattelu]. Kuopio: Destia Oy
- REDITALOT, 2017. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 2017-01-10.] Saatavissa: <http://www.reditalot.fi/tempo/default.asp?sivu=betonin%20kuivumiseen%20vaikuttavat%20tekij%E4t>

RIL 250-2011. Kosteuden hallinta ja homevaurioiden syntyminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Helsinki

RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Suomen rakennusinsinöörien liitto. Helsinki

RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Rakennustietosäätiö RTS Helsinki

RUDUS, 2017. [Verkojulkaisu] [Viitattu 2017-02-01] Saatavissa:

https://www.google.fi/search?q=BETONIN+VALINTA+RAKENTEISIIN+RUDUS&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b&gfe_rd=cr&ei=gDvmWNjLEMOq8wf6qLeYDg

RUUSKA, Perttu 2017. Kehityspäällikkö. [Haastattelu]. Siilinjärvi: Lujabetoni Oy

RÖNKÄ, Antti 2017. Työmaapäällikkö. [Haastattelu]. Kuopio: Destia Oy

TAIPALE, Jaakko 2017. Työpäällikkö. [Haastattelu]. Jyväskylä: Destia Oy.

VANHA-KUITTI, Jaakko 2017. Työmaapäällikkö. [Haastattelu]. Raisio: Destia Oy.

WUFI, 2017. What is Wufi? [Verkojulkaisu] [Viitattu 2017-04-20] Saatavissa:

<https://wufi.de/en/software/what-is-wufi/>