

# **IoT-kosteusmittausanturien asennusolosuhteet**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki Hämeenlinna, rakennustekniikka

Helmikuu, 2019

Jussi Jaakkola

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, rakennusmestari  
Visamäki Hämeenlinna

---

<b>Tekijä</b>	Jussi Jaakkola	<b>Vuosi</b> 2019
<b>Työn nimi</b>	IoT-kosteusmittausanturien asennusolosuhteet	
<b>Työn ohjaaja/t</b>	Ville Pulkkinen	

---

## TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö pyrki selvittämään langattomien kosteusmittausantureiden käyttökelpoisuutta betonin kosteusmittauksessa lähinnä korvaamaan välimittauskäyntejä. Työn tilaajana toimi kansainvälinen kosteusvahinkoihin ja rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan erikoistunut Polygon Finland Oy.

Työssä esitellään betonin ominaisuudet, käyttökohteet ja kuivumiseen vaadittavat olosuhteet. Lisäksi luetellaan betonin kosteusmittaukseen yleisimmin käytetyt laitteistot ja niiden käyttö.

Tutkimuskohteena toimi vesivahingon kärsinyt toimistotila Tampereella, johon purkutöiden jälkeen pumpattuun betonilattiavaluun asennettiin langattomat iot-kosteusmittausanturit. Kuivumista seurattiin tasaisin väliajoin Vaisalan kosteusmittarilla ja tuloksia verrattiin keskenään.

Lopputuloksena langattomat anturit eivät antaneet riittävää lisätietoa kuivumisen seurantaan, lähinnä huonon mittatarkkuutensa vuoksi. Tästä syystä laitteistoa ei voida käyttää luotettavaan kuivumisen seurantaan.

**Avainsanat** Betoni, kosteusmittaus, porareikämittaus, näytepalamittaus, iot

**Sivut** 24 sivua, joista liitteitä 0 sivua

Degree Programme in Construction Management  
Visamäki

---

<b>Author</b>	Jussi Jaakkola	<b>Year</b> 2019
<b>Subject</b>	Installation conditions of IoT-humidity measuring sensors	
<b>Supervisor</b>	Ville Pulkkinen	

---

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to study installation conditions of wireless IoT-humidity measuring sensors and their suitability to substitute for measuring visits. The thesis was commissioned by Polygon Finland Oy which specializes in water and moisture damage restoration.

The thesis discusses the basic properties of concrete, how it behaves in different conditions and how to measure humidity in concrete including various equipment used in humidity measurement.

The object of study was an office space suffered from a water damage in the center of Tampere. The office's whole floor construction was torn down and IoT sensors were installed in the new concrete floor. The drying of concrete was observed at regular intervals with Vaisala moisture meter and the results were compared.

The results of the study show that the accuracy of the IoT humidity measuring sensors was not sufficient. Therefore, the equipment cannot be used in a reliable observation of drying.

**Keywords** Concrete, humidity measurement, IoT

**Pages** 24 pages including appendices 0 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
2	BETONIN OMINAISUUDET .....	1
2.1	Betoni materiaalina.....	1
2.2	Kosteus betonissa .....	2
2.3	Betonin kuivuminen .....	3
3	BETONIN KUIVUMISEN SEURANTA .....	4
3.1	Porareikämittaus.....	4
3.2	Näytepalamittaus.....	6
3.3	Pintakosteusmittaus ja muut mittalaitteet .....	7
3.4	Etäluettavat anturit.....	8
3.5	Mittaustavan valinta .....	8
4	TUTKIMUSKOHDDE.....	9
4.1	Kohdetiedot .....	9
4.2	Käytettävä laitteisto .....	11
4.3	Pilvipalvelu .....	12
4.4	Mittaustulokset.....	14
5	LOPPUTULOKSET .....	15
5.1	Asennusolosuhteiden vaikutus mittaustuloksiin .....	16
5.2	Mittausmenetelmien hintavertailu .....	16
5.3	Mittauksen ongelmat ja riskit .....	17
5.4	Johtopäätökset.....	18
	LÄHTEET .....	19

## 1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on tutkia miten asennusolosuhteet vaikuttavat Telian iot-kosteusmittausanturien mittaustarkkuuteen. Iot tulee sanoista internet of things, esineiden internet, ja tarkoittaa laitteita ja koneita, joita voidaan ohjata, mitata ja sensoroida internet-verkon yli. Aihe on tärkeä, koska antureita ei ole vielä juurikaan käytössä ja kokemukset niiden toiminnasta puuttuvat. Tilaaja on Polygon Finland Oy. Tilaaja on erikoistunut maailmanlaajuisesti vesi-, palo- ja ilmastovahinkojen ehkäisyyn ja korjaamiseen sekä rakennusaikaiseen olosuhdehallintaan (Polygon Finland n.d.). Tilaaja hakee ratkaisua ongelmaan, joka aiheutuu perinteisestä porareikämittauksesta, jossa asentaja joutuu käymään kohteessa useaan otteeseen välimittauksilla. Iot-antureilla välimittauksia ei asennuksen jälkeen tarvita. Työn valmistuttua tilaajan on mahdollista asentaa anturit oikeissa olosuhteissa, eikä mittausvirheitä synny. Lisäksi kuivumisaikaa voi jatkossa ennustaa olosuhteita seuraamalla. Työssä kuvataan antureiden asennus, mittatulosten lukeminen ja niiden tulkinta lattiavalun yhteydessä Tampereen keskustassa.

## 2 BETONIN OMINAISUUDET

### 2.1 Betoni materiaalina

Betoni koostuu kolmesta pääraaka-aineesta: kiviaineksesta, vedestä ja sementistä. Edellä mainittujen lisäksi betoniin sekoitetaan yleisesti erilaisia lisäaineita parantamaan betonin ominaisuuksia. Lisäaineilla voidaan vaikuttaa esimerkiksi betonin työstettävyyteen tai kuivumisaikaan. Lisäksi lisäaineilla voidaan vaikuttaa valmiin betonin kemikaali- tai säärasituksen sietoon. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007a, 8.)

Betonissa käytettävä sementti valmistetaan lähinnä kalkkikivestä, joka on maan kuoren yleisin kivilaji. Sementin harmaa väri johtuu raaka-aineiden sisältämisestä rautayhdisteistä. Sementin raaka-aineet jauhetaan ja kuivmennetaan sen jälkeen uunissa, jolloin raaka-aineet sulavat ja reagoivat keskenään. Tässä yhteydessä vapautuu ilmaan myös kalkkikiven sisältämä hiilidioksidi. Lopputuloksena uunista saadaan kaliumsilikaateista muodostuvia mineraaleja, jotka jauhamalla saadaan sementtiä. (Betoniteollisuus ry n.d.)

Betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali ja veden jälkeen maailman käytetyin materiaali ylipäätään. Betoniteollisuus ry:n mukaan betonia käytetään maailman laajuisesti 13 miljardia kuutiometriä ja Suomessa noin viisi miljoonaa kuutiometriä. Betonin käyttökohteita ovat esimerkiksi

asuinrakennukset, sillat, tunnelit, padot ja tukimuurit. Maan alla betonia käytetään esimerkiksi väestönsuojissa ja perustuspaaluissa. Rakennusten perustuksissa betoni on käytetyin materiaali. Runkorakenteiden lisäksi betonia voidaan käyttää myös esimerkiksi putkissa, kattotiilissä ja kalusteissa. (Betoniteollisuus ry n.d.)

Rakenteissa käytettävän betonin valintaan vaikuttavat niin olosuhteet, viranomaismääräykset kuin betonilta vaaditut ominaisuudet. Huomioon otettavia ominaisuuksia on muun muassa betonimassan valettavuus, tiivistettävyyden ja kuivumisnopeus. Valinnan varsinkin suuremmissa kohteissa tekee yleensä rakennesuunnittelija ja/tai betonitöistä vastaava henkilö. Laadukas lopputulos vaatii kaikkien osa-alueiden hyvää yhteensovittamista. Muistettava onkin, ettei hyvälläkään betonilla päästä hyvään lopputulokseen, mikäli olosuhteet tai työmenetelmät ovat epäsuotuisat. Sama pätee tietenkin myös toisinpäin. (Merikallio ym. 2007a, 9.)

