



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

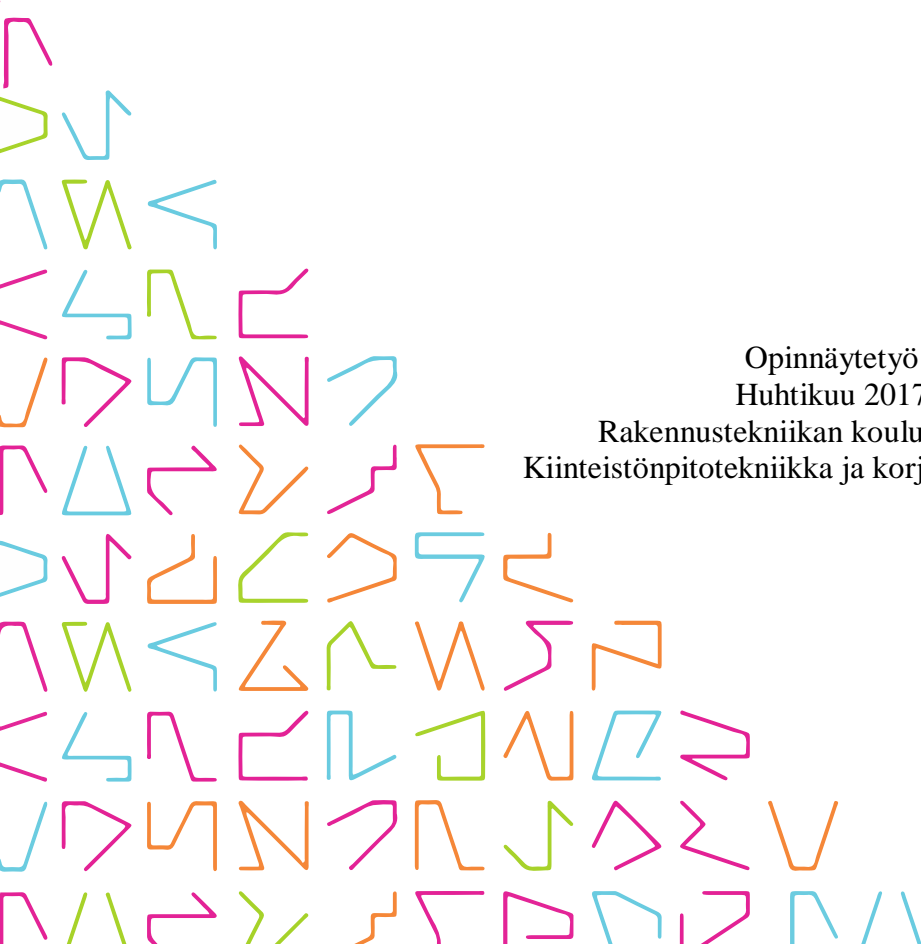
BETONIRAKENTEEN KUIVATUS

Kuivatusjärjestelmä kosteusvauriotilanteessa

Ismo Oksanen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Kiinteistönpitotekniikka ja korjausrakentaminen



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Kiinteistönpitotekniikka ja korjausrakentaminen

OKSANEN ISMO:

Betonirakenteen kuivatus
Kuivatusjärjestelmä kosteusvauriotilanteessa

Opinnäytetyö 61 sivua, joista liitteitä 8 sivua
Huhtikuu 2017

Tämä tutkimus on tehty Tulilattian ilmakiertoisen lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän toimivuuden tutkimiseksi simuloitussa kosteusvauriotilanteessa. Tulilattia on järjestelmä, joka kierrättää kuumaa ja kuivaa ilmaa putkistoissa rakenteen sisällä. Järjestelmä lämmittää rakennetta ja poistaa samalla kosteutta. Tutkimuksen kokeellisessa osuudessa kahdelle tutkittavalle laatalle kaadettiin suhteessa sama määrä vettä. Toinen laatoista oli varustettu kuivattavalla putkistolla ja toinen laatoista toimi verrokkina ilman putkistoa. Veden annettiin imeytyä laattoihin, jonka jälkeen tutkimuslaatan kuivatusjärjestelmä käynnistettiin. Verrokkilaatan annettiin kuivua samassa tilassa tutkimuslaatan kanssa huoneenlämpötilassa. Kosteuden kehitystä seurattiin useassa mittauspisteessä rakenteen sisältä ja saatuja tuloksia analysoitiin laskennallisesti taulukkolaskentaohjelmalla. Tulokset raportoitiin kuvaajien muodossa. Mitattuja tuloksia tuettiin pintapuolisilla kosteustarkasteluilla.

Tutkimuksessa saatiin havainnollista tietoa veden imeytymisestä kovettuneessa betonirakenteessa. Havaittiin, että hyvinkin hallitulla imeyttämällä ei välttämättä päästä aiottuun kastelun vaatimaan tulokseen. Tutkimuksessa saatiin kerättyä kattavasti tietoa koejakson puitteissa rakenteiden kosteuskäyttäytymisestä ja kuivattavan putkiston kautta poistuvasta kosteusmäärästä. Rakenteelle tehdyt lämpöjen alasajokeet antoivat myös hyödyllistä tietoa jatkotutkimuksia ajatellen esimerkiksi, jos järjestelmiä tarvitsee ajaa mittauslämpötilaan. Pintapuoliset kosteustarkastelut todettiin kokeen aikana tutkimuksen kannalta liian epätarkoiksi, joten niiden tuloksia ei analysoitu laajemmin.

Tutkimuksessa todistettiin, että järjestelmä poistaa kosteutta rakenteesta. Rakenteen kuivumiseen vaikuttivat suuresti putkijaon tiheys, kierrätettävän ilman lämpötila sekä sähkövastusten käyttö. Tutkimuksessa havaittiin myös, että rakenteen päällystäminen hidasti moninkertaisesti sen kuivumisaikaa.

Asiasanat: vanha betonilaatta, kuivatus, kosteudenpoisto, tulilattia, kuivatusjärjestelmä, kosteusvaurio

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Facility Engineering and Renovation

OKSANEN ISMO:

The drainage of concrete structure
Drainage system in water damage restoration

Bachelor's thesis 61 pages, appendices 8 pages
April 2017

This research was made to test Tulilattia drainage system in a simulated water damage situation. Tulilattia is an air heating and drainage system based on using hot air to dry moisture in a concrete structure. In Tulilattia system hot air circulates in pipes installed inside a concrete slab. Also electrical resistors may be used to provide extra heat for the system. In the experimental phase of the study, water was poured on two testslabs. The other slab was equipped with the Tulilattia system and the other was not. The same amount of water was poured on both slabs and both of them were left to dry in the same room-temperature space. Both slabs were inserted with multiple sensors measuring the humidity and the temperature of both the slab and the air running in the pipes. The data provided by the sensors was then analyzed with Excel and displayed as charts.

The study provided useful information about the absorption of water on dried concrete. It was proven in the study that it is very difficult to control the absorption process. The data provided useful information on drainage of the concrete slab and how the Tulilattia piping extracted moisture. A shutdown of the heat on the testslab with Tulilattia system was made during the test to attain an optimal measuring temperature.

The study proved that the Tulilattia system is effective in the case studied. The system dried the inspected structure as expected. The three most important conditions influencing the drainage effect were the temperature of the air inside the pipes, the usage of electrical resistors and the spacing of the pipes in the slab (the more tighter the more efficient). The study also proved that the drainage effect is highly influenced if the slab is covered for example with plastic coating.

Key words: old concrete slab, drying, dehumidification, tulilattia, drainage system, water damage

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KOSTEUDEN JA KOSTEUSONGELMIEN TEORIAA.....	7
2.1	Kosteuden määritelmä.....	7
2.2	Kosteuslähteet	7
2.3	Kosteuden siirtyminen.....	8
2.3.1	Kapillaarinen siirtyminen.....	8
2.3.2	Painovoimainen siirtyminen.....	10
2.3.3	Diffuusio	10
2.3.4	Konvektio	11
2.4	Betonin kuivuminen	12
2.4.1	Kuivumiseen vaikuttavat tekijät	12
2.4.2	Vanhan betonirakenteen kuivuminen	13
2.5	Kosteus- ja homevauriot.....	15
2.5.1	Kosteus- ja homevaurioiden määritelmät	16
2.5.2	Otolliset kasvuolosuhteet	16
2.5.3	Sisäilmaongelmat ja terveysvaikutukset	16
2.6	Maanvaraisten rakenteiden vaurioituminen.....	17
2.6.1	Maanvaraisen rakenteen elinkaaren eri rasiutilanteet	18
2.6.2	Yleisimmät vauriot ja syyt maanvastaisissa alapohjarakenteissa.....	19
3	TULILATTIAJÄRJESTELMÄ	21
3.1	Toimintaperiaate	21
3.2	Sovellukset uudisrakentamisessa	22
3.3	Sovellukset korjausrakentamisessa	23
4	KOKEELLINEN OSUUS	25
4.1	Kokeen taustat ja tavoitteet.....	25
4.2	Koejärjestely	26
4.3	Käytössä ollut laitteisto	28
4.3.1	Kuivatuslaitteisto	28
4.3.2	Mittauslaitteisto	29
4.4	Mittauspisteet ja niiden tiiveys	29
4.5	Tulosten mittaaminen ja antureiden siirtely	31
4.6	Mittaustulosten analysointi.....	32
4.6.1	Veden imeytyminen betoniin	32
4.6.2	Tutkimuslaatan lämpöjen alasajo	34
4.6.3	Laattojen pintakosteudet	35
4.6.4	Laatan kosteuden kehitys eri mittapisteissä	36

4.6.5 K-jaon vaikutus kosteuden kehitykseen.....	39
4.6.6 Pinnoituksen vaikutus	42
4.6.7 Laatan kastuminen ja kuivuminen pystysuunnassa	44
4.6.8 Kuivatusputkiston mittaustulokset	46
4.7 Mittaustulosten epävarmuustekijät	48
5 POHDINTA	51
LÄHTEET	53
LIITTEET.....	54
Liite 1. Antureiden siirtoloki.....	54
Liite 2. Rimoituksen asennuskuva	57
Liite 3. Pohjakuva laatasta mittapisteineen.....	58
Liite 4. Antureiden kalibrointitodistus	59
Liite 5. Betonimassan laboratoriotuloste	61

1 JOHDANTO

Kosteus- ja mikrobivaurioihin liittyviä korjaustarpeita esiintyy useissa kuntien hallinnoimissa palvelurakennuksissa. Suurimmat korjaustarpeet rakenteista löytyvät muun muassa maanvastaisista alapohjista. Maaperän kosteuden vaikutusta maanvaraisiin rakenteisiin ei ole ymmärretty suunnitteluvaiheessa yhtä hyvin kuin esimerkiksi kattojen, jotka ovat verrattain hyvässä kunnossa. (Annala 2017) Vakuutusyhtiöt korvaavat myös useita tapauksia vuodessa rakennusten kosteusvaurioiden vuotovahinkoja.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on saada tietoa Tulilattia -järjestelmän kuivatusominaisuuksista tutkimustilaan rakennetussa alapohjalaattarakenteessa. Yrityksen tiloihin rakennettiin koejärjestely, jossa kaksi tarkasteltavaa laattaa kasteltiin vedellä vesivahinkoa simuloiden. Kokeessa tutkittiin rakenteiden kosteuskäyttäytymistä sekä rakenteista poistuvan kosteuden määrää. Tarkastelut suoritettiin tehtyjen lämpötila- ja kosteusmittausten avulla rakenteiden sisältä sekä näitä tukevilla pintapuolisilla kosteusmittauksilla. Tuloksia analysoitiin laskennallisesti Excel -taulukkolaskentaohjelmalla ja tulokset raportoitiin kuvaajina.

Opinnäytetyön alussa kerrotaan kosteuden ja kosteusongelmien teoriaa rakenteissa. Teoria osuus viittaa osittain yleisesti rakenteisiin, mutta pääpaino opinnäytetyön sisällössä on kuitenkin maanvastaisissa alapohjarakenteissa. Opinnäytetyön tutkimuksen ohella tutustuttiin myös Tulilattiajärjestelmän asentamiseen kohdekäynnillä, joka antoi pohjaa järjestelmän toiminnan ymmärtämiseen.

Opinnäytetyö on osittain jatkoa Ville Ahvenaisen Betonilaatan kuivatus lämminilmaputkistolla -diplomityölle. Diplomityössä tutkittiin järjestelmän kuivattavaa ominaisuutta uudessa valetussa rakenteessa.

2 KOSTEUDEN JA KOSTEUSONGELMIEN TEORIAA

2.1 Kosteuden määritelmä

Kosteudenhallintaan kuuluu oleellisesti kosteuden hallinta sen kaikissa olomuodoissa. Kosteusvaihtelut saattavat muuttaa merkittävästi materiaalien ominaisuuksia ja siten vaikuttaa niiden kosteustekniseen toimintaan. Rakennusmääräyskokoelman osan C2 mukaan kosteus määritellään seuraavasti: kosteus tarkoittaa kemiallisesti sitoutumatonta vettä kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä olomuodossa. Käsite ei kuitenkaan ole aina niin selvä, kuten Björkholtz toteaa kirjassaan *Lämpö ja kosteus: Rakennusfysiikka*. Terminologisesti tulisi aina selvittää tarkoitetaanko sanalla kosteus vesihöyryä vai vettä. Rakennusmääräyskokoelman määritelmän mukaisista kolmesta tavasta kosteus liikkuu rakenteissa joko vesihöyrynä tai nesteenä.

(Björkholtz 1997, 52) (RIL 250-2011, 224)

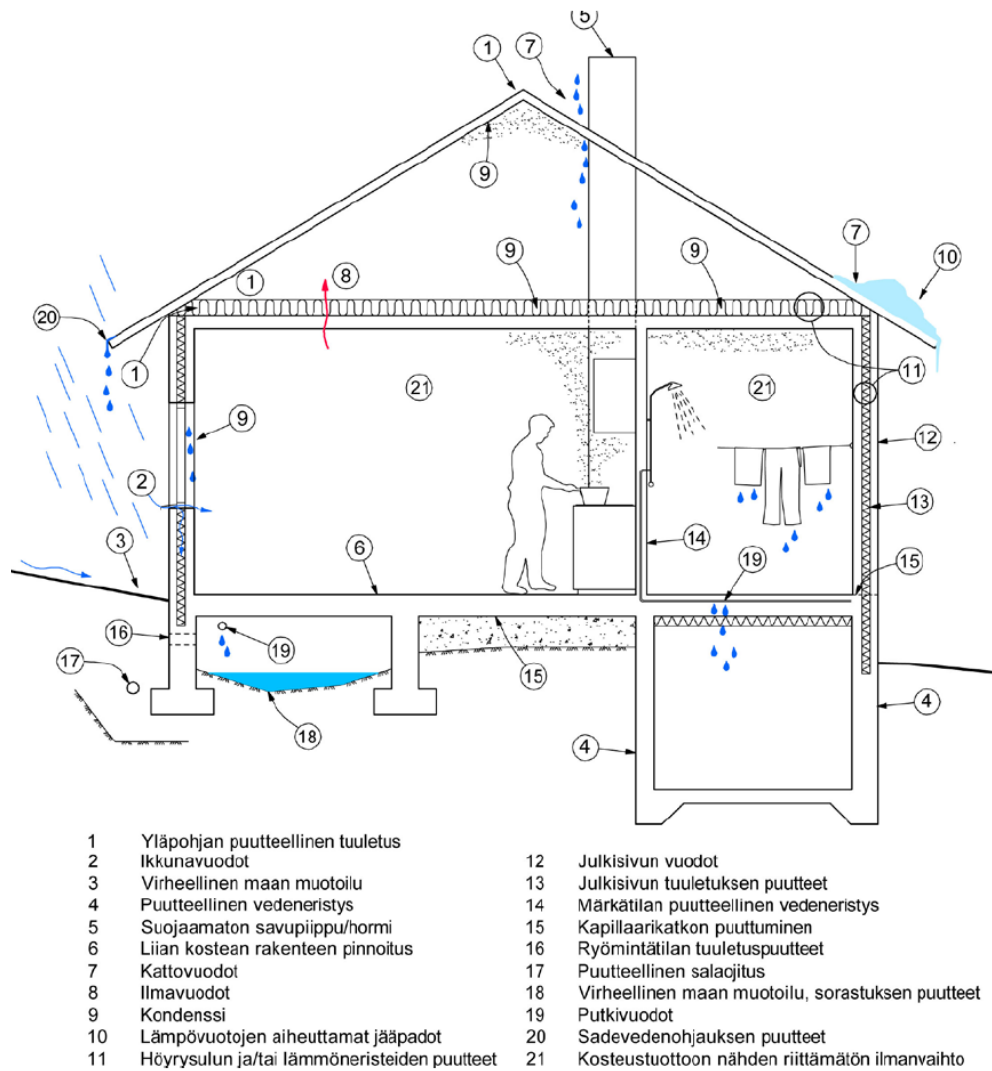
Liiallisen kosteuden on todettu olevan vaikuttava tekijä lähes kaikissa rakenteiden vauriotapauksissa. Kosteuden hallinta onkin erittäin tärkeä asia rakennuksen suunnittelussa, toteutuksessa ja rakennuksen käyttöaikana. Hallitsematon kosteus voi aiheuttaa vakavia vaurioita rakennusmateriaaleille ja rakenteille sekä terveyshaittoja rakennuksen käyttäjille.

(RIL 250-2011, 10)

2.2 Kosteuslähteet

Kosteutta pääsee kulkeutumaan rakenteisiin monista eri lähteistä. Rakennusosien kosteuslähteet voidaan jaotella kolmeen kategoriaan: rakennuksen ulkoiisiin kosteuslähteisiin, rakennuksen sisäisiin kosteuslähteisiin sekä rakenteessa olevaan rakennekosteuteen. Mahdollisia sisä- ja ulkopuolisia kosteuslähteitä ovat muun muassa valumisvedet, vuotovedet, ihmiset, eläimet, kasvit, käyttövesi, ruoanlaitto ja pyykinkuivaus. Rakennekosteus tarkoittaa rakennusvaiheen aikana tai sitä ennen rakenteisiin tai rakennusaineisiin joutunutta kosteutta. Rakennekosteus ylittää käytönaikaisen tasapainokosteuden ja sen tulee poistua rakenteesta rakennusvaiheen jälkeen. Kuvaajassa 1 on esitetty yleisimpiä kosteus- ja mikrobivaurioiden riskiä nostavia tekijöitä rakenteissa.

(RIL 250-2011, 63) (Leivo & Rantala 2002, 7)



KUVAAJA 1. Yleisimpiä kosteus- ja mikrobivaurioiden riskiä nostavia tekijöitä rakenteissa. (Pitkäranta 2016, 152)

2.3 Kosteuden siirtyminen

Kosteus siirtyy rakenteissa eri ilmiöillä ja nämä ilmiöt voidaan jakaa neljään päämuotoon. Päämuotoja ovat kapillaarinen siirtyminen, painovoimainen siirtyminen, diffuusio ja konvektio.

2.3.1 Kapillaarinen siirtyminen

Veden kapillaarisella siirtymisellä tarkoitetaan huokoisen materiaalin kykyä imeä vettä ja siirtää vettä itsessään. Kapillaari-ilmiötä esiintyy aina, kun materiaali on kosketuksissa vapaaseen veteen tai kosketuksissa toiseen kapillaarisella alueella olevaan materiaa-

lin. Veden siirtyminen kapillaari-ilmiossa johtuu kapillaaristen voimien aiheuttamasta huokosalipaineesta. Huokosalipaineen suuruus riippuu huokosten koosta. Pienemmissä huokosissa huokosalipaine on suurempi kuin suurissa huokosissa.

(Pitkäranta 2016, 106)

Vesi pystyy siirtymään huokosten sisällä pienempihuokoisesta materiaalista suurempi-huokoiseen ja toisinpäin. Huokosalipaine vaikuttaa materiaaleissa kaikkiin suuntiin. Tästä seuraa, että veden on mahdollista siirtyä materiaalissa kapillaarisesti niin pysty- kuin vaakasuunnassa. Veden kapillaarinen siirtymisnopeus riippuu huokosalipaineen suuruudesta ja veden virtausta vastustavista kitkavoimista.

(Pitkäranta 2016, 106)

Veden kapillaarisella kosteustasapainolla tarkoitetaan kosteuspitoisuutta, johon materiaali asettuu ollessaan kosketuksissa vapaaseen veteen. Vesi imeytyy materiaalissa huokosalipaineen vaikutuksesta ja kosteus nousee sille korkeudelle, jossa huokosalipaine on tasapainossa painovoiman kanssa. Tätä korkeutta nimitetään veden kapillaariseksi nousukorkeudeksi. Pienempihuokoisessa materiaalissa vesi nousee korkeammalle kuin suurempi huokosissa.

(Pitkäranta 2016, 106)

Rakenteet toimivat yleensä kosteusteknisesti sitä luotettavammin, mitä vähemmän niissä esiintyy veden kapillaarista siirtymistä. Rakenteet suunnitellaankin siten, että kosteus ei ole niissä kapillaarisella alueella. Tähän ei lueta mukaan rakenteita, jotka ovat suunniteltu ottamaan vastaan vapaan veden kosteusrasitus, esimerkiksi vedeneristykset, julkisivut ja osa perusrakenteista. Kapillaarisen kosteusalueen materiaalit ja niiden läheisyydessä olevat rakenteet ovat vaurioitumis- ja homehtumisriskin alueella.

