

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka, Lappeenranta
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Rakennustuotannon suuntautumisvaihtoehto

Janne Matikainen

Wiiste-järjestelmän käyttö rakennusliikkeen kosteudenseurannassa

Opinnäytetyö 2019

Tiivistelmä

Janne Matikainen

Wiiste-järjestelmän käyttö rakennusliikkeen kosteuden seurannassa, 48 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka, Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Rakennustuotannon suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2019

Ohjaajat: lehtori Timo Lehtoviita, Saimaan ammattikorkeakoulu,
toimitusjohtaja Juha Nousiainen, Rakennustoimisto Nousiainen Oy

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada urakoitsijalle parempi osaaminen kosteudenseurantaan ja antaa valmiudet Wiiste-järjestelmän käyttöön työmaalla. Tavoitteena oli myös perehtyä Kuivaketju10-toimintamalliin.

Opinnäytetyössä vertailtiin Wiisteen ja porareikämittauksien antamia mittaustuloksia toisiinsa. Mittaustulokset muutettiin suhteellisesta kosteudesta vesihöyrypitoisuuteen ja siitä vielä teoreettiseksi suhteelliseksi kosteudeksi 25 celsiusasteen lämpötilassa. Tämä muutos mahdollisti mittaustulosten vertailun. Työssä myös käytiin yksityiskohtaisesti läpi Kuivaketju10-toimintaohjeet.

Kuivaketju10 perehdyttäessä huomattiin, että Kuivaketju10 on osaltaan helpottanut rakennustyömaan kosteudenhallintaa antamalla sille selvät vaatimukset jo suunnittelusta lähtien. Kuivaketju10 antaa myös selvät ohjeet rakennustyön aikaiseen kosteudenhallintaan riskilistan ja todentamisohjeen muodossa.

Vertailutuloksia tarkastellessa huomattiin, että suurta eroa ei teoreettisissa suhteellisissa kosteuksissa ollut. Jos suurempaa eroavaisuutta oli, sille yleensä löytyi selitys mittauspaikasta tai sen läheisyydestä.

Asiasanat: Kosteudenhallinta, Kuivaketju10, kosteuden mittaus, kosteudenseuranta, Wiiste

Abstract

Janne Matikainen

The usage of Wiiste in construction company's moisture monitoring, 48 pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology, Lappeenranta

Degree Programme in Civil and Construction Engineering

Specialisation in Building production

Bachelor's Thesis 2019

Instructors: Mr Timo Lehtoviita, Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences

Mr Juha Nousiainen, CEO, Rakennustoimisto Nousiainen Oy

The goal of this thesis is to get better knowledge of moisture monitoring for the contractor and to give readiness for the usage of Wiiste on site. The goal was also to familiarize oneself with Kuivaketju10 operating model. Kuivaketju10 operating model is presented in detail in the thesis.

The results of Wiiste and drill hole measurement were compared to each other. The results were changed from relative humidity to water vapor concentration and from that to theoretical relative humidity at 25 °C. This change made it possible to compare the results.

When viewing the results, it was noticed that there were no big differences in theoretical relative humidities. If there were bigger differences, the explanation was usually found in the location of measurement or near it.

Keywords: Moisture management, Kuivaketju10, moisture measurement, moisture monitoring, Wiiste

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Kosteudenhallinta	6
2.1	Kosteudenhallinnan suunnittelu	6
2.2	Työmaan kosteudenhallintasuunnitelma	7
2.3	Kosteudenhallintasuunnitelma ja sen noudattaminen	8
2.4	Valvontasuunnitelma	9
2.5	Kosteudenhallinta ja aikataulu	10
3	Kuivaketju10	10
3.1	Tilaaminen	11
3.2	Suunnittelu	12
3.3	Työmaatoteutus	13
3.4	Käyttöönotto	13
3.5	Käyttö	14
3.6	Riskilista ja todentamisohje	15
3.7	Kosteudenhallintakoordinaattori	16
4	Kosteuden mittaus ja kosteudenseuranta	16
4.1	Kosteudenmittaus	16
4.2	Kosteudenseuranta betonissa olevilla antureilla	20
4.3	Palveluita tuottavat yritykset	20
5	Wiisteen kosteudenmittausjärjestelmä	21
5.1	SolidRH RD1	22
5.2	IoT-anturi	22
5.3	SolidRH SH1	23
5.4	SolidRH SH3	24
5.5	SolidRH SH4	24
5.6	SolidRH SHR	25
5.7	Relia	26
6	Esimerkkikohde: Uomarinteen koulun laajennus	26
6.1	0. kerros	28
6.2	1. kerros	31
6.3	2. kerros	37
6.4	IV-konehuone	42
7	Päätelmät	44
	Lähteet	46

1 Johdanto

Opinnäytetyö tehdään Rakennustoimisto Nousiaiselle, joka on Suomessa Uudenmaan alueella toimiva rakennusliike. Rakennustoimisto Nousiainen työllistää noin 30 henkilöä. Rakennustoimisto Nousiaisella on myös valmiudet valmistaa teräsrunkorakenteita, koska heillä on toimitilojen yhteydessä pieni konepaja, jossa työskentelee viisi metallialan ammattilaista. Henkilöstön ammattitaitoa pidetään yllä tarjoamalla heille lisäkoulutusta.

Työn aiheena on Wiiste-järjestelmän käyttöönotto rakennusliikkeen kosteuden seurannassa. Työn päätavoitteena on saada urakoitsijalle parempi osaaminen kosteudenseurantaan ja antaa valmiudet Wiiste-järjestelmän käyttöön työmaalla. Samalla perehdytään Kuivaketju10-järjestelmään ja sen työmaata koskeviin vaatimuksiin.

Valmiudet Wiiste-järjestelmän käyttöön toteutetaan Wiisteen ja Relian käyttöohjeilla, jotka tuotetaan Rakennustoimisto Nousiaisen omaan käyttöön. Wiisteen ja Relian käyttöohjeet tehdään PowerPoint-esityksenä, joka jaetaan Rakennustoimisto Nousiaisen omalla palvelimella työmaiden käyttöön.

Opinnäytetyössä vertaillaan myös Uomarinteen koulun laajennuksen betonilattiavalujen Wiisteen antureiden ja porareikämittausten ilmoittamia suhteellisen kosteuden arvoja. Mittaustapojen ilmoittamat arvot muutetaan teoreettiseksi suhteelliseksi kosteudeksi 25 celsiusasteen lämpötilassa, jotta niitä pystytään vertailemaan toisiinsa.

2 Kosteudenhallinta

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen laatimisesta. Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen on sisällyttävä hankkeen yleistiedot, vaatimukset kosteudenhallinnalle hankkeen eri vaiheissa, toimenpiteet ja menettelyt kosteudenhallinnan vaatimusten varmentamiseen sekä kosteudenhallinnan henkilöresurssit. Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen on sisällyttävä myös tieto hankkeen kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavasta henkilöstä. (Ympäristöministeriön asetus 782/2017)

Pääurakoitsija suunnittelee kosteudenhallinnan työmaalla rakennuttajan asettamien tavoitteiden pohjalta. Pääurakoitsijan tulee tarkentaa sekä täydentää rakennuttajan laatima kosteudenhallinta-asiakirja työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaksi. (Kosteudenhallinta 2019b.)

2.1 Kosteudenhallinnan suunnittelu

Tilaajan tulee kirjata urakkatarjouspyyntöasiakirjoihin urakoitsijoille asettamansa vaatimukset kosteudenhallinnan toimenpiteiden tasosta ja laajuudesta sekä vastuunjaosta. Suunnitellessa työmaata tulee ottaa huomioon tilaajan omat ohjeistukset sekä erikseen antamat hankekohtaiset ohjeet esimerkiksi sääsuojien käytöstä. (Kosteudenhallinta 2019e.)

Rakennuttajan tulee sisällyttää kosteudenhallintasuunnitelma tarjouspyyntöasiakirjoihin. Kosteudenhallintasuunnitelma on tehty suunnitteluvaiheessa. Urakoitsija voi ottaa kosteudenhallintasuunnitelmassa olevat tiedot huomioon omassa kosteudenhallintasuunnittelussaan. Tällä tavoin suunnittelijoiden ja tilaajan havaitsemiin erityisen riskialttiisiin toimenpiteisiin voidaan kiinnittää erityistä huomiota. (Kosteudenhallinta 2019e.)

Jos kyseessä on olevan rakennuksen korjaus- ja muutostyöt, niin urakkatarjouspyyntöihin tulee sisällyttää rakennuksesta teetetyt kosteus- ja rakennustekniset kartoitukset ja tutkimukset. Tämä tulee tehdä sen takia, että tarjoajat voivat ottaa niissä esitetyt asiat huomioon omassa tarjouslaskennassaan. (Kosteudenhallinta 2019e.)

2.2 Työmaan kosteudenhallintasuunnitelma

Tilaajan asettamien vaatimusten sekä suunnitteluvaiheessa tehdyn kosteudenhallintasuunnitelman pohjalta tulee laatia työmaan kosteudenhallintasuunnitelma. Esimerkki työmaan kosteudenhallintasuunnitelmasta on esitetty kuvassa 1. Tässä työmaan omassa kosteudenhallintasuunnitelmassa kuvataan, mitä konkreettisia toimia työmaalla tehdään, jotta kosteudenhallinnan tavoitteet saavutetaan. (Kosteudenhallinta 2019e.)

Tilaajan tulee määritellä, missä vaiheessa rakentamista tulee käyttää sääsuojaa ja kuinka kattava sen tulee olla. Tilaajan tulee myös nimetä urakoitsija, joka vastaa sääsuojauksesta sekä sääsuojauksen hankinnasta. Tilaajan tulee määritellä reunaehdot, joissa esitetään tarkasti ja yksiselitteisesti varastotilojen toimittamisen ja rakennustarvikkeiden, rakennusosien ja rakenteiden kosteudenhallinnan urakkarajat. (Kosteudenhallinta 2019e.)

Tilaajan tulee hyväksyä pääurakoitsijan esittämät kriittisten rakenteiden kuivumisaika-arviot ja näiden kuivumiseen liittyvä aikataulu, sääsuojasuunnitelma, työmaan olosuhteiden hallinta, varastotilat sekä tarvikkeiden ja varastoinnin aikainen kosteus- ja sääsuojaus. Tilaajan tulee myös hyväksyä pääurakoitsijan laatima kosteusmittausuunnitelma. (Kosteudenhallinta 2019e.)

Työmaan tulee varautua kosteusvaurioiden syntymiseen. Mahdollisesti kastuneille rakennustarvikkeille, rakennusosille sekä rakenteille esitetään vastuurajat sekä toimenpiteet kosteudenhallintasuunnitelmassa. Kosteudenhallintasuunnitelmasta selviää, millä tavoin kastuneita rakenteita, rakennustarvikkeita sekä rakennusosia tulee kuivata ja miten niiden kuivumista seurataan seurantamittauksilla. (Kosteudenhallinta 2019e.)

1. Yleistiedot	
• perustiedot	
• vastuuhenkilöt	
2. Laatutavoitteet	
• rakennuttajan laatutavoitteet	
• urakoitsijan laatutavoitteet	
3. Kosteusriskit	
• suunnittelijan riskianalyysi	
• valittu menettelytaso	
• kriittiset rakenteet, materiaalit ja työtavat	
• toimenpiteet	
4. Kuivumisajat	
• päällystämiseen liittyvät raja-arvot materiaaleittain	
• rakenteiden kuivumisajat	
• aikataulusuunnittelu	
• toimenpiteet, jos rakenne ei kuivu suunnitellussa ajassa	
5. Olosuhdehallinta	
• materiaalien ja rakenteiden suojaus ja varastointi	
• työnaikaisten vesivuotojen torjunta	
• kuivumisolosuhteet (lämpötila, suhteellinen kosteus, tuuletus)	
6. Erityisohjeet	
• märkätilat	
• muut erityistilat	
7. Valvonta ja mittaus	
• valvonnan organisointi	
• kosteusmittausuunnitelma	
• muut mittaukset	
• allekirjoitus (kosteudenhallinnasta vastaava, vastaava mestari, rakennuttaja, rakennesuunnittelija)	

Kuva 1. Esimerkki työmaan kosteudenhallintasuunnitelman sisällöstä (Kosteudenhallinta 2019a)

2.3 Kosteudenhallintasuunnitelma ja sen noudattaminen

Yksi kosteudenhallinnan periaatteista on se, että jokaisella rakennustyömaalla työskentelevällä henkilöllä on velvollisuus huolehtia ja tiedostaa omat vastuunsa, jotka liittyvät oleellisesti kosteudenhallintaan. Jos työntekijä havaitsee kosteusriskejä tai vaurioita, tulee hänen ilmoittaa välittömästi työnjohdolle tai lähimmälle esimiehelleen. Ilmoitusvelvollisuus on periaatteessa sama kuin työturvallisuushavainnoissa. (Kosteudenhallinta 2019c.)

Kosteudenhallintavastaavaksi tulisi työmaalta nimetä henkilö, jotta vastuu kosteudenhallinnasta kokonaisuutena olisi selkeästi määritetty. Kyseisen henkilön tiedot tulee löytyä kosteudenhallintasuunnitelmassa olevasta liitteestä, joka on nimeltään vastuunjakotaulukko. Samassa liitteessä tulee olla myös kosteudenhallinnan osa-alueista vastaavat henkilöt ja heidän allekirjoitukset. Tämä sen takia, että he ovat ymmärtäneet vastuunsa ja tutustuneet kosteudenhallintaan liittyviin asiakirjoihin. Vastuunjakotaulukossa tulisi olla myös kosteudenhallintaan oleellisesti liittyvien suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja henkilöiden tiedot sekä kuittaukset. (Kosteudenhallinta 2019c.)