Sementin valmistuksessa käytettävistä korkeista lämpötiloista ja tuotannossa vapautuvasta hiilidioksidista johtuen betonin valmistusta on alettu arvostella ympäristönäkökulmasta katsottuna. Ympäristövaikutusten lisäksi huolta herättää betonissa käytettävät kemikaalit, joiden vaikutusta sisäilmaan ei täysin tunneta. Betonissa käytettävien kemikaalien käyttöä ei rajoiteta mitenkään. Lisäaineiden koostumukset ovat tuotesalaisuuksia, eikä edes viranomaisten tiedossa ole mitä ne tarkkaan ottaen sisältävät. Yleisesti arvellaan, että kemikaalimäärät ovat niin pieniä, ettei niillä ole merkitystä. Varmaa tutkimustietoa ei kuitenkaan vielä ole. (Pulkkinen 2013.)

## 2.2 Kosteus betonissa

Betoni huokoisena materiaalina pyrkii ympäristönsä kanssa hygroskooppiseen tasapainokosteuteen. Hygroskooppisuus tarkoittaa materiaalin, tässä tapauksessa betonin, kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta. Vallitsevista olosuhteista riippuen betoni siis joko luovuttaa ympäristöönsä kosteutta eli kuivuu, tai vastaanottaa ympäristöstään kosteutta eli kostuu. Ilmiö on hidas, ja tasapainon saavuttaminen voi kestää useita vuosia. Täydellisessä tasapainotilassa betonin huokosissa olevan ilmatilan ja betonin ympäristössä olevan ilman suhteellinen kosteus (RH) on sama. (Merikallio 2002, 10–11.)

Betoni materiaalina kestää hyvin kosteutta. Pitkään kosteassa säilytetty betoni saavuttaa jopa paremmat lujuusominaisuudet kuin täysin kuivassa säilytetty. Vaikka betoni itse hyötyy kosteudesta, sen sisältämä alkalinen kosteus voi olla vahingollista betonia vasten asennetuille päällysmateriaaleille. Alkalisuus tarkoittaa betonin korkeaa pH-arvoa eli voimakasta emäksisyyttä. Tämä alkalisuus aiheuttaa ongelmia varsinkin muovimateriaalissa ja –liimoissa käytettyjen pehmentimien kanssa reagoidessaan, jolloin sisäilmaan voi muodostua haitallisia yhdisteitä. Toisaalta sama kor-

kea alkalisuus suojaa betonissa olevia teräsrakenteita korroosiolta eli ruostumiselta. (Merikallio ym. 2007a, 7.)

Muihin yleisesti käytettyihin rakennusmateriaaleihin, esimerkiksi puuhun verrattuna betonissa ei tapahdu lahoamista tai homehtumista. Betonin hyvyttä mainostetaankin muun muassa juuri näillä ominaisuuksilla. Vaikka materiaali itsessään ei homehdu, betoni toimii jopa parempana kasvualustana mikrobeille kuin moni muu rakennusmateriaali. Betonin pinnalle kertyvä pöly sekä betonista ja ympäristöstä johtuva kosteus saavat aikaan otolliset olosuhteet homeelle ja muille mikrobeille. Monet näistä mikrobeista on liitetty terveystorjuntaan. (Pulkkinen 2013.)

### 2.3 Betonin kuivuminen

Vesi ja sementti alkavat reagoida keskenään välittömästi sekoituksen jälkeen. Tässä reaktiossa syntyy lämpöä, joka nostaa koko betonimassan lämpötilaa. Lämpötilan nousu on haitallista, koska betonimassan sisäosa lämpenee enemmän ja jäähtyy hitaammin kuin ulko-osat. Tämä aiheuttaa kutistumishalkeamien vaaran. Liiallista lämpötilan nousua voidaan estää esimerkiksi kovettumista hidastavilla lisäaineilla. Toisaalta lämmön noususta on apua viileissä olosuhteissa estäen tuoretta betonia jäätymästä. (Siikanen 2009, 147.)

Lämpötila vaikuttaa myös sementin ja veden välisen kemiallisen reaktion nopeuteen. Reaktionopeus kaksinkertaistuu, jos lämpötilaa nostetaan 10 °C. Matalammilla lämpötiloilla kovettuminen on hitaampaa, mutta betoni myös saavuttaa suuremman lujuuden kuin lämpöisemmässä. Yleisesti betonimassan korkeimpana suositeltavana lämpötilana pidetään 50 °C. Normaalilämpötiloja kuumempaa massaa käytetään etenkin betoniteollisuudessa nopeuttamaan valumuottien kiertoa. (Siikanen 2009, 148.)

Betonin säilytysolosuhteet ja -aika vaikuttavat huomattavasti sementin ja veden välisiin reaktioihin ja sitä kautta kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Eli kuinka kauan valusta on kulunut aikaa ja mikä on ympäristön lämpötila sekä suhteellinen kosteus. Yleisesti ottaen suurin osa betonin lujuudesta saavutetaan nopeasti kovettuvalla betonilla viikossa ja yleisementillä neljässä viikossa. Tämä ei vielä tarkoita, että betoni olisi pinnoitettavissa tai betonissa ei olisi enää kosteutta. Lujuuden kehitys jatkuu niin kauan kuin betonissa on hydratoitumiseen osallistuvaa vettä ja sementtiä. (Siikanen 2009, 147.)

Tuore betoni sisältää aina ilmaa, normaalisti noin 1–3 %. Huokoisuudella ilmaistaan jo kovettuneen betonin ilmapitoisuutta. Kovettuessaan betoniin muodostuu geeli- ja kapilaarihuokoisuutta, johon vaikuttaa erityisesti massan vesi-sementtisuhde. Ylimääräinen vesi jota betoni ei käytä kovettumisreaktioon vaikuttaa negatiivisesti valmiin betonin lujuuteen, läpäisevyyteen ja kestävyys. Ylimääräisiä huokostimia käyttämällä be-

tonin ilmapitoisuus nousee, jolloin betonin pakkasenkestävyys on parempi. (Siikanen 2009, 147.)

Kuivuessaan betoni kutistuu. Kuivuessa reaktiotuotteiden tilavuus on pienempi kuin veden ja sementin alkuperäinen tilavuus. Kosteuden lisäksi lämpötila aiheuttaa muodonmuutoksia betonissa. Muodonmuutokset voivat olla merkittäviä, ja ne voivat johtaa betonia vasten asennetun päällysteen murtumiseen tai irtoamiseen. (Merikallio ym. 2007a, 7.)

### 3 BETONIN KUIVUMISEN SEURANTA

#### 3.1 Porareikämittaus

Porareikämittauksessa nimensä mukaisesti porataan tutkittavaan betoniin reikä, johon asennetaan mittaustulppa. Tulppa on pelkkä muoviputki, eikä se sisällä itsessään minkäänlaista mittaustulppaa. Tarkimmat mittaustulokset saavutetaan lämpötilan ollessa +15–25 °C. Lisäksi betonirakenteen pinnan läheisyydessä olevan ilman ja rakenteessa olevan mittapään lämpötiloissa ei saa olla yli 2 °C eroa. Olosuhteiden tulee pysyä riittävän vakaina koko mittauksen ajan. Mikäli näistä arvoista poiketaan, tulee käyttää näytepalamenetelmää. Mahdollinen lattialämmitys tulee kytkeä pois vähintään viikkoa ennen mittauksia, koska lämmityksen johdosta kosteus siirtyy tehostetusti mittaustulppaan aiheuttaen epätarkkuutta mittaukseen. (Rakennustieto Oy 2010.)