(Pitkäranta 2016, 106)

Esimerkkinä rakennuksen alapohjaa tarkasteltaessa kosteuden kapillaarista nousua voidaan estää kapillaarikatkoeroksella. Rakennusvaiheessa alapohjan täytöksi asennetaan 0,2 metrin kapillaarikatkoerros suurirakeista kiviainesta, joka on yhteydessä salaojituskerrokseen. Rakennuksen vierustat täytetään myös 0,2 metrin etäisyydeltä salaojituskerroksella. Rakennuksen vierustoille asennetaan salaojitus anturan alapinnan alapuolelle, joka estää veden kapillaarivirtausta ja pitää pohjaveden pinnan riittäväällä etäisyydellä lattiasta. Maanvastaisen lattian betonilaatan ja sen päällä olevan puuseinän väliin asen-

netaan kosteuden katkaiseva kerros esimerkiksi bitumikermillä. Näin varmistutaan, että kapillaarista nousua ei pääse tapahtumaan seinärakenteeseen.

(RIL 107-2012, 50-53)

2.3.2 Painovoimainen siirtyminen

Veden painovoimaisella siirtymisellä tarkoitetaan veden kulkeutumista alaspäin painovoiman vaikutuksesta. Vesi pyrkii aina alaspäin ja se liikkuu rakenteiden pystysuorilla ja kaltevilla pinnoilla. Liike voi olla myös sivuttaista, mutta sen suunta on kuitenkin aina alaspäin.

(Pitkäranta 2016, 112-113)

Kapillaarisesti vettä imevissä huokoisissa ja rakeisissa materiaaleissa, kuten esimerkiksi betonissa, painovoimaisen siirtymisen merkitys kosteuden kokonaissiirtymisessä on verrattain vähäinen. Kapillaarivoimat ovat usein painovoimaa voimakkaammat, mutta tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että vesi ei voisi valua kapillaaristen rakenteiden pintoja pitkin. Kyseiset vedensiirtymistavat eivät ole toisiaan poissulkevia, vaan usein ne vaikuttavat veden siirtymiseen yhdessä. Huokoisissa materiaaleissa painovoimaista siirtymistä esiintyy lähinnä liitoksissa ja saumoissa sekä mahdollisissa halkeamakohdissa. Kapillaarisesti heikosti imevissä materiaaleissa painovoimainen siirtyminen on hallitseva muoto.

(Pitkäranta 2016, 112-113)

Painovoimaista vedensiirtymistä hyödynnetään muun muassa viettämällä rakennuksen vierusmaa pois päin rakennuksesta sekä kylpyhuoneen kaadoissa ohjatessa vettä lattia-kaivoon. Edellä mainitut rakennuskäytännöt ehkäisevät kosteusvaurioiden syntymistä.

(Pitkäranta 2016, 112-113)

2.3.3 Diffuusio

Kosteuden siirtyminen diffuusiolla perustuu ilmassa olevien vesimolekyylien keskinäisiin törmäyksiin. Törmäysten vaikutuksesta vesihöyryn pitoisuuserot pyrkivät tasaantumaan. Kosteuden siirtyminen diffuusiossa tapahtuu suuremmasta vesihöyryn osapai-

neesta tai vesihöyryn pitoisuudesta pienempään päin. Diffuusion suuruutta voidaan arvioida laskennallisesti vesihöyrynpitoisuuksien tai vesihöyryn osapaineiden erolla.

(Pitkäranta 2016, 114-115)

Diffuusiotarkastelussa käytetään usein materiaalikerroksen vesihöyrynvastusta Z_p , joka on vesihöyrynläpäisyn käänteisluku. Diffuusio riippuu materiaalin vesihöyrynvastuksesta ja se vaihtelee erittäin paljon materiaalien välillä. Esimerkiksi muovikalvon höyrynvastus on 1000 -kertaisesti suurempi kuin mineraalivillan: 0,2 mm vahvuisen höyrynsulkumuovin (LDPE) höyrynvastus on $10...50 \cdot 10^{10} \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ kun taas pinnoittamattoman 50 mm vahvuisen lasivillalevyn $0,031 \cdot 10^{10} \text{ m}^2\text{sPa/kg}$.

(Pitkäranta 2016, 114-115) (RIL 255-1-2014, 406, 412)

Kosteustuoton johdosta sisäilman vesihöyryn osapaine on yleensä suurempi kuin ulkoilman. Diffuusio siirtää siis sisäilman kosteutta sisältä ulos. Rakennetta suunniteltaessa yleisperiaatteena on, että kerroksellisen seinärakenteen vesihöyrynvastuksen tulee pienentyä sisältä ulospäin mentäessä. Vääränlainen rakenne voi aiheuttaa vesihöyryn tiivistymisen jopa vedeksi rakenteen sisällä.

(Pitkäranta 2016, 114-115)

2.3.4 Konvektio

Konvektiolla tarkoitetaan ilmavirtausta, joka syntyy rakenteen yli vallitsevan ilman kokonaispaine-eron vaikutuksesta. Ilma virtaa suuremmasta paineesta pienemmän paineen suuntaan. Virtaus tapahtuu huokoisten materiaalien ja rakojen yli. Materiaalien ilmanläpäisevyyksissä on paljon eroja ja esimerkiksi mineraalivilla läpäisee ilmaa 900 000 -kertaisesti enemmän kuin betoni: betonin ilmanläpäisevyys on $0,000005...0,0005 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{msPa}$ ja mineraalivillan $15...800 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{msPa}$.

(Pitkäranta 2016, 115)

Kosteuskonvektio on kosteuden siirtymistä ilmavirran mukana. Kosteuskonvektiolla on rakennetta kuivattava vaikutus, kun ilma lämpenee virratessaan rakenteen läpi. Kosteuskonvektio muuttuu kriittiseksi kosteusvaurion kannalta ja rakenne kastuu, kun ilma jäähtyy virratessaan rakenteen läpi. Kosteus voi tiivistyä rakenteeseen, mikäli ilma jääh-

tyy rakenteessa alle kastepisteen. Kosteuskonvektion aiheuttamaa kosteusvaurioriskiä voidaan arvioida lämpötilan ja suhteellisen kosteuden avulla.

(Pitkäranta 2016, 115)

2.4 Betonin kuivuminen

Betonin kuivuminen on suhteellisen hidasta muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna. Betoni, kuten muutkin materiaalit, pyrkii hygroskooppiseen tasapainoon ympäristönsä kanssa. Tämän tarkoittaa sitä, että betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus asettuu samaksi, kuin sitä ympäröivän ilman suhteellinen kosteus.

(by 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004 2012, 432)

Betonin kuivuminen voidaan jakaa kahteen tyyppiin: haihtumiskuivumiseen ja sitoutumiskuivumiseen. Haihtumiskuivumisella tarkoitetaan veden siirtymistä diffuusion ja kapillaarijohtumisen vaikutuksesta rakenteen sisältä pintaan, josta se haihtuu ympäristöön. Haihtumiskuivuminen on suurimmillaan kuivumisen alkuvaiheessa. Tällöin rakenteen kapillaariverkosto on vielä yhtenäinen ja läpäisevyys kuivumista varten on suuri. Sitoutumiskuivumisella taas tarkoitetaan veden sitoutumista betoniin kemiallisesti reaktiossa, jota kutsutaan hydrataatioksi. Hydrataatio on kovettumisreaktio, jossa vesi ja sementti reagoivat keskenään. Sementin hydratoituessa betonin huokosrakenne muuttuu. Kapillaarihuokosten tilavuus pienenee ja hydraation edetessä betonista tulee tiiviimpää. Näin ollen veden siirtyminen myös hidastuu. Betonin tiiviyyteen vaikuttaa oleellisesti myös vesisementtisuhte. Alhaisempi vesisementtisuhte johtaa betonin hitaampaan kuivumiseen, koska siinä on vähemmän sisäistä rakennekosteutta.

(Lumme & Merikallio 1997, 14)

2.4.1 Kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Betonin kuivuminen riippuu monesta eri tekijästä ja niiden yhteisvaikutuksesta. Betonin ominaisuuksilla, rakenneratkaisuilla ja ympäristöolosuhteilla on merkittävä vaikutus siihen, miten nopeasti kuivuminen tapahtuu.

Rakenneratkaisu vaikuttaa siihen, miten pitkän matkan kosteus joutuu siirtymään betonissa päästökseen haihtumiskykyiseen pintaan. Mitä paksumpi rakenne on, sitä pidempi on kosteuden siirtymismatka ja sitä hitaammin rakenne kuivuu. Kuivumiseen vaikuttaa myös, jos se on mahdollista vain yhteen suuntaan esimerkiksi tiiviin eristeen päälle vallettaessa kuivumista tapahtuu vain ylöspäin. Näin ollen haihtumispinta-ala jää pienemmäksi.

(by 201 Betonitekniikan oppikirja 2004 2012, 433-434)

Olosuhteilla on suuri vaikutus betonin kuivumisnopeuteen. Ympäristön lämpötila, suhteellinen kosteuspitoisuus ja ilmavirrat vaikuttavat siihen, miten nopeasti betoninrakenteen pinnalla oleva kosteus haihtuu ja rakenteen sisällä oleva kosteus siirtyy pintaan. Olosuhteilla on vaikutus myös sitoutumiskuivumiseen: lämpötilan ja kosteuden ollessa oikeat, sementti hydratoituu nopeammin.

(by 201 Betonitekniikan oppikirja 2004 2012, 433-434)

Betonin ominaisuudet vaikuttavat siihen, miten paljon betonista pitää haihtua kosteutta ja miten nopeasti haihtuminen tapahtuu. Alhaisella seosvesimäärällä tai korkeammalla sementtimäärällä haihdutettavaksi jäävän veden määrä jää yleensä pieneksi.

(by 201 Betonitekniikan oppikirja 2004 2012, 433-434)

2.4.2 Vanhan betonirakenteen kuivuminen

Kovettunut betoni sisältää aina jonkin verran kosteutta. Vanhan kovettuneen betonin kosteus on peräisin sen valmistuksessa käytettävästä vedestä tai jostain ulkopuolisesta tekijästä, kuten rakennusaikaisesta kastumisesta tai putkivuodoista. Huokoisena materiaalina betoni sitoo myös kosteutta itseensä ympäröivästä ilmasta koko sen elinkaaren ajan.

(Merikallio 2007, 13)

Vanhojen betonirakenteiden kuivuminen ei tapahdu vastaavasti kuin uuden betonin kuivumiskovettuminen. Korjausrakentamisessa onkin syytä käyttää betonin kuivumisen raja-arvoja alhaisempia tavoitearvoja. Betonin alkalisuus alenee betonin ikääntyessä ja tästä syystä vanhan betonin pH-arvo on eri kuin tuoreen betonin. Betoniin on myös saat-

tanut ajansaatossa imeytyä epäpuhtauksia, jotka vaikuttavat sen ominaisuuksiin ja siten kuivumiskäyttäytymiseen.

(Niemi 2010, 422-423)

Betonin huokosrakenne muuttuu merkittävästi sementin hydratoituessa. Kuivuneen ja kovettuneen betonin huokosrakenne on erilainen ja sen läpäisevyys muuttunut. Tämä vaikuttaa kosteuden siirtokykyyn ja on myös yksi merkittävistä syistä, miksi vanhan betonin kuivumien on hidasta esimerkiksi tapahtuneen vesivahingon jälkeen.

(Lumme & Merikallio 1997, 14)

Kuvaajassa 2 on esitetty kuivumisaika-arvioita maanvaraiselle betoniselle alapohjalle, jossa on solumuovieriste. Rakenteen paksuus on merkitty millimetreinä ja saavutettu suhteellinen kosteus päivinä on mitattu $0,4 * H$ rakenteen syvyydeltä. Ympäristön lämpötila on + 20 °C ja kosteus 50 %RH. Betonilaatu on noin K25 betonia vesisementtisuhteeltaan 0,7 ja sementtipitoisuudeltaan 257 kg/m³. Kuivumisaikaan vaikuttavat korjauskertoimet kosteuden ja lämpötilan muuttuessa on esitetty kuvaajan alaosassa.

(Hedenblad 1993, 17)

Kuvaajan rakenne pääsee kuivumaan vain yhteen suuntaan, koska siinä on solumuovieriste alla. Kuvaajasta näkee hyvin, että rakenteen paksuudella sekä ympäristön lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoilla on suuri merkitys kuivumisaikaan. Kuivuminen on hidasta ilman kunnollista kuivausta ja se kestää useita viikkoja. Kyseinen kuvaaja ei ota kantaa betonilaadun vaikutukseen kuivumisessa, joten täytyy muistaa, että sillä on vähintäänkin yhtä suuri vaikutus arvoihin kuin kuvaajassa esitetyillä muuttujilla.

Grundfallet			
H	Tid, dygn		
	RF på 0.4 · H, %		
mm	95	90	85
40	15	50	85
50	25	75	130
60	40	110	185
70	50	150	255
80	70	190	330
90	90	245	420
100	110	300	515
110	130	365	625
120	155	435	745

Korrektion pga annan RF i uttorkningsklimatet			
RF	Korrektionsfaktor för RF på 0.4 · H, %		
	95	90	85
35	0.95	0.90	0.85
50	1.00	1.00	1.00
60	1.05	1.10	1.15
70	1.10	1.20	1.35

Korrektion pga annan temperatur i uttorkningsklimatet	
Temp	Korrektionsfaktor
10	1.3–1.4
20	1
30	0.6–0.7
35	0.5–0.6

KUVAAJA 2. Kuivumisaika-arvioita betoniselle maanvaraiselle rakenteelle.
(Hedenblad 1993, 17)

2.5 Kosteus- ja homevauriot

Kosteus- ja mikrobivauriot syntyvät, kun rakenteet eivät kestä niihin kohdistuvia kosteusrasituksia. Se, missä vaiheessa kosteusrasitukset ylittävät rakenteen sietokyvyn ei ole yksiselitteistä. Yleisesti voidaan ainakin sanoa, että rakenteeseen ei saisi kertyä kosteutta pitkällä aikavälillä.

(Pitkäranta 2016, 101).

Kosteus- ja homeongelmiin on monta syytä. Ongelma syntyy, kun hankkeen ohjauksessa, suunnittelussa, rakentamisvaiheessa, rakennuksen ylläpidossa tai käytössä on tapahtunut virhe, on tapahtunut laiminlyönti tai on syntynyt vaurio, jota ei ole asiallisesti hoidettu. Vaurion syy on usein monen edellä mainitun tekijän summa.

(RIL 250-2011, 10)

2.5.1 Kosteus- ja homevaurioiden määritelmät

Kosteusvauriolla tarkoitetaan liiallisesta tai pitkäaikaisesta kosteudesta aiheutuvaa materiaalin tai rakenteen kosteussietokyvyn ylittymistä ja ominaisuuksien muuttumista. Kosteusvaurioitilanteessa vaurioitunut rakenne tai rakenneosa tulee korjata tai vaihtaa. (RIL 250-2011, 223)

Homevauriolla tarkoitetaan kosteusvaurion tai liiallisen ja pitkäaikaisen kosteuden seurauksena syntynyttä tilannetta, jossa rakenteessa tai sen pinnassa on yleensä laajaa home-esiintymää. Esiintymä saattaa aiheuttaa ympäristölle terveydellisiä tai muita haittoja. (RIL 250-2011, 223)

2.5.2 Otolliset kasvuolosuhteet

Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen kosteutta, lämpöä ja ravinteita. Mikrobikasvun käynnistyminen kosteusvauriossa riippuukin näistä tekijöistä. Homesienet ja muut mikrobit voivat kasvaa missä tahansa. Tärkein mikrobikasvua rajoittava tekijä on kosteus, koska mikrobit eivät kasva kuivilla pinnoilla. Tiiviillä ja umpisoluisilla materiaaleilla, kuten esimerkiksi betoni, mikrobikasvusto kehittyy materiaalin pintaan ja sen halkeamiin. Huokoisilla materiaaleilla kasvustoa kehittyy yleensä myös materiaalin sisälle. Useat rakennuksissa esiintyvät homeet sietävät hyvin vaihtelevia kosteusolosuhteita ja kuivusjaksoja. Tämä tarkoittaa sitä, että kostuneen rakenteen väliaikainen kuivuminen ei tuhoa mikrobikasvustoa. Mikrobikasvusto voi mennä lepotilaan, mikäli olosuhteet muuttuvat liian kylmiksi, kuumiksi tai kuiviksi ja ne pystyvät pysymään elinkykyisinä lajista riippuen viikkoja, kuukausia tai jopa vuosia. (Pitkäranta 2016, 127-129)

2.5.3 Sisäilmaongelmat ja terveystaikutukset

Mikrobien aiheuttamat oireet ovat jokaiselle yksilöllisiä, ja joillakin reaktiot ovat huomattavasti voimakkaampia kuin toisilla. Kosteusvaurioituneesta rakenteesta voi siirtyä sisäilmaan mikrobien aineenvaihduntatuotteita (VOC ja toksiini) tai hiukkasia (esimerkiksi mikrobit, itiöt, ja rihmaston kappaleet). Ne altistavat ihmisen kulkeutumalla sil-

miin, iholle ja hengitysteihin. Kosteusvauriorakennuksissa altistuneilla esiintyviä oireita ja sairauksia ovat muun muassa infektiot (hengitystieinfektiot), allergiat (astma, nuha), ärsytysoireet (äänen käheys, silmien kutina ja punoitus) sekä muut yleisoireet kuten väsymys ja päänsärky.

(<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Terveysvaikutukset/Mikrobien-terveyshaitat>)

2.6 Maanvaraisten rakenteiden vaurioituminen

Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toiminta poikkeaa huomattavasti rakennusvaipan muiden osien toiminnasta. Rakenne on jatkuvasti kosketuksissa maaperän kanssa ja se aiheuttaa huomattavaa kosteusrasitusta rakenteelle. Alapohjarakenteiden vaurioita tutkittaessa on käynyt selvästi ilmi, että alapohjarakenteiden kosteus- ja lämpötekniinen toiminta on tavalla tai toisella puutteellista.

(Leivo & Rantala 2002, 5)

Maanvaraisten rakenteiden eri kerrosten sekä maan lämpö- ja kosteustilaan vaikuttavia asioita ovat lämmöneristys, sen lämmönvastus, vesihöyrynvastus ja sijoituskohta rakenteessa. Lämmöneriste kannattaa yleensä sijoittaa rakenteen ulkopintaan, jolloin sisäpuoliset rakennekerrokset ovat lämpimiä ja niiden suhteellinen kosteus jää alhaiseksi. Eristyksen asentaminen laatan alapintaan rajoittaa kuitenkin kosteuden kulkua alaspäin ja käytettäessä tiettyjä eristeitä kuivuminen tapahtuu yksinomaan ylöspäin. Rakennusfysiikallisissa tarkasteluissa täytyy myös muistaa, että uuden ja vanhan rakenteen tarkastelut eroavat toisistaan. Uuden rakenteen alapuolinen maa ei ole vielä ehtinyt lämmetä.

(RIL 255-1-2014, 151, 154)

Tampereella 26.1.2017 järjestetyssä Combi -tutkimushankkeen seminaarissa rakennustekniikan tutkija Petri Annala selvitti, että suuri osa rakennusten korjaustarpeesta on juurikin maanvaraisissa alapohjissa. Maaperän kosteuden vaikutusta maanvaraisiin rakenteisiin ei ole hänen mukaansa ymmärretty hyvin suunnittelussa, kun taas rakennusten katot ovat verraten hyvässä kunnossa. Combi tutkimukseen on koottu eri kuntien 168 palvelurakennusta. Taulukossa 1 on eritelty korjaustarve rakenneosittain. Taulukon luvut on esitetty prosentteina kunkin lohkon korjaustarpeen kokonaismäärästä. Tyhjä

solut tarkoittavat, että kyseistä rakennetta ei ole esiintynyt kyseisessä ikäryhmässä yli viidessä rakennuksessa.

(Annala 2017)

Rakennusvuosi	Hänjakatto	Tasakatto	Maanvastainen seinä	Ulkoseinä, betoni	Ulkoseinä, tiili	Ulkoseinä, puuranka	Ulkoseinä, hirsi	Ulkoseinä, seka	Välipohja, betoni	Välipohja, puu	Väliseinä	Maanvastainen alapohja	Betonirakenteinen ryömintätila	Puurakenteinen ryömintätila
Ennen 1950	41		61	31		50			57	43	30	77		85
1950-1959	39		63	86	60				57		64	84	40	
1960-1969	19	31	55	62		50			57		72	96	56	
1970-1979	23	48	56	83		44			60		50	74	33	
1980-1989	37	13	47	85	20	69			43		37	84	50	
Jälkeen 1989	14			20					20		63	75		

TAULUKKO 1. Combi -esityksen taulukko rakennusosien korjaustarpeesta kuntien palvelurakennuksissa.

(Annala 2017)

2.6.1 Maanvaraisen rakenteen elinkaaren eri rasiutilanteet

Maanvaraisen alapohjarakenteen lämpö- ja kosteustekninen toiminta vaihtelee suuresti rakenteen elinkaaren aikana. Rakenteiden elinkaarissa on erotettavissa kolme toisistaan poikkeavaa rasiutilannetta, joissa kaikissa rakenteen on säilytettävä toimintakykynsä ilman pysyviä rakenteellisia vaurioita ja terveysriskien vaaraa käyttäjille. Tilanteet esitetty tarkemmin alla olevassa kuvaajassa 3.

1. Rakenteen kuivumisvaihe

rakenteesta poistuu rakennusaikaista kosteutta ja kosteuslähde on rakenteen sisällä.

2. Käyttötila

rakenteessa on tasaantuneet lämpötila- ja kosteusolosuhteet ja kosteusrasitus riippuu rakennetta ympäröivistä lämpö- ja kosteusolosuhteista.

3. Vauriotilanne

rakenteeseen kohdistuu ylimääräinen kosteusrasitus, esimerkiksi putkivuodon seurauksena.

KUVAAJA 3. Maanvaraisen alapohjan kolme rasiutilannetta sen elinkaaren aikana. (Leivo & Rantala 2002, 11)

2.6.2 Yleisimmät vauriot ja syyt maanvastaisissa alapohjarakenteissa

Betoni kestää materiaalina hyvin kosteutta, mutta sen sisältämä kosteus voi olla haitallista materiaaleille, jotka ovat jatkuvasti kosketuksissa sen kanssa. Maanvaraisissa betonilaatoissa ei sallita sen yläosissa korkeita kosteuspitoisuuksia, jos laatan päällä on vaurioherkkiä materiaaleja. Maanvaraisten alapohjarakenteiden pintamateriaalien tulisi olla mahdollisimman kosteusrasitusta sietäviä ja mikäli mahdollista myös diffuusioavoimia. Suurin riski vaurioihin on esimerkiksi muovilattiapäällysteillä.