2.4 Valvontasuunnitelma

Valvontasuunnitelman laatiminen on yksi työmaan valvojan tehtävistä. Suunnitelman tulee sisältää tarkastusmenettelyt työmaa-aikaiselle kosteudenhallinnalle. Kosteustekninen laadunvarmistuksen tarkistuslista tulee myös löytyä valvontasuunnitelmasta. Valvojan tehtävänä on myös tarkastaa ja kommentoida pääurakoitsijan laatimaa kosteudenhallintasuunnitelmaa. Tämä kosteudenhallintasuunnitelma koskee koko työmaan kokonaisuutta. (Kosteudenhallinta 2019c.)

Jotta kosteudenhallinta toteutuisi suunnitellulla tavalla on työmaan valvojan valvottava sen toteutumista rakentamisen aikana. Jos mahdollisia poikkeamia ilmenee, on niihin reagoitava mahdollisimman nopeasti. Mahdolliset poikkeamat ja niiden aiheuttamat toimenpiteet on kirjattava tarkastusasiakirjaan. Rakennusvalvontaviranomaisille tulee ilmoittaa mahdollisimman nopeasti poikkeamasta, joka on vähäistä suurempi. Tämä tulee tehdä sen takia, jotta selvitykset ja toimenpiteet voidaan käynnistää viipymättä. Tällä tavoin pyritään estämään mahdollisia terveydellisiä haittoja, joita laiminlyödyistä kosteudenhallinnasta saattaisi aiheutua. Vähäistä suurempia poikkeamia ovat esimerkiksi kosteudenhallintasuunnitelmassa mainittujen rakenteiden tai rakennustarvikkeiden kastuminen, vaikka ne ei olisi saaneet kastua. (Kosteudenhallinta 2019c.)

Poikkeustapauksista, havainnoista, mahdollisista vesivahingoista sekä mittauksista, jotka liittyvät kosteudenhallintaan tulee laatia pöytäkirjat. Nämä pöytäkirjat

tulee dokumentoida, jotta ne voidaan luovuttaa rakennuksen omistajalle ja ylläpidosta vastaavalle henkilölle rakennuksen valmistuttua. (Kosteudenhallinta 2019c.)

2.5 Kosteudenhallinta ja aikataulu

Aikataulutuksen avulla pystytään määrittelemään rakennuksen oman lämmitysjärjestelmän käyttöönoton ajankohta. Rakennuksen oma lämmitysjärjestelmä olisi hyvä saada toimintakuntoon mahdollisimman nopeasti. Tällä tavoin rakennuksen lämmitys tapahtuisi kustannustehokkaasti sekä tasaisesti. Pyrkimyksenä on saada huonetiloihin noin +20 °C:n lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus alle 50 %:iin. Kun rakenteita ja tiloja pystytään lämmittämään tasaisesti, saadaan aikaan hyvät olosuhteet ja lämpötilat kuivumiselle sekä kosteuden poistolle. Tällä tavoin estetään myös materiaalien jäätyminen ja kosteusvauriot. (Kosteudenhallinta 2019d.)

Pääurakoitsijan laatimasta aikataulusta saadaan selville rakenteille varatut kuivumisajat. Rakennusvaipan ja vesikaton valmistuminen, lämmitysjärjestelmän käyttöönotto sekä työvaiheet, jotka aiheuttavat kosteusrasitusta ovat merkittäviä ajankohtia ajatellen rakenteiden kuivumista. (Kosteudenhallinta 2019f.)

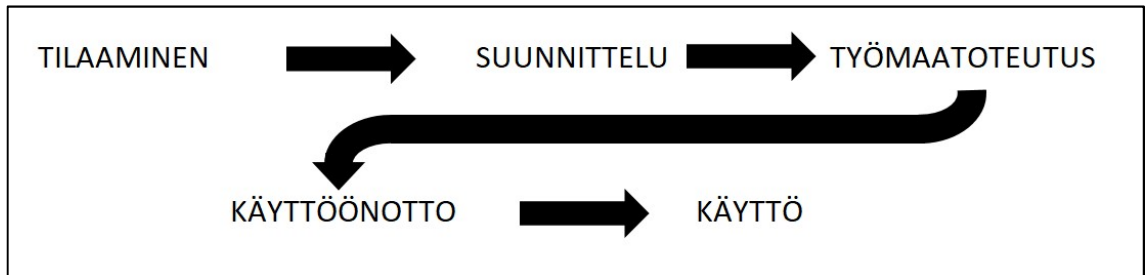
3 Kuivaketju10

Kuivaketju10 on rakennusprosessissa käytettävä kosteudenhallintaan liittyvä toimimalli, jolla pyritään vähentämään kosteusvaurioiden riskiä. Toimintamalliin kuuluu Kuivaketju10-riskilista sekä -todentamisohje. Kyseisessä listassa sekä ohjeessa on esitetty kymmenen keskeisintä kosteusriskiä. Riskit torjutaan kaikissa rakennusprosessin vaiheissa ja riskien torjunnan onnistuminen todenneetaan luotettavalla tavalla. Tällä tavoin vältetään yli 80 prosenttia kosteusvaurioiden aiheuttamista seurannaiskustannuksista. (Kuivaketju10 2019.)

Kuivaketju10-riskilista ja -todentamisohje tarkennetaan suunnittelutyön aikana arkkitehti-, rakenne-, LVI- ja sähkösuunnittelijan toimesta. Tällä tarkennuksella riskilista ja todentamisohje tarkennetaan vastaamaan kyseisen hankkeen erityis-

piirteitä, jonka seurauksena varmistetaan kosteusriskien kokonaisvaltainen hallitseminen. Asemakaava, rakennuspaikka, arkkitehtuuri- ja rakenneratkaisu sekä materiaalivalinnat voivat aiheuttaa hankkeen erityispiirteitä. (Kuivaketju10 2019.)

Kuivaketju10:n toimintaohjeet löytyvät Kuivaketju10:n omalta sivustolta. Kyseisen toimintaohjeen prosessi on esitetty kuviossa 1. Toimintaohje käsitellään tarkemmin seuraavissa luvuissa.



Kuvio 1. Kuivaketju10 toimintaohjeen prosessi

3.1 Tilaaminen

Rakennushankkeeseen ryhtyvä henkilön tai yrityksen päätöksen perusteella hanke toteutetaan toimintamallin mukaisesti. Tästä alkaa Kuivaketju10:n käyttäminen. Tämän päätöksen seurauksena tilaajan tulee kiinnittää kosteuskoordinaattori hankkeeseen jo alkuvaiheessa. Jos hanke on vaativuudeltaan tavanomainen, voi tilaaja itse toimia koordinaattorina siihen asti, kunnes suunnittelutyö alkaa. Tilaajan valtuutuksella kosteuskoordinaattori valvoo ja ohjaa Kuivaketju10:n toteutumista koko hankkeen ajan. Suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden kanssa tulee sopia käytettävästä toimintamallista jo tarjouspyyntövaiheessa ja Kuivaketju10:n käyttö tulee kirjata lopullisiin suunnittelu- ja urakkasopimuksiin pakollisena vaatimuksena. (Kuivaketju10 2018f.)

Hankkeen suunnitteluun, työmaavaiheeseen ja rakennuksen käyttöönottoon tulee antaa realistinen aikataulu tilaajan toimesta. Koordinaattorin kanssa arvioidaan kokonaisaikataulun riittävyys ensimmäistä kertaa jo tilaamisvaiheessa. Aikataulun realistisuus täytyy arvioida suunnittelijoiden ja urakoitsijan kanssa uudelleen myöhemmässä vaiheessa. Toteutuksen ajankohdan, rakennuspaikan, arkkitehtuuri- ja rakenneratkaisun sekä materiaalivalintojen perusteella tulee arvioida aikataulun riittävyyttä. Jos aikataulu on toteutuksen suhteen epärealistinen

niin se aiheuttaa hankaluuksia ja samalla vaikeuttaa toimintamallin onnistumista. (Kuivaketju10 2018f.)

3.2 Suunnittelu

Kuivaketju10-riskilista ja -todentamisohje ovat toimintamallin peruskivet. Riskilistassa on mainittu kymmenen keskeisintä kosteusriskiä ja sen perustana ovat yleisimmin havaitut ongelmat suomalaisessa rakentamisessa. Riskilistassa on kerrottu ne toimenpiteet, joilla pyritään välttämään nämä kyseiset riskit. Todentamisohjeella on suuri vaikutus suunnittelijoiden ja urakoitsijan työhön. Se on heidän tärkein työkalu Kuivaketju10:ssä. Todentamisohjeessa kerrotaan, millä tavalla riskilistan riskit tulee torjua suunnitteluvaiheessa sekä työmaavaiheessa. Suunnittelu- ja työmaavaiheisiin on kehitetty omat tarkistuslistat, joiden avulla helpotetaan riskien torjumista. (Kuivaketju10 2018e.)

Suunnitteluvaiheessa arkkitehti-, rakenne-, LVI-, sähkö- ja automaatio suunnittelijoiden tulee ottaa huomioon Kuivaketju10-toimintamalli. Heidän tulee käydä läpi riskilista ja todentamisohje sekä tarkentaa niiden sisältö hankkeen erityispiirteisiin. Riskilistalta on mahdollista poistaa kohtia ainoastaan siinä tapauksessa, jos kyseinen kohta ei ole lainkaan rakennettavassa hankkeessa. Hankkeen lopullinen riskilista ja todentamisohje muodostetaan kyseisen arviointityön pohjalta sekä hyväksyttämään kosteuskoordinaattorilla. (Kuivaketju10 2018e.)

Suunnittelun tarkistuslistana käytetään Kuivaketju10-riskilistaa ja -todentamisohjetta. Tavoitteena on riskikohtien toteuttamista varten tehdä yksityiskohtaiset suunnitelmat. Suunnitteluvaiheessa täytyy pystyä ratkaisemaan esimerkiksi ulkoseinän vesitiiveyteen liittyvät haasteet. Suunnittelun loppuvaiheessa arvioidaan suunnittelijoiden tekemät suunnitelmat. Arviointiin osallistuu suunnittelijoiden lisäksi myös koordinaattori sekä urakoitsija. Arvioinnissa arvioidaan, onko suunnitelmat käytännössä mahdollisia toteuttaa riskikohtien osalta. Lisäksi pääurakoitsijan työmaaorganisaatio perehdytetään tehtyihin suunnitelmiin suunnittelijoiden toimesta. He osallistuvat myös työmaakokouksiin, joissa käsitellään heidän suunnittelualojansa koskevia asioita. (Kuivaketju10 2018e.)

3.3 Työmaatoteutus

Pääurakoitsijalla on vastuu Kuivaketju10:n noudattamisesta työmaalla. Pääurakoitsijan tulee antaa perehdytys Kuivaketju10:n kaikille työmaan työntekijöille. Perehdytyksessä käytäviin asioihin kuuluu vähintään toimintamallin perusperiaatteet ja Urakoitsijan tarkistuslista, joka löytyy todentamisohjeesta. (Kuivaketju10 2018h.)

Riskejä sisältävät työvaiheet esitetään suunnittelijoiden tarkentamassa todentamisohjeen sisältämässä Urakoitsijan tarkistuslistassa. Näiden työvaiheiden onnistunut toteutus tulee todentaa ja dokumentoida. Tarkistuslistan mukaisten työvaiheiden onnistumisen todentaminen on urakoitsijan päätehtävä Kuivaketju10:ssä. Tällä dokumentointivelvoitteella varmistetaan, että todentaminen tehdään määrätyllä tavalla ja oikeaan aikaan. (Kuivaketju10 2018h.)

Rakennustyömaan olosuhdehallinnan varmistaminen on yksi keskeisimmistä kohdista työmaatoteutuksessa. Riskilistan kohta kahdeksan liittyy erityisesti rakennustyömaan olosuhdehallintaan. Siinä käsitellään kosteiden betonirakenteiden päällystämistä ja niiden aiheuttamaa päällystemateriaalien turmeltumista. Jotta tämä pystytään välttämään, tulee betonirakenteiden kuivumiselle järjestää suotuisat olosuhteet. Betonin kuivumisen etenemistä tulee seurata kosteusmittauksin ja betonin kosteuspitoisuus tulee varmistaa ennen päällystämistä. (Kuivaketju10 2018h.)

Kosteuskoordinaattorilla on hyväksyttävä kokonaisvastuun todentamisesta vastaava henkilö. Kyseisellä henkilöllä tulee olla tehtävän hoitamiseen riittävästi resursseja. Hän on myös vastuussa pääurakoitsijan puolelta siitä, että työvaiheiden onnistuminen todennetaan tarkistuslistan mukaisesti. (Kuivaketju10 2018h.)

3.4 Käyttöönotto

Kuivaketju10:ssä rakennuksen käyttöönotto on jaettuna kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa pääurakoitsijan tärkeimpänä tehtävänä on todentaa ja dokumentoida Urakoitsijan tarkistuslistassa olevien työvaiheiden onnistunut toteutus. Kyseisessä listassa olevat riskikohdat liittyvät nimenomaan rakennuksen käyttöönottovaiheeseen. (Kuivaketju10 2018c.)

Lopullinen arviointi toimintamallin toteutuksen onnistumisesta tehdään käyttöönoton toisessa vaiheessa. Kyseinen arviointi tehdään koordinaattorin seurannan ja raportoinnin sekä tarkistuslistan mukaisen dokumentoinnin perusteella. Jos hanke on onnistunut, sille voidaan hakea Kuivaketju10-statusta. (Kuivaketju10 2018c.)

Toimintamallin onnistumista ja riskikohtiin liittyvien suunnitelmien ja toteutusten välisiä mahdollisia poikkeamia käsitellään raportissa, joka on muodostettu loppuyhteenvedona kyseisestä kohteesta. Mahdollisten korjaamattomien riskikohtien osalta tulee pystyä perustelemaan niiden merkityksettömyys tai esittämään seuranta-toimenpiteet, joita on käytetty käytön aikana. Tilaaja, kosteuskoordinaattori, suunnittelija sekä urakoitsija hyväksyvät laaditun loppuraportin. (Kuivaketju10 2018c.)