Reiän halkaisija on yleisesti 16 millimetriä. Myös muun kokoiset reiät ovat mahdollisia, mikäli mittalaittevalmistajalta saa mittapääkohtaisia asennusputkia. Joka tapauksessa reiän halkaisija tulee olla vähintään 10 millimetriä, jotta reiän pohjan pinta-ala on riittävän suuri suhteessa putken ilmatilaan. Porareikä syvyys eli arviointisyvyys riippuu rakenteesta ja sen paksuudesta. Porareikä syvyyden on oltava joka tapauksessa vähintään 10 millimetriä. Matalammilla syvyyksillä yläpuolisen ilman olosuhteet vaikuttavat häiritsevästi mittaustulokseen. Mittaus suoritetaan vähintään kahdelta ennalta määrätyltä syvyydeltä per mittapiste. (Rakennustieto Oy 2010.)

Reikä porataan kuivamenetelmällä. Tämä tarkoittaa, ettei terää saa jäädyttää vedellä, jotta mitattavaan rakenteeseen ei joudu ylimääräistä kosteutta. Porareikä pohjan on oltava millimetrin tarkkuudella siinä syvyydessä, jota tahdotaan tarkastella. Porauksessa syntyvä pöly poistetaan reiästä ilmapumpulla, paineilmalla ja/tai imuroimalla. Paineilmaa käytettäessä on huomioitava, ettei ilmapölyllä viilennetä mittaustulppaa. Porauksessa on syytä käyttää lisäksi kohdepoistoa, jolla estetään porauspölyn leviäminen muualle ympäristöön. (Rakennustieto Oy 2010.)



Mittaustulppana käytetään mahdollisimman tiiviisti porareikään sopivaa putkea. Putki voi olla tavallista muovista sähköputkea, tai mittalaittevalmistajan, esimerkiksi Vaisalan, toimittamaa. Putki painetaan mahdollisimman tiiviisti reiän pohjaan ja reiän sekä putken rajakohta tiivistetään vesihöyrytiivillä kitillä. Tiivistykseen voidaan käyttää tavallista sinitarraa. Asennettu putki imuroidaan vielä sisältä putkeen sopivan suulakkeen avulla ja putken suu tiivistetään joko kitillä, teipillä tai valmiin mittatulpan mukana seuraavalla korkilla. (Rakennustieto Oy 2010.)

Mittaustulpan annetaan tasaantua huolellisesti tiivistettynä vähintään 72 tuntia. Tänä aikana mittaustulpan olosuhteet ovat tasaantuneet ympäröivän betonin olosuhteisiin. Mittausreiän porauksessa betonin työntyy kosteutta ja poraus vääristää täten porareian olosuhteita heti porauksen jälkeen suhteessa betonin todellisiin olosuhteisiin. Mittapää voidaan asentaa jo porauksen yhteydessä, mutta tällöin mittapäät ovat varattuna vähintään kolme vuorokautta. Tämä hidastaa mittaustulosten saamista, mikäli mittapisteitä on useita ja antureita vähän. Lisäksi mittapäiden ympäristö on aggressiivinen mittapäiden materiaaleille, jolloin normaalia vuoden välein tehtävää kalibrointia tulee tihentää. (Rakennustieto Oy 2010.)

Mittaushetkellä mittaustulpan päässä oleva korkki, teippi tai kitti poistetaan, mittapää asennetaan putkeen ja mittapää tiivistetään putken yläpään kitillä. Mittapään tulee olla mahdollisimman lähellä putken pohjaa koskettamatta kuitenkaan itse betonia. Mittapään asennuksen yhteydessä putkessa oleva ilma pääsee osin sekoittumaan yläpuoliseen ilmaan, joten mittapään asennuksen jälkeen on odotettava mittapään tasaantumista putkessa vallitseviin olosuhteisiin. Tasaantumisaika riippuu käytetystä mittapäästä ja betonin ominaisuuksista. Tasaantumisaika on joka tapauksessa vähintään yksi tunti, joillain mittapäillä jopa neljä tuntia. Liian lyhyt tasaantumisaika johtaa vääristyneisiin mittaustuloksiin. Mittapää kytketään lukulaitteeseen, joka kertoo mittaustuloksen. (Rakennustieto Oy 2010.)

Mittaustulokset dokumentoidaan mittausraporttiin. Raporttiin kirjataan vähintään mittapään numero, mittauspisteiden sijainti, mittaussyvyyydet, huoneilman lämpötila, huoneilman suhteellinen kosteus sekä mittaustulosten suhteellinen kosteus ja lämpötila. Lisäksi raportista tulisi selvittää kohdetiedot, mittaajan yhteystiedot, pohjakuva ja valokuvia, käytetyt mittalaitteet kalibrointitietoineen, kuvauksen mittausmenetelmästä sekä tulosten tulkinnan ja johtopäätökset. Laadukas raportti on edellytys, jotta raportin lukija voi tarkastella mittausten laatua ja toistettavuutta. (Merikallio ym. 2007b, 14.)

Edellä mainitun toimintamallin mukaisesti toimimalla saadaan luotettavaa tietoa betonin suhteellisesta kosteudesta tarkastelussyvyydellä. Mikäli porareikämittaus tehdään putkittamattomasta reiästä, toistuvasti samasta, tai jo valaessa betoniin asennetusta mittausputkesta, mittaustulosta

voidaan käyttää ainoastaan suuntaa-antavana. Putkittamaton mittareikä antaa epämääräisen keskiarvon koko reiän pituudelta. Toistuvasti samasta mittaputkesta suoritettussa mittauksessa mittaputkeen tiivistyvä kosteus voi valua mittaputken pohjalle vääristämään tulosta, samoin putken tiivistys voi pettää pidemmän ajan kuluessa. Valaessa putkitettu mittauspiste voi antaa huolellisesti asennettuna hyvin lähelle oikeaa tulosta, mutta esimerkiksi mittaussyvyyden määrittäminen on tällä menetelmällä hankalaa. Samoin pitkä aika voi aiheuttaa putken tiivistyksen heikentymistä. Muita suuntaa-antavia mittaamenetelmiä on esimerkiksi mittaaminen heti porauksen jälkeen, mittaaminen jatkuvasti betonin sisällä olevalla anturilla sekä mittaussuosituslämpötilan ulkopuolella. (Rakennustieto Oy 2010.)

### 3.2 Näytepalamittaus

Näytepalamittauksessa betoniin porataan kuivamenetelmällä (eli terää ei saa jäädyttää kastelemalla) ringi, jonka halkaisija on 50–100 millimetriä. Porauksessa voidaan käyttää esimerkiksi porauskruunua. Poraussyvyys on ennalta määriteltä tarkastelussyvyyttä viisi millimetriä ylempänä, koska tällöin kuopan pohjalta piikatut muruset ovat arviointisyvyydeltä sekä välittömästi sen yläpuolelta. Porattu kartio piikataan irti ja kuopan pohjalta otetaan näytemurusia esimerkiksi taltalla tai piikkausvasaralla. Näytteitä ei oteta viittä millimetriä lähempää kuopan reunaa. Näytemurusten koko tulee olla halkaisijaltaan pääosin vähintään viisi millimetriä. (Rakennustieto Oy 2010.)

Näytteenoton jälkeen tarkastetaan lopuksi, että ennalta määrätty tarkastelussyvyys on saavutettu. Näytemuruset kerätään lasiputkeen, normaalisti vähintään 20 millimetrin halkaisijaltaan olevaan koeputkeen. Putki tulee imuroida ennen näytepalojen laittoa. Näytteen mukaan putkeen ei saa laittaa porauspölyä eikä suuria kappaleita betonin kiviainesta, koska ne vääristävät mittaustulosta. Putki täytetään vähintään 1/3 osaa putken tilavuudestaan, jolloin voidaan varmistua riittävästä mittaustarkkuudesta. Suositeltavaa on kerätä näyte samalta syvyydeltä kahteen koeputkeen, jolloin mittaustulos voidaan varmentaa toisella näytteellä. Mikäli putkien välinen suhteellinen kosteus eroaa yli kolme prosenttiyksikköä, tulee mitaus uusia. (Rakennustieto Oy 2010.)

