

Opinnäytetyö

Jukka Saukko

Rakennus- ja yhteiskuntatekniikka

Rakennusmestari (AMK)

Vaasa 2019



OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Jukka Saukko

Koulutus ja paikkakunta: Rakennusmestari (AMK) Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Infrarakentaminen

Ohjaaja: Tom Lipkin

Nimike: Etäluettavan ja langattoman betonivaluun asennettavan anturin käyttö betonin suhteellisen kosteuden mittaamisessa

Päivämäärä 17.12.2019 Sivumäärä 17

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä haluttiin selvittää etäluettavan betonin suhteellista kosteutta ja lämpötilaa mittaavan anturin sopivuus valettavan betonirakenteen kuivumisen seuraamiseen. Idea tuoreeseen betonimassaan asennettavasta etäluettavasta anturista pintoja tai rakenteita rikkomatta ja näistä saatujen tulosten vastaavuus porareikämenetelmällä tehtyjen mittauksen kanssa antoi aiheen opinnäytetyölle. Mielenkiintoiseksi aiheen tekee myös mahdolliset kustannus- ja aikasäästöt rakennusprojektin aikana etäluettavaa anturia käyttämällä.

Nykyajan rakentamisessa painotetaan yhä enemmän rakentamisen aikaista kosteudenhallintaa ja -seurantaa niin ympäröivissä olosuhteissa kuin pinnoitettavissa rakenteissakin. Vaatimukset betonirakenteiden suhteellisen kosteuden todentamiselle ja seurannalle ovat saaneet myös anturivalmistajat kehittämään sekä uutta anturiteknologiaa, että projektikohtaista pilvipalveluun pohjautuvaa käyttöliittymää mittatulosten seurantaa ja raportointia varten.

Tässä opinnäytetyössä koekäytettiin kotimaisen anturivalmistajan Wiiste Oy:n antureita ja pilvipalvelupohjaista raportointityökalua. Koekäyttö tehtiin Skanska Talonrakennus Oy:n As Oy Espoon Jamin rakennustyömaalla Espoon Niittykummussa. Suhteellisen kosteuden vertailuarvojen ottaminen porareikämittauksin tehtiin Vaisala Oyj:n laitteita käyttäen.

Kieli: suomi

Avainsanat: langaton, kosteusanturi, betonirakenne

EXAMENSARBETE

Författare: Jukka Saukko

Utbildning och ort: Byggmästare (YH) Vasa

Inriktningalternativ: infrabyggnad

Handledare: Tom Lipkin

Titel: Fjärrläsning och användning av fuktmätningssensor ingjuten i betong

Datum 19-12-17 Sidantal 17

Abstrakt

I detta examensarbete utvärderas lämplighet, relativ fuktighet och uttorkning av betongkonstruktion med fjärrläsande och trådlösa mätningssensor som ingjuts i betong. Att kunna jämföra resultatet mellan ingjuten sensor och vanligt sätt när man ställer en sensor i ett borrarat hålet i betong var av intresse och det gav rubriken till detta examensarbete.

Det är även mer intressant om man tänker på att om det finns möjligheter att minska båda kostnader och tidskrav inom byggprojekt med användning av trådlösa fuktsensorer.

I dagens byggande understryker man kontrollering och uppföljning av fukt både vid omgivande förhållanden och i ytbeläggande betongkonstruktioner. Förutsättningar för att verifiera och uppfölja relativ fuktighet i betongkonstruktioner har stimulerat sensortillverkare att utveckla både ny sensorteknologi och användargränssnitt inom projekt som baserar sig på molnservice för att uppfölja och rapportera mätvärdena. I detta examensarbete användes inhemska fuktsensorer och molnlagring baserat rapporteringsverktyg som tillverkats av Wiiste Oy. Provanvändning tog plats på byggplats i Esbo. Byggprojekt heter As Oy Espoon Jami och byggare är Skanska Talonrakennus Oy. Tagande av referensvärde i relativ fuktighet utförs med användning Vaisala Oyj fuktsensorer genom att borra ett hål i konstruktionen.

Språk: Finska

Nyckelord: Trådlös, fuktsensor, betongkonstruktion

BACHELOR'S THESIS

Author: Jukka Saukko

Degree Programme: Construction manager (UAS) Vaasa

Specialization: Infrastructure

Supervisor: Tom Lipkin

Title: Using Wireless and LoRa -based Sensor for Metering Relative Dampness of Concrete Cast into Construction

Date 12/17/2019 Number of pages 17

Abstract

The thesis was about resolving if there was appropriateness to extract accurate data from the damp and temperature measuring sensors permanently installed into the cast concrete construction as the construction is drying in a building. The idea for the thesis came up when there were studies going on how to make reliable determinations of the dampness of concrete without means of breaking neither the structures nor surfaces and, also if there was correlation in between two separate measuring methods such as taking the measurement from a drilled hole or a solid cast sensor. The subject becomes even more interesting with the possibility to save both expenses and time budgeted for a building project.

Nowadays it is more and more relevant to manage and supervise both the structural and surrounding dampness in a building during construction phase. Being able to verify and trend the level of dampness of the concrete constructions throughout the building project has led sensor manufacturers to develop new sensor technology as well as cloud-based platform for storing and reporting measurements.

In this thesis the first test was conducted using domestic sensor by Wiiste company and their cloud drive-based reporting tool. The tests took place at the construction site of Skanska Talonrakennus Oy called As Oy Espoon Jami in Niittykumpu, city of Espoo. Correlative measurements of relative humidity were taken by using equipment of another domestic hi-tech sensor company called Vaisala. A more traditional method was applied to get moisture readings from a power-driven hole in concrete.