3.5 Käyttö

Kuivaketju10-toimintamallissa on asetettu vaatimuksia rakennuksen ylläpidolle, jotta rakennus säilyisi kuivana ja terveellisenä koko elinkaarensa ajan. Kosteuskoordinaattori muodostaa rakennuksen huoltokirjan Kuivaketju10-osioon yhdessä suunnittelijoiden ja urakoitsijan kanssa. Kyseisessä huoltokirjassa mainitaan kaikki Kuivaketju10-riskilistan riskikohdat, joihin liittyy käytönaikaisia yllätoimenpiteitä. (Kuivaketju10 2018b.)

Riskikohdille, jotka on sisällytetty huoltokirjan Kuivaketju10-osioon, tulee löytyä vaadittavat säännölliset tarkastukset ja huollot. Osioista tulee myös löytyä kunnossapitotaksot ja niiden toimenpiteet. Osiossa tulee olla myös materiaalivalmistajan antamat ohjeistukset ylläpidosta. Dokumentointiohjeistus, liittyen merkittyihin toimenpiteisiin, on myös esitettävä Kuivaketju10-osiossa. (Kuivaketju10 2018b.)

Jotta rakennuksen Kuivaketju10-status voidaan säilyttää, se edellyttää sitä, että toimintamallin toteutumista arvioidaan säännöllisesti käytön aikana. Ensimmäinen arviointi tulee suorittaa ennen takuuajan päättymistä, eli noin kahden vuoden jälkeen käyttöönotosta. Tämän jälkeen arviointi tulee suorittaa viiden vuoden välein. Statuksen uudelleenarviointi on kuitenkin vapaaehtoista. (Kuivaketju10 2018b.)

3.6 Riskilista ja todentamisohje

Kuivaketju10-riskilista ja -todentamisohje ovat toimintamallin perusta. Riskilistassa on kymmenen keskeisintä kosteusriskiä, jotka on valittu sen perusteella, miten yleisesti ne esiintyvät suomalaisessa rakentamisessa. Riskilistassa kerrotaan myös vaadittavat toimenpiteet, joilla kyseiset riskit voidaan mahdollisesti välttää. Riskilista ei kuitenkaan kata kaikkia mahdollisia kosteusrikejä, ainoastaan tämän päivän merkittävimmät. Riskilistaa saatetaan kuitenkin joutua päivittämään, koska tilanteet ja riskikohtien merkittävyys voivat muuttua ajan myötä. Kuivaketju10-riskilista on esitetty kuvassa 2 (Kuivaketju10 2018d.)

- 
1. Rakennuksen ulkopuolelta tuleva kosteus vaurioittaa perustuksia ja lattiarakenteita.
 2. Sadevesi pääsee tunkeutumaan ulkoseinärakenteen sisälle.
 3. Vesikatteen läpäisevä vesi tunkeutuu aluskatteen vuotokohdista yläpohjaan.
 4. Kosteutta siirtyy ilmansulkukerroksen vuotokohdista ulkoseinä- ja yläpohjarakenteisiin, jonne sitä tiivistyy vedeksi.
 5. Väärin mitoitettu ja säädetty ilmanvaihto ei poista ylimääräistä kosteutta vaan pakottaa sen siirtymään rakenteisiin.
 6. Vesiputkien rikkoutumiset aiheuttavat kiinteistöön laajoja vesivahinkoja.
 7. Huonosti toteutetussa märkätilassa kosteus vaurioittaa ympäröivät rakenteet.
 8. Kosteiden betonirakenteiden päällystäminen aiheuttaa päällystemateriaalin turmeltumisen.
 9. Materiaalien ja rakenteiden kastuminen vaurioittaa rakennuksen.
 10. Huonolla ylläpidolla rakennus rapistuu hitaasti mutta varmasti.

Kuva 2. Kuivaketju10-riskilista (Kuivaketju10 2018d)

Tärkein työkalu suunnittelijoille ja urakoitsijalle Kuivaketju10:ssä on todentamisohje. Siinä esitetään kuinka suunnitteluvaiheessa sekä työmaavaiheessa tulee torjua riskilistan riskit. Suunnitteluvaihetta varten on kehitetty ”Suunnittelijan tarkastuslista” ja työmaavaihetta varten ”Urakoitsijan tarkastuslista”. Suunnittelijoille tarkastuslista tarjoaa yksityiskohtaisen listan asioista, joihin pitää olla otettu kan-

taa suunnitelmissa. Tällä tavoin jo suunnitteluvaiheessa voidaan välttää mahdollisia kosteusriskejä. Urakoitsijan tarkistuslistassa taas kerrotaan ne tavat, joilla todennetaan ja dokumentoidaan työvaiheet, jotka sisältävät kosteusriskejä. (Kuivaketju10 2018g.)

3.7 Kosteudenhallintakoordinaattori

Tilaaaja valitsee hankkeeseen kosteudenhallintakoordinaattorin. Suunnittelijat ja urakoitsijat eivät voi millään tavalla vaikuttaa koordinaattorin valintaan. On myös mahdollista, että tilaaaja ja urakoitsija ovat sama toimija. Tällöin kosteudenhallintakoordinaattori tulee valita tilaajaorganisaation ulkopuolelta. Koordinaattorin päätehtävänä on Kuivaketju10:n toteutumisen valvonta ja ohjaaminen koko rakennusprosessin ajan. Tämän takia parhaiden tulosten saamiseksi tulee koordinaattorin tuntea käytössä oleva Kuivaketju10-toimintamalli. Lisäksi tehtävän suorittamista varten tulee koordinaattorilla olla riittävä koulutus ja kokemus kyseiseen tehtävään. (Kuivaketju10 2018a.)

4 Kosteuden mittaus ja kosteudenseuranta

Kosteuden mittaus on olennainen osa kosteudenhallintaa. Kuivaketju10-toimintamallissakin on mainittu, että betonirakenteiden kosteus pitää varmistaa mittauksin. Tällä tavoin vältetään kosteiden betonirakenteiden päällystämiseltä.

Kosteuden mittaamiseen ja kosteudenseurantaan on monia erilaisia tapoja rakennusvaiheessa. Rakentamisen aikana kosteutta mitataan rakenteista, koska sillä määritetään kyseisten rakenteiden pinnoitettavuus. Esimerkiksi laatoitusta ja maton asentamista varten tulee seinien ja lattioiden olla tarpeeksi kuivia. Rakennuksen sisäilman kosteudenpitoisuudellakin on merkitystä rakennusvaiheessa. Mitä aikaisemmassa vaiheessa rakennuksen sisäilman kosteus saadaan pieneksi, sitä paremmin ja nopeammin rakenteet alkavat kuivua.

4.1 Kosteudenmittaus

Rakenteiden kosteuden mittaajalta edellytetään perehtyneisyyttä rakennustekniikkaan sekä rakenteiden ja rakennusmateriaalien riittävää tuntemusta. Mittaajan tulee tuntea rakennusfysiikkaan liittyvät lämpö- ja kosteustekniikan perusteet

ja osata soveltaa niitä rakennusten, rakenteiden ja materiaalien lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa arvioitaessa. Mittaaja tuntee rakenteiden ja eri materiaalien sekä tilojen lämpötilan ja kosteuden mittaukseen soveltuvat mittausvälineet ja niiden käytön edellytykset ja rajoitukset sekä pystyy mittauksen tulosten tulkitaan ja raportointiin. (Rakennustietosäätiö RTS 2010, s. 3.)

Kosteuden mittaamista varten on olemassa monia erilaisia välineitä sekä työkaluja ja ne voidaan jakaa kahteen kategoriaan: tarkkoihin mittausmenetelmiin ja suuntaa antaviin mittausmenetelmiin. Tarkkoihin mittausmenetelmiin kuuluu porareikämittaus ja näytepalamittaus. (Rakennustietosäätiö RTS 2010, s. 3.)

Porareikämittauksessa mitattavaan rakenteeseen porataan reikä ja siihen asennetaan mittaputki ja mittauspää. Porareikämittauksen suoritusvaiheet on esitetty kuvassa 3. Jos porareikämittauksesta halutaan saada tarkkoja arvoja, kestää mitaustapahtuma vähintään 72 tuntia, jotta tasaantumisaika on tarpeeksi riittävä. (Rakennustietosäätiö RTS 2010, s. 4 – 5.)

Näytepalamenetelmässä betoniin tehdään kuoppa halutulle mitaussyvyydelle ja kuopan pohjalta otetaan näytemurusia, jotka laitetaan koeputkeen. Tämän jälkeen koeputkeen asennetaan välittömästi mittapää ja koeputki tiivistetään huolellisesti. Näytepalamittauksen suoritusvaiheet on esitetty kuvassa 3. Näytepalamittausmenetelmällä mitaustapahtuma kestää noin viidestä kahteentoista tuntia. Tulos saadaan huomattavasti nopeammin kuin porareikämittauksella, mutta porareikämittausta ei voida käyttää, jos mitaustuloksia tarvitaan todella syvältä betonista. (Rakennustietosäätiö RTS 2010, s. 7.)



Kuva 3. Porareikämittauksen vaiheet (Rakennustietosäätiö RTS 2010, s. 4-5)



Kuva 4. Näytepalamittauksen vaiheet (Rakennustietosäätiö RTS 2010, s. 7)

Suuntaa antavia mittausmenetelmiä ovat esimerkiksi tarkastelut pintakosteusilmaisimella, porareikämittaus toistuvasti samasta mittausreiästä, mittaaminen pian poraamisen jälkeen, mittaaminen jatkuvasti betonin sisällä olevalla anturilla, näytepalamittaus asentamatta mittapäättä välittömästi mittausputkeen sekä näytepalamittaus normaalia pienemmällä näytemäärällä tai epätarkalla syvyydellä. Suuntaa antavilla mittausmenetelmillä voidaan mitata rakenteiden kosteuspitoisuuksia rakennusvaiheessa, mutta silloin tulee tiedostaa, että näillä menetelmillä saadut arvot voivat olla joskus todella epätarkkoja. Tämän takia rakennusvaiheessa edellä mainittuja tapoja, varsinkin jatkuvasti betonin sisällä olevaa antu-

ria, käytetään työmaalla kosteudenseurannassa ja kosteuden mittaamiseen käytetään porareikä- sekä näytepalamittausta niiden tarkempien mittaustulosten takia. (Rakennustietosäätiö RTS 2010, s. 3)

4.2 Kosteudenseuranta betonissa olevilla antureilla

Valuvaiheessa betoniin asennettavat kosteutta mittaavat anturit ovat alkaneet yleistyä työmailla. Antureilla pystytään mittaamaan ennalta määritetystä syvyydestä betonirakenteen kosteutta. Näillä antureilla urakoitsija pystyy seuraamaan omatoimisesti betonirakenteiden kuivumista, eikä ulkopuolista kosteusmittaajaa tarvitse kutsua ”turhaan”. Kyseiset anturit on kuitenkin luokiteltu RT 14-10984-kortin mukaan suuntaa antaviksi mittaussuunnitelmiksi, eli saatuun mittaustulokseen ei voida 100-prosenttisella varmuudella luottaa. Kun antureista saadut arvot ovat vaadittujen arvojen alapuolella, kutsutaan paikalle kosteuden mittaaja, joka mittaa kyseisestä rakenteesta joko porareikä- tai näytepalamittauksella tarkat arvot.

Betoniin asennettavia kosteudenmittausantureita on saatavilla kahdella toimintaperiaatteella. Yleisempi ja pidempään käytössä ollut on langattomasti mittauslaitteella luettava anturi. Tässä toimintatavassa valuun asennettavassa anturissa ei ole sisäistä virtalähdettä vaan käytettävä mittauslaite lähettää langattomasti tarvittavan virran anturiin. Toisessa toimintatavassa betoniin asennettavassa anturissa on sisäinen virtalähde, joka mahdollistaa langattomasti tietojen lähettämisen esimerkiksi pilvipalveluihin. Tässä toimintatavassa ei tarvitse kiertää lukulaitteen kanssa lukemassa antureita. Antureiden virtalähteen käyttöikä on viidestä kymmeneen vuotta. Tämän jälkeen joidenkin valmistajien anturit voidaan vielä lukea langattomasti mittauslaitteella. Tällä mahdollistetaan rakennuksen käytön aikainen kosteudenseuranta vielä kymmenien vuosien päästä.

4.3 Palveluita tuottavat yritykset

Monet eri yritykset valmistavat betoniin asennettavia kosteutta mittaavia antureita. Wiiste, Humia, Vigilan sekä Cramon eGate ovat langattomaan kosteudenseurantaan keskittyneitä yrityksiä. Jokaisella yrityksellä on omanlaisensa laitteisto, esimerkiksi Humian kosteusanturit on varustettu kahdella AAA-paristolla ja ne ovat helposti vaihdettavissa (Humia 2019). Cramolla langattomat eGate

Flex-nSens-RHT- ja -RHT-5m-kosteusanturit mahdollistavat suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaamisen esimerkiksi lattian betonivalusta sekä lattian eristetilasta (Cramo 2018).

Vigilanilla on kahta erilaista kosteusanturia, Humi 1 ja Humi 2, sekä niiden lukemiseen käytettävä Humi D-lukulaite. Humi 1 on tarkoitettu märkätilojen kosteudenseurantaan ja Humi 2 taas betonivalun kuivumisen seurantaan (Vigilan 2019). Wiisteen kosteusantureita käsitellään tarkemmin luvussa 5.

5 Wiisteen kosteudenmittausjärjestelmä

Wiiste Oy on vuonna 2012 perustettu rakennusteollisuuden kosteudenmittausjärjestelmiin keskittynyt yritys. Wiisteen tuotekehitys ja tuotteiden valmistus tapahtuu Suomessa. Wiisteen uusi lisäys tuoteperheeseen on IoT-anturi, joka lähettää kosteus- ja lämpötilatietoja jatkuvasti suoraan internettiin. IoT-anturia käsitellään tarkemmin luvussa 5.2. (Wiiste 2019b.)

