



Vigilan Humi 2 -kosteusantureiden luotettavuuden tutkiminen

Janne Mikkola

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Rakennustuotanto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
Rakennustuotanto

MIKKOLA, JANNE:

Vigilan Humi 2 -kosteusantureiden luotettavuuden tutkiminen

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Huhtikuu 2020

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia betonin kosteuden mittaukseen kehitettyjä Vigilan Humi 2 -kosteusantureiden luotettavuutta. Tarkoituksena oli selvittää Humi 2 -antureiden luotettavuuteen tai epäluotettavuuteen vaikuttavat tekijät. Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä SRV Rakennus Oy:n kanssa ja tutkimus tehtiin uudiskohteeseen, joka on Hämeenlinnan naisvankila. Tutkimuksessa oli tarkoituksena vertailla Humi 2 -kosteusantureiden tuloksia porareikä- sekä näytepalamittauksien tuloksiin.

Betonin kosteuden seurantaan on keskitytty viime vuosina merkittävän paljon, joten aiheen ajankohtaisuuden vuoksi toteutettiin tämä opinnäytetyö. Teoriapohjana opinnäytetyössä toimii betonirakenteiden kosteus ja sen mittaaminen erilaisilla mittatavoilla.

Keskeisinä johtopäätöksinä tutkimustuloksista nousi esiin, että anturit oli vaikea asentaa työmaalla, minkä seurauksena niiden tuloksista tuli epäluotettavia tai niistä ei saatu tuloksia lainkaan. Kosteus- ja lämpötilamittauksien tulosten perusteella antureiden tulokset eivät myöskään olleet samalla tasolla porareikämittausten tulosten kanssa.

SRV Rakennus Oy:lle tutkimus toi näkökulmaa antureiden asennuksen ja luotettavuuden osalta. Tutkimustuloksien perusteella SRV Rakennus Oy:lle annettiin kehitysehdotukseksi ottaa seuraavalle työmaalle säätöjalalliset kosteusanturit, jotta asennusvirheet saataisiin minimoitua ja antureista saataisiin kaikki hyöty irti.

Asiasanat: betonin kosteus, kosteuden mittaus, kosteusanturi

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Option of Building Production

MIKKOLA, JANNE:
Studying the Reliability of Vigilan Humi 2 Humidity Sensors

Bachelor's thesis 47 pages, appendices 2 pages
April 2020

The aim of this thesis was to investigate the reliability of Vigila 2 humidity sensors developed for measuring the moisture of concrete. The purpose was to find out the factors that influence the reliability or unreliability of Humi 2 sensors. The thesis was carried out in co-operation with SRV Rakennus Oy, in conjunction with a building project concerning the construction of a new Women`s Prison in Hämeenlinna. The purpose of the study was to compare the results of investigating the Humi 2 humidity sensors with the results obtained from drillhole and sample pieces.

Considerable attention has been paid to monitoring the humidity of concrete in recent years and due to the topicality of the subject this thesis was carried out. The theoretical basis of the thesis was the humidity of concrete structures and its measurement in different ways

The main conclusions from the research results were that the sensors were difficult to install on site, resulting in unreliable or no result at all. The results of the humidity and temperature measurements also showed that the sensors results were not at the same level as the drill hole measurements.

For SRV Rakennus Oy, this study brought a perspective on the installation and reliability of the sensors. Based on the results, SRV Rakennus OY was offered a development proposal for the installation of humidity sensors with adjustable feet on the next site in order to minimize installation errors and get the most out of the sensors.