(Pitkäranta 2016, 186)

Yleisimpiä vaurioita maanvaraisissa alapohjissa ovat lattiapinnoitteiden irtoaminen, erilaiset värimuutokset, mikrobikasvu ja hajuhaitat, jotka johtuvat pinnoitteen ja/tai liian kriittisen kosteuspitoisuuden ylittymisestä. Vaurioiden syyt voidaan jaotella seuraavasti:

- Rakenteelliset syyt:

- alapohjarakenteissa ei ole kapillaarikatkoa
- rakenteessa ei ole lämmöneristettä tai sitä on liian vähän
- höyrinsulku väärässä paikassa
- liian tiivis pinnoite

- Rakentamisesta johtuvat syyt:

- lattia on pinnoitettu liian aikaisin
- tilan käyttötarkoitus on muutettu, esim. kellariin on tehty asuintiloja

- Olosuhteista johtuvat syyt:

- putkivuoto
- tulipalojen sammutusvesi
- runsaalla vedellä siivoaminen
- poikkeuksellisen kostea kesä.

(Leivo & Rantala 2002, 24)

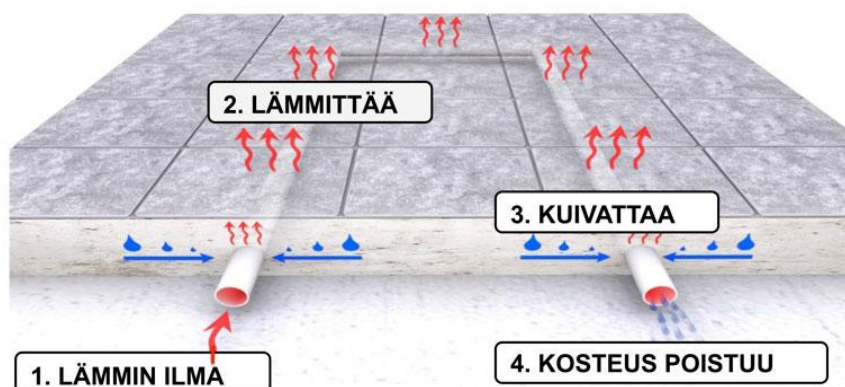
3 TULILATTIAJÄRJESTELMÄ

3.1 Toimintaperiaate

Tulilattian kehittämä kuivatuslämmitys perustuu lämpimän ilman kykyyn sitoa kosteutta, joka johdetaan ilmavirtauksella pois rakenteesta. Lattian sisälle asennetaan rakennusvaiheessa putkisto ennen valua. Asennettavat putket on rei'itetty, jotta kosteus pääsee siirtymään laatasta putken sisälle ilman kiertoa. Putkien ympärille on kääritty ilmanläpäisevä kangas, jotta betoni ei pääse tunkeutumaan putken sisälle valua tehtäessä. (<http://www.tulilattia.fi/kuivatus>)

Putkistossa kierrätetään kuumaa ja kuivaa ilmaa nopealla vauhdilla. Ilman kierto tapahtuu järjestelmässä 5-10 m/s nopeudella ja kierrettyään järjestelmän läpi ilma palaa takaisin niin sanottuun keskusyksikköön. Putkistoissa kiertävä ilma vapauttaa lämpöä sitä ympäröivään betoniin ja sitoo samalla betonissa olevaa kosteutta itseensä. Betonilaatta on rakenteeltaan raskas, joten se sitoo kiertävää lämpöä samalla itseensä ja näin järjestelmä toimii samalla myös lämmityksenä. Järjestelmän kuivatus Teho perustuu myös siihen, että rakenne pääsee kuivumaan useasta suunnasta, eikä vain pinnasta. Asennettu putkisto lisää kuivumispinta-alaa, joten kuivumisaika lyhenee. Tulilattian toimintaperiaate esitetty kuvaajassa 4.

(<http://www.tulilattia.fi/kuivatus>)



KUVAAJA 4. Tulilattian toimintaperiaate. Lämmin kuiva ilma ajetaan putkistoon (1), jossa se lämmittää (2) ja kuivattaa (3) rakennetta ja poistetaan järjestelmästä kosteus mukanaan (4).

(<http://www.tulilattia.fi/kuivatus>)

Kosteus poistetaan rakenteesta keskusyksikköön. Poisto järjestelmän keskusyksiköstä tapahtuu joko takan savupiipun tai teknisen tilan kautta ulos johtamalla. (<http://www.tulilattia.fi/kuivatus>)

Tulilattian päälämmityslähteenä voidaan käyttää esimerkiksi hyvällä hyötysuhteella toimivaa takkaa tai melkein mitä tahansa muuta lämmönlähdettä hybridimuodossa. Järjestelmällä voidaan siis hyödyntää uusiutuvia luonnonvaroja ja siten periaatteessa pienentää talon energiankulutusta.

(<http://www.tulilattia.fi/kuivatus>)

3.2 Sovellukset uudisrakentamisessa

Betonin rakennusaikainen kuivuminen on merkittävä haaste uudisrakentamisessa. Useimmissa rakennuskohteissa betonin kuivuminen tahdistaa merkittävästi sisävalmistusvaihetta ja vaikuttaa näin ollen koko rakentamisaikatauluun. Aikataulu- ja kustannussyt saattavat johtaa hätiköityihin päätöksiin ja rakenteen ennenaikaiseen pinnoittamiseen. Näistä rakennusvirheistä saattaa seurata myöhemmin vakavia kosteusteknisiä ongelmia kuten sisäilmaongelmia ja lisäkustannuksia.

(Merikallio 2002, 32)

Tehokkaita betonin kuivatusmenetelmiä on vähän. Koska Tulilattiajärjestelmä asennetaan valettavan betonilaatan sisään ennen valua, se nopeuttaa betonin kuivumista jo heti valun jälkeen. Ennen kuivatuksen aloittamista on kuitenkin huolehdittava riittävä betonin hydrataatio ja jälkihoitoaika. Järjestelmä on suunniteltu tarjoamaan aikatauluja nopeuttavan ratkaisun rakentamiseen. Rakennuksen valmistuttua järjestelmä jatkaa toimintaansa ja poistaa rakenteeseen kerääntyvää ylimääräistä kosteutta ja luo siten lähtökohtaisesti kosteusturvallisen ympäristön asumiseen.

(<http://www.tulilattia.fi/kuivatus>)

Valmiissa rakennuksessa Tulilattiajärjestelmä toimii sekä lämmönlähteenä, että kuivatusjärjestelmänä. Tulilattian yhteyteen on kehitetty älykäs kosteudenseuranta, joka hälyttää mahdollisista kosteuden muutoksista. Näin esimerkiksi putkivuodot voidaan havaita jo heti varhaisessa vaiheessa, kun poistuvassa kosteusvirrassa havaitaan poikkeavan suuria arvoja. Seurannassa mitataan järjestelmän ilmavirran kosteutta ja tämä mah-

dollistaa valvottavaksi alueeksi koko talon, eikä vain yhtä anturin sijaintipistettä. Mitta-anturit on asennettu järjestelmään niin, että ne on mahdollista vaihtaa ja kalibroida käytön aikana.

(<http://www.tulilattia.fi/kuivatus>)

3.3 Sovellukset korjausrakentamisessa

Tulilattiajärjestelmää voidaan käyttää myös rakenteiden home- ja kosteusturvallisuusratkaisuissa. Kosteusturvalämmitysjärjestelmä poistaa rakenteeseen päässeeseen ylimääräisen kosteuden ja estää samalla haitallisen lisäkosteuden kertymisen. Järjestelmän asentamisella on mahdollista kuivattaa esimerkiksi rakennuksen vesivahinko sekä estää huonosta suunnittelusta aiheutuneita kosteusriskejä.

(<http://www.tulilattia.fi/kuivatus>)

Vakuutusyhtiöt korvasivat vuonna 2012 yhteensä noin 36000 kosteuden aiheuttamaa vuotovauriota. Tämä tarkoittaa 157 miljoonan euron korvauksia. Todellinen vaurioiden yhteenlaskettu määrä on todennäköisesti vielä tätä moninkertaisempi, koska kaikkia tapahtuneita vaurioita ei löydy vakuutusyhtiöiden listoilta. Kosteusvahinkojen korvausmäärät ovat jatkaneet kasvuaan vuosituhannen alusta - vuonna 2000 korvausmäärä oli vain noin 80 miljoonaa euroa. Vuotanut osa oli yleisimmin johto tai putki (36 %) ja vuotaneen putken ikä keskimäärin 30 vuotta. Vuotaneista putkista 38 % sijaitsi seinässä, nousuroilossa tai kaapistossa, joten tapahtuneen vesivahingon havaitseminen saattoi viedä jonkin aikaa.

(Haapaniemi 2014, 1)

Yllättävien vuotovahinkojen lisäksi rakennuskantaa rasittaa kosteus- ja homevaurioiden yleisyys. Suomen rakennuskanta on noin 1,45 miljoonaa rakennusta, joista asuinrakennuksia on 85% ja muita rakennuksia 15%. Asuinrakennuksista merkittävästi vaurioituneissa rakennuksissa asuu pien- ja rivitaloissa 221 000-443 000 ja kerrostaloissa 103 000-154 000 ihmistä. Muihin vaurioituneisiin rakennuksiin kuuluu merkittävä määrä kouluja, päiväkoteja, hoitolaitoksia ja toimistoja. Sisäilmaongelmien terveysvaikutukset tulevat kalliiksi ja merkittävin tekijä rakennuskannassa on kosteus- ja homevauriot, joita voidaan ehkäistä kosteusteknisillä korjausmenetelmillä.

(Ahonen ym. 2012, 11)

Korjaushankkeissa Tulilattiajärjestelmä voidaan asentaa laattaan urituksella (kuva 1). Näin saadaan kuivatettua kastunut laatta ja estettyä alhaalta rakenteeseen nousevaa kosteutta. Korjaustoimenpide tarjoaa vaihtoehdon perinteisiin uusimiskorjauksiin ja on verrattain helpompi, nopeampi sekä kustannustehokkaampi vaihtoehto toteuttaa. Työn lopputulos on myös pitkäikäinen, sillä kerran asennettu putkisto on lähes ikuinen. Korjausmenetelmä Tulilattiajärjestelmällä voisi olla hyödyllinen ajatellen taloyhtiöiden ja kuntien remontteja.

(<http://www.tulilattia.fi/kuivatus>)



KUVA 1. Tulilattiaputki uritettu laattaan.

(<http://www.tulilattia.fi/kuivatus>)

Korjauksen jälkeen järjestelmän yhteyteen asennetaan älykäs kosteuden seurantalaitte, joka hälyttää muutoksista. Näin varmistutaan, että rakenne pysyy jatkossakin terveenä ja kuivana.

4 KOKEELLINEN OSUUS

4.1 Kokeen taustat ja tavoitteet

Tampereen teknillisen yliopiston Ville Ahvenaisen diplomityössä Tulilattia Oy:n tiloihin rakennettiin huhtikuussa 2016 koejärjestely, jossa tutkittiin lämminilmaputkiston kuivattavaa vaikutusta. Tutkimustilaan valettiin kaksi laattaa samasta betonimassasta, toinen kuivattavalla putkistolla varustettuna ja toinen verrokkilaataksi ilman kuivattavaa putkistoa. Tutkittavilla laatoilla oli merkittävä kokoero verrokkilaatan ollessa huomattavasti pienempi. Käytetty betonimassa oli molemmissa laatoissa samasta erästä ominaisuuksiltaan C25/30 lujuusluokkaa, notkeudeltaan S3 ja maksimiraekooltaan 16 mm betonia. Tarkemmat tiedot käytetystä betonista liitteessä 5 Betonimassan laboratoriotuloste. Valettujen laattojen paksuudeksi määräytyi kokeessa 120 mm, joka on Tulilattia järjestelmän yleinen vaatimus. Betoni tärytettiin ja hierrettiin, kuten tavallisessa työmaakohteessa tehtäessä. Mittausdataa kerättiin laatoista noin neljän ja puolen kuukauden ajan. Analysoitujen tulosten perusteella todistettiin, että järjestelmä toimii tehokkaana kosteudenpoistajana, tutkimuslaatta kuivui verrokkilaattaan verraten huomattavasti nopeammin.

(Ahvenainen 2016)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on osittain jatkaa Ahvenaisen diplomityön koetta. Kuivuneet ja kovettuneet laatat kastellaan reilusti vedellä vesivahinkotilannetta simuloiden. Kokeessa on tarkoitus todistaa, että putkisto nopeuttaa rakenteen kuivumista ja poistaa kosteutta tehokkaasti rakenteen sisältä myös jo kuivuneessa betonirakenteessa. Kokeessa tutkitaan rakenteen kuivumista ja rakenteesta poistuvan kosteuden määrää anturein mitattuna. Apuna tarkastelussa käytetään pintakosteudenosoitinta.

Kokeen tutkittavia muuttujia ovat tutkimuslaatan putkijaon tiheys, sähkövastuksen käyttö lisälämmityksenä, rakenteen päällystäminen sekä puhallettavan ilman lämmitys ja kuivatus. Kuivatusjärjestelmällä varustetun laatan tuloksia verrataan verrokkilaattaan. Vertaaminen tapahtuu samalla syvyydeltä mitattujen tulosten kanssa, jotta ne ovat mahdollisimman vertailukelpoisia keskenään.

4.2 Koejärjestely

Kasteltavien laattojen päälle rakennettiin puurimoista kehikot liitteen 3 mukaisesti. Rakennettujen altaiden on tarkoitus varmistaa, että vesi imeytyy laattaan, eikä pääse karkaamaan valumuotin reunoista laatan alle vääristämään tuloksia. Tutkimuslaattaan, jossa on kuivattava putkisto, rakennettiin lisäksi pienempiä altaita. Näin varmistettiin, että laatan pinnan mahdolliset kaltevuudet eivät vaikuta veden imeytymiseen ja vesi imeytyisi tasaisesti laatan jokaiselle osa-alueelle (kuva 2). Rimat liimattiin ja tiivistettiin laattoihin kiinni liimamassalla ja silikonilla.



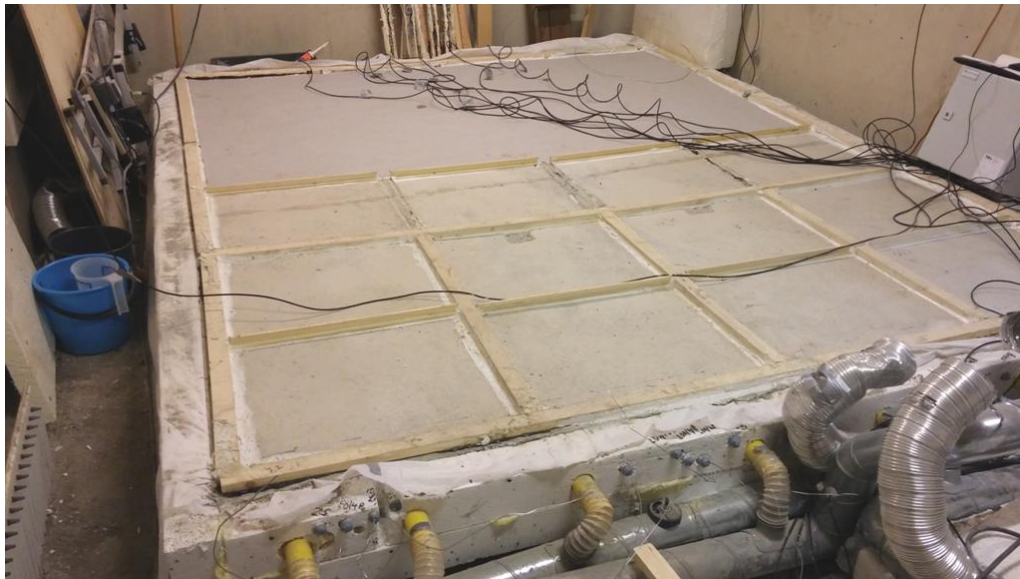
KUVA 2. Puurimat asennettuna laatan päälle.

Laatat oli tarkoitus kastella reilusti. Näin saataisiin hyvä lähtötilanne kuivatukselle. Kastelu suoritettiin kolmessa eri vaiheessa: 6.12.2016, 13.12.2016 ja 19.1.2017. Kunkin päivänä tutkimuslaatan ruutuihin kaadettiin saman verran vettä eli 3,6 litraa. Verrokilaattaan kaadettiin samoina kastelupäivinä 3,2 litraa vettä, joka oli suhteutettu tutkimuslaatan yksittäiseen altaaseen kaadetun veden määrään.

Laatan kastelut tapahtuivat kolmena eri kertana erinäisistä käytännönsyistä johtuen. Ensimmäisellä kastelukerralla 6.12. muutaman puuriman väliin oli jäänyt huono tiivistys, joten vesi imeytyi epätasaisesti laattaan. Veden imeytyessä laattaan havaittiin pinnassa olevia kaltevuuseroja ja loput vedet päätettiin pyyhkiä rätillä pois molempien laattojen pinnasta ja antaa niiden kuivua pinnaltaan. Kuivumisen jälkeen tiivistykset korjattiin ja laatat kasteltiin uudestaan 13.12. Järjestelmä saatiin toimintavalmiuteen vasta

tammikuun puolessa välissä, jolloin laatasta mitattiin pintakosteudet ennen varsinaisen koeajan alkamista. 19.1. päätettiin kaataa laatalle vielä yksi erä vettä, sillä pintakosteudenosoitin ei näyttänyt toivottuja arvoja.

Varsinainen koe aloitettiin 6.2.2017. Koska adsorptiokuivain ei ollut kokeen aloitushetkellä käytettävissä, mutta laatan sisällä kierrätettiin lämmintä huoneilmaa. Sähkövastukset asetettiin myös päälle lämmittämään laattaa. Kokeen aloitushetkellä puolikkaalle tutkimuslaatalle asennettiin muovimatto kuvan 3 mukaisesti. Tämän tarkoituksena on päästä näkemään kosteuden kehittymistä rakenteessa pinnoitettuna ja pinnoittamattomana. Tutkimuslaatan mittapisteiden kosteudet olivat lähtötilanteessa 48 mm syvyydeltä mitattuna 65-80 %RH välillä. Kosteusarvojen hajontaan vaikuttaa se, että puolet laatasta oli ollut edellisessä kokeessa myös päällystettynä. Verrokkilaatan vastaavalla syvyydellä oleva kosteuden arvo oli noin 75 %RH.



KUVA 3. Muovimatto asennettuna puolikkaalle tutkimuslaatalle.

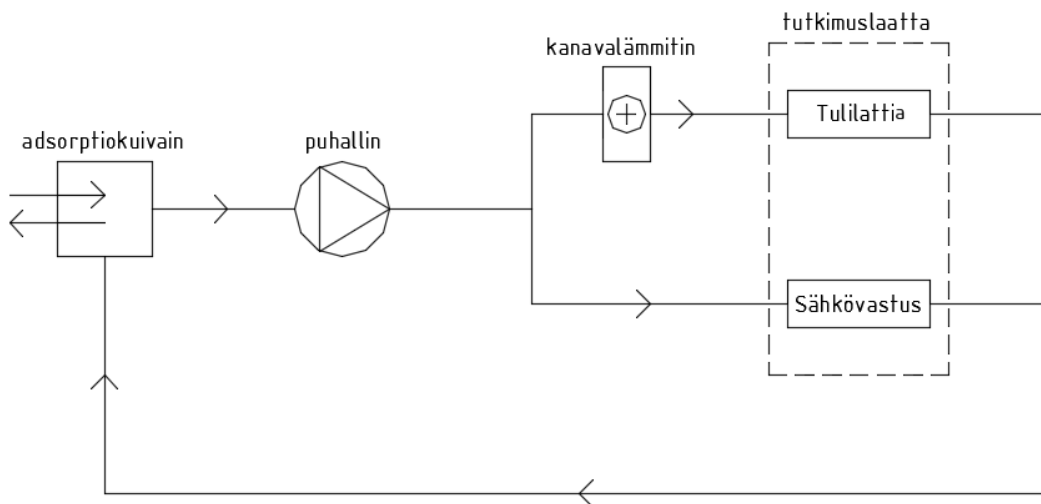
Adsorptiokuivain saatiin käytännön järjestelyiden takia paikalle 24.2. Laite kytkettiin heti toimintaan poistamaan kosteutta rakenteesta. Adsorptiokuivain ei siis ole käytössä ennen tätä mitatuissa tuloksissa.

4.3 Käytössä ollut laitteisto

Koejärjestely koostuu tutkimuslaatan kuivatuslaitteistosta ja mittauslaitteistosta. Mittauslaitteistona on käytössä tietokone, joka kerää dataa anturein rakenteen sisältä. Anturein saatuja lukemia tuetaan pintakosteudenosoitinmittauksin.

4.3.1 Kuivatuslaitteisto

Laatan lämmitysjärjestelmään kuuluu puhallin, VEAB -kanavalämmitin ja adsorptiokuivain CTR 500XT (kuvaaja 5). Puhallin puhaltaa adsorptiokuivaimelta tulevaa kuivaa ja lämmintä ilmaa tutkimuslaatalle. Tutkimuslaatta on jaettu kahteen tarkasteltavaan osa-alueeseen: Tulilattiaan ja sähkövastukseen. Molemmissa osa-alueissa on putkisto sisällä, jossa adsorptiokuivaimelta tuleva ilma kiertää. Tulilattia puolen ilmaa lämmitetään kanavalämmittimellä ja sähkövastuspuolta sähkövastuksin. Sähköinen lattialämmityskaapeli on asennettu kulkemaan putkijaon puolella välissä ja sen teho on 3 kW.