Wiisteen langattomat kosteusanturit ovat kapasitiivisia polymeeriantureita. Antureiden toiminta perustuu polymeeriin, joka on sijoitettu kahden johtavan elektrodin väliin. Ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden muutoksien seurauksesta polymeeri joko absorboi tai vapauttaa vesihöyryä. Polymeerin eristeominaisuudet riippuvat absorboidun veden määrästä; kun suhteellinen kosteus muuttuu anturin ympärillä, myös polymeerikalvon eristeominaisuudet muuttuvat. Polymeerikalvon eristeominaisuuden muuttuessa myös anturin kapasitanssi muuttuu. Wiisteen käsilukulaitteen elektroniikka mittaa anturin kapasitanssin lähettämällä sinne pienen määrän sähkövirtaa ja takaisin tulevan virtamäärän laite muuttaa käsilaitteeseen ohjelmoidun koodin avulla kosteuslukemaksi. (Vaisala 2012.)

Wiisteen anturit käyttävät lämpötilan mittaamiseen PTAT-anturityyppejä (Proportional To Absolute Temperature). PTAT-menetelmässä käsilukulaite lähettää transistorin sisällä olevaan diodiin sähkövirtaa ja mittaa diodin palauttaman päästöjännitteen, joka muuttuu lämpötilan muuttuessa. Mitatun päästöjännitteen käsilukulaite muuttaa lämpötilaksi laitteeseen ohjelmoidun koodin avulla.

5.1 SolidRH RD1

SolidRH RD1 (Kuva 5) on Wiisteen käsilukulaite SolidRH-järjestelmän antureille. Lukulaitteen maksimilukuetäisyys on noin 40 mm riippuen välimateriaalista. Käsilukulaitteella saadaan anturista kosteusmittausarvot, lämpötila, anturin sarjanumero sekä mittaussyvyys SH1- ja SH3-malleissa. Edellä mainitut tiedot tallentuvat laitteen muistiin päivämäärän ja kellonajan kanssa. Kun tarvittavat kosteusanturit on rakennuksesta luettu, voidaan lukulaite kytkeä tietokoneen USB-porttiin. Kun laite on kytketty tietokoneeseen, siirtää se tiedot Relian tietokantaan Wsync-ohjelman avulla. (Wiiste 2019a.)



Kuva 5. SolidRH RD1-käsilukulaite

5.2 IoT-anturi

IoT-anturi (Kuva 6) on Wiisteen uusi kosteusmittausanturi. Kosteusanturi asennetaan betoniin valun aikana. IoT-anturi mittaa automaattisesti kosteutta ja lämpötilaa betonivaluista ja lähettää mittauksesta saadut tiedot suoraan Relia-pilvipalveluun. IoT-anturilla saadaan rakennukseen pitkäaikainen rakenteiden automaattinen kosteudenseuranta. Anturissa oleva paristo kestää jopa 10 vuotta ja vaikka paristo loppuisikin, voidaan anturi lukea käsilukijalla. (Wiiste 2019c.)



Kuva 6. IoT-anturi (Wiiste 2019c)

5.3 SolidRH SH1

SolidRH SH1 (Kuva 7) on tuoreeseen betoniin asennettava kosteusmittausanturi. Anturi mittaa samalla tavalla kosteutta ja lämpötilaa, kuin IoT-anturi, mutta tietojen keräämiseen tarvitaan käsilukulaite. Anturin mittaussyvyys on 15–70 mm, riippuen mitattavan valun paksuudesta. Anturit kalibroidaan tehtaalla ja kalibrointi on voimassa yhden vuoden, kunhan anturit on säilytetty ja asennettu ohjeiden mukaisesti. Mittaustuloksia tarkastellessa on siis huomioitava ajan myötä tapahtuva mittaustarkkuuden heikentyminen. (Wiiste 2015a.)



Kuva 7. SolidRH SH1-anturi, versio 2.0

5.4 SolidRH SH3

SolidRH SH3 (Kuva 8) on vedeneristeen alle asennettava kosteusmittausanturi. Kyseinen anturi mittaa suhteellista kosteutta ja lämpötilaa. Anturi asennetaan kovettuneeseen betoniin, harkkoon tai tiileen poraamalla. Anturi voidaan asentaa myös liimaamalla tai nitomalla esimerkiksi höyrynsulun takana olevaan levyrakenteeseen. Anturi ei sovellu asennettavaksi tuoreeseen betonivaluun. Kalibroinnin suhteen tilanne on sama kuin SH1-anturissa. SH3-anturin tiedot luetaan käsilukulaitteella. (Wiiste 2015b.)



Kuva 8. SolidRH SH3-anturi

5.5 SolidRH SH4

SolidRH SH4 (Kuva 9) on kiinteästi rakenteisiin asennettava kosteus- ja lämpötila-anturi. Anturin mittapää ja lukupää on erotettu toisistaan johdolla, joka mahdollistaa mittaamisen hankalista paikoista, esimerkiksi eristetilasta. Lukupää voidaan kiinnittää huomaamattomasti rakenteiden taakse ja anturin johto on mitoitettavissa tarpeen mukaan (0,1–1,5 m). Anturi toimitetaan tehdaskalibroituina ja kalibrointi on voimassa yhden vuoden. SH4-anturin tiedot luetaan käsilukulaitteella. (Wiiste 2015c.)



Kuva 9. SolidRH SH4-anturi (Wiiste 2015c)

5.6 SolidRH SHR

SolidRH SHR (Kuva 10) on holkilliseen porareikämittaukseen kehitetty anturi. SHR-anturin asennukseen ei tarvitse käyttää erillistä tiivistysmassaa. Asennus tapahtuu aikaisemmin kerrotun ohjeen perusteella (kts. kuva 2). Parhaiden tulosten saamiseksi mittausholkille on annettu SHR-tuotekortissa valmiit mitat, jotka ovat seuraavat: pituus 120 mm ja sisähalkaisija 12,5–13,0 mm. SHR-anturi tiedot luetaan käsilukulaitteella. Anturi toimitetaan tehdaskalibroituina ja suositeltu kalibrintiväli anturille on vähintään yksi vuosi. Kalibrintiväliin vaikuttaa käyttöolosuhteet ja käytön määrä. (Wiiste 2015d.)



Kuva 10. SolidRH SHR-anturi (Wiiste 2015d)

5.7 Relia

Relia on Wiisteen kehittämä käyttöliittymä, johon antureista saadut tiedot päivittyvät joko automaattisesti (IoT-anturi) tai kun Wsync-ohjelma on käynnissä ja käsilukulaite liitetään tietokoneeseen. Reliaan voidaan rakennustyömaalla lisätä rakennuksen pohjakuvat ja pohjakuviin voidaan sijoittaa rakennuksessa sijaitsevat kosteusanturit. Ensimmäisellä mittauskerralla antureiden tiedot sijoitetaan pohjakuviin niitä vastaaviin antureihin. Tämän jälkeen käyttöjärjestelmä osaa itse sijoittaa antureista ladatut tiedot pohjakuviin. Reliasta saadaan tulostettua projektikohtainen tiedosto, jossa näkyy kerroskohtaisesti kunkin anturin viimeisimmät mitaustiedot ja -historia.

6 Esimerkkikohde: Uomarinteen koulun laajennus

Wiiste on ollut käytössä Rakennustoimisto Nousiaisella noin puolitoista vuotta. Esimerkkikohteeksi on valittu Uomarinteen koulun laajennustyömaa, jossa Wiisteen kosteusantureita käytettiin seuraamaan lattiavalujen kosteuden kehittymistä. Kosteudenmittausta varten työmaalla käytettiin lattiavaluissa porareikämitausta.

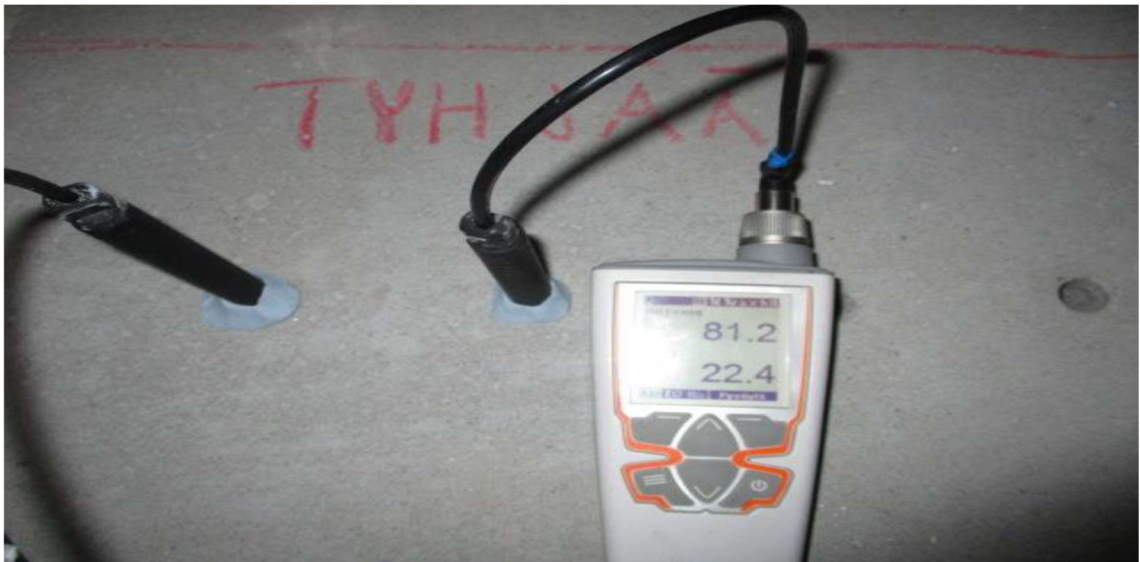
Wiiste on maininnut, että SolidRH-laitteistolla tyypillinen mittausepävarmuus on $\pm 2,5$ %RH, kun suhteellinen kosteus on 0 - 90 %, ja $\pm 3,0$ %RH, kun suhteellinen kosteus on yli 90 %. Suhteellinen kosteus eli RH ilmaisee todellisen kosteuspitoisuuden ja kyllästyskosteudenpitoisuuden välisen suhteen tietyssä lämpötilassa. Laitteiston mittaamalla lämpötilalla mittausepävarmuus on $\pm 0,2$ °C välillä 0 - 60 °C. SolidRH-laitteiston tarkkuuksissa ei ole huomioitu asennusvirheistä johtuvaa mittausepävarmuutta, eikä betonin ja ympäristön välisistä lämpötilaeroista aiheutuvaa mittausepävarmuutta.

Työmaalla käytetyt kosteusmittausanturit ovat Wiisteen SolidRH SH1-antureita ja niitä on kolmella eri mittaussyvyydellä, 16 mm, 20 mm ja 40 mm. Lattiavaluihin asennettuja Wiisteen antureita on yhteensä 42 kappaletta. Taulukossa 1 on esitetty anturit kerroksittain.

IV-konehuone	Anturin tyyppi	Syvyys(mm)	Kpl
	SH1	40	2
2. kerros	Anturin tyyppi	Syvyys(mm)	Kpl
	SH1	20	11
	SH1	16	2
1. kerros	Anturin tyyppi	Syvyys(mm)	Kpl
	SH1	40	20
	SH1	16	1
0. kerros	Anturin tyyppi	Syvyys(mm)	Kpl
	SH1	40	6

Taulukko 1. Wiiste-anturit kerroksittain

Porareikämittauksessa käytettyyn mittauskalustoon kuuluu Vaisala SHM 40-näyttö ja HMP110-anturi. Porareikämittauksen kalusto on esitetty kuvassa 11. Reikien porauksien ja mittauksien välinen aika on ollut kahdesta neljään vuorokautta. Porareikämittauksessa käytettyjen antureiden tasaantumisaika on ollut 1 h.



Kuva 11. Porareikämittauksen mittauskalusto

Taulukoissa 2 - 13 on esitetty Wiisteen antureiden mittauksista saatuja tuloksia sekä samoista kerroksista otettujen porareikämittausten tuloksia. Pyrin vertailemaan Wiisteen ja porareikämittausten tuloksia toisiinsa ja selvittämään, tuleeko näillä kahdella mittaustavalla kuinka paljon eroavaisuuksia.

6.1 0. kerros

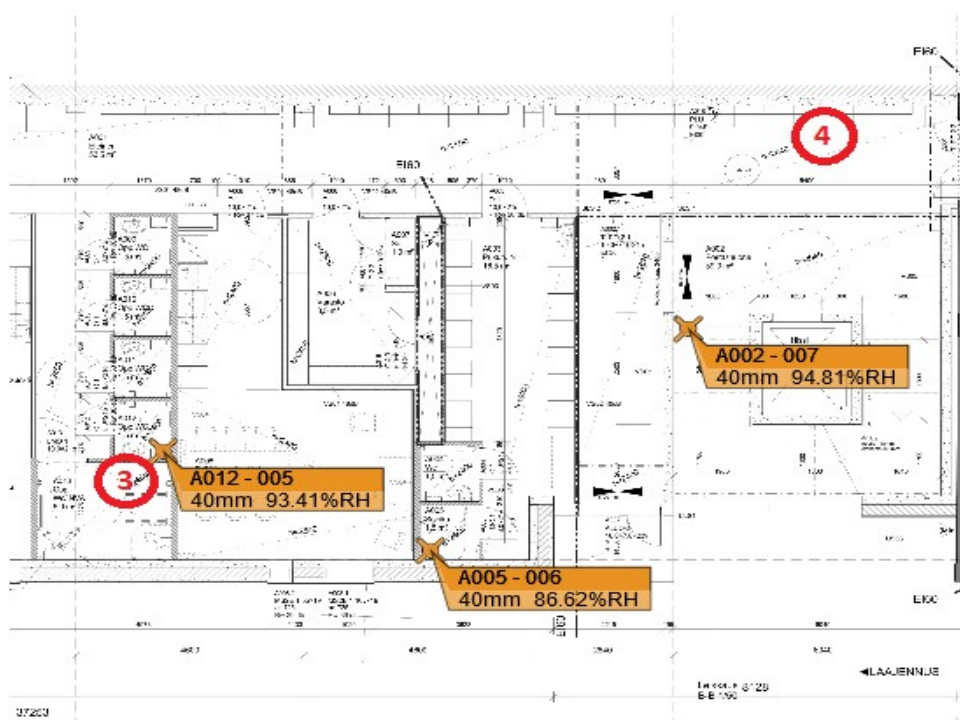
Kellari eli 0. kerrokseen on asennettu valun aikana seitsemän Wiisteen kosteusmittausanturia, joista yksi oli kääntynyt poikittain liippauksen aikana, eli mittaus tuloksia on otettu kuudesta anturista. Porareikämittauksia on tehty neljästä paikasta kahdelta eri syvyydeltä, 15 mm ja 40 mm.