Key words: concrete humidity, humidity measurement, humidity sensor

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
1.1	Tausta	5
1.2	Tavoite ja tarkoitus	6
1.3	Rajaukset	6
2	BETONIRAKENTEIDEN KOSTEUS	8
2.1	Betonissa esiintyvä kosteus	8
2.2	Betonin kuivuminen	8
2.3	Kosteusvauriot	12
2.4	Kosteuden estäminen rakenteisiin	13
2.5	Työmaa-aikainen kosteudenhallinta	14
3	KOSTEUDEN MITTAUS	16
3.1	Mittaukset ja mittauskohtien valinta	16
3.2	Suhteellisen kosteuden mittaaminen	17
3.2.1	Porareikämittaus	17
3.2.2	Näytepalamittaus	19
3.3	Muita tapoja mitata kosteus	20
3.3.1	Vigilan Humi 2 -kosteusanturi	20
3.3.2	Kosteuden mittaus painoprosentteina tai suhteellisena kosteutena	23
4	TUTKIMUS	25
4.1	Tutkimuksen toteutus	25
4.2	Kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimus	25
4.3	Tutkimuksen yleistieto	26
4.4	Antureiden vertailu virallisiin mittaustapoihin	28
4.5	Hypoteesi	28
4.6	Tutkimuksen haasteet	29
5	TUTKIMUSTULOKSET	32
5.1	Vigilan Humi 2 -antureiden tuloksien vertailu porareikämittaus tuloksiin	32
5.2	Yhteenveto	37
6	POHDINTA	41
	LÄHTEET	44
	LIITTEET	46
	Liite 1. Vigilan Humi 2-asennusohje	46
	Liite 2. Kaikki tutkimustulokset	47

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan pintabetonilattioiden kuivumiseen ja seurantaan kehitettyjä Vigilan Humi 2 –kosteusantureiden luotettavuutta. Vigilan Oy on perustettu vuonna 2000 ja Humi 2 -kosteusanturit ovat tulleet markkinoille vuonna 2012. Esivaletut Humi 2 -kosteusanturit ovat kehitetty betonilaatan kosteuden ja kuivumisen seurantaan. Humi 2 -kosteusanturilla pystytään seuraamaan ja mittaamaan rakennusvaiheessa tapahtuvaa rakenteiden kuivumista sekä sen lisäksi pitkäaikaista kosteusvaihtelua. Näin ollen Humi 2 -kosteusanturia voidaan pitää yhtenä osana rakennusten huolto- ja laaduntarkkailujärjestelmässä (Vigilan.fi). Antureiden hyvinä puolina on kosteuden mittaaminen ja seuranta pintarakennetta rikkomatta ja kosteuden mittaaminen myös pinnoitteen läpi esimerkiksi 10 vuoden päästä. Tällä järjestelmällä saadaan selville esimerkiksi vedeneristyksen pitkäikäisyys tai kosteusvauriot ilman, että rikotaan lattiarakennetta.

1.1 Tausta

Opinnäytetyön tilaajana on SRV Rakennus Oy ja tutkimus tehdään uudishankkeeseen. Kohteena on Hämeenlinnan naisvankila, jonka rakentaa SRV Rakennus Oy. Kohteen on tarkoitus valmistua elokuun lopussa vuonna 2020.

Vigilan Humi 2 -kosteusanturit valittiin vankilatyömaalle, sillä niillä pystytään seuraamaan betonin kuivumista sekä rakennusvaiheessa että myöhemminkin. Kohteen käyttötarkoituksesta johtuen, betonilattian kosteusprosenttia ja lämpötilaa on hyvä päästä tarkastamaan vuosien varrella rikkomatta lattian rakennetta.

Kun työmaalle valittiin antureita, yksi tärkeä asia oli, että anturit eivät saa olla yhteydessä internetiin. Urakoitsija esitteli Vigilan Humi 2 –anturit ja lukulaitteen Vigilan Humi D, näiden laitteen tiedot välittyvät tietokoneelle johdon kautta, joten mittaustulokset eivät voi päästä väärin käsiin.

Hämeenlinnan vankilatyömaalla käytetään Humi 2- antureita kosteuden seurantaan. Virallisilla mittaustavoilla eli näytepala- ja porareikämittauksien perusteella

varmistetaan kuitenkin pinnoituskuivuus ja tehdään pinnoituspäätös. Humi 2 -kosteusanturit ovat ennemminkin varmistamassa rakenteen kuivumista ja tarkoitettu huoltoa ja laaduntarkkailua varten.