KUVAAJA 5. Piirikaavio laitteistosta, ilman kiertosuunnat järjestelmässä on merkitty nuolin.

4.3.2 Mittauslaitteisto

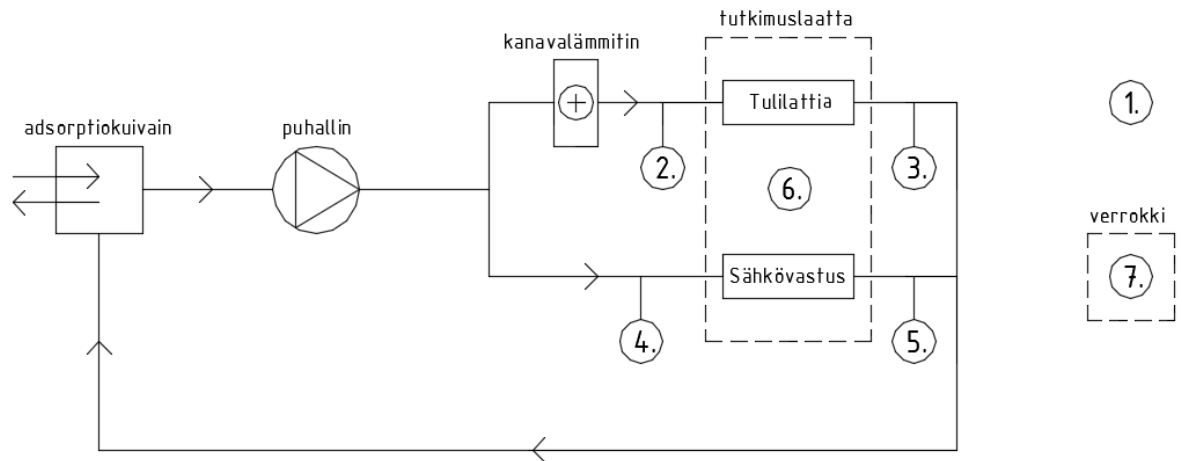
Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauksissa kokeessa on käytössä 14 kappaletta Vaisalan HMP110-antureita. Antureiden lämpötilan mittausalue on $-40...+60$ °C ja suhteellisen kosteuden mittausalue 0-100 %RH. Anturit keräävät tietoa dataloggerina toimivaan Metecon teollisuustietokoneeseen. Antureiden kalibrointitaulukko on esitetty liitteessä 4.

Pintakosteusmittauksissa kokeessa on käytössä TROTEC T650 Rakennekosteusmittari. T650 mittarin anturipää on tyypiltään "kuula", jota vedetään mitattavan kohteen yli. Kokeella voidaan todeta yksinkertaisesti kosteat ja kuivat alueet rakenteissa. Mittari näyttää näytöllä vertailuarvon 0-200 asteikolla, josta voidaan päätellä, kuinka kostea rakenne on. Betonia tarkasteltaessa lukemat ovat manuaalin mukaan seuraavia: alle 80 kuiva, 80-110 kostea ja 110- on märkä. T650 on dielektrisyteen perustuva pintakosteuden-osoitin ja sen mittaussyvydeksi ilmoitetaan 0...40 mm.

4.4 Mittauspisteet ja niiden tiiveys

Mittaus tapahtui jatkuvana mittauksena betonirakenteen sisältä. Koejärjestelyä rakennettaessa diplomityötä varten betonin sisään asennettiin valuvaiheessa muovisia sähköputkia, joiden kautta rakenteen kosteuskäyttäytymistä pystyttiin tarkastelemaan. Putket on asennettu tiettyihin korkeusasemiin kolmeen eri syvyyteen: 25, 48 (40% laatan paksuudesta) ja 100 millimetriin. Vaisalan antureita on mahdollista liikutella näiden kiinteiden mittauspisteiden välillä työntämällä ne eri putkiin tasaantumaan.

Vaisalan HMP110-antureita on koejärjestelyssä yhteensä 14 kappaletta. Osa antureista on asetettu mittaamaan kiinteää pistettä ja osaa antureista kierrätetään useamman mittauspisteen välillä. Kuvaajassa 6 on esitetty periaatetasolla antureiden sijoittelu koejärjestelyssä.



KUVAAJA 6. Mittauspisteiden periaatteellinen sijainti koejärjestelyssä: 1. huoneilma, 2. menoilma Tulilattia, 3. paluuilma Tulilattia, 4. menoilma sähkövastus, 5. paluuilma sähkövastus, 6. tutkimuslaatan siirrettävät anturit (8 kpl), 7. verrokkilaatta

Tutkimuslaatan osa-alueet on erotettu toisistaan niin, että molempien kiertoja on mahdollista tarkastella erikseen. Kiertojen meno- ja paluuilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoja mitataan jatkuvana mittauksena. Jatkuvana mittauksena on myös huoneilman ja verrokkilaatan lämpötilan ja kosteuden arvot. Verrokkilaatan mittauspisteen syvyydeksi on asetettu valuvaiheessa 48 mm.

Tutkimuslaatan mittauspisteitä on käytettävissä yhteensä 30 kappaletta. Mittauspisteiden sijoittelu laatan sisällä on eroteltu tarkemmin liitteessä 3, Pohjakuva laatasta mittauspisteineen. Tässä tutkimuksessa mittauspistettä A5 ei ole käytetty lainkaan, koska sen todettiin antavan Ville Ahvenaisen diplomityössä selvästi muista poikkeavia arvoja. Syyksi tähän epäiltiin tuolloin mittausputken siirtymistä valun aikana liian lähelle kuivatusputkistoa, joka aiheutti pisteen tulosten poikkeamista muista samoissa asemissa olevista mittauspisteistä.

Tutkimuslaatan suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaukseen käytössä oli yhteensä kahdeksan anturia, joiden paikkoja siirrettiin aina tarpeen mukaan. Antureiden siirrosta mittausten aikana on kerrottu tarkemmin kappaleessa 4.5. Tutkimuslaatan mittauspisteet sijoittuvat kahdeksaan eri sektoriin. Sektorit on nimetty kirjaimin A–H ja mittapisteet tarkemmin numeroin 1–3. Mittaussyvyys ilmoitetaan millimetreinä. Mittaussyvyys on oletusarvoisesti 48 mm ja tästä eroavat syvyydet on ilmaistu mittauspisteen nimessä.

Kokeessa mittaputket tiivistettiin anturin tyven kohdalta solumuovin palalla, jonka kiinnittyminen varmistettiin elastisella massalla (kuva 4). Tämä mahdollisti sen, että mitattavan alueen ilmatilavuus jäi mahdollisimman pieneksi, eikä huoneilma päässyt aiheuttamaan suurta epätarkkuutta mittaustuloksiin. Mittaputken pää suljettiin vielä elastisella massalla lisävarmuuden saamiseksi.



KUVA 4. Anturin tiivistys mittaputken solumuovilla ja elastisella massalla.

Koska tutkittavia mittauspisteitä on tutkimuslaatussa enemmän kuin käytössä olevia antureita, kaikissa mitattavissa pisteissä ei ollut jatkuvasti anturia. Nämä anturittomat mittauspisteet tiivistettiin samantyyppisellä rautalankaan kiinnitetyllä solumuovijärjestelyllä, jotta ne eivät pääsisi kuivumaan putken kautta.

4.5 Tulosten mittaaminen ja antureiden siirtely

Antureiden vähyyden takia tutkimuslaatan mittapisteitä jouduttiin siirtelemään kokeen edetessä. Kappaleessa 4.4 mainitut kiinteät pisteet pysyivät kokeen ajan paikoillaan, mutta kahdeksaa anturia kierrätettiin vuorotellen jokaisessa pisteessä. Kiertävien antureiden siirtoväli vaihteli noin neljästä tunnista 16 päivään. Antureiden siirtoon kului aikaa tyypillisesti noin 45 minuuttia kirjauksineen. Antureiden siirtoloki on esitetty liitteessä 1.

Tuloksia mittaava Meteconin dataloggeri luki suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvoja ja tallensi ne csv -muotoiseen Excel -tiedostoon. Antureiden lukuväliksi asetettiin viisi minuuttia. Betonirakenteen kuivumisen kannalta lukuväli on selvästi liian tiuha, mutta poistuvan kosteusvirran mittausravot vaikuttivat kyseisen lukuvälin valintaan. Antureiden siirron ajaksi datan kerääminen pysäytettiin. Siirron jälkeen tallennusta jatkettiin ja tallennus tapahtui aina uuteen csv -tiedostoon. Mittauslaitteistoon oli käytössä etäyhteys, joten tietojen tallentamiseksi ei ollut tarvetta käydä paikan päällä.

Pintakosteudet luettiin laatasta pintakosteuden osoittimella. Mittaukset suoritettiin laataan rakennettujen kehikkojen sisältä useampana otantana. Tulosten otanta vaihteli 5-10 pistokoemaiseen mittaukseen. Kirjatuista tuloksista laskettiin keskiarvo ja näin saatiin keskiarvoinen lukema kuvaamaan kutakin laatan jaettua osaa. Pintakosteuksia luettiin tutkittavista laatoista kokeen alkupuolella muutaman viikon ajan noin viikon välein. Myöhemmässä vaiheessa pintakosteudenosoittimella tehtiin muutama tarkentava mittaus.

4.6 Mittaustulosten analysointi

Rakenteen sisältä mitattuja arvoja sekä kuivatusjärjestelmästä mitattuja arvoja analysoitiin laskennallisesti Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Laskennoissa sovellettiin Björkholtzin *Lämpö ja kosteus Rakennusfysiikka* kirjan kosteuden laskentakaavoja. Kuvaajissa on esitetty yhdistettyä dataa eri mittauspisteistä lämpötiloineen ja suhteellisine kosteuksineen. Mitattua dataa on analysoitu laskennallisesti tarkemmin järjestelmän menojen ja paluuilmojen osalta ja näin on saatu laskettua rakenteesta poistuvan kosteusvirran arvoja.

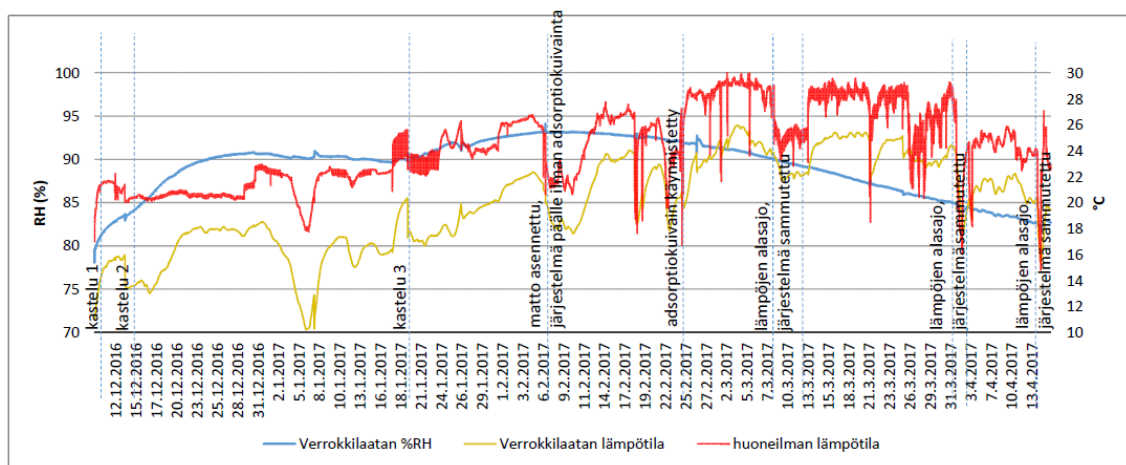
Tutkimuslaatan eri mittauspisteiden arvoja tarkasteltaessa kuvaajista 9-24 on hyvä pitää rinnalla pohjakuva laatan mittauspisteiden asemoinnista. Pohjakuva löytyy liitteestä 3.

4.6.1 Veden imeytyminen betoniin

Laatan ensimmäisessä kastelussa 6.12.2016 koejärjestelyyn jäi epähuomiossa puhallus päälle ja lämmin huoneilma kiersi järjestelmässä. Tämän seurauksena havaittiin, että

laattaa oli vaikea saada kastumaan, vaikka laitteistoa ei oltu asennettu edes kunnolla toimintaan. Laatan sisällä kiertävä huoneilma lämmitti rakennetta sen verran hyvin, että kastelun vaatimia suhteellisen kosteuden lähtöarvoja ei saavutettu. Tämä on yksi syy suoritettuihin laattojen lisäkasteluihin. Verrokkilaatta pysyi silminnähden kosteampana samassa tilanteessa.

Verrokkilaatassa oli jatkuva kosteudenseuranta ja siitä saadusta kuvaajasta (kuvaaja 7) voidaan hyvin tarkastella veden imeytymistä betoniin. Verrokkilaatalle kaadetulla vedellä kesti noin kuukauden imeytyä laattaan kokonaisuudessaan. Osa vedestä haihtui huoneilmaan veden seistessä altaassa ja imeytyessä laattaan. Kaadettu vesi oli suorassa kosketuksessa tutkimustilan sisäilman kanssa ja veden haihtumista ei oltu estetty laatan pinnalta esimerkiksi peittämällä se muovikalvolla. Huoneilman lämpötila vaihteli suuresti koko koejakson aikaa tarkasteltaessa ja paikoin korkealla ollut tutkimustilan lämpötila on otettava huomioon vedenimeytymistä tarkasteltaessa. Tutkimustilan huoneen lämpötila vaihteli 16-30 °C välillä.



KUVAAJA 7. Verrokkilaatan suhteellisen kosteuden kehittyminen.

Laattojen kasteluissa pyrittiin rimoituksella vaikuttamaan siihen, että vesi imeytyisi tasaisesti joka puolelle laattaa. Saaduista tuloksista kuitenkin havaittiin, että tutkimuslaatan osilta tässä ei onnistuttu aiotulla tavalla. Laatta kastui arvaamattoman epätasaisesti (kuva 5) ja samoilla mittaussyvyyksillä olevissa suhteellisen kosteuden lukemissa oli paikoin suuriakin eroja. Koe opetti sen, että vesi imeytyy betoniin hyvinkin arvaamattomasti ja sen liikkeitä on vaikea kontrolloida, vaikka näin haluttaisiinkin. Tulosten tarkastelussa on otettava huomioon laatan eri lähtöarvot suhteellisissa kosteuksissa.



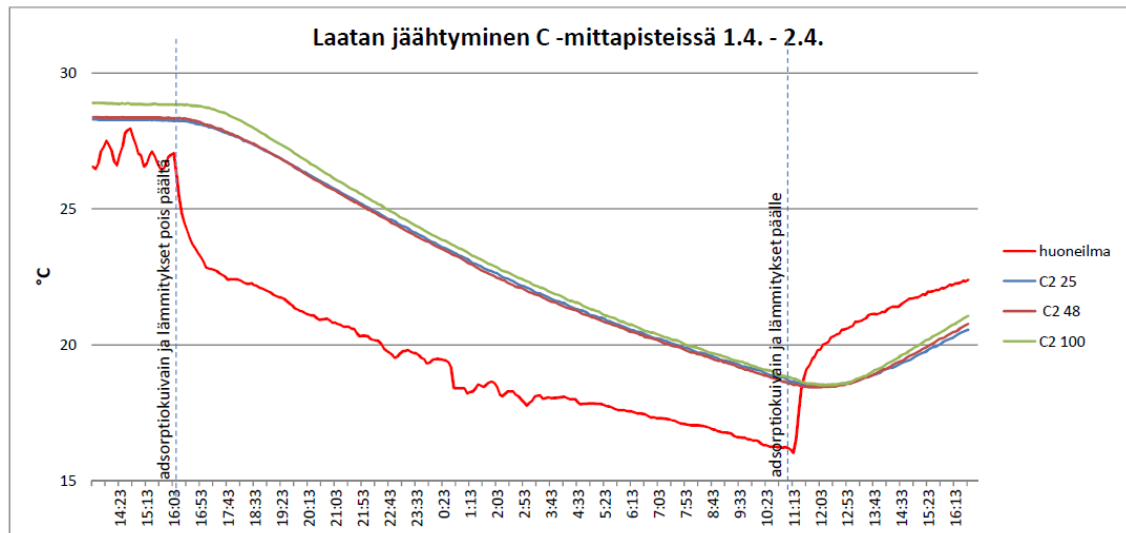
KUVA 5. Vesi imeytyi tutkimuslaatalle epätasaisesti rimoituksesta huolimatta.

4.6.2 Tutkimuslaatan lämpöjen alasajo

Tutkimuslaatalle suoritettiin 1.4.-2.4.2017 koe, jossa laatan lämmöt ajettiin mahdollisimman tehokkaasti alas mittauslämpötilaan 20 °C. Lämpöjen alasajokoe oli tarpeellinen, koska mitta-anturit antavat kyseisessä lämpötilassa luotettavimmat arvot. Kokeen aloitushetkellä laatan lämmöt olivat eri mittauspisteissä noin 28 °C. Kuvaajassa 8 on esitetty laatan lämpökäyttäytymistä C-mittapisteissä mittaussyvyyksissä 25, 48 ja 100 mm. Kokeen aloitus hetkellä tutkimustilan ikkunat avattiin täysin auki, jotta huoneilma pääsisi vaihtumaan mahdollisimman tehokkaasti. Kuivatuslämmitysjärjestelmästä kytkettiin kanavalämmitin ja adsorptiokuivain pois päältä ja puhallin jätettiin päälle kierrättämään ilmaa laatan sisällä. Adsorptiokuivaimen putkiliitännät irrotettiin siten, että järjestelmässä kiertävä ilma vaihtuisi huoneilman kanssa.

Koe aloitettiin 1.4. iltapäivällä kello 16 ja laatta oli jäähtynyt 20 °C lämpötilaan 2.4. kello kuuden aikaan aamusta. Välissä olleen yön aikana lämpötila oli alimmillaan -4 °C. Kokeen tuloksista voidaan päätellä, että järjestelmä pystyi jäähdyttämään kyseisen rakenteen noin 12 tunnin aikana kymmenisen astetta alhaisempaan lämpötilaan. Lämpötilan muutos tunnille on karkeasti arvioituna noin 0,5 °C. Laatan lämmöt laskivat alas jopa niin nopeasti, että adsorptiokuivain ja lämmitin jouduttiin kytkemään takaisin pääl-

le aamupäivällä kello 11, jotta lämpötila saataisiin pysymään optimaalisella mittausalueella antureiden kierrätystä varten.



KUVAAJA 8. Laatan lämpökäyttäytyminen C -mittapisteissä syvyyksillä 25, 48 ja 100 mm.

Kokeesta saatuja tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon lämpötilavaihtelun merkitys mittaustuloksiin. Rakenteen olisi hyvä antaa tasaantua riittävästi käyttölämpötilaan, koska pienikin lämpötilan muutos mittausten aikana voi aiheuttaa joidenkin prosenttiyksiköiden muutoksen suhteellisessa kosteudessa.

4.6.3 Laattojen pintakosteudet

Pintakosteusmittauksissa havaittiin, että laatat kuivuivat huomattavan nopeasti pintakuiviksi kasteluiden välissä ja viimeisen jälkeen. Kokeen alussa mitatut ja saadut arvot olivat kaikki lukemaltaan yli 110 luokkaa, mikä tarkoittaa, että laatat olivat märkiä. Tutkimustilan huoneilman ollessa noin +20-25 °C rakenne pystyi kuivumaan silminnähtäen kuivaksi jo alle viikossa. Tällöin arvot olivat lähellä lukemaa 80. Arvot eivät tämän jälkeen muuttuneet merkittävästi useaan viikkoon.

Verrokkilaatta kuivui tutkimuslaatta hieman nopeammin pintakuivaksi. Verrokkilaatta käyttäytyi pintakosteustarkastelussa samoin kuin tutkimuslaatta: arvot olivat kokeen alussa arvoltaan märkiä ja myöhemmin arvot jäivät lähelle kuivaa. Verrokkilaatan pintakuivumisen nopeuteen vaikuttanee tutkittavien laattojen kokoero ja massa ero.

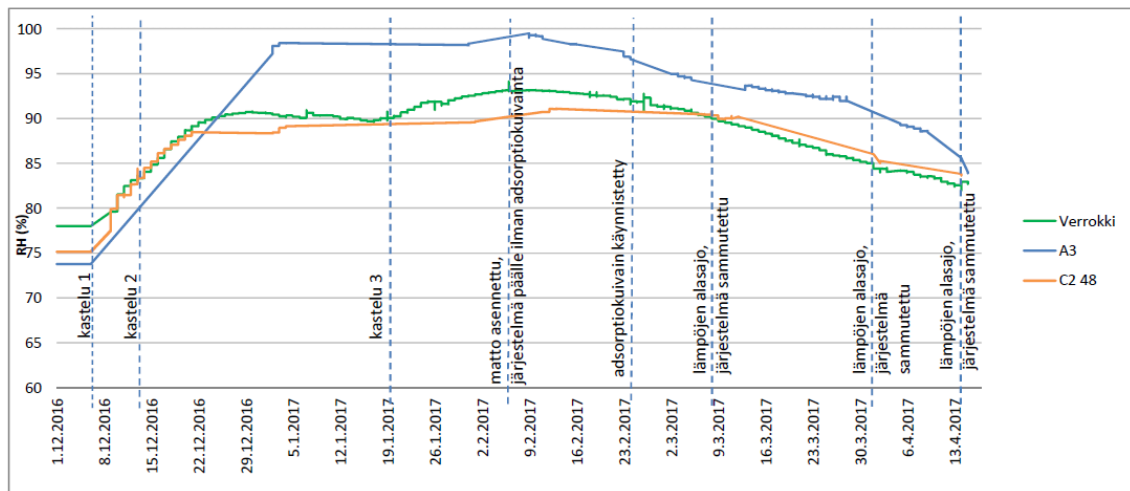
Pintakosteudenosoittimen ilmoittama mittaussyvyys on 0...40 mm eli maksimissaan yksi kolmasosa rakenteen todellisesta paksuudesta. Saadut arvot todettiin todella suuntaa antaviksi, sillä pinnan ollessa suhteellisen kuiva pintakosteudenosoittimella luettuna, rakenne oli vielä täysin märkä sisältä ahturein katsottuna. Tästä syystä pintakosteudenosoittimen arvoja ei ole sen tarkemmin tähän raporttiin analysoitu.