Language: Finnish

Key words: Wireless, damp sensor, concrete construction

Sisällysluettelo

1	Betonirakenteiden suhteellinen kosteus	1
2	Kuivumisprosessi	1
3	Betonirakenteen riittävän kuivuuden määrittäminen	2
4	Betonirakenteiden päällystäminen siltarakentamisessa	3
5	Wiiste Oy SolidRH™ langaton kosteuden hallintajärjestelmä	4
6	SolidRH™ -kosteuden hallintajärjestelmä.....	7
7	Mittauspisteet ja toteutus.....	7
8	Mittaustulokset.....	9
8.1	A-porras 0. krs	10
8.2	A-porras 1. krs etelä	11
8.3	A-porras 1. krs pohjoinen.....	12
8.4	B-porras 0. krs.....	13
8.5	Parkkihalli 2. lohko -1. krs	14
8.6	Mittaustiedon tarkastelu	15
9	Kustannukset.....	16
10	Yhteenveto	17
11	Lähdeluettelo	18

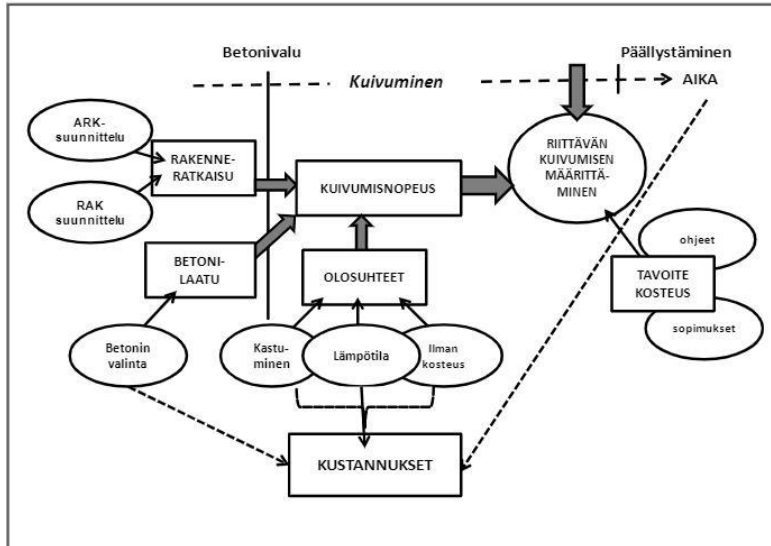
1 Betonirakenteiden suhteellinen kosteus

Betonirakenteita käytettäessä kiinnitetään entistä enemmän huomiota rakenteiden riittävään kuivumiseen ts. riittävän alhaisen suhteellisen kosteuden tason saavuttamiseen ennen valetun betonirakenteen päällystämistä. Betonin suhteellinen kosteus kuvaa betonin huokosissa olevan ilman suhteellista kosteutta ja se esitetään suhteellisen kosteuden pitoisuutena, jonka yksikkönä on RH-prosentti (relative humidity). Esimerkiksi luku RH 95 % betonissa tarkoittaa betonirakenteen huokosissa olevan ilman vesihöyrynpaineen suhdetta kyllästyspaineeseen kyseisessä lämpötilassa, joka tässä on siis 95 prosenttia (Merikallio 2009, 11).

2 Kuivumisprosessi

Betonin kuivuminen valun jälkeen on monivaiheinen ja pitkäkestoinen prosessi. Siihen vaikuttavat niin rakenteen ympäröivät olosuhteet kuin itse betonimassan koostumuskin (Merikallio 2009, 4–5.) Rakenteen muoto, paksuus ja sijainti ovat myös merkittäviä. Olosuhteista tärkeimpinä voidaan mainita ympäröivän ilman lämpötila ja kosteus. Betonimassan koostumuksen tärkeitä ominaisuuksia ovat vesi-sementtisuhde, lisäaineet, kiviaineen ja sementin laatu. Betonirakenteen paksuuden kasvattaminen merkitsee myös pidempiä kuivumisaikoja eritoten, jos valu tehdään maanvaraisena laattarakenteena, jolloin betoni pääsee kuivumaan vain yhteen suuntaan.

Kommenterad [EV1]: Alla figurer och tabeller ska också förklaras i texten



Betonin kuivuminen tapahtuu aluksi nopeasti kapillaarisella alueella, kun huokosilman suhteellinen kosteus on 98-100 % ja ko. kosteusalueella materiaalissa on jopa kymmenkertaisesti enemmän kosteutta kuin hygroskooppisella alueella. Tämän jälkeen kuivuminen hidastuu, kun betoni on hygroskooppisella alueella kosteuden ollessa 0-98 % ja vastaa ympäröivän ilman suhteellista kosteutta. Kosteus siis siirtyy vesihöyrynä betonissa diffuusion vaikutuksesta suuremmasta vesihöyryn pitoisuudesta pienempään päin. Diffuusion vaikuttaa myös rakenteen vesihöyrynläpäisy.

3 Betonirakenteen riittävän kuivuuden määrittäminen

Betonirakenteiden riittävän alhaisen kosteuspitoisuuden saavuttaminen ja määrittäminen on tärkeää, kun ajatellaan rakenteiden pinnoittamista niin infra- kuin asuinrakentamisessakin. Asuinrakentamisessa tämä on erityisen tärkeää, koska betonirakenteiden pinnoittamisessa käytettävät materiaalit saattavat liiasta alustan kosteudesta johtuen erittää huoneilmaan päästöjä, jotka voivat altistaa ihmiset vakavillekin fysiologisille oireille ja sairauksille. Eri pinnoitusmateriaaleilla on oma kriittinen kosteuspisteensä, jonka jälkeen materiaali alkaa lahota, homehtua, muuttaa muotoaan tai aiheuttamaan sisäilmaan emissioita, kuten homeitiöitä tai formaldehydiä (Ympäristöopas 2016, 14–15).