Kun koeputkessa on riittävä määrä näytemurusia putkeen asennetaan mittapää. Mittapää tulee olla kalibroitu ja suojattu kosteuden sekä lämpötilojen muutoksilta ennen asennusta. Mittapää tiivistetään koeputken suuhun vesihöyrytiivillä kitillä. Tämän jälkeen koeputki antureineen siirretään vakioämpötilaan tasaantumaan. Koeputkien siirtojen ajan on huolehdittava, ettei lämpötila saa suuresti muuttua. Siirto voidaan suorittaa esimerkiksi eristetyssä kylmälaikussa. Tasaantumisaika riippuu mittapäästä, mutta on vähintään viisi tuntia. Tosin normaalilujuuksisesta betonista saadaan kahden RH-prosentin tarkkuudella tulos jo reilun tunnin kuluessa, mikäli näytepaloja on runsaasti. Poraus ei vaikuta tasaantumisaika-

kaan, mikäli näytepalat on otettu riittävän kaukaa (vähintään viisi millimetriä) näytekuplan reunoista. (Rakennustieto Oy 2010.)

Tasaantumisaajan jälkeen mittapää kytketään lukulaitteeseen, joka kertoo koeputkessa vallitsevan suhteellisen kosteuden ja lämpötilan. Mittaushetkellä lämpötilan tulee olla kahden asteen sisällä rakenteen normaalista käyttölämpötilasta. Tämä siksi, että mittaus kertoo betonin suhteellisen kosteuden siinä lämpötilassa, joka mittaushetkellä on. Toisin kuin porareikämenetelmällä, näytepalamenetelmällä voidaan tarkastella myös hyvin kylmän ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  asti) ja hyvin kuumen ( $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$  asti) betonin suhteellista kosteutta. Myös mittapää ja tiivistysmassan tulee olla lähellä tällaisen rakenteen lämpötilaa. Normaalista poikkeavilla lämpötiloilla tosin pitää ottaa huomioon pidempi tasaantumisaika, samoin kuin normaalia lujemmilla betonilaaduilla. Tulokset dokumentoidaan vastaavaan raporttiin kuin porareikämenetelmässä. (Rakennustieto Oy 2010.)

### 3.3 Pintakosteusmittaus ja muut mittalaitteet

Pintakosteusmittaus on varsinkin kuluttajille tutuin kosteudenmittausmuoto. Esimerkiksi vesivahingon sattuessa kosteusmittaaja kartoittaa vahinkoalueen pintakosteusmittarilla. Se ei kuitenkaan kerro betonin suhteellista kosteutta vaan mittaa materiaalien sähköisiä ominaisuuksia. Materiaalin kastuessa sen sähkönjohtavuus muuttuu, ja pintakosteusmittarilla havaitaan ja vertaillaan näitä muutoksia suhteessa vahingoittumattomaan materiaaliin. Toisin sanoen pintakosteusmittarilla tulkitaan eroavaisuuksia saman rakenteen eri osissa. Eri rakenteilla tulokset poikkeavat suuresti, vaikka rakenteessa olisikaan ylimääräistä kosteutta. Lisäksi esimerkiksi rakenteessa olevat teräkset, pintaan noussut suolakerrostuma tai erilaiset materiaalit vaikuttavat mittaustulokseen. Muun muassa näistä syistä pintakosteusmittausta ei voida käyttää luotettavaan pinnoitettavuusmittaukseen. (Rakennustieto Oy 2010.)

Pintakosteusmittauksella saavutetaan kuitenkin riittävä tarkkuus tehdä päätöksiä tarvittavista lisätutkimuksista, kuten rakenneavauksista tai -kosteusmittauksista. Laite ei silti kerro millä syvyydellä mahdollinen kosteus on, vaan ilmaisee vaihtelun noin kahden senttimetrin syvyyteen asti. Tämä on haittana esimerkiksi kartoitettaessa tiloja, joissa on vedeneristys pintarakenteen alla. Pintakosteusmittarilla ei saada selville onko kosteus vedeneristeen ylä- vai alapuolella. Riittävällä varoajalla, esimerkiksi suihkun käyttörajoituksella ennen mittausta, voidaan poissulkea osa vaihtoehtoja. (Merikallio ym. 2007a, 81.)

Muita betonin kosteuden arviointiin käytettäviä suuntaa-antavia menetelmiä on esimerkiksi karbidimittaus. Mittaustapa ei ilmoita betonin suhteellista kosteutta, vaan betoninäytteen ja kaliumkarbidijauheen reaktiotuotteena syntyvän kaasun paineen. Tämä arvo muutetaan ensin painoprosenttikosteudeksi ja tämän jälkeen suhteelliseksi kosteudeksi. Eri kertoimien ja muutostaulukoiden käyttö saattaa aiheuttaa suuria virheitä

mittaustulokseen. Mittaukset tulisikin suorittaa aina laitteilla, jotka ilmoittavat suoraan betonin suhteellisen kosteuden. Myös karbidimittauksessa käytetty 20 millimetrin syvyys ei ole enää nykysuositusten mukainen. (Merikallio ym. 2007a, 81.)

### 3.4 Etäluettavat anturit

Etäluettavat anturit voidaan jakaa kahteen kategoriaan: valun sisään valuvaiheessa kiinteästi asennettavat ja valun jälkeen irralleen asennettavat. Tämä tutkimus keskittyy jälkimmäisiin.

Valuun asennettavia antureita toimittaa esimerkiksi Wiiste, valun jälkeen asennettavia ovat esimerkiksi nyt tutkimuksen kohteena oleva Polygonin anturi. Näillä menetelmillä on hieman eroa tulosten lukemisessa. Valuun asennettavat anturit luetaan langattomasti lähietäisyydeltä erillisellä lukulaitteella betonin läpi. Näissä antureissa on kiinteästi paristo, josta riittää virtaa useaksi vuodeksi. Paristoa ei voi vaihtaa valun jälkeen, joten sen ehdyttyä anturi muuttuu käyttökelvottomaksi.

Valun jälkeen asennettavissa etäantureissa on oma SIM-kortti, tai ne kytetään langattomasti SIM-kortilla varustettuun lähetinyksikköön, jonka kautta tulokset lähetetään palveluntarjoajan pilvipalveluun. Tässä menetelmässä etuna on, ettei kohteessa tarvitse erikseen käydä mittaamassa tuloksia, vaan tulokset voidaan lukea internetselaimella reaaliajassa missä tahansa missä vain on käytössä internetyhteys. Polygonin anturista ja mittauskalustosta on kerrottu enemmän myöhemmin kohdassa 4.2 Käytettävä laitteisto.

### 3.5 Mittaustavan valinta

Aiemmin mainituista syistä betonin kuivuminen on riippuvainen olosuhteista siinä määrin, ettei pinnoitettavuutta voida arvioida pelkästään kuluneen ajan perusteella. Luotettavina mittaustapoina voidaan pitää porareikä- ja näytepalamittausta. Ennen lopullista ja erikseen dokumentoitavaa pinnoitettavuusmittausta voidaan suorittaa lähtötaso- ja seurantamittauksia. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää esimerkiksi etäluettavia antureita tai muita suuntaa-antavia mittausmenetelmiä. (Rakennustieto Oy 2010.)

Lähtötasomittaus on mahdollista suorittaa, kun voidaan olla varmoja, ettei tutkittava rakenne enää pääse kastumaan ja olosuhteet mittauspisteen ympäristössä ovat ohjeiden mukaiset. Seurantamittauksien avulla voidaan arvioida tarvitaanko kuivumisen tehostamiseksi toimenpiteitä. Seurantamittauksia suoritetaan yleensä 2–4 viikon välein. (Merikallio ym. 2007a, 85.)

Mittauskohdat määritellään tapauskohtaisesti niin, että mittaus suoritetaan oletettavasti kosteimmasta kohdasta. Uudisrakennuksissa riittää normaalisti muutama mittapiste kerrosta kohden, vesivahinkokohteissa voidaan tarvita useampia mittapisteitä per tila. Varsinkin vesivahinkotapauksissa pintamittarilla voidaan hakea suuntaa-antavia paikkoja porareikä- tai näytepalamittauksen suorituskohdalle. Myös tiedot vahinkopaikasta ja -laajuudesta on ensiarvoisen tärkeää mittauspaikan määrittelylle. Uudiskohteissa mittauskohdat määrittelee työmaasta vastaava henkilö, esimerkiksi työnjohtaja, muun muassa valuajankohtien ja olosuhteiden perusteella. (Rakennustieto Oy 2010.)