Hämeenlinnan naisvankila rakennetaan pääosin tuulettuvalla alapohjalla, joten maaperän kosteuden nousu kapillaarisesti alapohjaan on mahdotonta. Alapohjaan tulee koneellinen ilmanvaihto, jolla varmistetaan riittävä tuuletus alapohjassa ja myöskin anturan ja sokkelin väliin tehtiin kapillaarikatko kumibitumilla. Ainoastaan väestönsuojan alapohja tehtiin maanvaraisena, jonka pinta-ala on noin 150m².

1.2 Tavoite ja tarkoitus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia Vigilan Humi 2 -kosteusantureiden luotettavuuksia ja vertailla niitä perinteisiin porareikä- sekä näytepalamittauksien tuloksiin. Tarkoituksena on saada selville Vigilan Humi 2 -kosteusantureiden luotettavuuteen tai epäluotettavuuteen vaikuttavat tekijät. Tutkimuskohteeksi valittiin Vigilan Humi 2 -anturit, sillä jos tulokset osoittautuvat luotettaviksi, niin antureita saatetaan käyttää muissakin SRV Rakennus Oy:n kohteissa.

1.3 Rajaukset

Tutkimus on tehty Hämeenlinnan naisvankila -uudishankkeessa. Vankilaan on asennettu eri puolelle ja eri syvyyksiin Humi 2 -kosteusantureita yhteensä 69 kappaletta. Jokaiseen valukertaan on laitettu 2-5 kappaletta, pois lukien ensimmäinen valukerta. Ensimmäinen lattiavalu on tehty 22.7.2019 ja kaikki lattiat olivat valettuna 18.12.2019. Ensimmäisenä tilana pinnoitettiin toisen kerroksen IV-konehuone 7.11.2019.

Tässä tutkimuksessa ei ole tarkoituksena tutkia Vigilan Humi 2 -kosteusantureiden luotettavuutta pidemmällä aikajaksolla, vaan tutkia ainoastaan pinnoituskuivuuden saavuttamista, ja vertailla tuloksia porareikä- ja näytepalamittauksien tuloksiin. Tutkimuksesta on rajattu pois myös kahteen suuntaan kuivuvat laatat,

sillä vankilakohteessa anturit ovat asennettu ontelolaatan päälle valettuun betonilattiaan, joka kuivuu yhteen suuntaan. Myöskin väestönsuojan maanvarainen alapohja on rajattu tutkimuksista pois. Kaikki betonilattiat on valettu samalla betonityypillä, betonityypinä käytettiin lattiabetoni 8/XC1/100 ja betonilaatuna C30/37-2, maksimi raekokona käytettiin 8mm ja notkeusluokkaa S4.

2 BETONIRAKENTEIDEN KOSTEUS

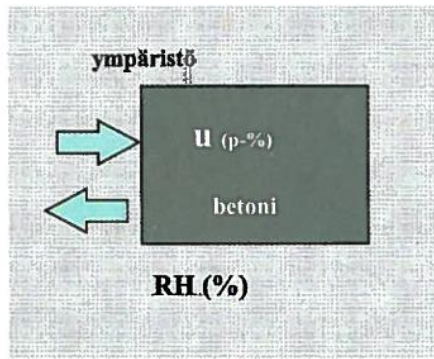
2.1 Betonissa esiintyvä kosteus

Betonirakenteissa on aina kosteutta, mutta betonille itselleen kosteudesta ei ole haittaa, ellei betoni pääse jäätymään. Kosteus betoniin tulee betonin valmistamisesta, sillä valmistamiseen käytetään paljon vettä, jotta sementistä saadaan sementtiliimaa. Vettä tarvitaan myös betonin työstettävyyden saavuttamiseksi. (BY201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 527.) Betoni sitoo osan vedestä kovettumisreaktiossaan ja osa vedestä haihtuu ilmaan (Merikallio, Niemi, Komonen 2007, 20).