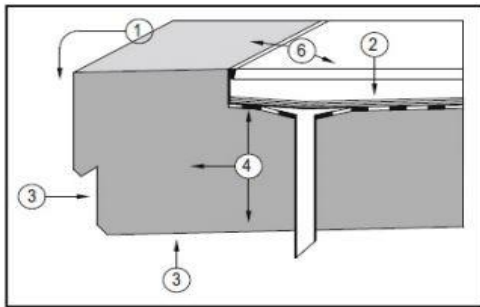
Kommenterad [EV2]: Det är inte bra med så här korta huvudkapitel. Du har fyra på två sidor... Fundera om!

4 Betonirakenteiden päällystäminen siltarakentamisessa

Liikenneviraston 3/2018 julkaisemassa Siltojen Korjaus - Kannen Pintarakenteet, kerrotaan vaurioista, joita aiheutuu siltojen betonirakenteille, kun rakenteita suojaavan kannen vedeneristys pettää. Syiksi on lueteltu mm. eristävän bitumikermin lasikankainen haptuminen, Mastiksin sekoittuminen päällystykseseen, kaidepylväiden kiinnitys lävistää vedeneristyksen, sillan kuivatusjärjestelmä ei toimi ja päällysteen vauriot. Ensimmäisenä syistä mainitaan kuitenkin eristettävän alustan liiallinen kosteus.

Silko-yleisohjeen mukaan siltarakenteiden yksi merkittävimmistä sen toimintaan ja säilyvyyteen vaikuttavista tekijöistä on liian korkea kosteus.

Kuva 2. Sillan reunaan kohdistuvat kosteusrasitukset (Liikennevirasto 2017, 8)



1. sade- ja sulamisvedet
2. pinta-, pohja- ja hulevesi
3. ilman kosteus
4. maaperän kosteus
5. tiesuolat

Silko-yleisohjeessa viitataan InfraRyl osan 3 /1/ taulukon 42310:T1 mukaiseen suurimpiin sallittuihin kosteuksiin (30 mm syvyydellä) ennen eristystöiden aloitusta, jossa käytetään mittausmenetelmänä punnitus–kuivatusmenetelmä VTT-2650-17 /8/.

Taulukko 1. Eristysalustan suurin sallittu kosteus (30 mm syvyydellä) ennen eristystöiden aloitusta

Asennettava eristysmateriaali	Eristysalustan suurin sallittu absoluuttinen kosteus massa-% (VTT-2650-17)
Kauttaaltaan kiinnitetty kermi, nestemäisenä levitettävä eristys tai epoksitiivistys	5,0
Paineentasauskermi tai kumibitumimastiksi (jos epoksitiivistystä ei käytetä)	6,0

Betonikannen vedeneristys edellyttää siis alustan riittävää kuivuutta eristeen hyvän tartunnan varmistamiseksi. Kannen pinnan kosteus voidaan selvittää absoluuttista kosteutta mittaavalla menetelmällä kuten kuivatus-punnitusmenetelmä tai suhteellista kosteutta mittaavalla, kuten porareikämittauksella (Liikennevirasto 2017, 35).

5 Wiiste Oy SolidRH™ langaton kosteuden hallintajärjestelmä

Betonirakenteen kuivumisen seuranta ja riittävä kuivumisen varmistaminen rakennustyömailla ennen päällystämistä tiedostetaan tärkeäksi osaksi rakennusprojektin aikataulusuunnittelua ja laadunvarmistamista. Tarja Merikallion väitöskirjassa ”Betonilattian riittävän kuivumisen määrittäminen” todetaan, että epäselvyyksiä esiintyy edelleen rakennus- ja kiinteistöalalla tutkimustiedon lisääntymisestä huolimatta. Ko. aloilla annetaan entistä enemmän huomiota rakenteiden kosteuden hallintaan jo rakennusvaiheen aikana sekä seurantaan kohteen jo valmistuttua (Merikallio 2009, 4).

Betonissa olevaa kosteuspitoisuutta voidaan mitata useilla tavoilla. Yleisimmät tavat lienevät RT@:n RT-kortissa 14-10984 esitetyt mittaamenetelmät kiviaineisten lattia-, seinä- ja kattorakenteiden kosteuden mittaamiseen porareikä- ja näytepalamenetelmällä. (Rakennussäätiö, 2010). Molemmat menetelmät antavat oikein suoritettuna riittävän tarkkaa mittaustietoa kosteuspitoisuudesta ja kuivumisen edistymisestä. Kosteuden mittaustutkimus ostetaan useimmiten rakennuspalveluna, joka useasti tehtynä aiheuttaa lisäkustannuksia rakennusprojektille. Tämän lisäksi kustannuksia aiheutuu ym. mittaamenetelmien rakennetta rikkovasta mittaustavasta, jolloin mittaustaikojen reiät joudutaan paikkaamaan. Pahimmassa tapauksessa näytettä otettaessa rikotaan rakenteessa olevaa talotekniikkaa, jonka korjauskustannus saattaa olla jo merkittävä summa.

Kosteusanturivalmistajat ovat huomanneet markkinaraon betonin kosteuden mittaamiseen liittyvissä kustannuksissa ja tarjoavatkin rakentajille itse teknisen laitteiston lisäksi myös ohjelmistoa, joka järjestää mittaustiedon helpommin luettavaksi ja raportoitavaksi.