## 4 TUTKIMUSKOHDE

### 4.1 Kohdetiedot

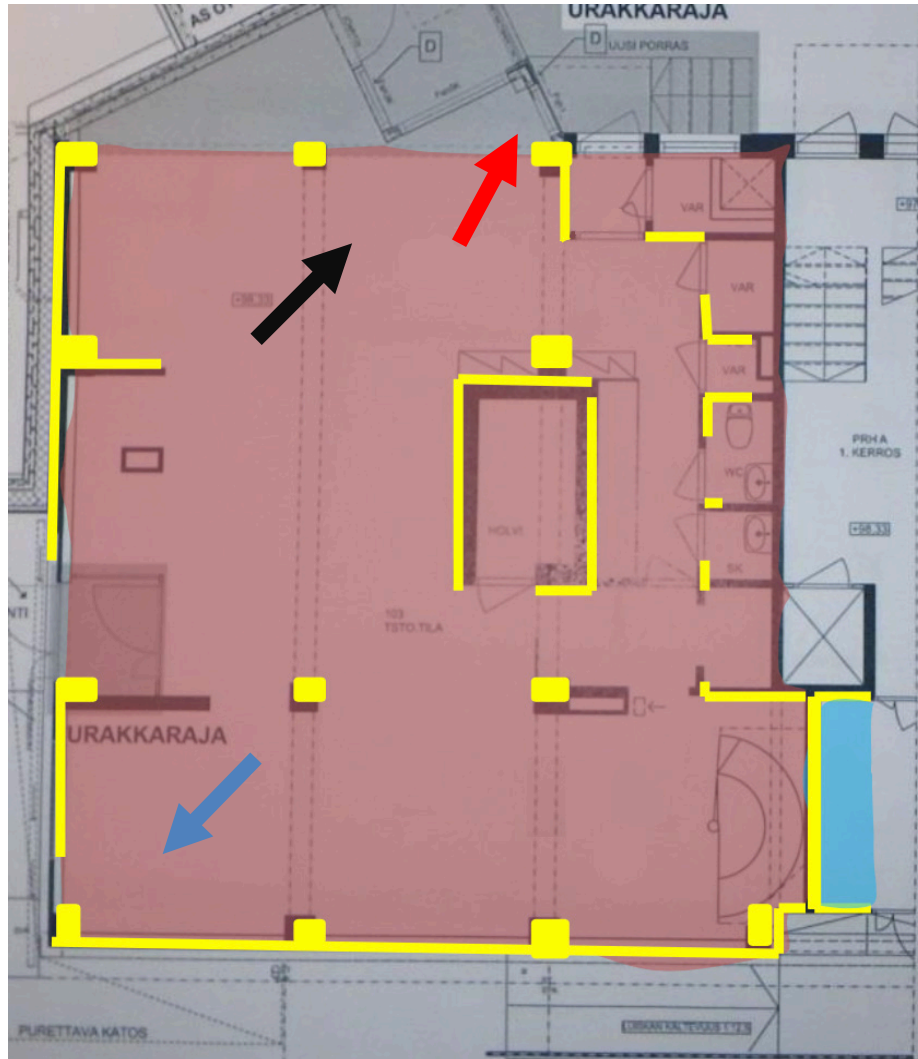
Tutkimuskohteena toimi vesivahingon kärsinyt toimistotila Tampereen keskustassa. Keskellä talvea tehdyn julkisivuremontin yhteydessä suojaukset eivät olleet olleet riittäviä ja pakkasen pääsi jäädyttämään toimiston alaslaskukatossa olleen käyttövesiputken (kuva 1). Vahinkoa ei huomattu heti, vaan haljennut putki pääsi vuotamaan vettä koko toimiston noin 120m<sup>2</sup> alueelle.



Kuva 1. Vesivahingon aiheuttanut putkivaurio

Kuvassa 2 on merkitty pohjakuvaan punaisella kastunut lattia ja keltaisella kastuneet seinät. Lattiarakenteena oli osin laminaatti, osin keraaminen laatta, näiden alapuolella betonivalu, EPS-eriste, tasaushiekka ja betoni-

valu. Toimiston alapuolella oli kerrostaloyhtiön väestönsuoja. Kartoituksessa havaittiin, että vesi oli päässyt kastelemaan koko lattiarakenteen, jolloin lattiasta päätettiin purkaa kaikki kerrokset väestönsuojaan rajoittuvaan betoniin asti. Kuvaan on merkitty mustalla nuolella vesivahingon aiheuttanut putkirikko alaslaskukatossa, punaisella kuivaimien sijainti ja sinisellä mittauspaiikka.



Kuva 2. Pohjakuva tutkimuskohteesta

Purkutöiden jälkeen jäljelle jääneet rakenteet kuivattiin koneellisesti ja mitattiin näytepalamenetelmällä saaden pinnoituskelpoiset arvot. Uusi lattiarakenne tehtiin vastaavin materiaalein kuin ennen vahinkoa, paitsi pohjavalun päällä ollut tasaushiekka, joka vaihdettiin kevytsoraan. Kohteessa harkittiin kuitubetonin käyttöä, mutta useat pilarit ja muut kiinteät rakennelmat tilassa estivät sen käytön.

Betonivalu suoritettiin 17. lokakuuta 2017. Betonilaatuna käytettiin nopeammin päällystettävää NP-betonia. Betonin pinta hierrettiin seuraavana päivänä ja peitettiin muovilla viiden päivän ajaksi 23. lokakuuta saak-

ka. Tämän jälkeen peitteet poistettiin ja tilaan asennettiin kuivaimia sekä ilmaa tilassa liikuttavia puhaltimia.

Tilasta oli poistettu vesikiertoiset lämpöpatterit, joten tilaa jouduttiin lämmittämään sähkökäyttöisillä rakennuslämmittimillä. Valun jälkeen sisälämpötila oli noin 18–20 °C, mutta muutaman päivän kuluttua tilaan tuotiin lisää lämmittimiä, jolloin lämpötila saatiin pysymään 20–24 °C välillä. Sisätilan suhteellinen kosteus pysyi kuivaimien ansiosta koko mittauksen ajan välillä noin 20–30 RH%.

## 4.2 Käytettävä laitteisto

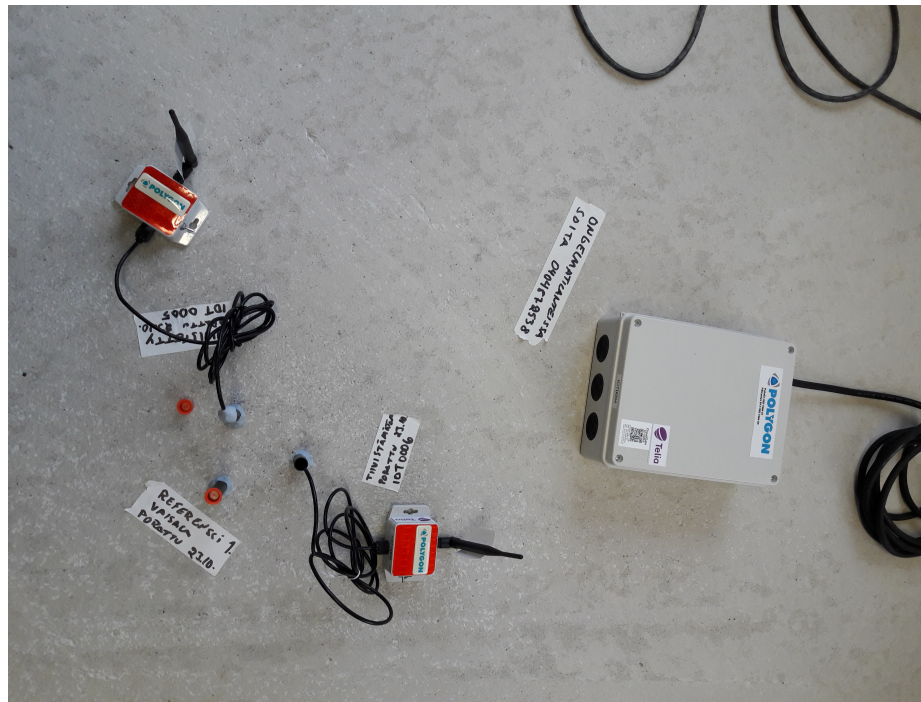
Etämittaukseen käytetyn laitteiston toimitti Telia. Laitteiston on alun perin valmistanut yhdysvaltalainen langattomiin mittauskalustoihin erikoistunut Monnit. Suomessa lähetinyksikkö on koteloitu uudestaan kestämään paremmin työmaaolosuhteita (kuva 3).