4.6.4 Laatan kosteuden kehitys eri mittapisteissä

Kuvaajissa on esitetty tutkimuslaatan Tulilattia- sekä sähkövastuspuolien kosteuden kehittymistä sen eri mittauspisteissä 48 mm syvyydeltä luettuna. Tarkasteluita on tehty sekä tutkimuslaatan pinnoitetulta puolelta, että pinnoittamattomalta puolelta. Tarkasteltavat mittauspisteet valittiin kuvaajiin verrokin mittauspisteen kanssa tarkasteltavaksi siksi, että kyseiset arvot kuvaavat tutkimuslaatan kuivumista sen hitaammissa osissa. Tämä tarkoittaa sitä, että mittauspisteet eivät sijaitse kuivattavan putkiston välittömässä läheisyydessä vaan keskemällä rakennetta. Esitettyjä arvoja on verrattu verrokkilaatan vastaavalla syvyydellä oleviin arvoihin.

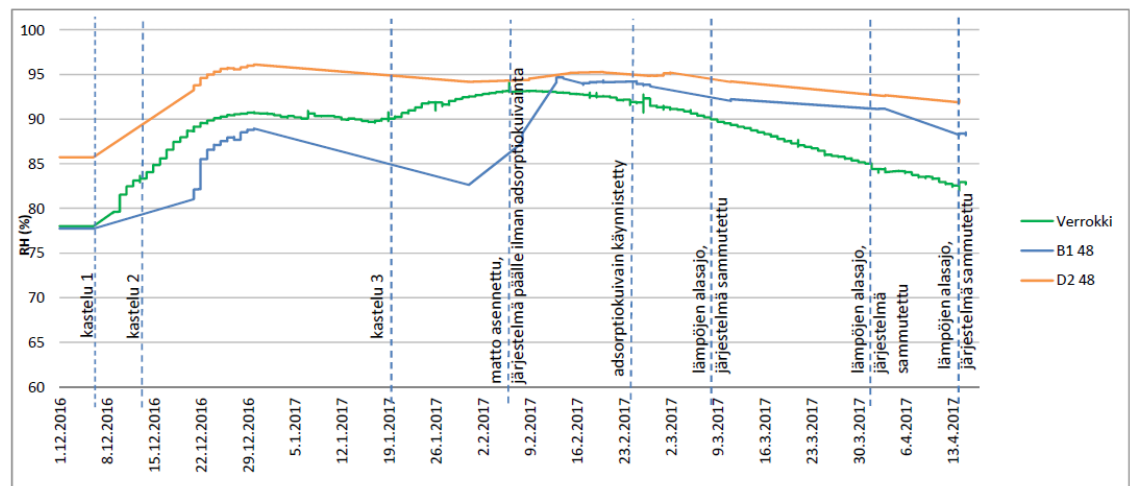
Värit on valittu tämän kappaleen kuvaajiin niin, että verrokki on esitetty kuvaajissa punaisella värillä. Sininen väri esittää kuvaajissa tutkimuslaatan mittauspistettä putkiston pienemmän k-jaon alueella (k250) ja vastaavasti oranssi esittää mittauspistettä suuremman k-jaon alueella (k450).

Kuvaajasta 9 nähdään pinnoittamattoman Tulilattiapuolen kosteuden kehittymistä mittauspisteissä A3 ja C2 48. Mittauspiste A3 on kastunut muihin kuvaajassa oleviin mittauspisteisiin nähden selvästi enemmän, mutta kuivuu silti nopeammin kuin muut mittauspisteet. Vesi on päässyt kastelemaan mittauspisteen A3 suurimmillaan jopa 99 %RH. C2 48 on ollut lähtöarvoltaan pienemmässä kosteudessa ja kuivuu verrokkilaatan kanssa tämän koejakson aikana suunnilleen samaa tahtia. Kuivattavalla putkistolla on pienempi k-jako A mittauspisteen alueella ja tästä syystä mittauspiste C2 48 kuivuu hitaammin. Mittauspisteen C2 48 kosteuskäyttäytymisestä ei ole tarkkaa tietoa, mutta arvot ovat olleen suunnilleen samalla tasolla kokeen aikana.



KUVAAJA 9. Mittauspisteet verrokki, A3 ja C2 48 Tulilattiapuolella syvyydessä 48 mm.

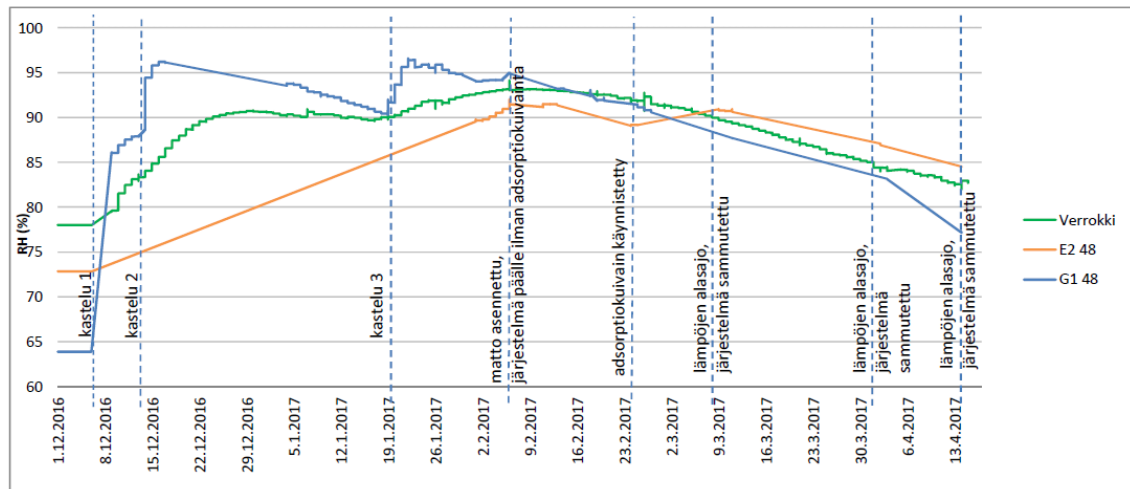
Kuvaajassa 10 on esitetty vastaavat pisteet Tulilattiapuolen pinnoitetulta puolelta. Verrokki kuivuu nopeammin tutkimuslaatan mittauspisteisiin B1 ja D2 48 nähden. Suurta eroa selittää tutkimuslaatalle asennettu muovimatto, joka pidentää kuivumisaikaa huomattavasti. Mittauspisteen B1 notkahdus on todennäköisesti mittausvirhe, sillä arvo poikkeaa muusta kosteuskäyttäytymisestä liikaa.



KUVAAJA 10. Mittauspisteet verrokki, B1 ja D2 48 Tulilattiapuolella syvyydessä 48 mm.

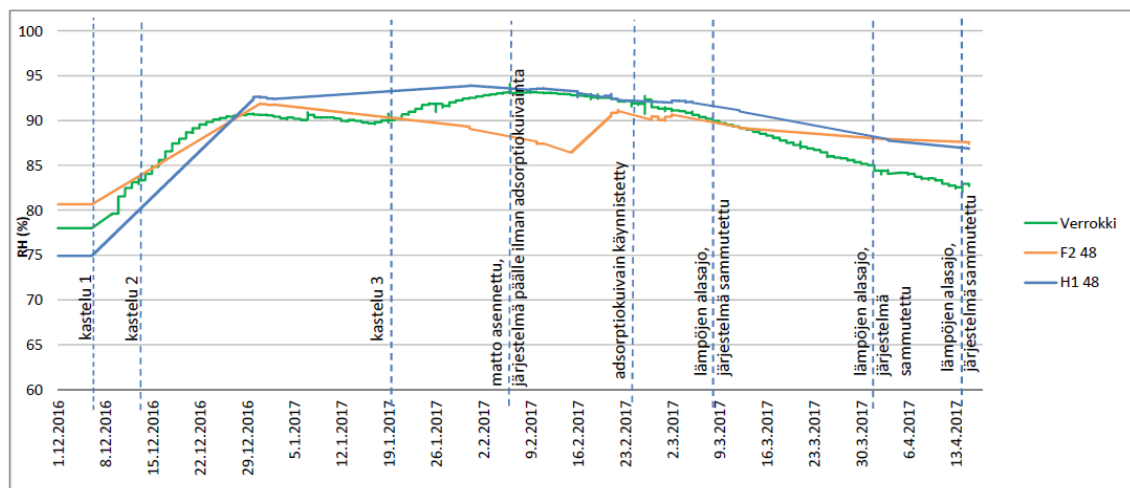
Kuvaajassa 11 on esitetty tutkimuslaatan mittauspisteiden E2 48 ja G1 48 kosteuden kehittymistä sähkövastuspuolen pinnoittamattomalta osalta. Tuloksissa on havaittavissa saman suuntaista kehitystä kuin Tulilattiapuolen vastaavalla alueella. G1 48 kuivuu verrokia nopeammin ja E2 48 verrokin kanssa samaa tahtia. Todennäköisin syy pisteen E2

48 hitaampaan kuivumiseen on sama kuin Tulilattiapuolella eli tarkasteltavien laattojen kokoero vaikuttaa kuivumisaikaan vaikka toista kuivatetaan ja toista ei.



KUVAAJA 11. Mittauspisteet verrokki, E2 48 ja G1 48 pinnoittamattomalla sähkövastuspuolella syvyydessä 48 mm.

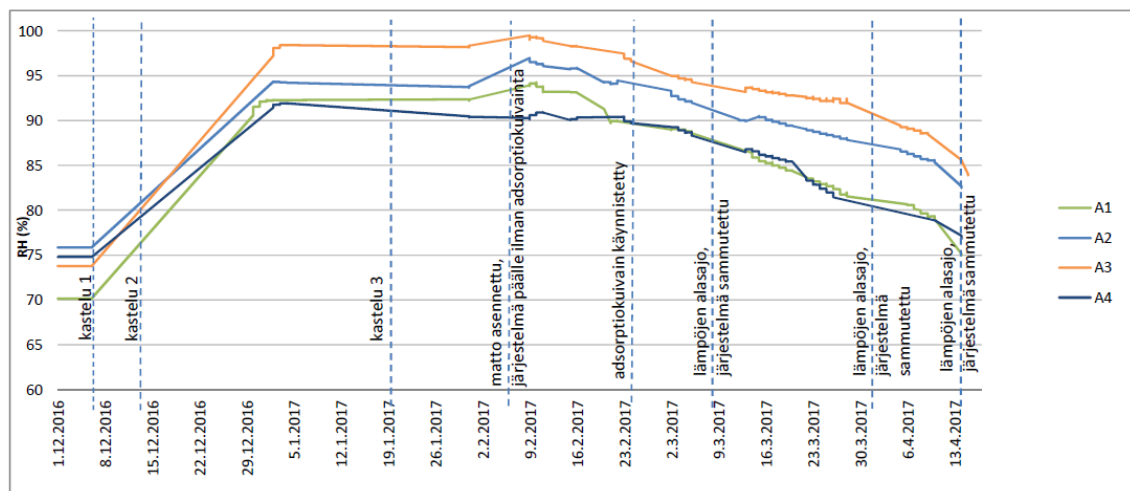
Kuvaaaja 12:ssa on esitetty vastaavasti sähkövastuspuolen tutkimuslaatan päällystetty osio. Laatta kuivuu verrokkaa paljon hitaammin pinnoitettuna mittapisteissä F2 48 ja H1.



KUVAAJA 12. Mittauspisteet verrokki, F2 48 ja H1 pinnoitetulla sähkövastuspuolella 48 mm syvyydessä.

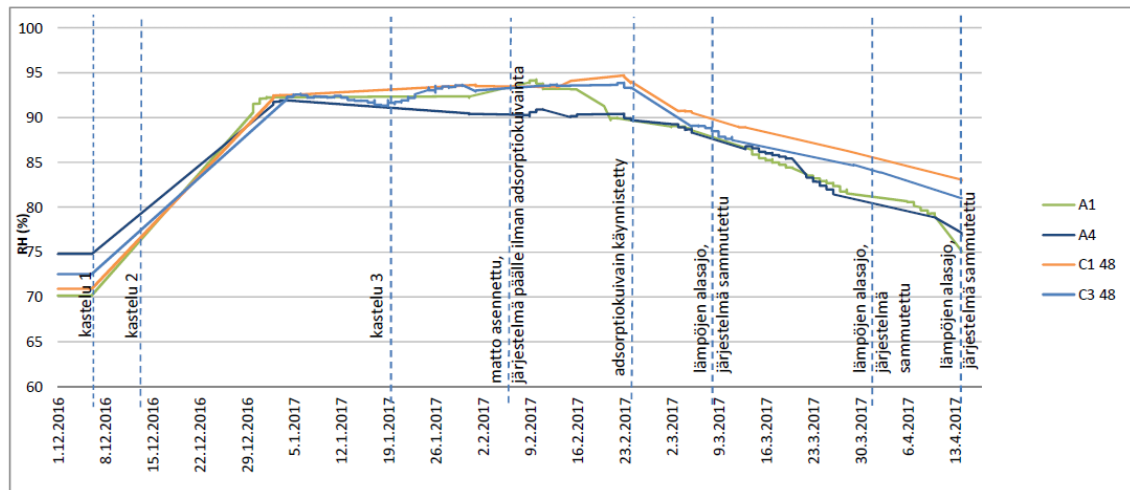
4.6.5 K-jaon vaikutus kosteuden kehitykseen

Laatta kuivui selvästi nopeammin kuivattavan putken lähellä. Mittapisteidien A1-A4 kuvaajassa 13 voidaan havaita, että putken lähellä olevat arvot ovat selvästi kuivempia kuin laattaa keskeemmälle mentävissä arvoissa. Mittauspisteet A1 ja A4 ovat suunnilleen samalla etäisyydellä kuivattavasta putkistosta. A1 on laatalle menevän lenkin menoilmanputken vieressä ja A4 lähtevän ilman vieressä. Tulilattia puolen meno- ja lähtöilman lämpötilojen ero oli koko kokeen aikana noin 10 °C eli ilma jäähtyi kierron aika. Kuvaajasta nähdään, että A1 kuivuu pistettä A4 lyhyemmässä ajassa kuivattavan ilman lämpötilan vaikutuksesta. Mittauspiste A1 on myös ollut lähtötilanteessa kosteampi arvoiltaan kuin A4 ja se on saavuttanut mittauspisteen A4 arvot kokeen viimeisissä mittauksissa. Mittauspiste A3 on kauimpana putkistoissa ja se on kuivunut kuvaajasta luettuna hitaimmin. Betoni kuivuu mittauspisteen ympärillä, mutta kosteus vaatii selvästi pidemmän ajan päästäkseen pois rakenteesta kuivuakseen muiden mittauspisteiden arvoihin.



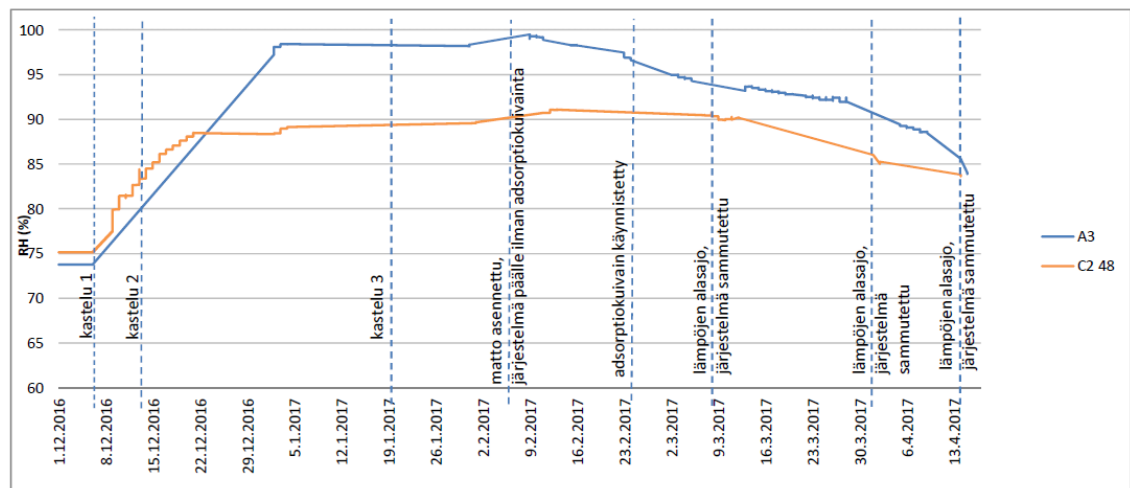
KUVAAJA 13. Mittauspisteet A1-A4 Tulilattiapuolella syvyydessä 48 mm.

Mittauspisteitä A1 ja A4 sekä C1 48 ja C3 48 tarkasteltaessa kuvaajasta 14 havaitaan, että A alueen mittauspisteet kuivuvat nopeammin kuin C alueen. Tarkasteltavat mittauspisteet ovat A alueella lähempänä kuivattavaa putkistoa kuin C alueen, joten rakenne kuivuu tästä syystä nopeammin.



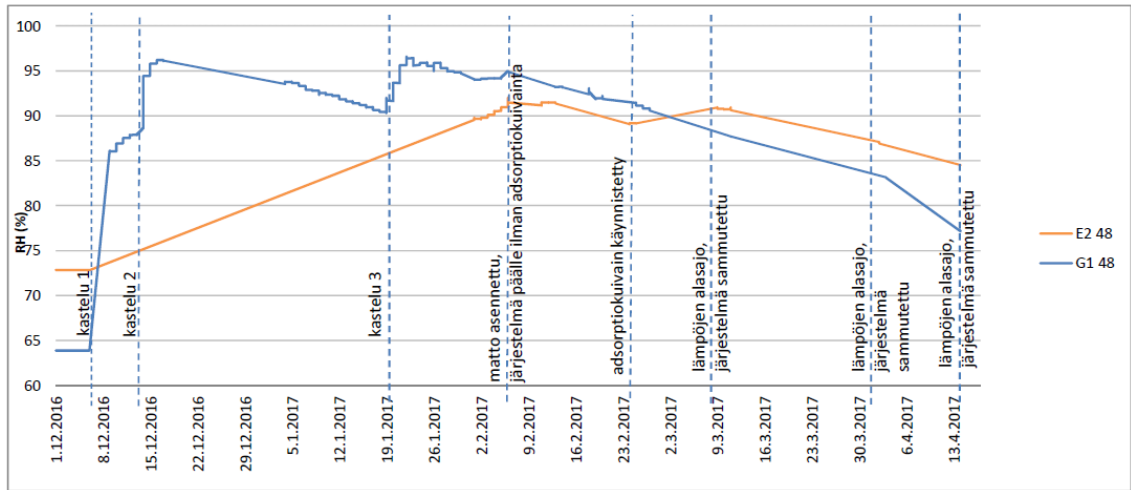
KUVAAJA 14. Mittauspisteet A1, A4, C1 48 ja C3 48 Tulilattiapuolella syvyudessa 48 mm.

Mittausalueiden A ja C keskeltä tarkasteltaessa mittauspisteitä A3 ja C2 48 kuvaajasta 15 havaitaan, että piste A3 kuivuu nopeammin. Tästä voidaan päätellä, että pienemmällä k-jaolla on huomattava merkitys kuivumisnopeuteen. Betoni kuivuu putkistossa liikkuvan ilman vaikutuksesta nopeammin pienemmällä k-jaolla, koska kosteudella on näin ollen lyhyempi matka siirtyä rakenteen haihtuvaan pintaan.



KUVAAJA 15. Mittauspisteet A3 ja C2 48 Tulilattiapuolella syvyudessa 48 mm.

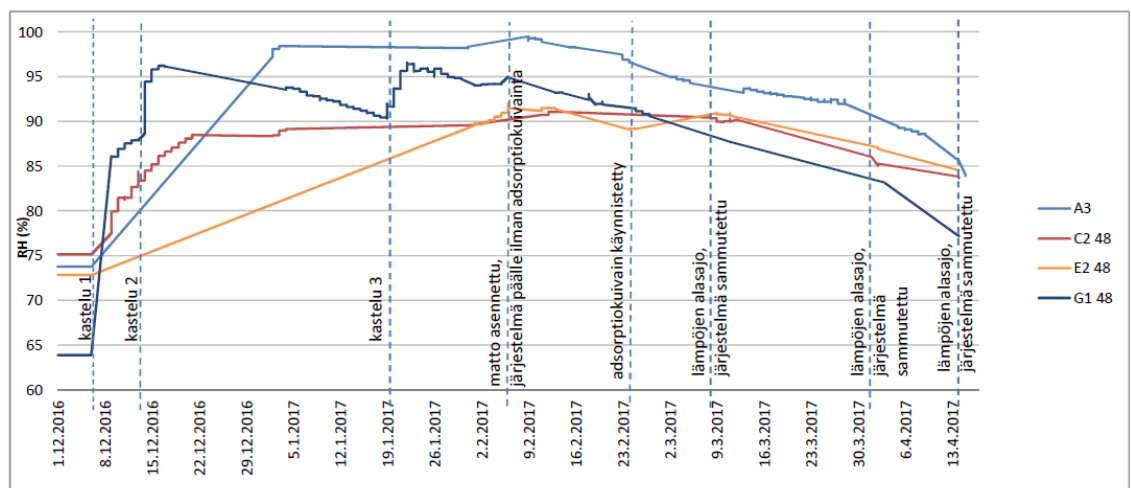
Sähkövastuspuolelle tehtäessä samanlainen tarkastelu mittauspisteille E2 48 ja G1 48 kuvaajassa 16 havaitaan, että betoni kuivuu nopeammin pienemmän k-jaon alueella olevassa mittauspisteessä G1 48.