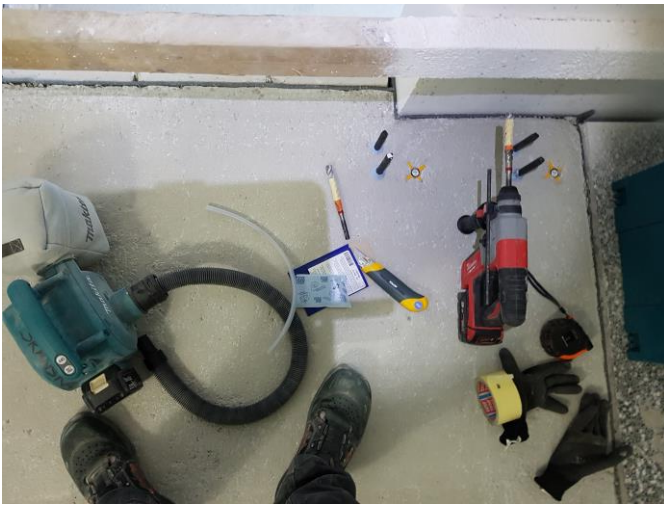
Tässä opinnäytetyössä haluttiin selvittää yhtä kotimaisen anturivalmistaja Wiiste Oy:n langatonta ja valuun asennettavan anturin toimivuutta, luotettavuutta ja tarkkuutta verrattuna porareikämenetelmällä saatuihin tuloksiin. Wiiste Oy:n mittaajärjestelmän kustannukset ja mahdolliset kustannussäästöt haluttiin myös selvittää. Antureiden käyttäminen ja testaaminen tehtiin Skanska Talonrakennus Oy:n urakoimassa kohteessa As Oy Espoon Jamissa, Espoon Niittykummussa.



Kuva 3. Antureiden asennusta betonivaluun



Kuva 4. Anturit asennettuna



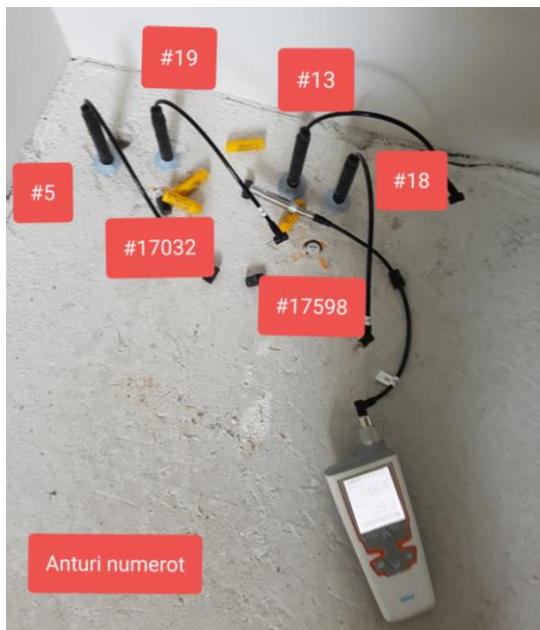
Kuva 5. Kiinteäasenteisen anturin ja porareikämittausten mittausvalmistelu



Kuva 6. Refesenssimittaus porareistä



Kuva 7. IoT-anturi
(kuvakaappaus
Wiiste Oy:n www -
sivulta)



Kuva 8. Mittaus arvojen ottamista vertailun
pohjaksi



Kuva 9. Kosteus- ja lämpötila-
anturi (kuvakaappaus Wiiste
Oy:n www -sivulta)

6 SolidRH™ -kosteuden hallintajärjestelmä

RT-ohjekortin 14-10984 mukaan betonin suhteellisen kosteuden mittaamisessa tarkkoja mittaamenetelmiä ovat:

- mittaaminen rakenteeseen poratusta reiästä (porareikämittaus)
- mittaaminen betonirakenteesta irrotetusta näytepalasta (näytepalamittaus).

Saman ohjekortin mukaan suuntaa antavia menetelmiä ovat:

- pintakosteusmittaukset
- mittaaminen putkettomasta reiästä
- mittaaminen toistuvasti samasta reiästä
- mittaaminen pian poraamisen jälkeen
- **mittaaminen jatkuvasti betonin sisällä olevalla anturilla**
- porareikämittaus suosituslämpötila-alueen ulkopuolella
- näytepalamittaus välittömästi mittapäättä putkeen asentamatta
- näytepalamittaus normaalia pienemmällä näytemäärällä tai epätarkalla syvyydellä (Rakennussäätiö, 2010).

Wiiste Oy:n kiinteäasenteinen betonivaluun asennettava langaton anturi, käsikäyttöinen lukulaite ja pilvipalvelupohjainen Relia-tiedonhallintaohjelma muodostavat kosteuden hallintajärjestelmän, joka vaikuttaa valmiilta tuotteelta ja tarjoaa yhden vaihtoehdon esim. rakennusurakoitsijalle seurata betonirakenteen kuivumista ja auttamalla sekä kerätyn tiedon järjestämisessä, että sen raportoinnissa kustannustehokkaasti (Rakennustietosäätiö RTS 2016.) RT-ohjekortin mukaan kiinteästi asennetun kosteusmittausanturi on kuitenkin suuntaa antava mittaamenetelmä ja tämän vuoksi haluttiin tässä opinnäytetyössä selvittää kuinka lähelle ko. SolidRH™ -järjestelmällä päästään porareikämittauksella saatuja tuloksia. Kustannustehokkuuttakin selvitetään vertaamalla ostetun mittausspalvelun, urakoitsijan itse tekemien mittausten ja Wiiste Oy:n järjestelmän käytön välisiä kustannuksia.