Kuva 3. Lähetinyksikkö kansi avattuna

Käytetty laitteisto koostui lähetinyksiköstä ja neljästä anturiyksiköstä (kuva 4), joista yksi mittasi sisäilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Anturit lähettävät mittaustulokset langattomasti ja reaaliajassa lähetinyksikölle, joka siirtää tiedot 3g-verkon välityksellä palvelimelle Telian ylläpitämään pilvipalveluun. Valmistajan ilmoituksen mukaan anturit lähettävät tietoa lähetinyksikölle jopa kerrosten välillä, mutta tätä ei testattu käytännössä, koska tarvittava anturimäärä voitiin sijoittaa lähelle lähetintä. Mittaustuloksia voi seurata missä tahansa tietokoneella tai matkapuhelimella kirjautumalla palveluun internet-selaimella.



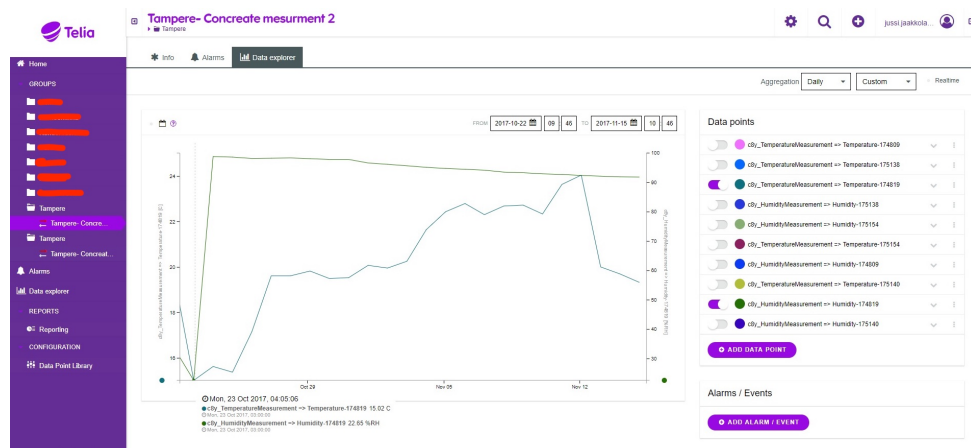


Kuva 4. Mittauslaitteisto alkutilassa

### 4.3 Pilvipalvelu

Anturit lähettävät mittauksia reaaliajassa Telian ylläpitämään pilvipalveluun mobiilidata-verkkoa hyödyntäen. Pilvipalvelu on käytettävissä missä päin tahansa maailmaa tietokoneen selaimella ja henkilökohtaisella käyttäjätunnuksella.

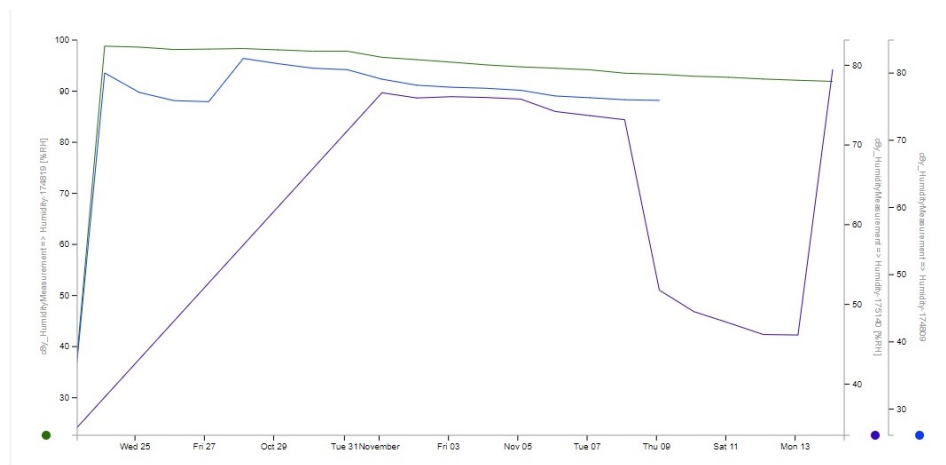
Pilvipalvelussa voidaan tarkastella jokaisen anturin arvoja erikseen tai yhtä aikaa samassa kaaviossa. Antureita on saatavissa muihinkin käyttökohteisiin, mutta tässä tapauksessa kiinnostus kohdistui vain suhteelliseen kosteuteen ja lämpötilaan. Tarkastelujaksoa pystyi rajaamaan minuutin tarkkuudella, tai näyttämään ruudulla reaaliaikaisen mittausdatan. Kuvassa 5 näkyy perusnäkyvä yhden anturin suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta mittausjaksolla.





Kuva 5. Perusnäkömää

Tietoja pystyi rajaamaan hyvinkin tarkasti ja siirtämällä hiiren osoittimen mittaviivan mihin tahansa kohtaan ruudulle tuli kyseisen ajankohdan mitaustulos kahden desimaalin tarkkuudella ja kellonaika sekunnin tarkkuudella. Kuvassa 6 näkyy kaikkien anturien mittaustulokset koko mittausajalta suhteellisen kosteuden osalta. Sinistä viivaa piirtänyt anturi lakkasi toimimasta mittauksen loppuvaiheessa, jonka vuoksi loppuajalta ei saatu mittaustuloksia. On huomioitavaa, että viivat eivät ole suhteessa toisiinsa, vaan jokainen viiva noudattaa omaa mitta-asteikkoaan, mikä hieman sekoittaa tulosten vertailua.



Kuva 6. Suhteellinen kosteus koko mittausajalta kaikista antureista

Vaikka lämpötilalla ei tällä mittausjaksolla ollutkaan juuri merkitystä, sitä seurattiin mielenkiinnosta. Kuvassa 7 on nähtävissä lämpötilat kaikista antureista mittausajaksolta. Koska mittaus suoritettiin talviaikaan, ilmatilaa mittaavan anturin lämpötiloista voi helposti havaita koska ulko-ovea on pidetty pidemmän aikaa auki.



Kuva 7. Lämpötila koko mittausajalta kaikista antureista

#### 4.4 Mittaustulokset

Mittapisteyden paikka valittiin mahdollisimman kaukaa käytettyjen kuivaimien sijainnista. Mittaussyvydeksi valittiin pelkästään arviointisyvyys. Pinnan arvolla ei tässä vaiheessa ollut merkitystä, koska varsinainen pinnoitettavuusmittaus suoritetaan joka tapauksessa myöhemmin. 70 millimetrin paksuisella yhteen suuntaan kuivuvalla betonilaatalla tarkastelussyvydeksi saatiin 28 millimetriä ( $0,4 \cdot$  rakenteen paksuus). Referenssimittauksissa käytettiin kalibroitua Vaisalan HMI41-mittaria ja HMP110-mittapäitä.

Polygonilla ei ennen tätä tutkimusasennusta ollut juurikaan kokemusta iot-antureiden asennustavoista tai -olosuhteista muutamaa kokeilua lukuun ottamatta. Helsingin toimipisteeltä saadun ohjeen mukaan mittatulppa kannattaa jättää avoimeksi yläpäästään ja tiivistää ainoastaan sivuiltaan betoniin. Päädyin testaamaan asennustapaa kahdella anturilla: toinen avoimena ja toinen tiivistettynä normaalin porareikäanturin mukaisesti.