KUVAAJA 16. Mittauspisteet E2 48 ja G1 48 sähkövastuspuolella syvyydessä 48 mm.

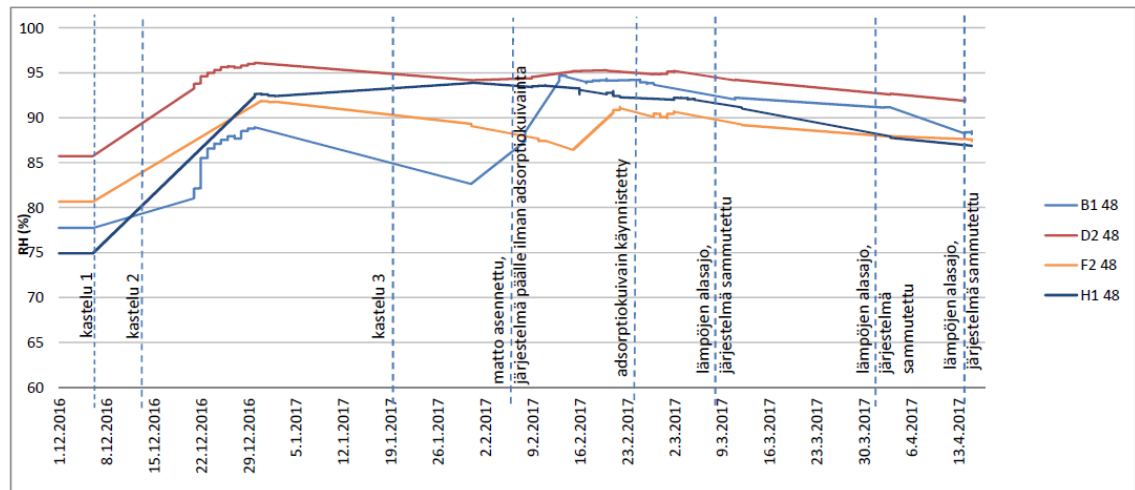
Seuraavien kahden kuvaajan (kuvaajat 17 ja 18) värit on valittu niin, että ne vastaavat toisiaan laatan kyseisellä alueella. Esimerkkinä Tulilattiapuolen mittauspisteet C2 48 ja D2 48: ne ovat molemmat kuvaajissa punaisella värillä. Mittauspisteillä on sama syvyys ja sama k-jako. Erona on vain se, että onko rakenne pinnoitettu vai ei.

Tulilattia- ja sähkövastuspuolia tarkasteltaessa ristiin kuvaajassa 17 havaitaan, että 450 mm k-jaolla olevat mittauspisteet C2 48 ja E2 48 kuivuvat suunnilleen samaa nopeutta. Ero tarkasteluihin tulee, kun katsotaan kuvaajia mittauspisteiden A3 ja G1 48 osalta. Tämän perusteella sähkövastus kuivattaa laattaa tehokkaammin kuin Tulilattian kanavälämmitin.



KUVAAJA 17. Mittauspisteet A3, C2 48, E2 48 ja G1 48.

Mittauspisteitä tarkasteltaessa kuvaajassa 18 muovimaton alta pisteistä B1, D2 48, F2 48 ja H1 havaitaan pienemmän 250 mm k-jaon vaikuttavan kuivumisaikaan. Suuremmalla 450 mm k-jaolla mittauspisteet Tulilattia- ja sähkövastuspuolella tarkasteltaessa eivät eroa merkittävästi toisistaan.

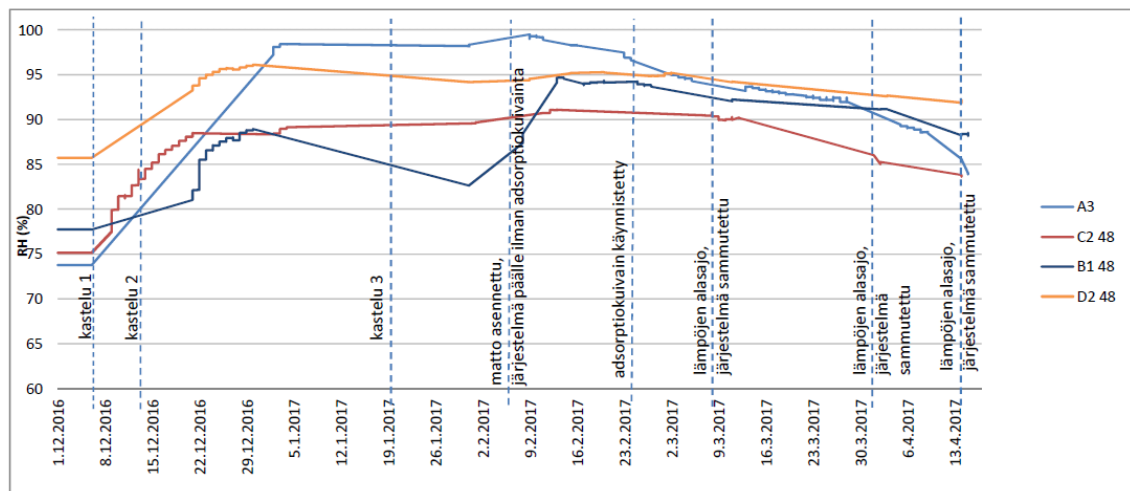


KUVAAJA 18. Mittauspisteet B1, D2 48, F2 48 ja H1.

4.6.6 Pinnoituksen vaikutus

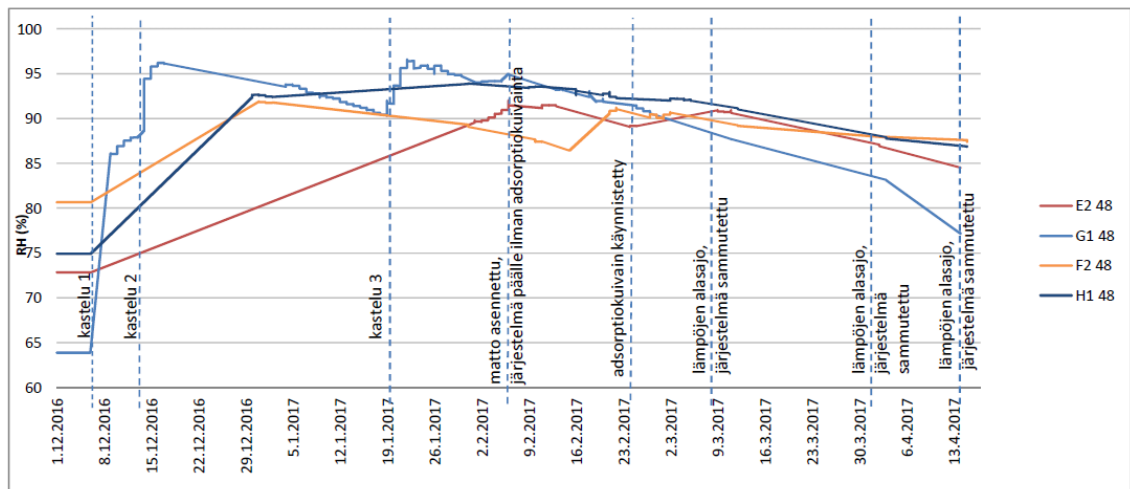
Kuvaajien 19 ja 20 värit on valittu vastaamaan toisiaan. Sininen ja tummansininen ovat pienemmän k-jaon (k250) arvoja, vastaavasti oranssi ja punainen ovat suuremman k-jaon (k450) arvoja.

Kuvaajassa 19 on esitetty tutkimuslaatan Tulilattia- ja sähkövastuspuolien kosteuden kehittymistä eri mittapisteissä, kun tutkimuslaatta on päällystetty muovimatolla. Arvoja on verrattu päällystämättömän osion vastaaviin arvoihin. Kuvaajasta voidaan selkeästi havaita, että päällystämällä on suuri vaikutus kuivumisnopeuteen. Päällystetyllä puolella oleva mittauspiste D2 48 kuivuu hyvinkin hitaasti verrattuna muihin kuvaajassa oleviin pisteisiin. Pienemmän 250 mm k-jaon mittauspiste B1 kuivuu tätä nopeammin. Pinnoitetulla puolella kuivuminen on käytännössä pelkästään kuivattavan putkiston varassa ja kuivumista ei pääse tapahtumaan kuin pinnan kautta.



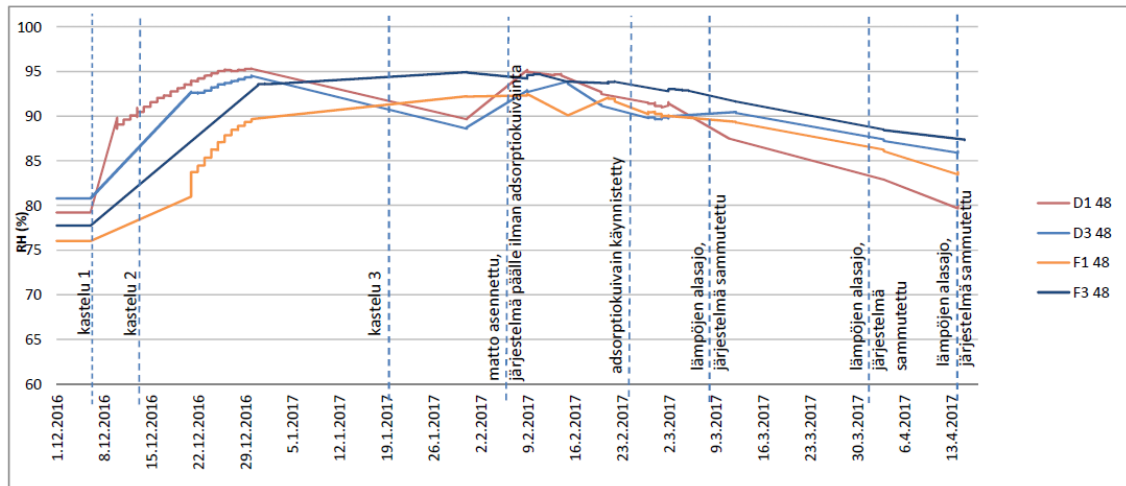
KUVAAJA 19. Mittauspisteet A3, C2 48, B1 ja D2 48.

Sähkövastuspuolen samaisessa tarkastelussa kuvaajassa 20 voidaan havaita samantapainen käytös. Päälystetyn puolen arvot ovat suhteelliselta kosteudeltaan huomattavasti korkeampia kuin päälystämättömän puolen. Päälystetyn sähkövastuspuolen kuivuminen on todella maltillista.



KUVAAJA 20. Mittauspisteet E2 48, G1 48, F2 48 ja H1.

Pinnoituksen vaikutusta tarkasteltaessa alueilla D ja F (kuvaaja 21) havaitaan, että laatta kuivuu putken tulopuolella nopeammin kuin menopuolella. Keskellä tarkasteltavia alueilta mittauspisteissä D2 48 ja F2 48 kuivuminen on hitainta. Vaikka kosteus siirtyy kuivattavan putkiston lenkin molempiin putkiin, kosteudella on silti pitkä matka siirtymään ja rakenne kuivuu hitaammin.

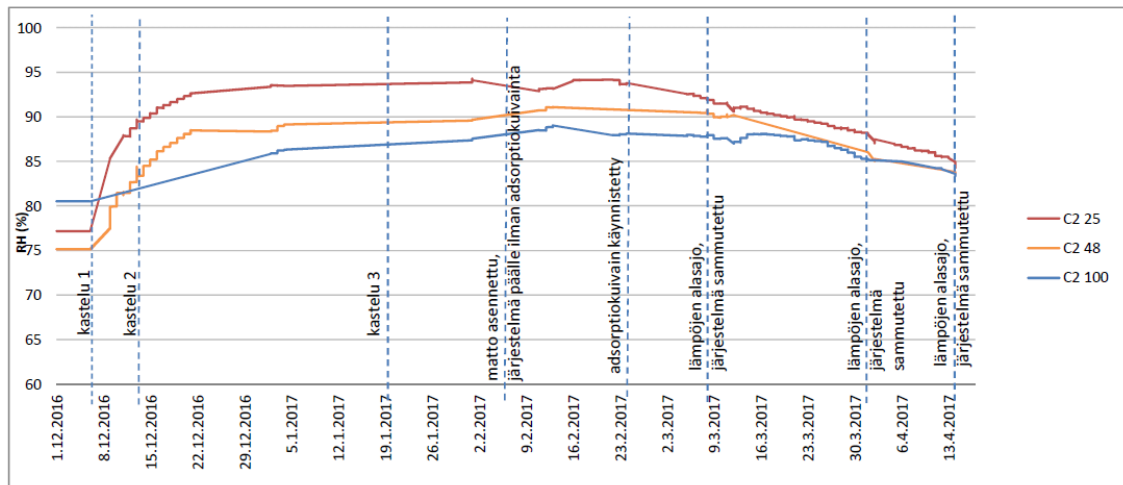


KUVAAJA 21. Mittauspisteet D1 48, D3 48, F1 48 ja F3 48.

4.6.7 Laatan kastuminen ja kuivuminen pystysuunnassa

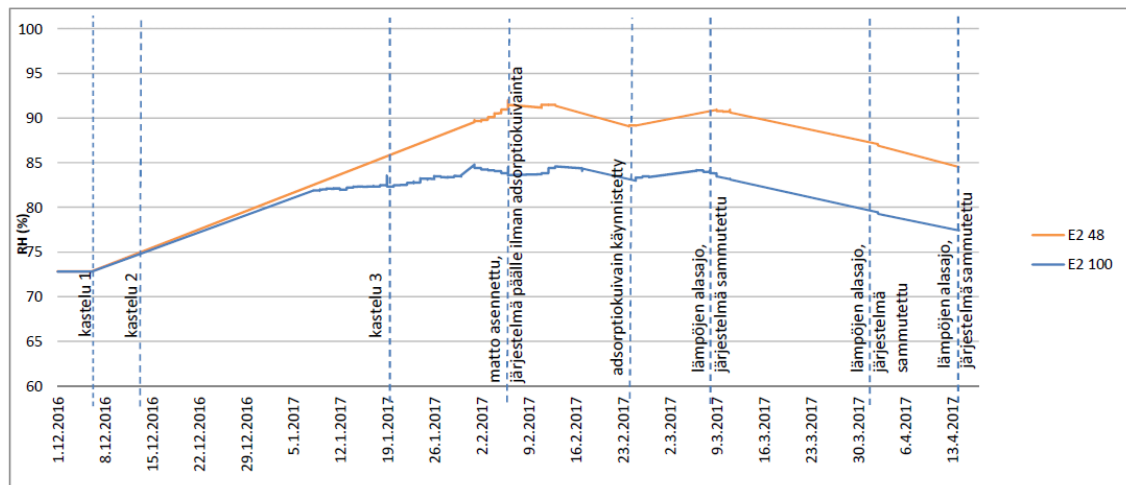
Värit on valittu tämän kappaleen kuvaajiin niin, että samalla syvyydellä olevat mittauspisteet on esitetty samalla värillä eri kuvaajissa. Värien järjestys on seuraava: 25 mm syvyys on punainen, 48 mm syvyys on keltainen ja 100 mm syvyys on sininen.

Mittauspistettä C tarkasteltaessa kuvaajassa 22 syvyyksiltä 25, 48 ja 100 mm nähdään hyvin kosteuden kehitys laatussa sen pystysuunnassa. Mittauspisteiden lähtöarvot eroavat noin 5 %RH kastelun jälkeen. Kastelun vaikutuksesta pinnassa sijaitseva mittauspiste C2 25 on ollut huomattavasti kosteampi kuin laatalta samassa kohdassa syvemmillä sijaitsevat pisteet C2 48 ja C2 100. Kuivuminen tapahtuu jokaisessa mittauspisteessä samansuuntaisesti tällä pinnoittamattomalla alueella ja kaikista voimakkainta se on pinnassa. Kosteus pääsee siirtymään rakenteessa useaan suuntaan: ylös huoneilmaan tai sivulle kohti kuivattavaa putkistoa.



KUVAAJA 22. Mittauspisteiden C2 arvot syvyyksillä 25, 48 ja 100 mm.

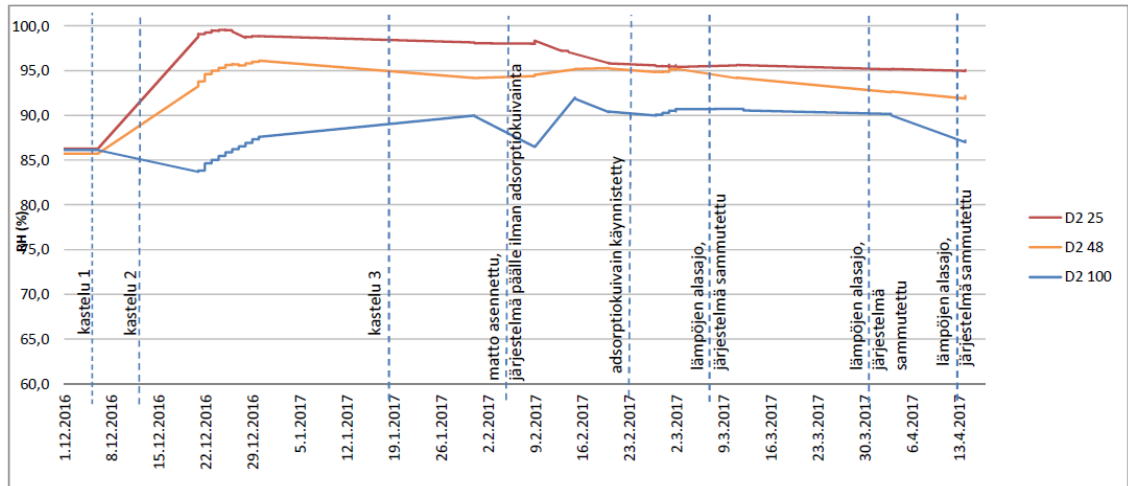
Sähkövastuspuolella tarkasteltaessa kuvaajasta 23 samoja mittauspisteitä havaitaan saman tapainen käytös: pinta on kastunut enemmän kuin syvemmät osat ja pinta myös kuivuu syvemmällä olevia arvoja nopeammin. Tarkasteluun ei ole otettu mittauspistettä E2 25, koska se ei antanut vertailukelpoisia tuloksia. Mittauspiste E2 25 pysyi suhteellisen kosteuden arvoltaan kaikista kuivimpana muuhun E alueeseen verrattuna. Arvot poikkesivat jopa 10-20 % lukemiltaan verrattuna sitä samalla syvyydellä olevaan C2 25 pisteeseen.



KUVAAJA 23. Mittauspisteet E2 48 ja E2 100 laatan sähkövastuspuolella.

Vertailun vuoksi tarkasteltuna tutkimuslaatan pinnoitettua puolta alueella D kuvaajassa 24 havaitaan, että käytös on ollut rakenteen kastumisen kannalta samantapainen. Rakenteen päälle asennettiin matto vasta kastelun jälkeen ja kuvaajasta voidaan havaita, että

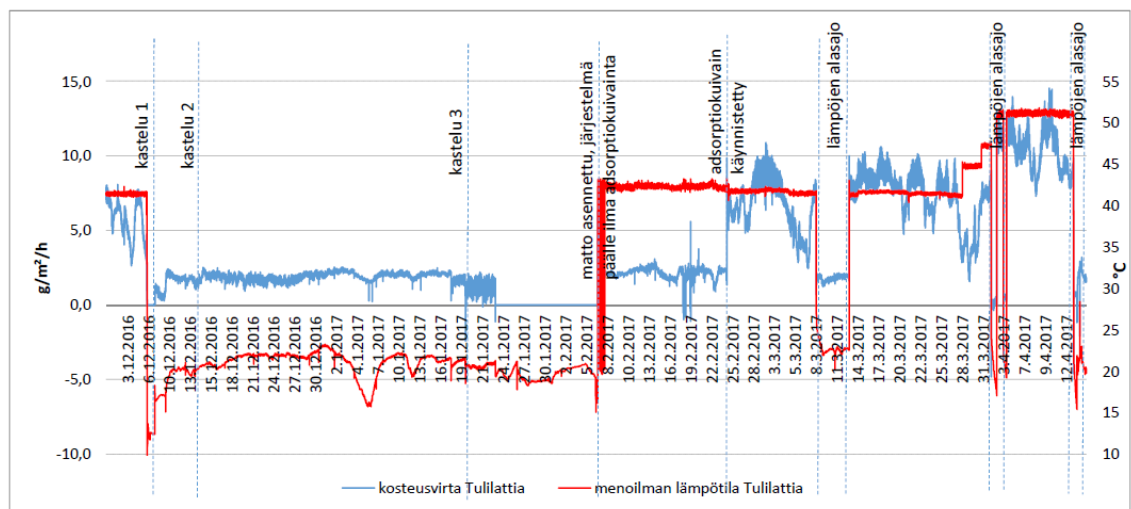
kuivuminen on ollut tämän jälkeen todella hidasta. Pinnassa mittauspisteessä D2 25 se on ollut melkein jopa täysin pysähdyksissä.



KUVAAJA 24. Mittauspisteiden D2 arvot syvyyksillä 25, 48 ja 100 mm.

4.6.8 Kuivatusputkiston mittaustulokset

Kuvaajassa 25 on esitetty tutkimuslaatasta putkiston kautta poistuvan kosteusvirran määrää. Kuvaaja esittää tutkimuslaatasta saatuja Tulilattiapuolen arvoja.



KUVAAJA 25. Tutkimuslaatan Tulilattiapuolen kosteusvirta.