7 Mittauspisteet ja toteutus

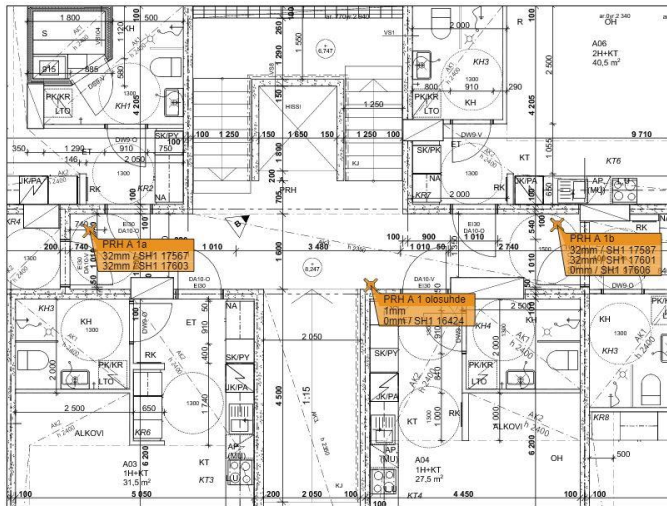
Skanska Talonrakennus Oy:n työmaa As Oy Espoon Jamin työmaalla oli jo runkovaihe valmis tätä opinnäytetyötä aloitellessa heinäkuun alussa 2018 ja siksi anturien asennuspaikoiksi valikoituinkin asuinhuoneistojen sijasta porrashuoneisiin valettavat, uivat 80 mm:n suojabetonivalut. Yhdeksi mittauspisteeksi valittiin avoimen parkkihallin maanvarainen 130 mm:n betonilaattalattia. Tällä haluttiin mallintaa infrarakentamisen betonirakenteiden kosteuden mittausta esim. siltarakenteissa. Valitettavasti

vertailukelpoinen mittaustieto jäi parkkihallin osalta vähäiseksi. Kuvassa 8 on esimerkki valuun asennettujen antureiden sijoittelusta. Mittasyvyudet betonilaattojen rakenneratkaisujen mukaan oli porrashuoneissa 32 mm ja maanvaraisessa laatussa 54 mm. Tilatessa valuun asennettavia antureita Wiiste Oy toimittaa SH1 anturit oikeaan mittasyvyyteen tehtynä. Porrashuoneisiin kiinteitä antureita asennettiin kaikkiaan yhdeksän kappaletta ja parkkihalliin 2 kappaletta. Osa antureista oli prototyyppi vaiheessa olevia antureita ja niihin tehdyt parannukset antoivat odottaa tarkempia mittaustuloksia betonin suhteellisesta kosteudesta pienestä lämpötilavaihtelusta huolimatta. Tässä vertailussa olleet prototekniikan anturit ovat nykyään tuotannossa ja ne korvaavat vanhan anturityypit. Uusien SH1-anturien tasaantumisaika on nopeampi ja lämpötila tarkempi oikealta mittaussyvyydeltä (henkilökohtainen kommunikointi 28.11.2018).

Wiiste Oy toimitti työmaalle myös LoRa (Long Range) -teknologiaa hyödyntävät IoT (esineiden internet) olosuhdeanturin ja valuun asennettavan IoT-anturin, jotka lähettäisivät mittaustiedon suoraan pilvipalveluun. IoT- teknologia Wiisteen antureissa on prototekniikkaa ja Wiisteen toimitusjohtajan Toni Luopajärven mukaan onkin helpon käytettävyyden vuoksi yhä enemmän kysytty anturityyppi markkinoilla (henkilökohtainen kommunikointi 28.11.2018.) Tarvittiin kuitenkin erillistä gsm-reititintä tehostamaan radiosignaalin voimakkuutta rakennuksesta lähimpää LoRa-tukiasemaan. Tämä johtui mahdollisesti paksujen rakennuksen betonielementtiseinien ja selektiivisten lämpölasielementtien aiheuttamasta esteestä.

Valuun asennetut anturit luettiin päivärutiinin yhteydessä esim. TR-mittaamisen aikana, jonka jälkeen lukija yhdistettiin tietokoneeseen ja tulokset ladattiin Relia-kosteudenhallintaohjelmaan. Porareikämittaukset tehtiin kahdessa vaiheessa niin, että ensin porataan reiät kosteusanturin suojaputkille ja niiden kosteusolosuhteiden tasaannuttua, mitataan kosteusarvot 3 päivän kuluttua.

Pohjakuva: Talo 1, Krs 1



(Rakennussäätiö,

Kuva 10. Kuvakaappaus Relia-pilvipalvelun kosteusmittausraportista.

8 Mittaustulokset

Tulokset kerättiin alla oleviin taulukoihin porareikämittausten osalta mittapöytäkirjoista ja Wiiste SH1 antureiden osalta Relia-kosteudenhallinta järjestelmästä. Vasemmalla nähdään keltaisella pohjalla korostetut kiinteästi asennettujen antureiden data ja oikealla porareikämittausten saatu data. Tarpeeksi tarkkojen porareikämittausten haluttiin varmistaa kouluttautamalla rakenteiden kosteudenmittaajaksi, joka mahdollistaa VTT:n rakennusertifiikaatin hakemisen. On otettava kuitenkin huomioon, että tarkimmillaankin betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen RT-ohjekortin 14-10984 mukaan virhemarginaaliksi oletetaan $\pm 2\%$ (Rakennussäätiö RTS 2010.)

8.1 A-porras 0. krs

Alhaalla taulukossa on mittaustulokset, jotka on luettu Wiiste Oy:n valmistamista, betonivaluun asennetuista kosteuden- ja lämpötila-antureista. Vertailutietona on porareikämittaus-menetelmällä saatu mittaustieto. A-portaan 0. krs betonilaatta on rakenteeltaan uiva ja vahvuudeltaan 80 mm. Tarkastelusyvyydeksi tulee siten 32 mm.