Betonin kosteus on pääosin peräisin betonin valmistamiseen käytetystä vedestä, mutta myös rakentamisvaiheen sateet lisäävät betonin kosteutta. Myös tasoitteet ja päällysteiden kiinnittämiseen tarvittavat liimat tuovat betoniin kosteutta. Maanvaraisissa rakenteissa kosteuslähteenä on maaperän kosteus, joka voi nousta kapillaarisesti rakenteeseen, tämä edellyttää, että täyttökerros on kastunut kapillaarisesti, jonka seurauksena kosteus nousee kapillaarivoimien vaikutuksesta betonilattiaan. Rakenteeseen voi nousta alapohjasta kosteutta myös vesihöyrynä, jolloin kapillaarikatko ei estä vesihöyryn muodossa olevan kosteuden liikettä. (BY201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 527, 529-530.)

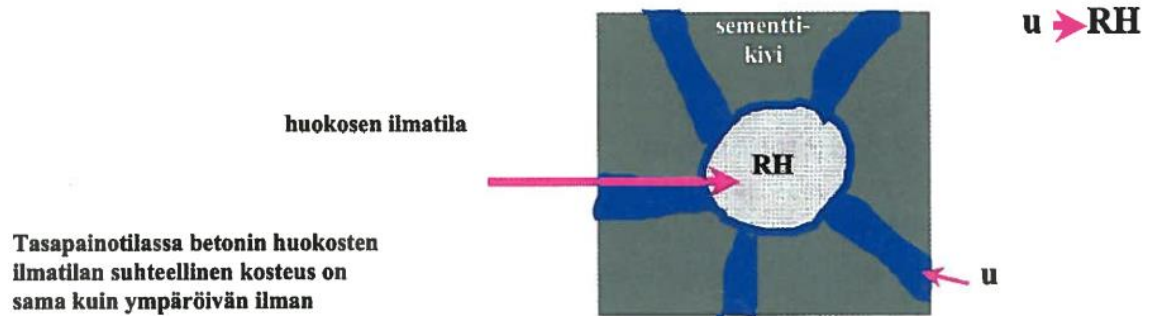
2.2 Betonin kuivuminen

Betonin kuivuminen on yleensä varsin hidasta ja se loppuu vasta, kun se on saavuttanut kosteustasapainon ympäristön kanssa, eli silloin kuin betonin suhteellinen kosteus on sama kuin ympäristön suhteellinen kosteus. Kuviosta 1 nähdään, miten betoni pyrkii kosteustasapainoon ympäristönsä kanssa. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 14.) Betonin suhteellinen kosteusprosentti (RH %) kertoo betonin kosteuspitoisuuden. Suhteellisella kosteudella tarkoitetaan betonin huokosten ilmatilan suhteellista kosteuspitoisuutta. (BY 45/BLY 7 Betonilattiat 2018, 129, 139.)



$$RH \rightarrow u$$

Betoni pyrkii kosteustasapainoon ympäristön kanssa.