Kellarikerroksen lattia valettiin 19.4. ja se valettiin maanvaraisena laattana. Betonissa ei käytetty mitään lisäaineita, eli siinä oli pelkästään vettä, sementtiä ja runkoainetta eli hiekkaa, jonka raekoko oli tässä valussa 0–16 mm. Lattiavalun paksuus oli 100 mm.

Kuvissa 12 ja 13 on esitetty Wiisteen mittauspisteet oranssilla ja porareikämittausten mittauspisteet punaisella. Taulukossa 2 on esitetty Wiisteen mittauspisteiden tulokset ja taulukossa 3 on esitetty porareikämittausten tulokset.



Kuva 12. 0. kerroksen Wiiste-mittauspisteet (oranssi) ja porareikämittauspisteet (punainen), osa 1/2



Kuva 13. 0. kerroksen Wiiste-mittauspisteet (oranssi) ja porareikämittauspisteet (punainen), osa 2/2

Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	13.08.2018	31.08.2018	11.09.2018	21.09.2018	28.09.2018	05.10.2018	11.10.2018	22.10.2018
			RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]
A002 - 007	SH1 16282	40	98.64 17.92	98.86 19.92	98.61 22.01	97.44 21.82	96.89 22.69	95.97 22.25	95.74 22.76	94.81 21.12
A005 - 006	SH1 15366	40	90.45 17.81	88.96 19.91	88.15 22.13	87.82 25.97	87.29 24.36	86.68 24.66	86.62 25.34	
A012 - 005	SH1 16369	40	90.76 18.83	92.69 21.00	92.19 23.54	92.55 25.34	93.46 26.78	93.71 26.38	93.41 26.19	
A015 - 003	SH1 16283	40	89.79 19.48	89.26 20.80	89.17 24.32		88.51 28.29	88.45 26.79	87.88 26.16	86.80 24.37
A017 - 001	SH1 16316	40	87.48 20.86	86.51 21.45	86.54 23.94	85.79 26.62	85.52 26.87	84.77 25.81	84.12 24.90	83.42 23.40
A017 - 002	SH1 16331	40	84.56 20.47	83.69 21.79	83.53 24.28	82.87 26.83	82.71 26.87	81.91 26.23	81.50 25.35	80.08 23.60

Taulukko 2. 0. kerroksen Wiiste-mittaustulokset

Päivämäärä	27.8.2018		10.9.2018		25.10.2018	
	RH %	°C	RH %	°C	RH %	°C
MP 1, betonivalu 40 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	88.6	23.4	-		81.2	22.4
MP 1, betonivalu 15 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	81.3	23.1	-		70.7	22.4
MP 2, betonivalu 40 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	88.1	21.0	-		80.7	22.5
MP 2, betonivalu 15 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	83.5	21.6	-		66.4	22.4
MP 3, betonivalu 40 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	90.6	20.8	88.9	22.8	-	
MP 3, betonivalu 15 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	84.8	20.6	82.2	22.9	-	
MP 4, betonivalu 40 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	88.9	19.6	-		82.6	20.0
MP 4, betonivalu 15 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	84.9	19.5	-		71.9	20.2
Sisäilma 0 krs	47.3	21.2	54.1	22.6	27.1	22.8
Ulkoilma	63.0	16.9	82.0	18.2	100.0	-1.2

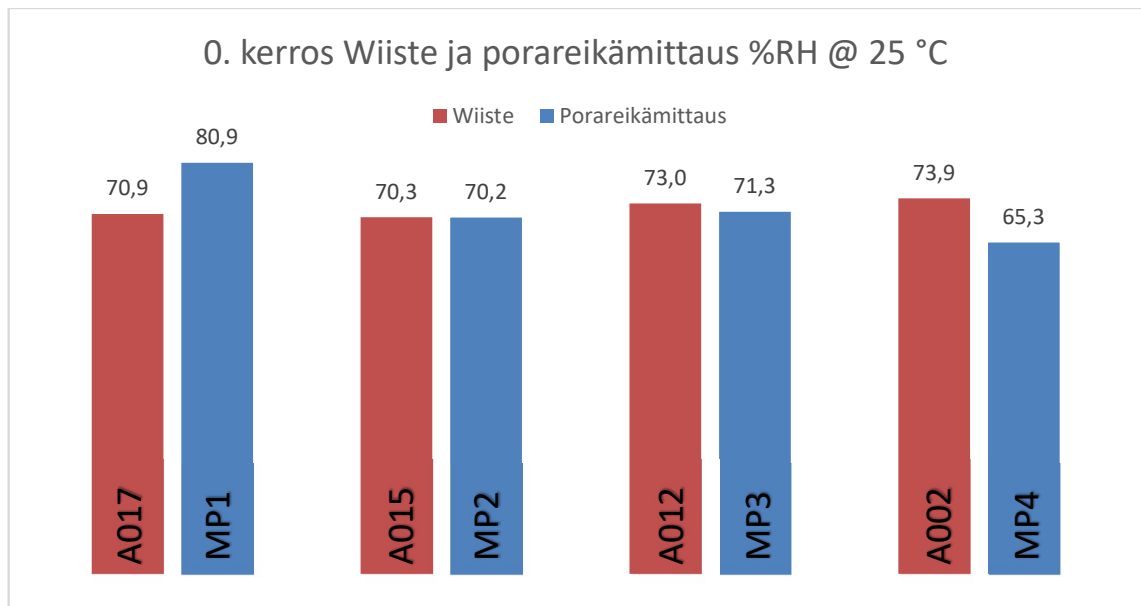
Taulukko 3. 0. kerroksen porareikämittauksien mittaustulokset

Taulukossa 4 on koottu yhteen Wiisteen ja porareikämittauksien läheisten päivien tulokset ja laskettu niiden perusteella vesihöyrypitoisuus, joka on ilmoitettu grammoina kuutiota kohden. Tämä saatu arvo on vielä muunnettu vesihöyrypitoisuutta vastaavaksi suhteellisen kosteuden arvoksi 25 celsiusasteessa. Tällä tavoin saadaan sekä Wiisteen että porareikämittauksien mittaustuloksien teoreettinen suhteellinen kosteus samassa lämpötilassa ja pystytään paremmin vertailemaan kummankin mittaustavan antamia tuloksia.

Wiiste					Porareikämittaus				
27.elo	%RH	°C	g/m ³	%RH @ 25°C	31.elo	%RH	°C	g/m ³	%RH @ 25°C
A017	86,5	21,5	16,3	70,9	MP1	88,6	23,4	18,6	80,9
A015	89,3	20,8	16,2	70,3	MP2	88,1	21,0	16,1	70,2
A012	92,7	20,8	16,8	73,0	MP3	90,6	20,8	16,4	71,3
A002	98,9	19,9	17,0	73,9	MP4	88,9	19,6	15,0	65,3

Taulukko 4. 0. kerroksen Wiiste- ja porareikämittausvertailu

Kuviossa 3 on otettu vertailutaulukosta Wiisteen ja porareikämittauksien suhteellisen kosteuden arvot 25 celsiusasteessa. Tästä kuviosta pystyy näkemään paremmin sen, että kuinka paljon eroa on Wiisteen ja porareikämittauksen tuloksien kosteudessa.



Kuvio 2. 0. kerroksen Wiiste- ja porareikämittausvertailu

Wiisteen anturin A017 ja porareikämittauksen pisteen MP1 välinen suhteellisen kosteuden ero on 10 prosenttiyksikköä. Välimatkaa näillä kahdella mittauspisteellä on noin kaksi metriä, jotenka noin suurta suhteellisen kosteuden eroa ei pitäisi olla, jos olosuhteet ovat oikeat. Wiisteen anturin antama suhteellisen kosteuden lukema on suurin piirtein samaa luokkaa koko kerroksen alueella. Porareikämittauksen mittauspiste on laatan reunassa ja juuri tuossa rakennuksen kulmassa on luonnon muokkaama pohjavesivarasto, johon kertyi vettä koko rakennusurakan ajan. Noin suuri kosteusero voi mahdollisesti johtua tästä syystä.

Wiisteen anturin A002 ja porareikämittauksen pisteen MP4 välinen suhteellisen kosteuden ero on 8,6 prosenttiyksikköä. Välimatkaa näillä kahdella mittauspisteellä on noin kuusi metriä. Wiisteen anturin läheisyydessä täytettiin vesiastioita rakennustyömaalla. Vesi on mahdollisesti päässyt kosketuksiin lattiavalun kanssa ja muuttanut anturin ympäristön suhteellista kosteutta. Tämä voi mahdollisesti selittää näiden kahden pisteen välisen kosteuseron.

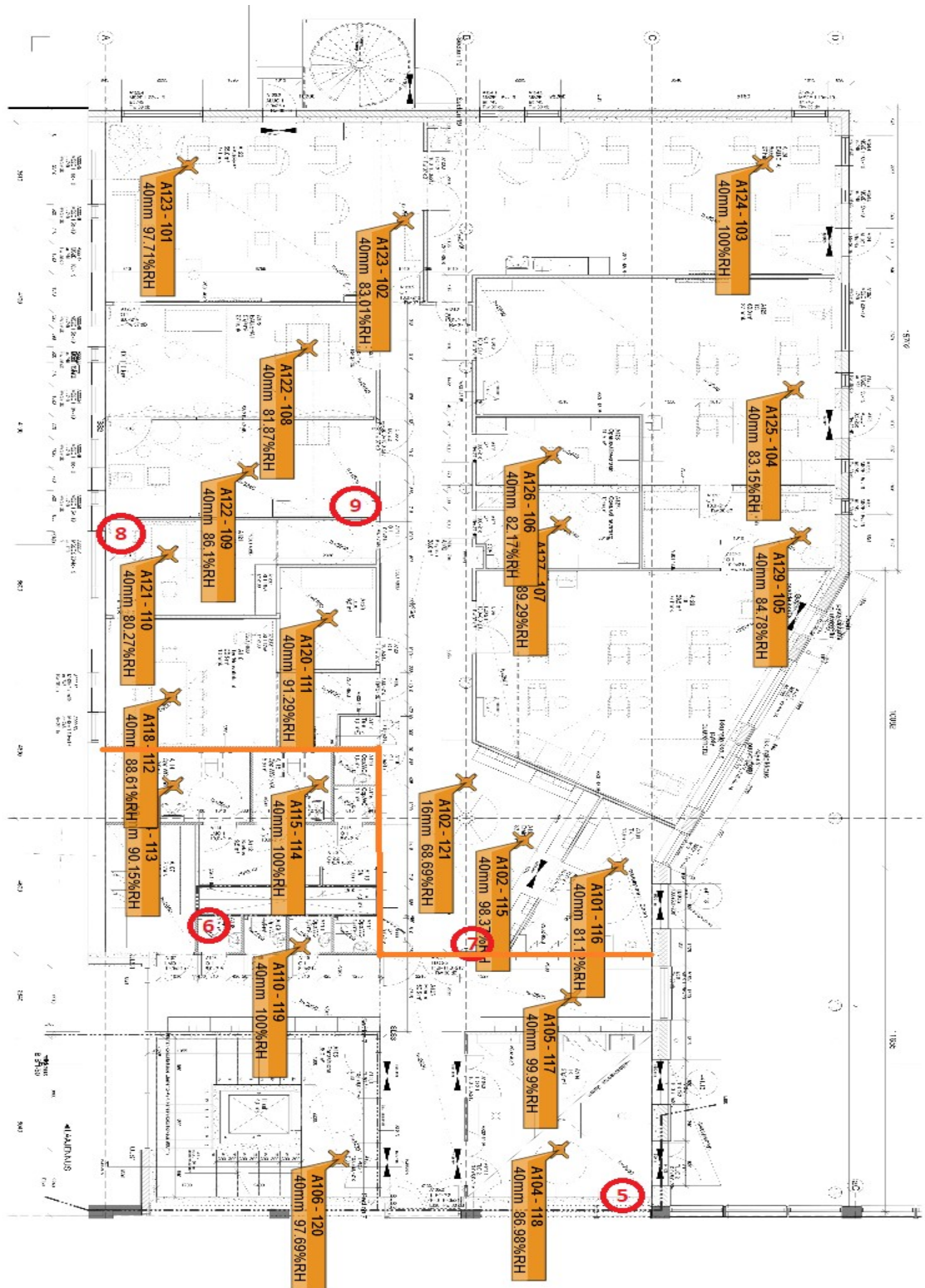
6.2 1. kerros

1. kerrokseen on asennettu valun aikana 21 Wiisteen kosteusmittausanturia ja niistä 18 on löydetty. Syy kolmen anturin löytymättömyyteen voi olla esimerkiksi

puutteellinen merkintä anturin paikasta tai sitten anturi voi olla kääntynyt liippauksen aikana siten, että mittausetäisyys on kasvanut liian suureksi. Porareikämittauksia on tehty viidestä paikasta kahdelta eri syvyydeltä, 30 mm ja 70 mm.

1. kerroksen lattia valettiin kahdessa osassa, ensimmäinen osa valettiin 21.5. ja toinen osa valettiin 1.6. Valujen raja on merkitty kuvaan 7 oranssilla viivalla. Lattia valettiin ontelolaatan päälle ja valussa käytettiin lisäaineetonta betonia. Lattiavalun paksuus oli 100 mm. Lattiavalun ja ontelolaatan väliin laitettiin askeläänieriste kaikkialle muualle paitsi märkätiloihin.