Päivämäärä	Wiiste SH1 (proto) #17598		Vaisala HMP40S Porareikä	
	T °C	RH %	T °C	RH %
20.7.2018	22,3	97,2	22,3	90,1
31.7.2018	24,1	96,2	24,2	86,7
17.8.2018	21	92,2	21,1	83,8
28.8.2018	20,5	90		
4.9.2018			20,1	82,9

Päivämäärä	Wiiste SH1 #17032		Vaisala HMP40S Porareikä	
	T °C	RH %	T °C	RH %
20.7.2018	22,5	97,4	22,3	90,4
31.7.2018	24,2	95,4	24,2	87,3
17.8.2018	21,1	88,8	21,1	82,2
28.8.2018	20,7	86,4		
4.9.2018			20,1	80,9

Päivämäärä	Vaisala HMP40S olosuhde	
	T °C	RH %
20.7.2018	22,1	79
31.7.2018	25,3	66,4
17.8.2018	21,3	66,5
4.9.2018	19,9	70,7

8.2 A-porras 1. krs etelä

Alhaalla taulukossa on mittaustulokset, jotka on luettu Wiiste Oy:n valmistamista, betonivaluun asennetuista kosteuden- ja lämpötila-antureista. Vertailutietona on porareikämittaus-menetelmällä saatu mittaustieto. A-portaan 1. krs betonilaatta on rakenteeltaan uiva ja vahvuudeltaan 80 mm. Tarkastelusyvyudeksi tulee siten 32 mm.

Päivämäärä	Wiiste SH1 (proto) #17601		Vaisala HMP40S porareikä	
	T °C	RH %	T °C	RH %
20.7.2018	24,3	87,4	24,3	88,9
31.7.2018	25,9	83,8	26,1	82,8
17.8.2018	24,3	78,7	24,4	79,9
28.8.2018	21,7	77		
4.9.2018			23,3	79,4

Päivämäärä	Wiiste SH1 #17587		Vaisala HMP40S porareikä	
	T °C	RH %	T °C	RH %
20.7.2018	24,6	88,6	24,3	87,2
31.7.2018	26,1	85,6	26,1	85,1
17.8.2018	24,5	80,3	24,3	80,7
28.8.2018	22,5	77,5		
4.9.2018			23,4	76,6

Päivämäärä	Wiiste SH1 IoT (proto) #17606		Vaisala HMP40S porareikä	
	T °C	RH %	T °C	RH %
20.7.2018	24,3	93,7	24,2	88,5
31.7.2018	26,1	90	26,1	86,1
17.8.2018	24,4	84,2	24,3	80,7

Päivämäärä	Wiiste IoT #16424 olosuhde		Vaisala HMP40S olosuhde	
	T °C	RH %	T °C	RH %
20.7.2018	25,1	65,6	23,4	77
31.7.2018	26,5	52,4	26,2	62,7
17.8.2018	25,6	41,8	25,8	42,1
4.9.2018	24,1	46,9	22,8	59,6

8.3 A-porras 1. krs pohjoinen

Alhaalla taulukossa on mittaustulokset, jotka on luettu Wiiste Oy:n valmistamista, betonivaluun kiinteästi asennetuista kosteuden- ja lämpötila-antureista. Vertailutietona on porareikämittaus-menetelmällä saatu mittaustieto. A-portaan 1. krs betonilaatta on rakenteeltaan uiva ja vahvuudeltaan 80 mm. Tarkastelusyvydeksi tulee siten 32 mm.

Päivämäärä	Wiiste SH1 (proto) #17603		Vaisala HMP40S porareikä	
	T °C	RH %	T °C	RH %
20.7.2018	23,7	88,9	23,7	87
31.7.2018	25,5	85,5	25,7	80,4
17.8.2018	23,6	80,4	23,7	76,5
28.8.2018	22,5	88,5		
4.9.2018			22,4	75,1

Päivämäärä	Wiiste SH1 #17567		Vaisala HMP40S porareikä	
	T °C	RH %	T °C	RH %
20.7.2018	23,9	86,1	23,7	85,2
31.7.2018	25,8	83	25,6	83,6
17.8.2018	23,9	77,8	23,8	79,1
28.8.2018	22,8	83,2		
4.9.2018			22,4	75,1

Päivämäärä	Wiiste IOT #16424 olosuhde		Vaisala HMP40S olosuhde	
	T °C	RH %	T °C	RH %
20.7.2018	25,1	65,6	23,4	77
31.7.2018	26,5	52,4	26,1	63,1
17.8.2018	25,6	41,8	25,8	42,1
4.9.2018	24,1	46,9	22,3	61,5

8.4 B-porras 0. krs

Alhaalla taulukossa on mittaustulokset, jotka on luettu Wiiste Oy:n valmistamista, betonivaluun kiinteästi asennetuista kosteuden- ja lämpötila-antureista. Vertailutietona on porareikämittaus-menetelmällä saatumittaustieto. B-portaan 0. krs betonilaatta on rakenteeltaan uiva ja vahvuudeltaan 80 mm. Tarkastelusyvyydeksi tulee siten 32 mm.