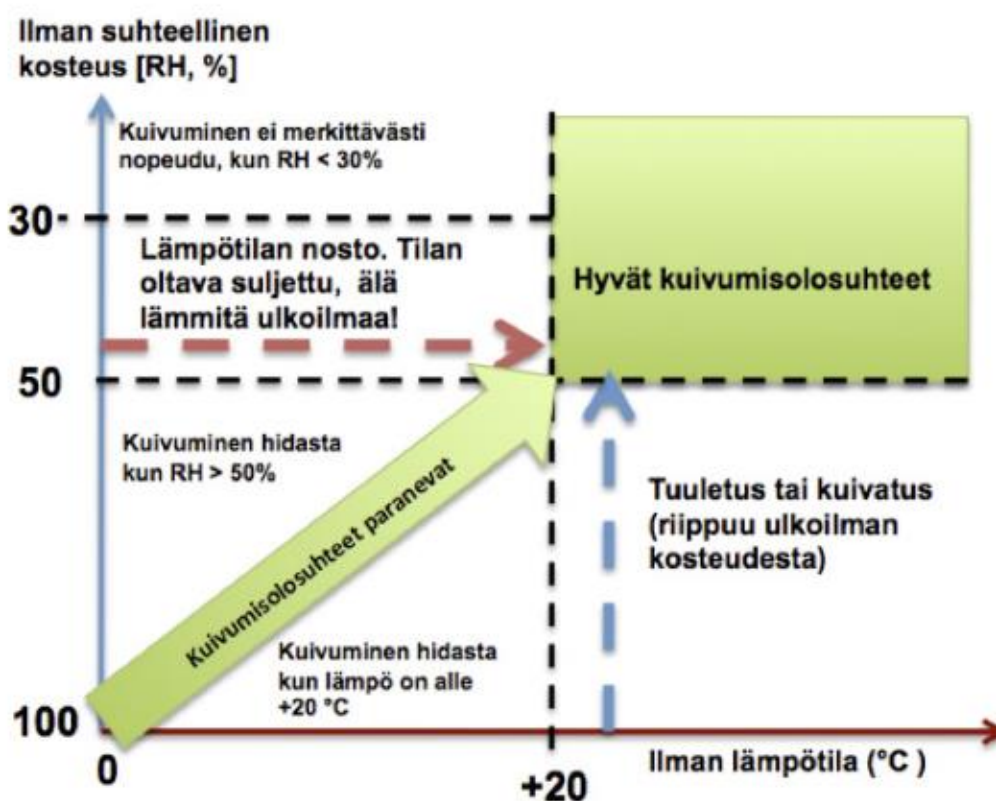
Tasapainotilassa betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on sama kuin ympäröivän ilman

KUVIO 1. Betoni pyrkii kosteustasapainoon ympäristönsä kanssa (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 14)

Valuvaiheessa betonin suhteellinen kosteus on noin 100 prosenttia. Betonin laadusta riippuen kosteuspitoisuus painoprosentteina voi valuvaiheessa vaihdella muutamasta prosentista jopa viiteentoista prosenttiin. (BY201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 535.) Valuvaiheen jälkeen betonilattiaa jälkihoidetaan yleensä noin seitsemän vuorokauden ajan pitämällä muovia lattian päällä ja mahdollisesti kastelemalla betonilattiaa, jotta se ei pääse kuivumaan liian nopeasti ja sen myötä halkeilemaan (Betoniteollisuus ry). Lattian kuivumistekijät on otettava huomioon jo suunnittelussa ja toteutuksessa, jotta kohtuullinen kuivattamisaikataulu saadaan toteutettua. Betonin kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi alusta, betonimassa, betonointimenetelmä, jälkihoidotapa ja kuivumisolosuhteet. Betonin kuivumiselle on varattava riittävästi aikaa ennen kuin aloitetaan päällystystyöt ja samalla on tärkeä huolehtia, ettei lattia pääse kastumaan tarpeettomasti kuivumisvaiheessa. Jos betonilattia pääsee kuivumisvaiheessa kastumaan sadeveden tai työmaan käyttöveden vaikutuksesta, niin betoniin imeytynyt vesi poistuu hitaasti rakenteesta. (BY 45/BLY 7 Betonilattiat 2018, 12, 129.)