Kuvassa 14 on esitetty Wiisteen mittauspisteet oranssilla ja porareikämittauksien mittauspisteet punaisella. Taulukossa 5 on esitetty Wiisteen mittauspisteen tulokset ja taulukossa 6 on esitetty porareikämittauksien tulokset.



Kuva 14. 1. kerroksen Wiiste-mittauspisteet (oranssi) ja porareikämittauspisteet (punainen)

Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	04.06.2018	13.08.2018	31.08.2018	11.09.2018	21.09.2018	28.09.2018	05.10.2018	11.10.2018
			RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]
A101 - 116	SH1 15004	40		86.69 18.71	84.31 20.76	83.09 23.58	83.12 24.53	82.72 24.79	81.76 24.40	81.12 24.37
A102 - 115	SH1 16389	40						100.00 26.86		98.37 25.33
A102 - 121	SH1 15146	16		90.29 19.88			81.17 27.57	75.05 28.73	70.31 27.82	68.69 26.81
A104 - 118	SH1 16286	40	91.59 18.44	91.89 18.71	89.76 19.10	88.23 22.56	88.69 24.23	88.93 23.39		86.98 23.44
A105 - 117	SH1 14656	40	97.41 19.30	99.90 18.63						
A106 - 120	SH1 14613	40	100.00 18.74	100.00 17.99	100.00 19.96	100.00 23.33	100.00 25.41	100.00 24.61	99.51 23.79	97.69 24.28
A110 - 119	SH1 16363	40		100.00 17.77		100.00 23.26	100.00 25.73	100.00 26.30		
A114 - 113	SH1 15318	40	93.09 18.16	92.24 20.45	91.56 22.06	91.17 23.51	90.58 25.21	90.15 26.58		
A115 - 114	SH1 14707	40	100.00 18.43		100.00 22.39	100.00 23.94	100.00 25.70	100.00 26.82	100.00 26.54	100.00 26.56
A118 - 112	SH1 15614	40		90.25 20.68	90.06 22.65	89.95 23.88		90.01 25.86	88.61 25.67	
A120 - 111	SH1 15140	40		97.02 20.09	96.10 22.66	95.58 24.54	94.21 25.61	93.80 26.52		91.29 26.13
A121 - 110	SH1 15265	40		85.38 21.54	83.89 22.88	83.45 24.03	82.38 25.15	81.89 25.97		80.27 25.93
A122 - 108	SH1 16111	40		86.61 21.58	85.73 23.05	85.08 24.86	84.17 26.33	83.73 27.11	82.59 26.33	81.87 26.83
A122 - 109	SH1 15272	40		87.37 22.02	86.10 22.80					
A123 - 101	SH1 16002	40		99.10 23.01	98.69 22.22	98.65 24.58	97.86 25.08	97.71 25.87		
A123 - 102	SH1 16103	40		88.40 21.66	88.21 22.19	87.09 24.73	86.02 25.52	85.12 26.22	84.21 25.50	83.01 26.19
A124 - 103	SH1 16288	40								
A125 - 104	SH1 14796	40		89.78 22.20	87.58 20.93		85.99 23.99	85.13 24.47	84.12 24.31	83.15 23.80
A126 - 106	SH1 14871	40		88.11 21.46	86.49 22.28	85.61 23.84	84.67 25.15	84.01 25.86	83.03 25.26	82.17 25.63
A127 - 107	SH1 16306	40		88.35 20.92	88.39 22.03	88.92 23.45	89.31 24.61	89.78 25.93	89.56 25.51	89.29 25.44
A129 - 105	SH1 14750	40		94.12 21.65	91.40 21.33		88.83 25.07	87.84 26.08	86.05 25.43	84.78 24.95

Taulukko 5. 1. kerroksen Wiiste-mittaustulokset

Päivämäärä	27.8.2018		10.9.2018		25.10.2018	
	RH %	°C	RH %	°C	RH %	°C
MP 5, pintavalu 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	91.7	18.4	91.0	20.9	-	
MP 5, pintavalu 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	89.8	17.9	84.2	21.3	-	
MP 6, pintavalu 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	90.5	20.3	89.1	22.6	-	
MP 6, pintavalu 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	90.4	20.3	87.8	22.4	-	
MP 7, pintavalu 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	89.2	20.2	-		-	
MP 7, pintavalu 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	87.1	19.5	-		-	
MP 8, pintavalu 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	89.0	21.4	-		-	
MP 8, pintavalu 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	85.4	22.0	-		-	
MP 9, pintavalu 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	89.4	22.3	-		-	
MP 9, pintavalu 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	86.2	22.4	-		-	
Sisäilma 1 krs	43.9	22.0	61.7	23.0	-	
Ulkoilma	63.0	16.9	82.0	18.2	100.0	-1.2

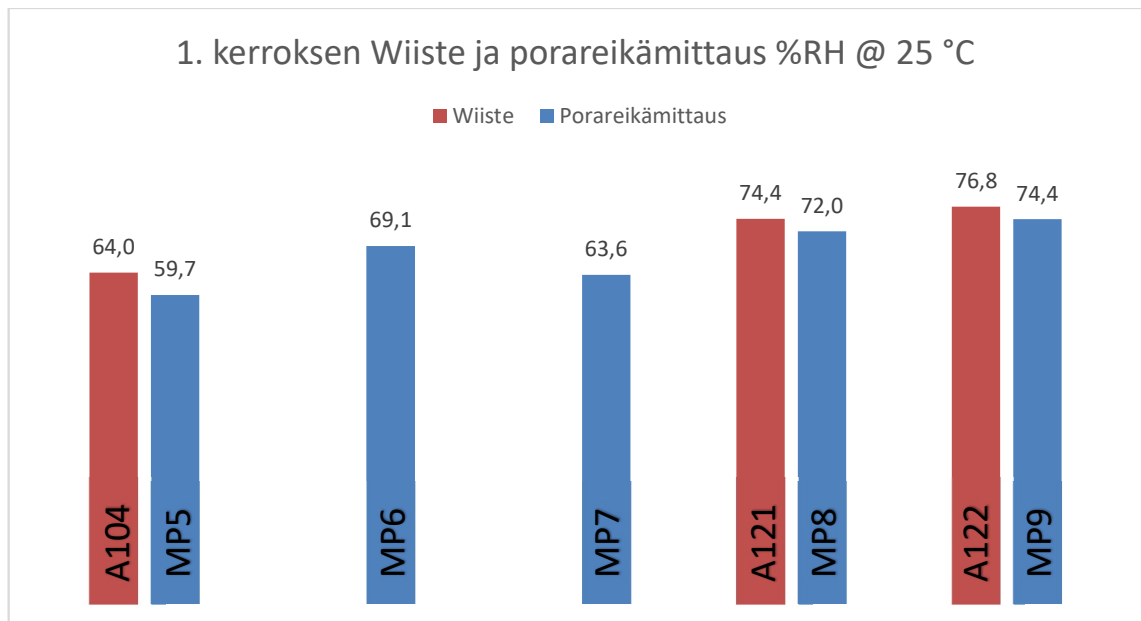
Taulukko 6. 1. kerroksen porareikämittauksien mittaustulokset

Taulukossa 7 on koottu yhteen Wisteen ja porareikämittauksien läheisten päivien tulokset ja laskettu niiden perusteella vesihöyrypitoisuus, joka on ilmoitettu grammoina kuutiota kohden. Tämä saatu arvo on vielä muunnettu vesihöyrypitoisuutta vastaavaksi suhteellisen kosteuden arvoksi 25 celsiusasteessa. Tällä tavoin saadaan sekä Wisteen että porareikämittauksien mittaustuloksien teoreettinen suhteellinen kosteus samassa lämpötilassa.

Wieste					Porareikämittaus				
31.elo	%RH	°C	g/m ³	%RH @ 25°C	27.elo	%RH	°C	g/m ³	%RH @ 25°C
A104	89,8	19,1	14,7	64,0	MP5	89,8	17,9	13,7	59,7
A110	-	-	-	-	MP6	90,4	20,3	15,9	69,1
A102	-	-	-	-	MP7	87,1	19,5	14,6	63,6
A121	83,9	22,9	17,1	74,4	MP8	85,4	22,0	16,6	72,0
A122	85,7	23,1	17,7	76,8	MP9	86,2	22,4	17,1	74,4

Taulukko 7. 1. kerroksen Wiiste- ja porareikämittausvertailu

Kuviossa 4 on otettu vertailutaulukosta Wisteen ja porareikämittauksien vesihöyrypitoisuuksien arvot, jotka on ilmoitettu grammoina kuutiota kohden. Tästä kuviosta pystyy näkemään paremmin sen, että kuinka paljon eroa on Wisteen ja porareikämittauksen tuloksien kosteudessa.



Kuvio 3. 1. kerroksen Wiiste- ja porareikämittausvertailu

Wiisteen antureiden ja porareikämittausten välinen syvyysero on noin 10 mm. Wiisteen anturit mittaavat noin 40 mm syvyydestä ja porareikämittaukset on suoritettu noin 30 mm syvyydestä. Mahdollinen pieni suhteellisen kosteuden ero voi johtua tästä syystä.

Wiisteen antureiden A121 ja A122 sekä porareikämittauspisteiden MP8 ja MP9 välinen suhteellisen kosteuden ero on 2,4 prosenttiyksikköä. Kyseinen ero on Wiisteen ilmoittaman mittausepävarmuuden arvon puitteissa. Suhteellisen kosteuden ero voi myös johtua mittauspaikkojen sijainnista. Porareikämittauksen pisteet sijaitsevat laatan reunassa ja Wiisteen anturit sijaitsevat laatan keskellä. Anturin A121 ja MP8 välinen etäisyys on noin 2 metriä ja anturin A122 ja MP9 välinen etäisyys on noin neljä metriä.

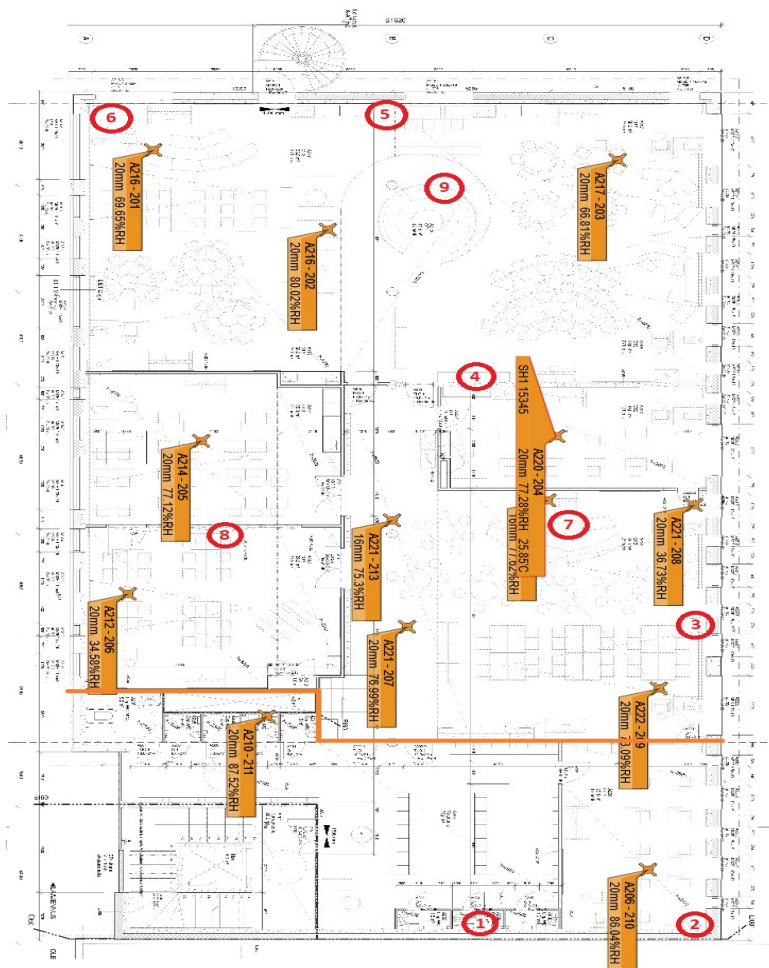
Wiisteen anturin A104 ja porareikämittauksen pisteen MP5 välinen suhteellisen kosteuden ero on 4,3 prosenttiyksikköä. Kyseiset mittauspisteet sijaitsevat märkätilassa, jossa betonilaatan alle ei ole laitettu askeläänieristettä. Betonilaatta pääsee kuivumaan kahteen suuntaan, jolloin laatan kosteus on korkeampi keskellä laattaa. Koska laatta on keskeltä kosteampi, on mittauspisteiden sijainnilla vaikutusta suhteellisen kosteuden arvoon. Wiisteen anturi sijaitsee laatan keskellä ja porareikämittauksen piste laatan reunassa. Tämä voi selittää näiden kahden pisteen välisen kosteuseron.

6.3 2. kerros

2. kerrokseen on asennettu valun aikana 13 Wiisteen kosteusmittausanturia ja niistä 11 on löydetty. Porareikämittauksia on tehty yhdeksästä paikasta kolmesta eri syvyydestä, 30 mm, 70 mm ja 110 mm.

2. kerroksen lattia valettiin kahdessa osassa, ensimmäinen osa valettiin 26.4. ja toinen osa valettiin 2.5. Valujen raja on merkitty kuvaan 8 oranssilla viivalla. Lattiavalun paksuus oli 50 mm. Lattia valettiin ontelolaatan päälle ja valussa käytettiin lisäaineetonta betonia.

Kuvassa 15 on esitetty Wiisteen mittauspisteet oranssilla ja porareikämittauksien mittauspisteet punaisella. Taulukossa 6 on esitetty Wiisteen mittauspisteen tulokset ja taulukossa 7 on esitetty porareikämittauksien tulokset.