Päivämäärä	Wiiste SH1(proto) #17600		Vaisala HMP40S Porareikä	
	T °C	RH %	T °C	RH %
20.7.2018	22,9	92,6	23	89,9
31.7.2018	25,2	88,6	25,4	86,3
17.8.2018	21,6	82,4	21,7	80
28.8.2018	19,9	80,1		
4.9.2018			20,3	78,2

Päivämäärä	Wiiste SH1 #17216		Vaisala HMP40S Porareikä	
	T °C	RH %	T °C	RH %
20.7.2018	22,96	91,3	23	90,4
31.7.2018	25,3	88,5	25,3	86,8
17.8.2018	21,6	81,8	21,6	81,9
28.8.2018	20	79,8		
4.9.2018			20,3	78,2

Päivämäärä	Vaisala HMP40S olosuhde	
	T °C	RH %
20.7.2018	23,4	78,9
31.7.2018	25,9	56,8
17.8.2018	22,3	64,3
4.9.2018	22	63

8.5 Parkkihalli 2. lohko -1. krs

Alhaalla taulukossa on mittaustulokset, jotka on luettu Wiiste Oy:n kiinteästi asennetuista kosteuden- ja lämpötila-antureista. Vertailutietona on porareikämittaus-menetelmällä saatu mittaustieto. Parkkihallin -1. krs betonilaatta on rakenteeltaan uiva ja vahvuudeltaan 130 mm. Tarkastelusyvydeksi tulee siten 52 mm.

Wiiste SH1 (proto) #17607 Vaisala HMP40S porareikä

Päivämäärä	T °C	RH %	T °C	RH %
31.7.2018	25,5	82,2		
1.8.2018			25,5	89,9
28.8.2018	16	76,9	15,7	85,5
11.10.2018	8,7	77,9		
17.10.2018			11,1	87,7

Wiiste SH1 #17219 Vaisala HMP40S porareikä

Päivämäärä	T °C	RH %	T °C	RH %
31.7.2018	26	93,6		
1.8.2018			25,5	90,5
28.8.2018	16	86	15,7	84,5
11.10.2018	8,7	77,9		
17.10.2018			11,1	87,7

Vaisala HMP40S olosuhde

Päivämäärä	T °C	RH %
17.7.2018	27,7	42
20.7.2018	23,4	77
1.8.2018	26,1	65,1
28.8.2018	17,3	78,5
4.9.2018	20,4	69,6
17.10.2018	12	82

8.6 Mittaustiedon tarkastelu

Ylläolevista mittaustuloksista nähdään, että A-portaan 0. kerroksen lepotosalla mittaustuloksissa oli poikkeavuutta. Tätä pohdittiin Wiiste Oy:n Toni Luopajärven kanssa, kun ensimmäisiä tuloksia alkoi tulla (henkilökohtainen kommunikointi 28.11 2018). Kiinteiden antureiden, porareikämittausten ja olosuhteiden lämpötilat korreloivat kuitenkin hyvin keskenään. Kuvassa 7. voidaan havaita se seikka, että poratut antureiden paikat ovat lähempänä betonilaatan reunaa kuin kiinteästi asennetut anturit, joka saattaa olla yksi tekijä ”kuivemmista” tuloksista. Toinen tekijä voi olla se, että suojalaatan alla oleva eristelevy hieman nousee lähempänä seinäpintaa ja ohentaa näin laatan paksuutta vertailua varten porattujen mittapisteen kohdalla. Eristelevyn päälle asennettu suodatinkangas oli laattaa valettaessa irrallinen ja huonosti kiinnitetty, joka on liikkuessaan tai jopa noustessaan saattanut myös aiheuttaa mainitut erot mittauksissa. Anturin asennuksessa tuoreeseen betoniin ei olettaisi tapahtuvan tällaista mittauseroa aiheuttavaa virhettä. Kosteuden mitta-arvojen eroavaisuus jää tässä epäselväksi ja asian selvittäminen vaatisi rakenteen rikkomista, johon ei ole kohteen luovutuksen lähestyessä mahdollisuuksia.

Seuraavissa mittauspisteissä A-porrashuoneen 1:ssä kerroksessa pohjois- ja eteläpäässä sekä B-porrashuoneen 0. kerroksessa suhteellisen kosteuden mittaustiedot korreloivat kuitenkin hyvin, jopa alle 2:n prosenttiyksikön päässä vertailuarvojen kanssa. Lämpötilat valussa vastaavat antureilla toisiaan tässäkin todella tarkasti vain muutaman Celsius-asteen kymmenyksen päässä toisistaan. Rakenteen suhteellista kosteutta määritettäessä täytyy lämpötila ottaa erityisen tarkasti huomioon tuloksia tulkittaessa.

Mittaustietotaulukoita tarkasteltaessa huomataan A-porrashuoneen etelä päässä olevan valuun asennettavan IoT -protoanturin kosteammat lukemat kuin porareikämittauksella saadut vertailutulokset, vaikka lämpötilat korreloivat hyvin. Tämän mitta-arvon eroavaisuus selittyy mahdollisesti anturin sijoittamisella suhteessa vertailuanturiin.

Parkkihalliin sijoitetuilla antureilla haluttiin hakea rakenteiden ja ympäröivien olosuhteiden samankaltaisuutta infrarakentamisen kanssa. P-hallin maanvarainen laatta oli avoimena tilana erityisen alttiina suurille lämpötilan ja ilmankosteuden vaihteluille. Suuri ero lämpötilan vaihtelussa mitattavan rakenteen ja ympäröivän ilman välillä tekee luotettavan kosteusmittauksen hankalaksi suhteellista kosteutta mittaavalla porareikämenetelmällä.

Tämä näkyy p-hallin mittausrvojen taulukossa, vaikkakin kontrollimittausten vähyysskin tuo epävarmuutta tuloksiin.

Liikenneviraston julkaisun Silko 1.801 3/2018 mukaan sillan kansirakenteen kosteuden mittaukseen tulisikin käyttää näytepalamenetelmää ja betonin absoluuttisen kosteuden selvittämistä massa-%:na.