Kuvaajassa 25 nähdään kuivatusjärjestelmän käynnistämisen vaikutus rakenteesta poistuvaan kosteusvirran määrään. Järjestelmä käynnistettiin 6.2.2017 kierrättämään lämmintä huoneilmaa putkistossa niin, että järjestelmässä oli toiminnassa puhallin ja VEAB

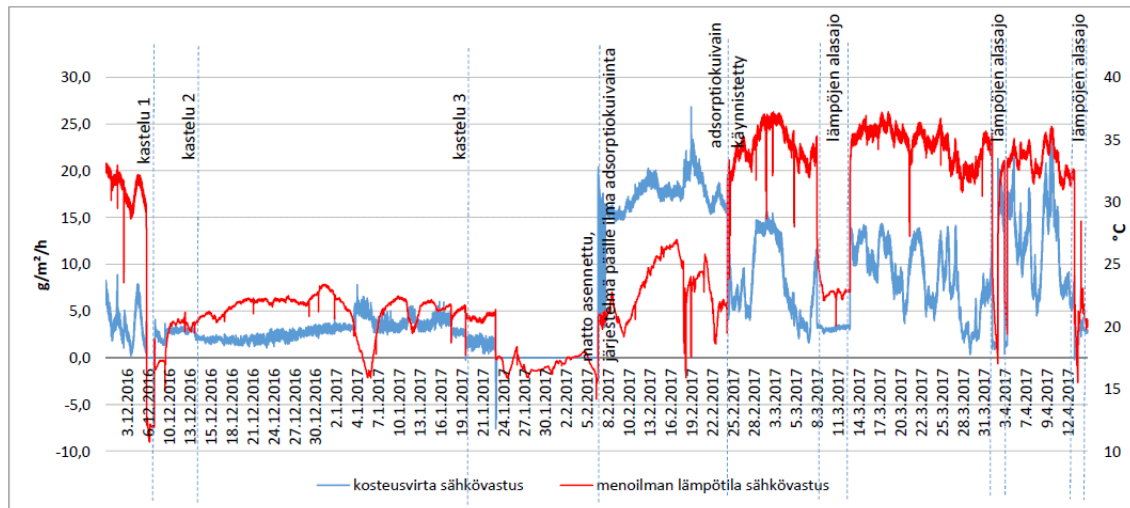
-kanavalämmitin. Järjestelmä poisti näin asennettuna rakenteesta noin $2 \text{ g/m}^2/\text{h}$ kosteutta. Ilma otettiin järjestelmän kiertoon huonetilan sisäilmasta.

24.2.2017 adsorptiokuivain saatiin käyttöön ja kytkettyä päälle. Kuvaajassa havaitaankin selvä nousu poistuvan kosteusvirran määrässä. Järjestelmä poisti adsorptiokuivaimen kanssa rakenteesta $6-8 \text{ g/m}^2/\text{h}$ kosteutta kanavalämmittimeltä järjestelmään menevän ilman ollessa $42 \text{ }^\circ\text{C}$. Kuivatus toimii siis parhaiten Tulilattiapuolella, kun lämmitys ja adsorptiokuivain ovat molemmat toiminnassa ja puhallin pääsee kierrättämään ilmaa rakenteessa.

Kanavalämmittimen tehoa säädettiin korkeammaksi 28.3.2017 ja sen asentoa tarkastettiin muutaman kerran tämän jälkeen. Tehon säädön välissä kuvaajassa näkyy lämpöjen alasajo tarkkojen mittaustuloksien keräämistä varten. Kanavalämmittimen tehoa nostettiin niin, että se lämmitti Tulilattiapuolen kiertoon menevää noin $10 \text{ }^\circ\text{C}$ enemmän kuin aikaisemmin. Menoilman lämpötila oli siis tässä tilanteessa noin $51 \text{ }^\circ\text{C}$. Lämpötilan nosto näkyy myös poistuvassa kosteusvirran määrässä ja järjestelmä pystyi poistamaan näin asetettuna peräti $10-11 \text{ g/m}^2/\text{h}$ kosteutta.

Lämpöjen alasajot näkyvät kosteusvirran kuvaajassa selkeinä laskuina. Kosteusvirran kuvaajassa on myös muita arvон heittelyitä ja näitä selittänee ulkoilman lämpötilan vaihtelut. Kun kuvaaja on tehnyt hetkittäisen piikin joidenkin päivien kohdalla, niin silloin on ollut selvästi kylmempi ilma ulkona. Ulkoilman lämpötilan vaihtelu on vaikuttanut tutkimustilan lämpötilaan sekä suhteelliseen kosteuteen ja näin ollen ilman kykyyn sitoa vesihöyryä.

Kuvaajassa 26 on esitetty tutkimuslaatasta putkiston kautta poistuvan kosteusvirran määrää. Kuvaaja esittää tutkimuslaatan sähkövastuspuolen arvoja. Kuvaajasta nähdään lämpötilojen muutos 6.2.2017, jolloin sähkövastus asetettiin ajastimen kanssa toimintaan niin, että se oli 15 minuuttia päällä ja 60 minuuttia pois päältä. Ajastimen toimintaa tarkastettiin 21.2.2017 jolloin sen säädöiksi asetettiin 15 minuuttia päällä ja 30 minuuttia pois päältä. Tällä asetuksella sähkövastus puolen lämmitystehoksi saatiin noin $1,0 \text{ kW}$. Putkien k-jakojen väliin asennetut vastukset siirtävät kosteutta rakenteessa kuivatavaa putkea kohti.



KUVAAJA 26. Tutkimuslaatan sähkövastuspuolen kosteusvirta.

Kun adsorptiokuivain kytkettiin päälle 24.2.2017, järjestelmä poisti rakenteesta kosteutta 8,5-12,5 g/m²/h. Ennen tätä kuvaajassa näkyy kosteusvirrassa korkeampia arvoja, vaikka järjestelmässä on ollut päällä vain sähkövastukset ja lämpimän huoneilman kiertämys putkistoissa. Korkeita arvoja selittänee helmikuun kylmä ulkoilma, joka vaikuttaa ilman kykyyn sitoa vesihöyryä itseensä. Arvot kuvaajassa tältä ajalta ovat keskiarvoltaan noin 16,5 g/m²/h.

Sähkövastuspuolen kuvaajaa 26 tarkasteltaessa havaitaan, että järjestelmän menoilmassa on suurempia lämpötilan vaihteluita kuin Tulilattiapuolella. Tulilattiapuolen kuvaajassa lämpötila pysyy selvästi paljon vakaampana VEAB -kanavalämmittimen ansiosta. Sähkövastuspuolen menoilman lämpötila on kytköksissä tiiviisti tutkimustilan huoneilman lämpötilavaihteluiden kanssa.

4.7 Mittaustulosten epävarmuustekijät

Kokeessa havaittiin, että mittauspiste G1 100 antaa muista samalla syvyydellä olevista mittauspisteistä selvästi poikkeavia pienempiä arvoja. Mittauspisteen kosteudenkehitys oli kuvaajaltaan samanlainen kuin muilla, mutta mitatuissa suhteellisissa kosteuksissa on suuria eroja. Syy arvojen eroon on todennäköisesti se, että mittauspiste on liian lähellä sähkövastusta ja näin ollen sen ympäristö kuivuu nopeammin kuin muualla. Tulokset eivät tästä syystä ole vertailukelpoisia ja mittauspisteen antamat tulokset jouduttiin hylkäämään tarkasteluista.

Myös mittauspisteessä E2 25 havaittiin sama ongelma kuin mittauspisteessä G1 100. E2 25 pysyi kastelusta huolimatta todella kuivana verrattuna muihin 25 mm syvyydellä oleviin mittauspisteisiin. Sähkövastukset on asennettu rakenteen pohjalle, joten poikkeava kosteuden kehitys ei ole samalla tavalla perusteltavissa. On mahdollista, että mittauspisteelle on tapahtunut jotain muuta, joka vaikuttaa sen arvoihin.

Anturit kalibroitiin ennen kokeen suoritusta 20.9.2016. Kalibroituja mittareita myös käytettiin ennen tämän opinnäytetyön aloittamista tätä edeltäneessä diplomityössä. Saaduissa tuloksissa on otettava huomioon se, että mittapäiden tarkkuudessa tapahtuu ryömimistä. Ikääntyessään niiden näyttämätaso alenee vähitellen hidastuen.

Antureiden vähyys ja siirtely mittapisteiden välillä aiheuttaa epävarmuutta mittaustuloksiin. Mitattava data ei ole antureiden siirtelyn takia yhtenäistä ja rikkonaisuus näkyy saaduissa kuvaajissa suorina viivoina. Laatan kuivumiskäyttäytymisestä ei siis ole täysin tarkkaa tietoa.

Mittauspisteitä jouduttiin väleissä avaamaan antureiden kierrättämisen takia. Tästä yhteydessä mittaputkien sisällä oleva ilma pääsi sekoittumaan tutkimustilassa vallitsevan ilman kanssa, joka vaikuttaa osiltaan mittaustuloksiin. Mittaputkien tuulettumista huoneilman kanssa pyrittiin estämään mahdollisuuksien mukaan ja antureiden siirtotoimenpide pyrittiin pitämään mahdollisimman ripeänä.

Anturit mittasivat mittaputkissa vallitsevan ilmantilan suhteellista kosteutta. Mittaputket pyrittiin tiivistämään parhaalla mahdollisella tavalla, jotta huoneilma ei vaikuttaisi tuloksiin. Tiivistyksestä huolimatta mitattavaan putkeen jäi kuitenkin aina muutaman kuutiokesenttimetrin alue, joka vaikuttaa hieman tuloksiin sekä antureiden tasaantumiseen mittaputkissa. Antureiden tasaantumisajaksi on määritelty kolme tuntia, mutta niitä pidettiin aina yhdessä mittauspisteessä tätä pidempi aika varmempien lukujen saamiseksi.

Mittauksissa betonin lämpötilan tulisi olla lähellä rakenteen käyttölämpötilaa, joka on yleensä + 20 °C. Tarkimmat tulokset mittauksiin saadaan 15-25 °C lämpötilassa. Huoneilman lämpötila vaihteli kokeen edetessä huomattavasti ja se vaikutti myös mitattavien betonirakenteiden lämpötiloihin. Tutkimustilan lämpötilaa säädeltiin manuaalisesti sähköpattereilla ja optimilämpötilan pitäminen oli tästä syystä vaikeaa. Koe suoritettiin talviaikana ja ulkoilmalla oli suuri vaikutus tutkimustilan sisälämpötilaan myös tilan

huonon eristävyuden takia. Kokeen edetessä kävi selväksi, että tutkimuslaatan vaatimalla korkealla lämpötilalla oli suuri vaikutus mitattuihin suhteellisen kosteuden arvoihin. Tästä syystä koejärjestelylle suoritettiin tarkoituksen mukaisia lämpöjen alasajoja, jotta laatta saataisiin optimimittauslämpötilaan parhaalle mahdolliselle mittausalueelle. Alasajokokeiden tuloksissa on kuitenkin hyvä muistaa se, että kyseisten mittausten aikana tapahtuvat pienetkin lämpötilan muutokset voivat aiheuttaa joidenkin prosenttiyksiköiden muutoksen suhteellisen kosteuden arvoissa.

Tutkittavilla laatoilla oli suuri kokoero. Verrokkilaatta on huomattavasti pienempi kuin kuivatusputkistolla varustettu tutkimuslaatta. Tutkimuslaatan rakenteen ollessa huomattavasti raskaampi voidaan olettaa, että verrokkilaatta kuivuu sitä selkeästi nopeammin normaaliolosuhteissa. Rakenteiden haihtumispinta-alat ovat myös erisuuret, sen voidaan oletttavan vaikuttavan tuloksiin.

Oman epävarmuuden mittaustuloksiin tuo pintakosteudenilmaisin. Se ei mittaa rakenteen suhteellista kosteutta, vaan materiaalin sähköisiä ominaisuuksia. Näin ollen tulokset ovat hyvin suuntaa-antavia. Mitattaessa pintakosteuden osoittimella täytyi myös huomioida, että laitteen antamiin tuloksiin vaikuttivat herkästi se, miten laitetta pidettiin kädessä, laitteen mittauskulma ja laitteelle annettava paine mitattavaa pintaa vasten.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada tietoa Tulilattia -järjestelmän kuivatusominaisuuksista vesivahinkotilanteessa. Järjestelmän toimivuus tarkasteltavan rakenteen kuivattamisessa oli todettu jo aiemmin tehdyssä diplomityössä Tampereen teknillisellä yliopistolla. Tällöin järjestelmä poisti kosteutta uudessa valetussa betonirakenteesta ja se kuivui. Samaisen kovettuneen rakenteen kuivumiskäyttäytymisestä ei kuitenkaan ollut vielä mitään tietoa.

Tutkimuksessa saatiin kerättyä paljon dataa niin tutkimuslaatan eri mittauspisteistä kuin rakenteesta poistuvan kosteuden määrästä. Koe onnistui vaikkakin sen tarkastelujakso jäi lyhyeksi. Tuloksia alettiin saamaan vasta viimeisen kuukauden aikana ja jos tarkastelujaksoa olisi pidennetty esimerkiksi vielä kaksi kuukautta, olisivat tulokset olleet selkeämmin nähtävissä. Aikataulun pidentämiseen ei kuitenkaan ollut mahdollisuutta tämän opinnäytetyön puitteissa. Tuloksista on kuitenkin nähtävissä, että järjestelmä poistaa kosteutta rakenteesta ja että rakenne kuivuu. Kuivumista tapahtuu myös pinnoitettuna, mutta hitaammin.

Koejärjestely voitaisiin toistaa vertaamalla Tulilattian tarjoaman kuivatusjärjestelmän kuivatustehoa perinteisiin vesivahinkokuivaimiin. Näin saataisiin taulukoitua vertailutietoa, laattarakenteen kuivattamisesta sekä pinnan kautta kuivatettuna että rakenteen sisältä kuivatettuna.

Veden imeytystä laattoihin voisi kehittää siten, että heti kastelun jälkeen laatat peitettäisiin muovilla. Näin saataisiin minimoitua pinnalta haihtuva vesi imeytyksen alkuvaiheessa. Kalvo poistettaisiin pinnasta vasta sitten, kun varsinainen koe aloitettaisiin ja näin olisi käytössä myös suhteellisen tarkka tieto siitä, että kuinka paljon vettä rakenteisiin on imeytynyt.

Tutkittavilla laatoilla oli suuri kokoero. Jos tilat antaisivat myöten, niin tutkimusta kannattaisi jatkaa samankokoisilla laatoilla, jotta laattojen massat ja pinta-alat olisivat mahdollisimman vastaavanlaiset. Tämä vaatisi tietenkin sen, että koejärjestely olisi rakennettava uudelleen, sillä tutkimuksissa on hyvä käyttää samasta betonimassasta tehtyjä rakenteita, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään.

Tutkimustilan lämpötilan vaihtelut olivat tutkimuksen tavoitteisiin suhteutettuna epäedulliset. Suuret lämpötilavaihtelut johtuivat tilan huonosta eristävydestä. Tutkimustilan lämpötilan olisi hyvä pysyä tasaisena koko tarkastelujakson ajan, sillä silloin se vastaisi parhaiten todellista tilannetta. Lämpötilan vaihteluiden virheet mittaustuloksiin saataisiin siten myös minimoitua.

Koejärjestelyssä oli käytettävissä vain 14 mitta-anturia. Näiden määrää kannattaisi lisätä, sillä se vähentäisi epäjatkuvuuksia mittauspisteiden datassa. Nyt vain kuusi anturia jätettiin mittaamaan kiinteää pistettä. Verrokkilaatasta saatiin kerättyä koko koejakson ajalta jatkuvaa mittausdataa ja tuloksista saatiin selkeä kuva laatan kosteuskäyttäytymisestä koejakson ajalta. Jatkuvaa dataa olisi hyvä saada myös kuivatusputkistolla varustetusta laatasta ainakin joidenkin mittauspisteiden osalta. Jatkuvassa mittauksessa on toki muistettava, että siihenkin muodostuu epätarkkuutta.

Saatu mittausdata oli antureiden vähyyden ja siirtelyn takia hyvinkin rikkonaista. Data jouduttiin yhdistelemään useasta eri tiedostosta, jotta se saatiin mahdollisimman yhtenäiseksi. Datan ulkoasua jouduttiin myös jalostamaan tiedon keruun ohella, jotta siitä oli mahdollista tehdä selventäviä kuvaajia. Tiedonkeruuta voisi kehittää siten, että kerätyn datan työstäminen tuloksiksi ei vaatisi niin suurta työtä kuin nyt. Käyttövalmiimpi data varmistaisi myös sen, että tietojen yhdistelyissä sattuvat mahdolliset virheet minimoituisivat.

Kokeessa suoritettiin kolme kastelua. Osasyyn tähän oli aikataululliset syyt ja käytännön esteet. Seuraavaa koetta ajatellen kannattaa kirjoittaa selkeä aikataulu, että mitä tehdään ja milloinkin. Pitää myös varmistua siitä, että edellytykset kokeen etenemiselle ovat merkittävänä päivinä varmat, eikä turhia välivaiheiden pitkittymisiä pääse näin syntymään. Käytännön syistä esimerkiksi kastelun vaatimaa vesimäärää oli vaikea saada koepaikalle ja laatan kasteluun tuli tästä syystä viiveitä.

Aikataulun selkeyttäminen auttaisi myös kokeen ajanhallintaan. Tämän opinnäytetyön tarkastelujakso jäi lyhyeksi ja se vaikutti tulosten määrään. Aikataulua myöhästytti suuresti laattojen kastelemisen pitkittyminen ja tästä syystä saaduissa tuloksissa on luettavissa vain kuivumiskäyttäytymisen alkusuunta.

LÄHTEET

- Ahonen, G., Alenius, H., Holopainen, R., Lappalainen, S., Palomäki, E., Reijula, K., Reiman, M. 2012. Rakennusten kosteus- ja Homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu. Eduskunta.
- Ahvenainen, V. 2016. Betonilaatan kuivatus lämminilmaputkistolla. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.
- Annala, P. tohtorikoulutettava. 2017. Esitys 26.1.2017. Combi -hankkeen yleisöseminaari. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus: Rakennusfysiikka. Rakennustieto Oy.
- by 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2012. 7. painos. Suomen betoniyhdistys ry.
- Haapaniemi, M. 2014. Vuotovahinkoselvitys 2012-2013. Finanssialan Keskusliitto.
- Hedenblad, G. 1993. Torktider för betong efter vattenskada. Formas.
- Leivo, V., Rantala, J. 2002. Maanvastaiset alapohjarakenteet - kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. Tampereen teknillinen yliopisto.
- Lumme, P., Merikallio, T. 1997. Betonin kosteuden hallinta. Suomen betonitieto Oy.
- Merikallio, T. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Suomen Betoni Oy.
- Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Suomen Betonitieto Oy.
- Niemi, S. 2010. Betonirakenteiden kosteuden mittaaminen ja onnistunut päällystäminen. Rakennustieto Oy.
- Pitkäranta, M. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöministeriö 2016.
- RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. 2012. Suomen Rakennusinsinöörienliitto RIL ry.
- RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja kosteusvaurioiden estäminen. 2011. Suomen Rakennusinsinöörienliitto RIL ry.
- RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka. 2014 . Suomen Rakennusinsinöörienliitto RIL ry.
- Sisäilmayhdistys ry. 2017. Luettu 2.4.2017. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Terveysvaikutukset/Mikrobien-terveyshaitat>.
- Tulilattiat Oy. 2017. Luettu 2.4.2017. <http://www.tulilattia.fi/kuivatus>.