Kuva 15. 2. kerroksen Wiiste-mittauspisteet (oranssi) ja porareikämittauspisteet (punainen)

Mittapisti	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	27.06.2018	07.08.2018	13.08.2018	31.08.2018	03.09.2018	11.09.2018	21.09.2018	28.09.2018
			RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]
A206 - 210	SH1 15948	20		94.74 22.23	93.73 20.29	93.18 21.75	92.94 22.23	92.04 26.55	88.89 27.58	86.04 27.32
A210 - 211	SH1 16199	20	89.50 17.69		88.66 19.80	85.93 22.71	85.30 22.80	84.66 23.75	82.10 24.98	87.52 25.37
A211 - 212	SH1 15420	16			83.82 22.55		81.26 22.73	80.79 24.19	79.05 25.46	77.62 25.97
A212 - 206	SH1 15246	20								
A214 - 205	SH1 16310	20			84.61 22.92	81.80 23.01	81.29 23.15	80.99 24.07	79.05 25.26	77.12 25.77
A216 - 201	SH1 14545	20			77.99 25.64	74.79 23.65	73.88 24.47	74.13 24.79	71.76 25.36	69.65 25.97
A216 - 202	SH1 14945	20			92.30 23.86	87.82 23.16	87.05 23.70	86.37 24.57	82.65 25.13	80.02 25.73
A217 - 203	SH1 14520	20			77.17 24.31	72.99 23.04	72.63 23.41	71.95 24.75	69.22 25.61	66.81 25.88
A220 - 204	SH1 15345	20			87.82 23.20	82.86 22.72	82.32 23.03	81.48 24.16	79.34 25.17	77.28 25.85
A221 - 207	SH1 16187	20		84.58 23.65	83.51 22.08	81.20 24.08	80.91 23.11	80.12 24.78	78.56 26.29	76.99 26.79
A221 - 208	SH1 15314	20								
A221 - 213	SH1 15607	16			85.57 22.70	82.65 23.27	81.89 23.40	81.27 24.41	78.47 25.64	75.30 26.26
A222 - 209	SH1 16183	20			80.72 20.91	79.50 22.72	79.04 22.79	78.23 24.53		73.09 25.36

Taulukko 8. 2. kerroksen Wiiste-mittaustulokset

Päivämäärä	16.8.2018		10.9.2018		20.9.2018		28.9.2018	
	RH %	°C	RH %	°C	RH %	°C	RH %	°C
MP 1, ontelolaatta 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	89.2	19.2	86.7	22.7	-		-	
MP 1, pintavalu 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	89.9	19.1	86.4	22.7	-		-	
MP 2, päätyvalu 110 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	91.8	18.7	90.0	25.0	89.6	23.7	-	
MP 2, ontelolaatta 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	87.7	18.5	87.1	25.2	86.8	25.2	79.2	25.5
MP 2, pintalaatta 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	83.6	18.8	82.0	25.5	82.0	25.4	74.2	25.9
MP 3, päätyvalu 110 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	90.6	19.6	90.3	22.9	90.4	23.7	-	
MP 3, ontelolaatta 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	88.2	19.2	88.1	23.1	86.6	24.1	83.5	23.9
MP 3, pintalaatta 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	85.5	19.8	81.8	23.6	81.6	24.3	79.0	23.1
MP 4, ontelolaatta 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	86.5	22.0	-		81.0	25.0	-	
MP 4, pintavalu 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	83.1	21.2	-		74.1	25.4	-	
MP 5, päätyvalu 1100 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	90.5	22.2	90.4	23.5	89.7	24.9	-	
MP 5, ontelolaatta 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	88.4	21.9	88.9	23.9	86.7	24.6	83.2	25.1
MP 5, pintavalu 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	83.2	22.6	83.4	24.5	81.2	24.1	79.2	25.2
MP 6, ontelolaatta 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	85.4	23.4	-		80.2	25.4	-	
MP 6, pintavalu 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	80.1	23.3	-		72.9	25.5	-	
MP 7, ontelolaatta 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	-		-		-		82.5	25.4
MP 7, pintavalu 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	-		-		-		79.5	25.3
MP 8, ontelolaatta 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	-		-		-		HOLKIT	
MP 8, pintavalu 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	-		-		-		POIKKI	
MP 9, ontelolaatta 70 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	-		-		-		83.2	25.1
MP 9, pintavalu 30 mm syvyydeltä rakenteen pinnasta	-		-		-		78.0	25.3
Sisäilma	56.7	21.6	53.0	24.1	39.7	24.5	29.9	25.9
Ulkoilma	76.0	17.5	82.0	18.2	82.0	17.5	63.5	9.4

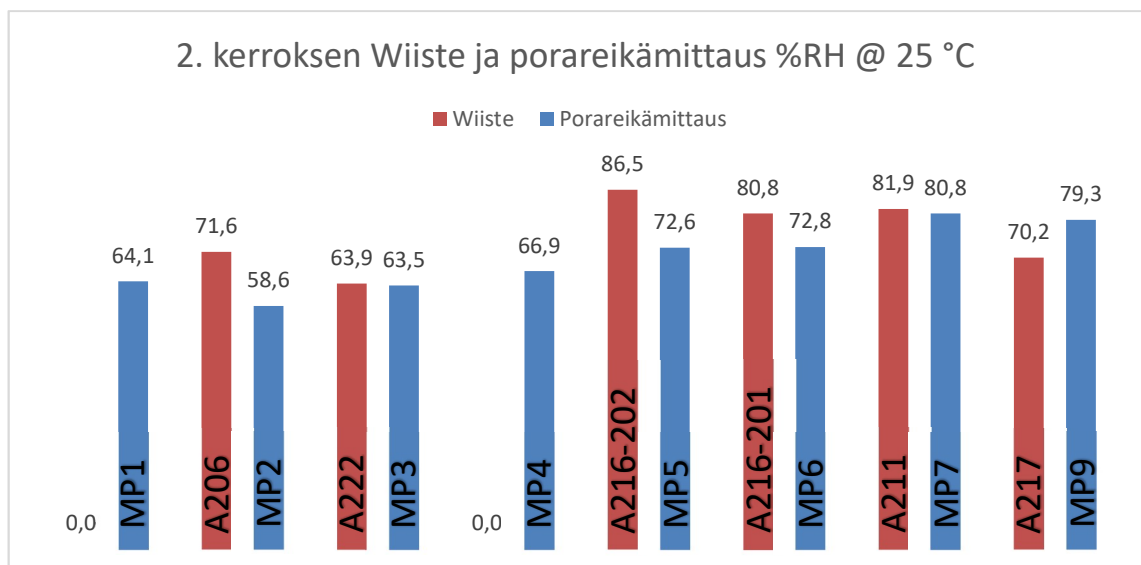
Taulukko 9. 2. kerroksen porareikämittauksen mittaustulokset

Taulukossa 10 on koottu yhteen Wiisteen ja porareikämittauksien läheisten päivien tulokset ja laskettu niiden perusteella vesihöyrypitoisuus, joka on ilmoitettu grammoina kuutiota kohden. Tämä saatu arvo on vielä muunnettu vesihöyrypitoisuutta vastaavaksi suhteellisen kosteuden arvoksi 25 celsiusasteessa. Tällä tavoin saadaan sekä Wiisteen että porareikämittauksien mittaustuloksien teoreettinen suhteellinen kosteus samassa lämpötilassa.

Wiiste					Porareikämittaus				
13.elo	%RH	°C	g/m ³	%RH @ 25°C	16.elo	%RH	°C	g/m ³	%RH @ 25 °C
-	-	-	-	-	MP1	89,9	19,2	14,7	64,1
A206	93,7	20,3	16,5	71,6	MP2	83,6	18,8	13,5	58,6
A222	80,7	20,9	14,7	63,9	MP3	85,5	19,8	14,6	63,5
-	-	-	-	-	MP4	83,1	21,2	15,4	66,9
A216-202	92,3	23,9	19,9	86,5	MP5	83,2	22,6	16,7	72,6
A216-201	78,0	25,6	18,6	80,8	MP6	80,1	23,3	16,7	72,8
28.syys					28.syys				
A211	77,6	26,0	18,8	81,9	MP7	79,5	25,3	18,6	80,8
A217	66,8	25,9	16,1	70,2	MP9	78,0	25,3	18,2	79,3

Taulukko 10. 2. kerroksen Wiiste- ja porareikämittausvertailu

Kuviossa 5 on otettu vertailutaulukosta Wiisteen ja porareikämittausten vesihöyrypitoisuuksien arvot, jotka on ilmoitettu grammoina kuutiota kohden. Tästä kuviosta pystyy näkemään paremmin sen, että kuinka paljon eroa on Wiisteen ja porareikämittauksen tuloksien kosteudessa.



Kuvio 4. 2. kerroksen Wiiste- ja porareikämittausvertailu

Wiisteen antureiden ja porareikämittausten välinen syvyysero on noin 10 mm. Wiisteen anturit mittaavat noin 20 mm syvyydestä ja porareikämittaukset on suoritettu noin 30 mm syvyydestä. Ainoana poikkeuksena on Wiisteen anturin A211 mittaussyvyys, joka on 16 mm. Mahdollinen pieni suhteellisen kosteuden ero voi johtua tästä syystä.

2. kerroksessa betonilaatta on valettu suoraan ontelolaataston päälle, joten betonilaatta pääsee kuivumaan kahteen suuntaan. Tämän seurauksena laatan keskellä on korkeampi kosteus kuin reunoilla.

Wiisteen antureiden A222 ja A211 sekä porareikämittauspisteiden MP3 ja MP7 väliset suhteellisten kosteuksien erot ovat Wiisteen ilmoittamien mittausepävarmuuksien puitteissa. Anturin A222 ja MP3 välinen suhteellisen kosteuden ero on 0,4 prosenttiyksikköä ja anturin A211 ja MP7 välinen ero on 1,1 prosenttiyksikköä. Noin pieni ero voi johtua myös antureiden ja mittauspisteiden sijainnista.

Wiisteen anturin A206 ja porareikämittauspisteen MP2 välinen suhteellisen kosteuden ero on 13 prosenttiyksikköä. Tilassa, jossa kyseiset mittauspisteet sijaitsevat täytettiin vesiastioita. Vesiastioiden täyttö tapahtui huoneen pohjoispuolella ja vesiastioiden alla oli suojia veden läikkymisen varalta, mutta on mahdollista, että vettä on päässyt kosketuksiin betonilattian kanssa. Tästä voi johtua Wiisteen anturin ilmoittama, 13 prosenttiyksikköä, porareikämittausta suurempi lukema.

Wiisteen anturin A216-202 ja porareikämittauspisteen MP5 välinen suhteellisen kosteuden ero on 13,9 prosenttiyksikköä. Rakennustyömaalla maalarit käyttivät vettä Wiisteen anturin läheisyydessä ja sitä on voinut mahdollisesti läikkyä lattialle. Tästä voi johtua Wiisteen anturin ilmoittama paljon suurempi suhteellisen kosteuden arvo verrattuna porareikämittauksesta saatuun suhteellisen kosteuden arvoon.

Wiisteen anturin A216-201 ja porareikämittauspisteen MP6 välinen suhteellisen kosteuden ero on 8 prosenttiyksikköä. Anturi ja mittauspiste sijaitsevat lähellä toisiaan, joten noin suuren suhteellisen kosteuden eron ei pitäisi olla mahdollista. On mahdollista, että asennusvaiheessa Wiisteen anturin kalibrointi on vioittunut ja tästä syystä ilmoittaa normaalia suurempaa arvoa.

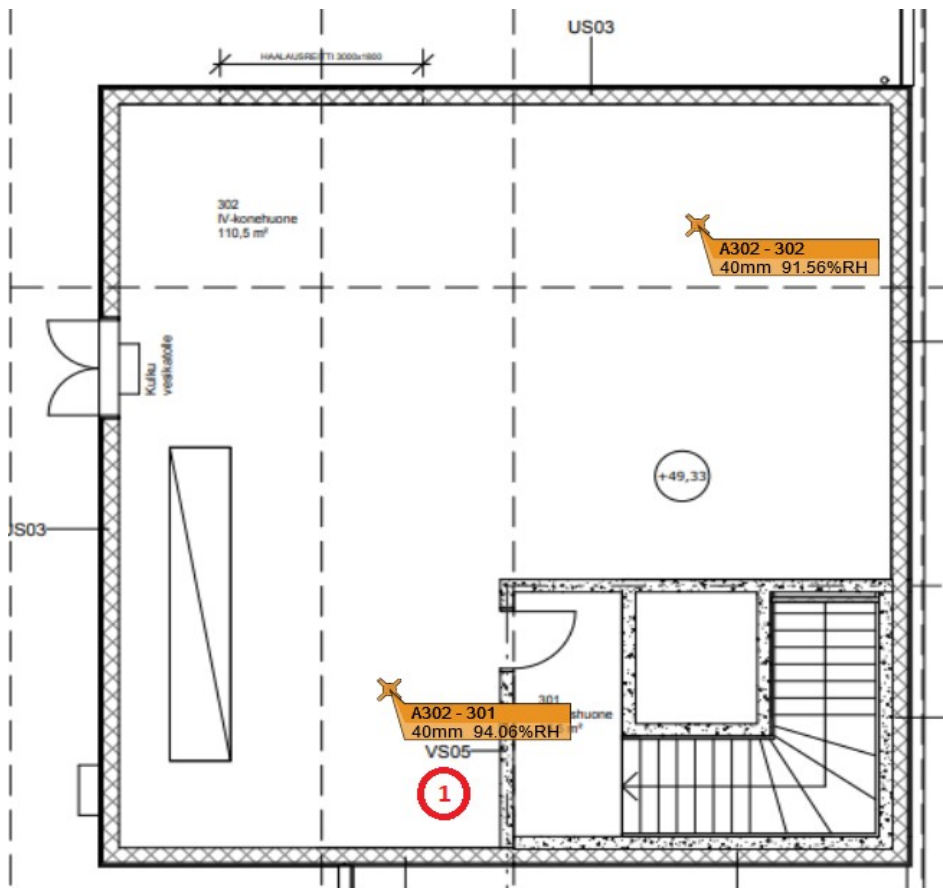
Wiisteen anturin A217 ja porareikämittauspisteen MP9 välinen suhteellisen kosteuden ero on 9,1 prosenttiyksikköä. Porareikämittauksen mittauspiste sijaitsee lähellä paikkaa, jossa maalarit käyttivät vettä ja sitä on voinut mahdollisesti läikkyä lattialle. Tästä voi johtua porareikämittauksen ilmoittama suurempi suhteellisen kosteuden arvo verrattuna Wiisteen anturin ilmoittamaan suhteellisen kosteuden arvoon.