Taulukossa 1 on ilmoitettu ensimmäisen mittauskerran tulokset. Mittatulpat porattiin 23. lokakuuta 2017 eli noin viikko valun jälkeen ja mitattiin 26. lokakuuta 2017 kello yhdeksän aamulla. Kaksi iot-anturia asennettiin mittatulppiin (IOT005 ja IOT006) ja yksi anturi (IOT009) jätettiin mittaamaan huoneilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Antureista IOT005 tiivistettiin tulppaan ja IOT006 jätettiin avoimeksi.

Taulukko 1. Ensimmäinen mittaus.

Anturi	Kosteus %RH	Lämpötila °C
IOT005	98,5	18,6
IOT006	77,5	18,7
IOT009 (huoneilma)	27,0	20,1
Referenssi (betoni)	88,6	19,1
Referenssi (huoneilma)	27,6	19,8

Seuraavan mittauskerran tulokset on esitetty taulukossa 2. Mittaus suoritettiin noin viikko edellisen jälkeen: poraus 31. lokakuuta 2017 ja mittaus 2. marraskuuta 2017 kello yhdeksän aamulla. Edellisten iot-anturien rinnalle asennettiin uusi anturi IOT007, joka jätettiin myös tiivistämättä. Referenssiarvot mitattiin uusista mittatulpista.

Taulukko 2. Toinen mittaus.

Anturi	Kosteus %RH	Lämpötila °C
IOT005	96,9	20,5
IOT006	78,9	20,5
IOT007	76,3	20,5
IOT009 (huoneilma)	19,8	20,1

Referenssi (betoni)	83,2	20,7
Referenssi (huoneilma)	-	-

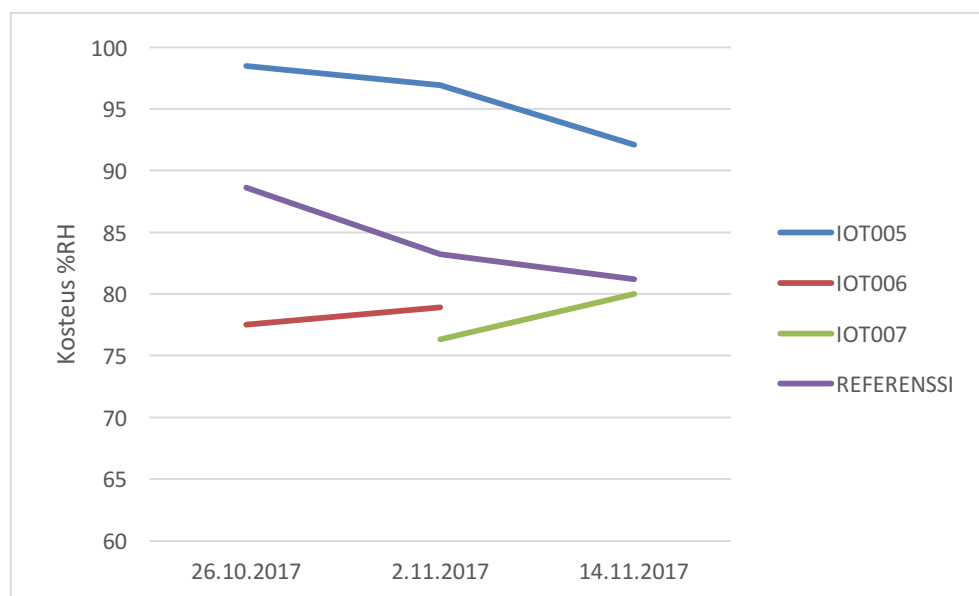
Nopeammin päällystettävää betonia käytettäessä ensimmäinen porareikämittaus olisi tehty joka tapauksessa 3–4 viikon kuivumisajan jälkeen, ja koska osa antureista antoi viitteitä riittävästä kuivumisesta, suoritettiin loppumittaus 14. marraskuuta 2017 saaden pinnoituskelpoiset tulokset. Tulokset löytyvät taulukosta 3. Referenssiarvot mitattiin jälleen uusista mittatulpista. Anturi IOT006 lopetti mittaustulosten lähettämisen ennen kolmatta mittausta.

Taulukko 3. Kolmas mittaus.

Anturi	Kosteus %RH	Lämpötila °C
IOT005	92,1	22,5
IOT006	-	-
IOT007	80,0	22,4
IOT009 (huoneilma)	29,9	21,8
Referenssi (betoni)	81,2	22,6
Referenssi (huoneilma)	28,0	22,8

Referenssimittaus antoi jo toisella kerralla pinnoitettavissa olevia tuloksia tässä kohdassa tilaa, mutta samalla kertaa toisaalla tilassa tehty mittaus oli vielä koholla. Kolmannella kerralla saatiin koko valun alueelta pinnoitettavissa olevia arvoja. Raja-arvona käytettiin 85 %RH. Taulukossa 4 on mittauspäivien tulokset nähtävissä viivadiagrammina.

Taulukko 4. Mittapisteiden tulokset kaaviona



## 5 LOPPUTULOKSET

## 5.1 Asennusolosuhteiden vaikutus mittaustuloksiin

Alun perin oli tarkoitus testata anturien asentamista noin viikon välein valun jälkeen, mutta saadun ohjeistuksen nurinkurisuus normaaliin porareikämittaukseen nähden muutti mittaustapaa vertailuksi tiivistetyn ja tiivistämättömän tulpan välillä. Ensimmäinen referenssimittaus tuki tätä toimintamallia, koska tiivistetty mittaustulppa näytti huomattavan suuria arvoja. Toisaalta tiivistämätön mittaustulppa oli huomattavan kuiva verrattuna referenssimittatulppaan. Tämä johtuu kuivan huoneilman sekoitumisesta mittaustulpan ilmaan. Joka tapauksessa kumpikin etäluettu mittaustulos oli kaukana todellisesta mittaustuloksesta.

Viikon kuluttua ensimmäisten anturien asennuksesta asennettu langaton mittaasanturi antoi vastaavia arvoja kuin aiemmin käyttöön otettu. Tämän johdosta viikoittainen anturien lisäys ei ollut tarpeellista.

Langattoman anturin mittapää asennettiin mahdollisimman lähelle tulpan pohjaa koskettamatta silti betonia. Mittausaikana testasin, onko mittapään sijainnilla eristämättömässä mittatulpassa väliä, mutta mittaustulokset eivät juuri muuttuneet anturia siirtämällä.

## 5.2 Mittausmenetelmien hintavertailu

Valmistajan internet-sivuilla olevassa kaupassa vastaavaa iot-anturia myydään noin 190 euron kappalehintaan ja lähetinyksikköä noin 250 euron hintaan. Kaikki tässä esitetyt hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %, muttei mahdollisia rahti- tai tullikuluja. (Monnit n.d.)

Mittalaitteisto käyttää signaalinsiirtoon pilvipalveluun mobiilidatayhteyttä, josta muodostuu pieni kuukausittainen kustannuserä teleoperaattorille, mutta sitä ei huomioitu tässä yhteydessä.

Polygon laskuttaa rakennusaikaisen kuivumisenseurannan normaalisti käynti- ja mittapistekohtaisesti. Yhden mittapisteen mittausta maksaa kokonaisuudessaan noin 300–350 euroa. Tähän nähden iot-anturit maksavat itsensä takaisin jo muutaman ylimääräisen käynnin kustannuksilla.

Molemmilla mittaustavoilla tarvitaan virallinen loppumittauskalusto. Polygonilla on käytössä Vaisalan kosteusmittauslaitteet. Aloituspaketti joka sisältää mittaussensorin, anturin ja tarvittavat tarvikkeet kosteuden mittaamiseen maksaa Vaisalan verkkokaupassa noin tuhat euroa. (Vaisala n.d.)