LIITTEET

Liite 1. Antureiden siirtoloki

	21:00	18:40	21:30	21:00	20:00	11:30	13:30	23:30	12:30	23:00	8:30	19:00	20:00	16:00	20:30
ANTURI	9.12.2016	13.12.2016	17.12.2016	21.12.2016	30.12.2016	2.1.2017	4.1.2017	30.1.2017	31.1.2017	31.1.2017	1.2.2017	6.2.2017	8.2.2017	9.2.2017	11.2.2017
epäkunnossa 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	E3	-	-	D3 48	H1 48	C2 100	E3 48	D2 100	F2 48	C3 48	G1 25	-	F2 25	H1 48	E2 48
3	C2 48	-	-	D2 48	F2 100	A4	G1 48	F1 48	F3 48	E2 100	-	-	D1 48	A3	C2 48
4	G1 48	-	G1 100	D2 100	F3 48	C1 48	G1 100	D3 48	F2 100	E1 48	-	-	B1 48	A4	C2 25
5	A5	irroitettu*	-	-	-	-	-	B1 48	A1	C1 48	E2 25	-	D2 48	A1	C1 48
6	verrokki	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	C2 25	-	-	D2 25	huoneilma**	C2 48	E2 25	D2 48	A4	C2 25	G1 48	-	F1 48	F3 48	E2 100
8	D1 48	-	-	-	F2 48	A3	G1 25	F2 25	H1 48	E2 48	-	-	D2 25	A2	C2 100
9	F2 25	-	huoneilma**	B1 48	F2 25	A2	C3 48	D1 48	A2	C2 100	E3 100	-	D2 100	F2 48	C3 48
10	merolima Tuuli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	merolima sähkö	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	peluulima sähkö	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
epäkunnossa 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	peluulima Tuuli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	E2 25	-	-	F1 48	C2 25	C2 25	E2 100	D2 25	A3	C2 48	G1 100	-	D3 48	F2 100	E1 48
16	huoneilma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* anturi irroitettu kokonaan, lähetetty Vahaselle

** anturi otettu ulos tasaantumaan, kavi liian lähellä 100 %RH

↑
lähtöarvoja↑
6.2. matto asennettu puolikkaalle laastalle

ANTURI	15:00	17:00	19:45	16:45	16:45	17:45	18:00	13:00	12:45	19:30	16:30	13:15	18:30	17:45	17:15
	13.2.2017	14.2.2017	15.2.2017	16.2.2017	17.2.2017	20.2.2017	22.2.2017	24.2.2017	27.2.2017	2.3.2017	5.3.2017	11.3.2017	11.3.2017	12.3.2017	28.3.2017
epäkunnossa 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	G1 25	F3 48	H1 48	G1 100	G1 48	A1	A3	B1 48	D1 48	A1	C2 100	B1 48	D2 100	A1	E1 48
3	B1 48	D2 48	A1	E3 48	D3 48	H1 48	E1 48	G1 25	F2 25	F3 48	E2 48	G1 48	F3 48	C2 48	-
4	E2 25	F1 48	A4	E2 100	D2 25	F2 48	C2 48	E3 48	G3 48	C1 48	E1 48	E3 48	F2 48	C1 48	C3 48
5	D2 25	D3 48	A3	E2 48	D2 48	F2 100	C2 25	G1 100	F1 48	F2 100	E2 100	G1 100	F2 100	C2 100	-
6	verrokki	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	G1 48	F2 100	C2 48	C2 25	B1 48	F1 48	C1 48	E2 48	D2 48	A3	C2 25	D2 25	F1 48	A3	E2 48
8	D1 48	G2 100	A2	E2 25	D2 100	F3 48	C3 48	G1 48	F2 48	H1 48	E2 25	G1 25	H1 48	C2 25	-
9	E3 48	F2 25	C1 48	E1 48	D1 48	F2 25	C2 100	E2 25	D2 100	A4	C3 48	D2 48	F2 25	A4	E2 25
10	meroilma Tuuli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	meroilma sähkö	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	paluulima sähkö	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
epäkunnossa 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	paluulima Tuuli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	G1 100	F2 48	C2 100	C3 48	G1 25	A2	A4	E2 100	G2 25	A2	C2 48	D1 48	D3 48	A2	E2 100
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

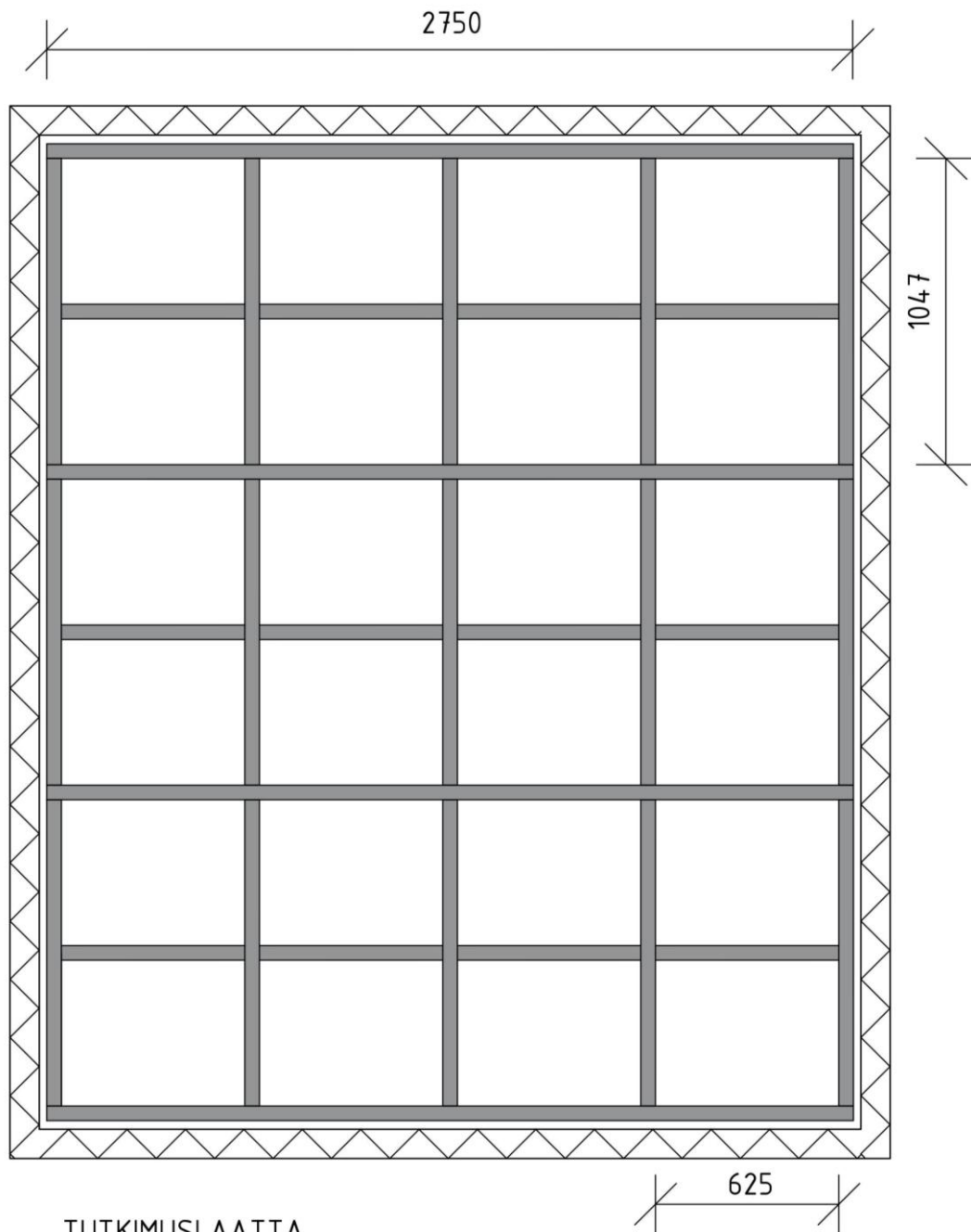
↑ 24.2. kuivain asennettu ja käynnistetty

↑ 8.3. lämpöjen alasajo

ANTURI epäkunnossa 1	17:00		8:15		19:00		8:00		16:00		23:45	
	2.4.2017	3.4.2017	3.4.2017	3.4.2017	3.4.2017	3.4.2017	14.4.2017	14.4.2017	14.4.2017	14.4.2017	14.4.2017	14.4.2017
2	E3 48	F3 48	C2 48	G1 100	D2 100	F3 48						
3	D1 48	F2 48	C1 48	C3 48	B1 48	-						
4	D2 48	F2 25	A4	E1 48	D1 48	A3						
5	B1 48	F2 100	C2 100	E3 48	G1 25	G1 48						
6	verrokki	-	-	-	-	-						
7	G1 48	D2 100	A1	E2 100	D2 25	F2 48						
8	D2 25	F1 48	A3	E2 25	F1 48	F2 25						
9	G1 25	H1 48	C2 25	G1 48	D3 48	H1 48						
10	menolima tuli	-	-	-	-	-						
11	menolima sähkö	-	-	-	-	-						
12	paluulima sähkö	-	-	-	-	-						
epäkunnossa13	-	-	-	-	-	-						
14	paluulima tuli	-	-	-	-	-						
15	G1 100	D3 48	A2	E2 48	D2 48	F2 100						
16	-	-	-	-	-	-						

→
13.4. lämpöjen alasarjo

Liite 2. Rimoituksen asennuskuv



TUTKIMUSLAATTA

4 kpl 2750 mm

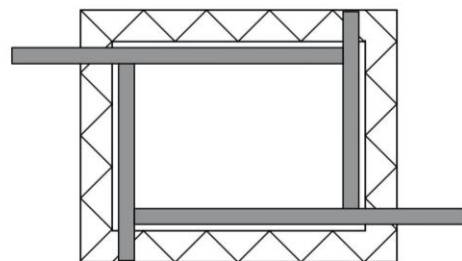
15 kpl 1047 mm

12 kpl 625 mm

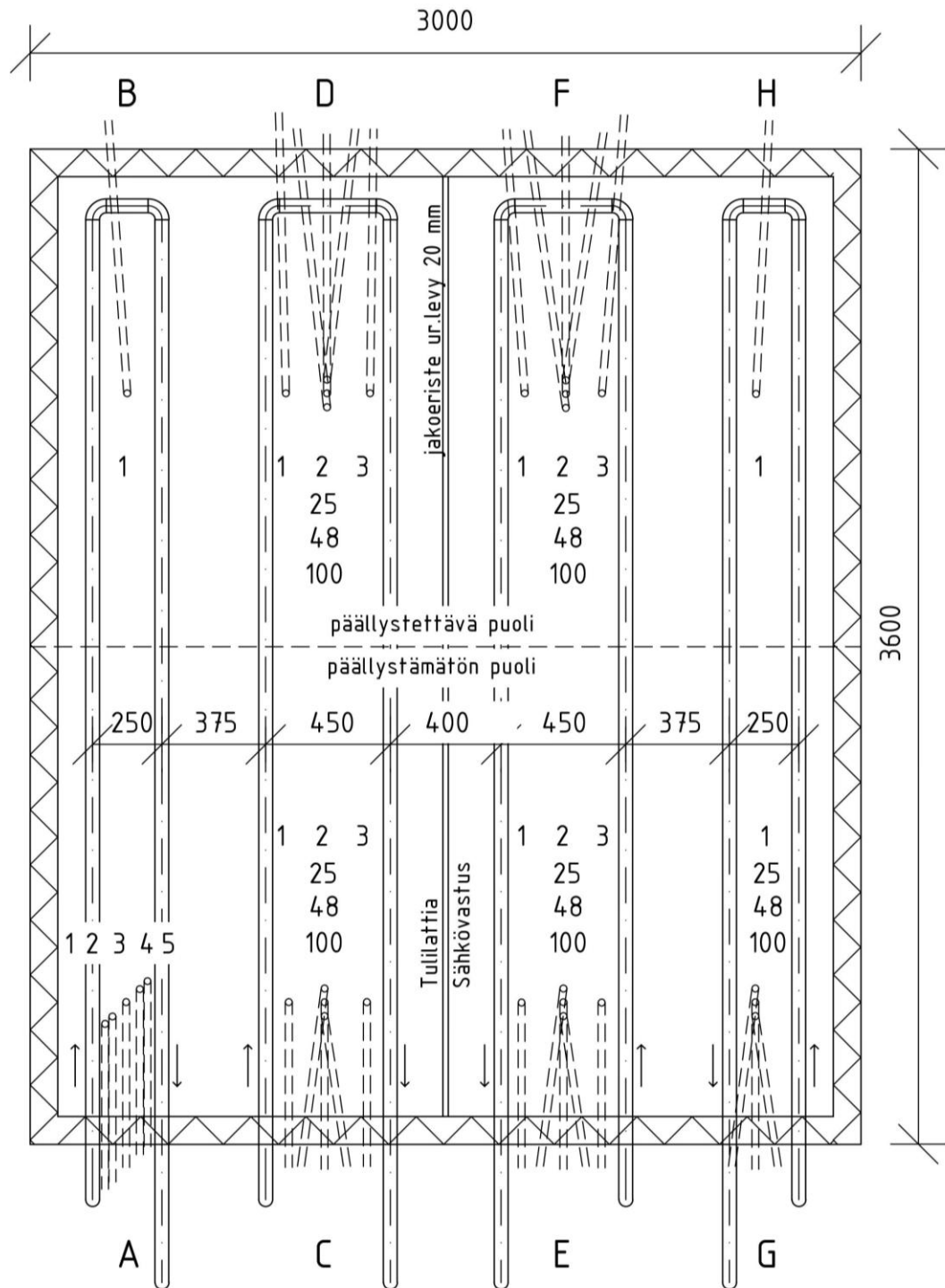
VERROKKILAATTA

2 kpl 1047 mm

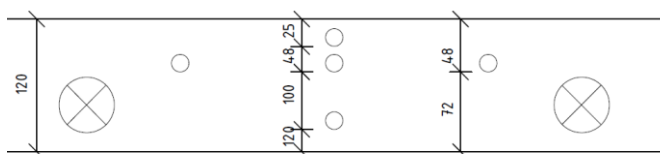
2 kpl 625 mm



Liite 3. Pohjakuva laatasta mittapisteineen

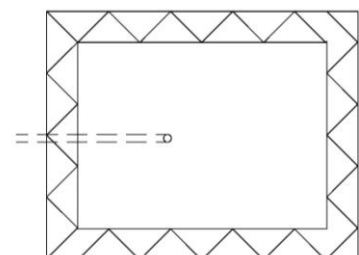


HAVAINNEKUVA MITTAUSPUTKIEN SIIJOITUMISESTA RAKENTEESSEN PYSTYSUUNNASSA (k450)



sähköputkien alareunaan on lovennettu 10 mm aukko, putkien päät on eristetty ilmastointiteipillä

VERROKKILAATAN MITTAUSPISTE



Liite 4. Antureiden kalibrointitodistus

VAHANEN

20.9.2016

TULILATTIA OY
Lapinniemenranta 4
33180 Tampere

KALIBROINTITODISTUS

Vaisala Oy:n valmistamat kosteus- ja lämpötilamittapäät kalibroitiin kolmessa eri suolaliuoksessa huoneenlämmössä Vaisala Oy:n valmistamalla HMK 13B kosteuskalibrointilaitteella, jonka oikeellisuus varmistetaan HMP233 kosteus- ja lämpötilälähettimillä. Lähettimien oikeellisuutta seurataan Vaisala Oy:n valmistamalla HMK15 kosteuskalibraattorilla.

Kosteus- ja lämpötilamittapää HMP40S

Kosteus- ja lämpötilamittapäiden näyttämät lukemat ennen kalibroinnin perusteella tehtyä ohjelmointia.

Referenssit RH ja lämpötila		10,8 %	74,1 %	99,1 %	22,8 °C
tunniste	sarjanumerot				
1	M1340653	12,6 %	75,1 %	97,2 %	22,8 °C
2	M1340654	12,4 %	75,3 %	97,3 %	22,8 °C
3	M1340655	11,5 %	73,3 %	96,4 %	22,9 °C
4	M1340649	12,5 %	73,6 %	96,0 %	22,9 °C
5	M1340658	12,5 %	73,4 %	96,9 %	22,9 °C
6	M1340645	12,4 %	73,3 %	96,3 %	22,8 °C
7	M1340650	11,6 %	72,8 %	96,5 %	22,8 °C

Kalibroinnin perusteella tehdyssä ohjelmoinnissa mittapäihin tallennetut referenssilukemat

		RH				T			
		ref.	Kalib	ref.	Mit	ref.	Kalib		
1	M1340653	10,8 %	10,8 %	74,7 %	73,9 %	97,2 %	97,2 %	23,6 °C	23,6 °C
2	M1340654	10,8 %	10,8 %	73,7 %	74,0 %	97,9 %	97,9 %	23,7 °C	23,7 °C
3	M1340655	10,8 %	10,8 %	73,7 %	72,3 %	97,9 %	97,9 %	23,7 °C	23,7 °C
4	M1340649	10,8 %	10,8 %	74,2 %	74,5 %	97,3 %	97,3 %	23,1 °C	23,1 °C
5	M1340658	10,8 %	10,8 %	74,2 %	73,5 %	97,3 %	97,3 %	23,1 °C	23,1 °C
6	M1340645	10,8 %	10,8 %	74,4 %	75,0 %	97,4 %	97,4 %	23,2 °C	23,2 °C
7	M1340650	10,8 %	10,8 %	74,4 %	73,1 %	97,4 %	97,4 %	23,2 °C	23,2 °C

Kalibroinnin perusteella tehdyssä ohjelmoinnissa mittapäihin tallennetut referenssilukemat on rajattu sinisellä.

Ohjelmoinnin jälkeen mittapäiden näyttämät tarkastettiin 75 % RH referenssikosteudessa.

Espoossa 20.9.2016



Kyösti Nieminen
asiantuntija, laboratorio

TULILATTIA OY
Lapinniemenranta 4
33180 Tampere

KALIBROINTITODISTUS

Vaisala Oy:n valmistamat kosteus- ja lämpötilamittapäät kalibroitiin kolmessa eri suolaliuoksessa huoneenlämmössä Vaisala Oy:n valmistamalla HMK 13B kosteuskalibrointilaitteella, jonka oikeellisuus varmistetaan HMP233 kosteus- ja lämpötilalähettimillä. Lähettimien oikeellisuutta seurataan Vaisala Oy:n valmistamalla HMK15 kosteuskalibraattorilla.

Kosteus- ja lämpötilamittapäät HMP40S

Kosteus- ja lämpötilamittapäiden näytämät lukemat ennen kalibroinnin perusteella tehtyä ohjelmointia.

Referenssit RH ja lämpötila		10,8 %	74,3 %	97,7 %	23,2 °C
tunniste	sarjanumerot				
8	M1340646	11,5 %	73,0 %	95,1 %	23,2 °C
9	M1340651	12,8 %	75,0 %	95,6 %	23,2 °C
10	M1340648	12,6 %	75,2 %	95,6 %	23,3 °C
11	M1340656	11,4 %	72,3 %	95,2 %	23,1 °C
12	M1340644	11,9 %	72,0 %	95,6 %	23,1 °C
13	M1340647	12,0 %	72,7 %	95,2 %	23,1 °C
14	M1340652	11,7 %	73,1 %	95,7 %	23,2 °C
Referenssit RH ja lämpötila		10,8 %	74,1 %	98,9 %	22,9 °C
15	M1340657	12,6 %	74,7 %	96,3 %	23,1 °C

Kalibroinnin perusteella tehdyssä ohjelmoinnissa mittapäihin tallennetut referenssilukemat

		RH				T			
		ref.	Kalib	ref.	Mit	ref.	Kalib		
8	M1340646	10,8 %	10,8 %	74,6 %	74,3 %	97,9 %	97,9 %	23,2 °C	23,2 °C
9	M1340651	10,8 %	10,8 %	74,6 %	74,1 %	97,9 %	97,9 %	23,2 °C	23,2 °C
10	M1340648	10,8 %	10,8 %	74,7 %	75,4 %	97,2 %	97,2 %	23,6 °C	23,6 °C
11	M1340656	10,8 %	10,8 %	73,9 %	73,6 %	97,6 %	97,6 %	23,6 °C	23,6 °C
12	M1340644	10,8 %	10,8 %	73,9 %	72,7 %	97,6 %	97,6 %	23,6 °C	23,6 °C
13	M1340647	10,8 %	10,8 %	73,9 %	74,1 %	97,3 %	97,3 %	23,4 °C	23,4 °C
14	M1340652	10,8 %	10,8 %	73,9 %	72,5 %	97,3 %	97,3 %	23,4 °C	23,4 °C
15	M1340657	10,8 %	10,8 %	73,8 %	74,0 %	97,9 %	97,9 %	23,2 °C	23,2 °C

Kalibroinnin perusteella tehdyssä ohjelmoinnissa mittapäihin tallennetut referenssilukemat on rajattu sinisellä. Ohjelmoinnin jälkeen mittapäiden näytämät tarkastettiin 75 % RH referenssikosteudessa.

Espoossa 20.9.2016



Kyösti Nieminen
asiantuntija, laboratorio

Liite 5. Betonimassan laboratoriotuloste

Laboratoriotuloste
Kuormakirja: 74774

1.4.2016

Reseptin tiedot

Koodi	76318	Kloridipitoisuusluokka	Cl 0,20
Suhteitusryhmä	LATTIABETONI/LN	Suojahuokossuhde	0,00
Lajuusluokka	C25/30	Vesi-sementtisuhte	0,00
Notkeusluokka	S3		
Raekoko	16		
Huomautuksia			
Rasitusluokat	[XC1:50,100,-] [XC2:50,100,-] [X0:50,100,-] [XC3:50,-,-] [XC4:50,-,-]		

Kuormakirjan tiedot

Vastuosasto		Myläri	LBTRE
Projekti/Viite		Sekoitin	I
Asiakasnumero		Valmistus alkoi	1.4.2016 7:40:13
Asiakas	TULILATTIA OY	Valmistus päättyi	1.4.2016 7:40:13
Toimitusosoite	ATANVÄYLÄ 1/TAMPERE	Kuorman koko	
Suunniteltu käyttöikä	50	Tavoite	1,50m³
Rasitusluokat	XC1	Toteutunut	1,45m³

Komponentit

Komponentti	CEM 2/42,5N/4	0-8	6-16	fill	Kylmä vesi
Tavoite	450,00kg	1 544,32kg	829,76kg	451,50kg	64,97kg
Toteutunut	460,40kg	1 499,00kg	837,00kg	454,00kg	64,90kg
Virhe	10,40kg/2,31%	-45,32kg/-2,93%	7,24kg/0,87%	2,50kg/0,55%	-0,07kg/-0,10%
Lämpötila	15,00°C	61,00°C	35,00°C	24,00°C	10,00°C
Kosteus-%		4,10%	1,50%	7,50%	
Absorptio-%	1,00%	0,60%	0,30%	0,10%	
Aktiivisuuskertoin	1,00				
Komponentti	Kauma vesi	NOTKISTIN/3			
Tavoite	97,45kg	1,35kg			
Toteutunut	97,70kg	1,40kg			
Virhe	0,25kg/0,26%	0,05kg/3,70%			
Lämpötila	60,00°C	15,00°C			

Yhteenveto (yhdele kuutiolle betonia)

Vesimäärä	Sementtimäärä	Vesi-sementtisuhte (w/c)
Tavoite	Tavoite	Tavoite
200,00kg	300,00kg	0,67
Toteutunut	Toteutunut	Toteutunut
182,63kg	316,48kg	0,58
Tavoite tehollinen	Tavoite EN206-1	Tavoite EN206-1
192,19kg	300,00kg	0,64
Toteutunut tehollinen	Toteutunut EN206-1	Toteutunut EN206-1
174,45kg	316,48kg	0,55
	Sementtiseosainemäärä	Vesi/(sementti + k x seosaine)-suhte
	Tavoite EN206-1	Tavoite EN206-1
	300,00kg	0,64
	Toteutunut EN206-1	Toteutunut EN206-1
	316,48kg	0,55
Kiviaineksen tilavuusosuus	69,60%	
Kiviaineksen massaosuus	78,69%	
Betonipasta	304,02l/m³	
Suhteellinen kutistuma	0,792mm/m³	