6.4 IV-konehuone

Kuvassa 16 on esitetty Wiisteen mittauspisteet oranssilla ja porareikämittauksien mittauspisteet punaisella. Taulukossa 11 on esitetty Wiisteen mittauspisteen tulokset ja taulukossa 12 on esitetty porareikämittauksien tulokset.

IV-konehuoneeseen on asennettu valun aikana kaksi Wiisteen kosteusmittausanturia ja niistä molemmat on löydetty. Porareikämittauksia on tehty yhdestä paikasta kahdesta eri syvyydestä, noin 15 mm ja noin 35 mm.

IV-konehuoneen lattia valettiin 7.6. Lattia valettiin ontelolaatan päälle ja valussa käytettiin lisäaineetonta betonia. Lattiavalun paksuus oli 100 mm. Lattian päällystyksessä käytettiin epoksia, jota voi käyttää betonin suhteellisen kosteuden ollessa 90 tai jopa 95 prosenttia. Tästä syystä mittaustuloksia ei ole kovinkaan paljoa.



Kuva 16. IV-konehuoneen Wiiste-mittauspisteet (oranssi) ja porareikämittauspiste (punainen)

Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	08.06.2018	15.06.2018	18.06.2018	21.06.2018	25.06.2018
			RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]
A302 - 301	SH1 14572	40	93.85 15.18	97.69 18.78	97.01 21.23	95.86 19.59	94.06 17.78
A302 - 302	SH1 15160	40	90.05 16.38	93.29 18.84	93.03 21.03	92.71 19.63	91.56 17.97

Taulukko 11. IV-konehuoneen Wiiste-mittaustulokset

Päivämäärä	25.6.2018
	RH % °C
MP 1, n 13mm	82,1 17,8
MP 1, n 35mm	87,4 17,9
Sisäilma	66,1 17,9
Ulkoilma	70,4 15,2

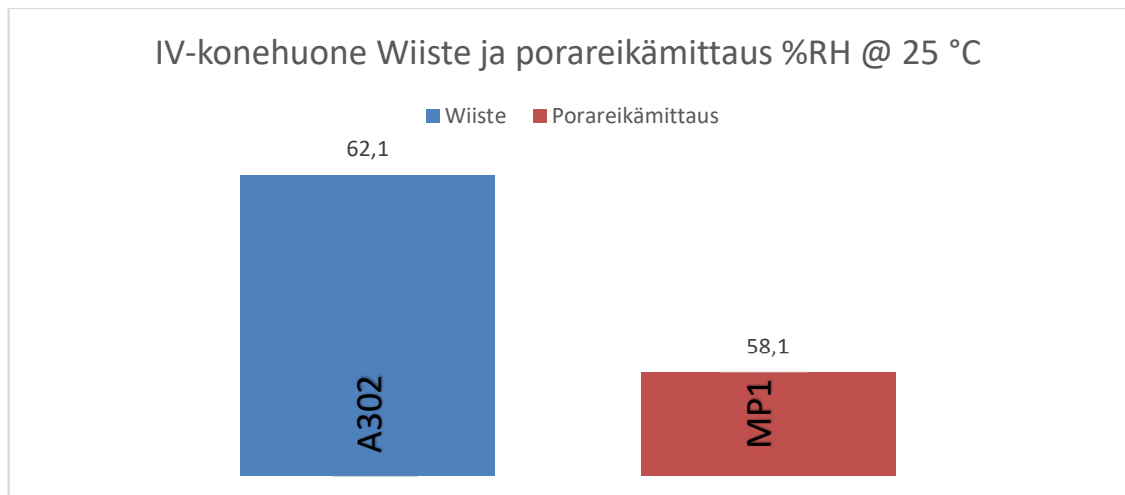
Taulukko 12. IV-konehuoneen porareikämittaustulokset

Taulukossa 13 on koottu yhteen Wiisteen ja porareikämittauksen tulokset ja laskettu niiden perusteella vesihöyrypitoisuus, joka on ilmoitettu grammoina kuutiota kohden. Tämä saatu arvo on vielä muunnettu vesihöyrypitoisuutta vastaavaksi suhteellisen kosteuden arvoksi 25 celsiusasteessa. Tällä tavoin saadaan sekä Wiisteen että porareikämittauksen mittaustuloksien teoreettinen suhteellinen kosteus samassa lämpötilassa.

Wiiste					Porareikämittaus				
25.kesä	%RH	°C	g/m ³	%RH @ 25°C	25.kesä	%RH	°C	g/m ³	%RH @ 25 °C
A302	94,1	17,8	14,3	62,1	MP1	87,4	17,9	13,4	58,1

Taulukko 13. IV-konehuoneen Wiiste- ja porareikämittausvertailu

Kuviossa 3 on otettu vertailutaulukosta Wiisteen ja porareikämittauksien vesihöyrypitoisuuksien arvot, jotka on ilmoitettu grammoina kuutiota kohden. Tästä kuviosta pystyy näkemään paremmin sen, että kuinka paljon eroa on Wiisteen ja porareikämittauksen tuloksien kosteudessa.



Kuvio 5. IV-konehuone Wiiste- ja porareikämittausvertailu

IV-konehuoneen betonilaatta valettiin ontelolaatan päälle, jonka seurauksena laatta pääsee kuivumaan kahteen suuntaan. Betonilaatan kuivuessa kahteen suuntaan on laatan keskellä suurempi kosteus kuin reunoilla. Wiisteen anturi sijaitsee keskemällä laattaa kuin porareikämittauksen mittauspiste. Tästä voi johtua anturin ja mittauspisteen välinen suhteellisen kosteuden ero, joka on 4 prosenttiyksikköä.

7 Päätelmät

Opinnäytetyön aikana huomattiin, miten iso osa onnistuneesta rakennusurakasta kosteudenhallinta on. Kosteudenhallinta tulee huomioida rakennusurakassa jo paljon ennen rakentamisen aloittamista. Vaikka kosteudenhallinta olisi priimakunnossa työmaalla, voi silti tulla odottamattomia yllätyksiä. Niihin pitää kuitenkin reagoida parhaalla mahdollisella tavalla, jotta kosteusvauriot pystytään minimoimaan ja jotta ne eivät vaikuta paljoa rakennuksen valmistumiseen.

Tässä opinnäytetyössä muunnettiin sekä Wiisteen että porareikämittauksien tulokset ensiksi suhteellisesta kosteudesta vesihöyrypitoisuudeksi ja sen jälkeen vesihöyrypitoisuudesta teoreettiseksi suhteelliseksi kosteudeksi 25 celsiusasteen lämpötilassa. Tämä mahdollisti kummankin mittaustavan tarkan vertailun toisiinsa nähden, koska lämpötila oli sama. Mittauksissa betonilaatan lämpötila vaikuttaa suhteelliseen kosteuteen, eli vaikka vesihöyrypitoisuus olisikin sama,

mutta lämpötilassa on kahden asteen ero, voi suhteellisen kosteuden muutos olla 10 prosentin luokkaa.

Wiisteen ja porareikämittauksien tuloksia vertaillen huomattiin, että kokonaisuudessaan ne ovat aika lähellä toisiaan. Muutamia suurempia eroja suhteellisen kosteuden arvoissa oli, mutta useimmiten niille löytyi selitys, mistä ero johtui. Mittaustulosten vertailujen kannalta olisi ollut parempi, jos anturit ja mittauspisteet olisivat sijainneet lähekkäin ja niistä olisi otettu mittaustiedot samana päivänä ja melkeinpä vielä samaan kellonaikaan. Tällöin olisi paljon paremmin pystytty vertailemaan kummankin mittaustavan antamia tuloksia.

Vaikka Wiisteen arvot olivat lähellä tai melkein samoja porareikämittauksien kanssa, ei sitä voida käyttää virallisen kosteuden mittaamiseen työmaalla, ainoastaan kosteuden seurantaan. Tähän löytyi kaksi syytä opinnäytetyön tekemisen aikana. Ensimmäinen syy on se, että mittauslaitetta käyttävällä henkilöllä tulee olla ammattipätevyys kyseiseen tehtävään. Toinen syy on kalibroinnin mahdollisuus. Wiisteen betoniin asennettavat anturit kalibroidaan tehtaalla ennen lähettämistä työmaalle ja tämän jälkeen niitä ei enää kalibroida. Jotta anturia voisi käyttää viralliseen kosteuden mittaamiseen, tulisi sillä olla kalibrointimahdollisuus työmaallakin.

Lähteet

Cramo 2018. eGate Smart Building Innovation. http://www.puhtaudenhallinta.fi/wp-content/uploads/2018/08/eGate_tuotekortti.pdf Luettu 27.2.2019

Humia 2019. Ominaisuudet. <http://www.humia.fi/> Luettu 27.2.2019

Kosteudenhallinta 2019a. Esimerkki työmaan kosteudenhallintasuunnitelman sisällöstä. <http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimet/kosteudenhallintasuunnitelma> Luettu 13.2.2019

Kosteudenhallinta 2019b. Kosteudenhallinnan suunnittelu. <http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakennushankkeen-osapuolet/toteuttaja> Luettu 13.2.2019

Kosteudenhallinta 2019c. Kosteudenhallintasuunnitelman noudattamisen valvonta. <http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakennushankkeen-vaiheet/rakentamisvaihe/kosteudenhallintasuunnitelman-noudattamisen-valvonta> Luettu 14.2.2019

Kosteudenhallinta 2019d. Tilaajan välitavoitteet ja aikataululle asettamat vaatimukset. <http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakennushankkeen-vaiheet/rakentamisen-valmistelu/tilaajan-vaelitavoitteet-ja-aikataululle-asettamat-vaatimukset> Luettu 14.2.2019

Kosteudenhallinta 2019e. Työmaan kosteudenhallinnan suunnittelu. <http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakennushankkeen-vaiheet/rakentamisen-valmistelu/tyoemaan-kosteudenhallinnan-suunnittelu> Luettu 13.2.2019

Kosteudenhallinta 2019f. Urakoitsijan aikataulusuunnittelu. <http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakennushankkeen-vaiheet/rakentamisen-valmistelu/urakoitsijan-aikataulusuunnittelu> Luettu 14.2.2019

Kuivaketju10 2018a. Kosteudenhallintakoordinaattori. http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Kosteudenhallintakoordinaattori_150313.pdf Luettu 21.2.2019

Kuivaketju10 2018b. Käyttö. http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Ka%CC%88ytto%CC%88_150313.pdf Luettu 20.2.2019

Kuivaketju10 2018c. Käyttöönotto. http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Ka%CC%88ytto%CC%88o%CC%88notto_150313.pdf Luettu 20.2.2019

Kuivaketju10 2018d. Riskilista. http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Riskilista_150313.pdf Luettu 21.2.2019

Kuivaketju10 2018e. Suunnittelu. http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Suunnittelu_150313.pdf Luettu 19.2.2019

Kuivaketju10 2018f. Tilaaminen. http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Tilaaminen_150313.pdf Luettu 18.2.2019

Kuivaketju10 2018g. Todentamisohje. kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/08/Kuivaketju10-Todentamisohje_20180403.xls Luettu 21.2.2019

Kuivaketju10 2018h. Työmaatoteutus. http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/04/Kuivaketju10-Tyo%CC%88maatoteutus_150313.pdf Luettu 19.2.2019

Kuivaketju10 2019. Mikä on Kuivaketju10? <http://kuivaketju10.fi/#kuivaketju10> Luettu 18.2.2019

Rakennustietosäätiö RTS 2010. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. RT-kortti RT 14-10984 Luettu 26.2.2019

Vaisala 2012. Anturin toiminta. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/HUMICAP-Technology-description-B210781FI-C.pdf> Luettu 21.3.2019

Vigilan 2019. HCS tuotteet ja palvelut rakennekosteuden valvontaan. <http://www.vigilan.fi/> Luettu 27.2.2019

Wiiste 2015a. SolidRH SH1 – Betoniin kiinteästi asennettava anturi. <https://www.wiiste.com/media/tiedostot/pdf/sh1-tuotekortti.pdf> Luettu 28.2.2019

Wiiste 2015b. SolidRH SH3 – Anturi pintojen mittaamiseen. <https://www.wiiste.com/media/tiedostot/pdf/sh3-tuotekortti.pdf> Luettu 1.3.2019

Wiiste 2015c. SolidRH SH4 – Hankalasti saavutettavien rakenteiden mittaamiseen. <https://www.wiiste.com/media/tiedostot/pdf/sh4-tuotekortti.pdf> Luettu 1.3.2019

Wiiste 2015d. SolidRH SHR – Tarkat pinnoitettavuusmittaukset ja sähköinen raportointi. <https://www.wiiste.com/media/tiedostot/pdf/shr-tuotekortti.pdf> Luettu 1.3.2019

Wiiste 2019a. SolidRH RD1. <https://www.wiiste.com/rakennekosteusmittarit> Luettu 28.2.2019

Wiiste 2019b. Wiiste – langattoman kosteudenhallinnan edelläkävijä. <https://www.wiiste.com/wiiste-oy> Luettu 27.2.2019

Wiiste 2019c. Wiiste IoT. <https://www.wiiste.com/rakennekosteusmittarit> Luettu 28.2.2019

Ympäristöministeriön asetus 782/2017, §12. 24.11.2017. Luettu 2.4.2019