Rakennusaikaisissa mittauksissa kuivumisen edistymistä voidaan arvioida huomattavasti helpommin kuin vesivahinkokohteissa. Mikäli olosuhteet rakennuksella ovat lähellä ihannetta voidaan käytetyn betonin tai tasoitteen perusteella päätellä melko helposti kokemukseen perustuen milloin ensimmäinen mittausta kannattaa tehdä. Tällöin kustannussäästöä iot-

antureilla ei juurikaan saavuteta. Sen sijaan vesivahinkokohteissa kuivumista ei voida juurikaan päätellä, koska eri aikakausina valetuissa betoneissa kuivuminen voi vaihdella suuresti. Tällaisissa tapauksissa kuivumisessa voi kulua muutamasta viikosta jopa useisiin kuukausiin, jolloin mittauskäyntejä kertyy useita. Lisäksi Polygon laskuttaa vahinkokuivauksen mittauksineen pääsääntöisesti kiinteällä hinnalla riippumatta käyntien määrästä, jolloin käyntejä vähentämällä saavutetaan kustannussäästöjä yritykselle.

### 5.3 Mittauksen ongelmat ja riskit

Kuten aiemmin esitetyistä kuvistakin voi päätellä, mittausanturit ovat alttiita ulkopuolisille häiriöille. Varsinkin rakennusaikaisten mittauksen aikana, joita suoritetaan normaalisti kesken muiden rakennustöiden, on riskinä esimerkiksi antureiden kolhiminen, irrottaminen muiden töiden tieltä tai olosuhteiden muuttuminen epäsuosiollisiksi kuivumista ja mittauksen ajatellen. Samat riskit ovat tietenkin myös normaalissa porareikämittauksessa, mutta silloin mittauksen kesto on vain muutamia päiviä, kun taas esimerkkinäkin olleessa iot-mittauksessa kesto on useita viikkoja. Mittauspaikka merkitään pääsääntöisesti riittävän hyvin esimerkiksi teipauksilla, mutta varsinaista aitaamista ei voida käytännön syistä yleensä toteuttaa. Siitä huolimatta mittaus voi epäonnistua mittausulpan irtoamisen tai muun ulkoisen vaurion takia inhimillisistä syistä.

Pitkän mittausajan luotettavuuteen vaikuttavat myös mittauksessa käytetyt oheismateriaalit. Tässä tutkimuksessa ei havaittu tiivistysaineen irtoamista tai kovettumista mittausaikana. Tutkimukseen käytetyssä tilassa ei mittauksen aikana työskennellyt muita urakoitsijoita, joten mittausulpan kolhiminen ei ollut riski tässä tapauksessa. Yksi antureista lopetti toimintansa mittausaikana, mutta syytä tähän ei saatu selville. Anturi sijaitsi muiden toimivien antureiden yhteydessä, joten signaalinsiirrossa vika ei voinut olla. Muut anturit antoivat niin yhdenmukaista tietoa, ettei kokeen uusiminen ollut tarpeen yhden anturin puuttuessa.

Valmistajan mukaan signaali kantaa antureilta lähetinyksikölle jopa kerrosten välillä, mutta tätä ei ollut tarpeen testata tässä tapauksessa koska mittaus voitiin suorittaa avonaisessa tilassa yhden kerroksen alueella. Mikäli tästä aiheutuu ongelmia, on asia kierrettävissä lisäämällä lähetinyksiköitä katvealueille. Signaalin kulkua voivat haitata myös ulkoseinät, jotka estävät mobiiliverkon signaalin kulun sisältä ulos, samalla tapaa kuin matkapuhelimet eivät välttämättä toimi sisällä, mikäli ulkoseinän eristevä materiaalivahvuudet ovat suuria. Tässä tutkimuksessa käytetty tila oli toimistotilaa, jolloin ulkoseinillä oli suuria ikkunapintoja, joiden läpi signaali pääsi helposti eikä signaalin siirrossa lähetinyksikön ja mobiiliverkon välillä havaittu ongelmia.

## 5.4 Johtopäätökset

Tässä opinnäytetyössä tutkitut laitteet ja niihin liittyvät menetelmät ovat uusia, eikä käytännön kokemusta niistä vielä juurikaan ole. Lisäksi kosteusmittauksen menetelmät ovat hyvinkin vakiintuneet, joten niiden muuttaminen vaatii käytänteiden ja työskentelytapojen muutoksia. Lähikohtaisesti nyt tutkittu laitteisto vaikutti lupaavalta varsinkin vesivahinkokohteissa käytettäväksi, mutta sopii myös rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan. Siinä yhteydessä laitteistoa tutkittiinkin tässä työssä. Tähän päädyttiin, koska tällöin esimerkiksi käytetyn betonin laatu ja muut rakennemateriaalit ovat tällöin tiedossa.

Tarkoituksena oli tutkia asennusolosuhteiden merkitystä mittaustuloksiin, mutta myös kustannusvaikutusta sekä mahdollisia riskejä, joita pitkään mittausaikaan voi liittyä. Tutkimustavat hieman muuttuivat kesken mittauksen, mutta sillä ei ollut vaikutusta lopputulokseen. Olosuhteet tilassa pysyivät koko mittauksen ajan hyvin lähellä ihannetta. Tilaa kuivattiin tarkoitukseen soveltuvilla ja riittävän tehokkailla kuivaimilla ja ilmaa kierrätettiin tilassa puhaltimilla. Lisäksi tilaa lämmitettiin tehokkailla rakennuslämmittimillä.

Laitteistolla olisi mahdollista saavuttaa kustannushyötyjä yritykselle vesivahinkokohteissa, mutta rakennusaikaisessa kosteudenhallinnassa hyödyt jäisivät vähäisiksi paremman kuivumisen arvioimisen takia. Käytetty laitteisto on huomattavasti halvempi kuin referenssinä käytetty Vaisalan mittalaitteisto, mutta ilman referenssimittalaitteistoa ei voida suorittaa lopullista ja dokumentoitavaa pinnoitettavuusmittausta, eli sekin tarvitaan joka tapauksessa. Sen sijaan välimittauksiin verrattuna kustannussäästöjä olisi mahdollista saada jo muutaman ylimääräisen mittauskäynnin korvaamisella.

Mittausten luku pilvipalvelusta osoittautui helpoksi ja luotettavaksi. Yhdellä silmäyksellä oli mahdollista seurata kaikkien anturien lukemia, ja mahdolliset ongelmat antureissa oli mahdollista paikallistaa välittömästi. Ohjelmassa ollutta mahdollisuutta hälytykseen raja-arvojen ylityksen yhteydessä ei otettu käyttöön.

Loppujen lopuksi muista hyödyistään huolimatta nyt käytetty laitteisto osoittautui mittaustarkkuudeltaan niin epätarkaksi, ettei sitä voi luotettavasti käyttää edes suuntaa-antavaan kuivumisen seurantaan tai loppumittauksen ajankohdan arviointiin. Lämpötilaa anturit mittasivat riittävän tarkasti, mutta suhteellisen kosteuden arvot poikkesivat huomattavasti referenssiarvoista.

## LÄHTEET

Betoniteollisuus ry (n.d.). Perustietopaketti. Haettu 24.8.2018 osoitteesta <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/>

Merikallio, T. (2002). *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi*. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Merikallio, T., Niemi S., Komonen J. (2007a). *Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen*. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Merikallio, T., Niemi S., Komonen J. (2007b). *Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet*. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Monnit (n.d.). Products. Haettu 21.11.2018 osoitteesta <https://www.monnit.com>

Polygon Finland (n.d.). Palvelut. Haettu 28.4.2019 osoitteesta <https://www.polygongroup.com/fi-FI/palvelut/>

Pulkkinen, K. (2013). Betonin pimeä puoli. *Kemia* 7, 12–17.

Rakennustieto Oy (2010). *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus*. RT-ohjekortisto RT14-10984.

Siikanen, U. (2009). *Rakennusaineoppi*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Vaisala (n.d.). Online store. Haettu 23.1.2019 osoitteesta <https://store.vaisala.com/eu/shm40-concrete-moisture-measurement-kit-rbk/SHM40/dp>