9 Kustannukset

Tässä opinnäytetyössä haluttiin vertailla eri betonirakenteiden kosteusmittaustapojen kustannusmuodostusta. Vertailuajavälin pituudeksi valittiin kaluston osalta kolme vuotta, jotta kalustohankinta työmaalle ei vain yhden projektin ollessa kyseessä vääristäisi tulosta verrattuna ostopalveluna hankittuun mittaukseen. Työmaan kokoesimerkkinä on As Oy Espoon Jami (65 asuntoa), jossa valuun asennettavien antureidenkin testaus tehtiin. Joka asunnossa on

Oman mittaustyön kustannusten laskennassa otettiin huomioon mm. kosteudenmittaajalta vaadittava sertifikaatti, anturien kalibrointi, työsaavutus ja mittauskalusto.

Taulukko 2. Kosteudenmittausmenetelmien kustannusvertailu.

As Oy Espoon Jami 65 huoneistoa	
1. vaihtoehto, oma mittaus omilla laitteilla	22 026,00 €
2. vaihtoehto, mittauspalvelun osto alihankkijalta #1	20 800,00 €
3. vaihtoehto, mittauspalvelun osto alihankkijalta #2	46 800,00 €
4. vaihtoehto, langaton kiinteästi valuun asennettava anturi	21 383,00 €

Taulukon kustannuksia vertailemalla huomataan, että vaihtoehto nr.3 lukuun ottamatta kustannukset ovat melko tasaväkisiä. Itse suoritettavaan kosteuden mittaamiseen ja kiinteästi asennettavien antureiden kustannuksissa on huomioitu ”virallinen” loppukosteuden mittaustulos.

10 Yhteenvedo

Tämän opinnäytetyön tuloksien perusteella voidaan olettaa, että Wiiste Oy:n anturit ovat mittatarkkuudeltaan riittävät betonirakenteiden kuivumisen jatkuvaan seurantaan. Mittaustulosten päivittäminen raportointityökaluun ja raporttien tulostaminen onnistuu alkuasetusten jälkeen ilman suurempaa vaivaa. Kustannukset ovat kilpailukykyiset muihin mittaustapoihin verrattuna. Valuun kiinteästi asennettavien ja rakenteita rikkomattomien antureiden etuna voidaan myös pitää rakennuskohteen luovuttamisen jälkeisen ja käytönaikaisen seurannan mahdollisuutta. Rakentajan etu on voida osoittaa kiinteistönomistajalle esim. vedeneristyksen toimivuus kylpyhuoneessa. Tämä taas saattaa kasvattaa rakentajan luotettavuutta ja imagoa asiakkaan silmissä.

Anturivalmistaja Wiiste Oy:n toimitusjohtaja Toni Luopajarvi lupaa antureilleen 10:n vuoden toiminta-ajan (henkilökohtainen kommunikointi 28.11 2018).

Opinnäytetyössä käytetty mittaustieto kerättiin työnjohtotehtävien aikana, joka aiheutti lisäkuormitusta työpäivään. Tämän takia mitta-aineistokaan ei ole erityisen runsas, joka hankaloittaa tarkemman vertailun tekoa eri kosteudenmittaus menetelmien välillä. Runsaamman mitta-aineiston keräämiseksi olisikin ollut tarpeen varata aikaa pelkästään mittaamiseen esim. yhden päivän viikkoa kohden. Opinnäytetyötä aloittaessa langattomien ja etäluettavien antureiden sijoittelua suunniteltiin asennettaviksi sekä asuinhuoneistojen kuiviin tiloihin että kylpyhuoneisiin. As Oy Espoon Jamin holvivalutyöt etenivät kuitenkin niin nopeasti, että valuun asennettavia antureita ei ehditty asuntoihin asentaa. Tämä ei vaikuta varsinaisesti tässä opinnäytetyössä saatuihin tuloksiin, mutta lisätiedon hankkimiseksi siitä, kuinka vedeneristyskalvo vaikuttaa kosteudenmittaus tuloksiin alapuolisissa betonirakenteissa käyttöönoton jälkeen, olisi ollut mielenkiintoista tietää.

11 Lähdeluettelo

- Liikennevirasto. (2017). Liikenneviraston ohjeita 2/2017. *Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2017*. Helsinki. Noudettu osoitteesta https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-02_sillan_vedeneristystyomaan_web.pdf
- Liikennevirasto, Taitorakennusyksikkö. (2018). SILKO 1.801 Siltojen korjaukset. *Kannen pintarakenteet, Vedeneristykset, Yleiset laatuvaatimukset*. Noudettu osoitteesta https://julkaisut.liikennevirasto.fi/sillat/silko/kansio1/s1801_web.pdf
- Merikallio, T. (2009). TKK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitoksen väitöskirjojaTKK-R-VK4. *BETONILATTIAN "RIITTÄVÄN" KUIVUMISEN MÄÄRITTÄMINEN UUDISRAKENTAMISESSA*. Espoo. Noudettu osoitteesta <https://docplayer.fi/2433400-Betonilattian-riittavan-kuivumisen-maarittaminen-uudisrakentamisessa.html>
- Rakennussäätiö. (2010). RT 14-10984. Helsinki. Noudettu osoitteesta https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2014-10984?external_system=Juha&page=1
- YMPÄRISTÖMINISTERIÖ. (2016). Ympäristöopas 2016. *Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus*. (M. Pitkäranta, Toim.) Helsinki. Noudettu osoitteesta http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimusopas.pdf

Kommenterad [EV3]: Kontrollera i skrivanvisningarna hur källförteckningen ska se ut. Hur skrivs datum? Ska intervjuer vara med i källförteckningen? Allt detta hittar du i skrivanvisningarna.