Kuivumista on mahdollista nopeuttaa 2-10-kertaiseksi. Kuivumisen nopeuttamiseksi olevia keinoja ovat muun muassa vesisementtisuhteen pienentäminen,

suuremman maksimiraekoon käyttö, imubetonointimenetelmän käyttö, estämällä rakenteiden kastuminen, pitää huonetilan suhteellinen kosteus alle 50% tai lämpötilan nosto. Betonia voidaan myös lämmittää esimerkiksi lattialämmityksellä, kunhan betonin lujuus on saavuttanut vähintään 60% 28 vuorokauden lujuudestaan. Tällöin rakenne kestää lämpötilavaihtelut ja lämpötilasta aiheutuneet raskitukset. Yhteen suuntaan kuivuvat betonilaatat kuivuvat noin 2-4-kertaa hitaammin kuin kahteen suuntaan kuivuvat. (BY 45/BLY 7 Betonilattiat 2018, 130, 141.) Kuviosta 2 näkyy betonin hyvät kuivumisolosuhteet (Kuivumisolosuhteiden mittaaminen).



KUVIO 2. Betonin hyvät kuivumisolosuhteet (Kuivumisolosuhteiden mittaaminen)

Ennen pinnoitusta betonin suhteellinen kosteus tulisi mitata tarkkoilla mittaustekniikoilla, joita ovat joko näytepala- tai porareikämittaukset (RT 14-10984, 3). Luotettavia laskennallisia arviointimenetelmiä ei ole olemassa, vain suuntaa-antavia kuivumisaikalaskelmia ja muita menetelmiä (BY 45/BLY 7 Betonilattiat 2018, 142-143).

Betonilattian pinnoitusten enimmäisarvot esitetään suhteellisina kosteuspitoisuuksina. Taulukossa 1 on esitetty lattiamateriaalien betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvoja. (BY 45/BLY 7 Betonilattiat 2018, 131.)

TAULUKKO 1. Eri materiaalien pinnoitusten enimmäisarvoja (BY 45/BLY 7 Betonilattiat 2018, 132.)

Betonin suhteellisen kosteuden (RH) enimmäisarvo, %	Päällyste	Huomautuksia
80 Betonin pintaosien (2...3 cm) oltava alle 75 %	– Mosaiikkiparketti ¹⁾	Kosteusliikkeet Puulajikohtainen (esim. pyökki 80 %, tammi 85 %)
85	– Lautaparketit ²⁾ – Huopa- tai solumuovipohjaiset muovimatot – Kumimatot – Korkkilaatat, laattojen alapinnassa kosteudeneristys (muovikalvo) – Tekstiilimatot, joissa on alusrakenne (kumi, PVC, kumilateksisively) – Luonnonmateriaalista tehdyt tekstiilimatot ilman alusrakennetta	Betonin pintaosat alle 75 % RH Bakteeritoiminta, sienikasvu, vesiliukoisten liimojen kosteuden kestättömyys
90	– Muovilaatat – Muovimatot ilman huopa- tai solumuovipohjaa ³⁾ – Linoleum – Alustaan kiinnittämättömät puulattiat (lautaparketit) ²⁾ , puun ja betonin välissä kosteudeneristys ja sen alla kosteuden poistokanavointi – Polyuretaanimuovimassat – Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta (erikoistapauksissa suht. kosteus <97%) – Keraaminen laatoitus	Kosteus voi aiheuttaa päällysteseen muutoksia. Käytettävän liiman on kestettävä kyseinen kosteus (valmistajan ohjeet!). Vesiliukoista liimaa käytettäessä yleinen kosteusraja on 85 %. Parketin alla esimerkiksi melko tiivis korkkiraematto saumat teipattuina. Seinustoilla maton päällä muovikaista, jonka reunat käännetään seinille. Jalkalistoissa uritus kosteuden poisjohtamista varten. Märissä tiloissa sekä betonin kosteuden ollessa suuri (>90%) mattojen kiinnitykseen on käytettävä vedenpitävää liimaa ja riittävän runsaalla liimamäärällä varmistettava saumojen pitävyys Betonin kutistumat (laattojen tartunta) ⁵⁾
97	– Epoksi-, akryyli- ja polyestermuovimassat ⁴⁾ – Sementtipolymeeripinnoitteet	Betonin pinnan on oltava muovimassaa levitettäessä kuiva sekä riittävän lämmin, muussa tapauksessa pinta on kuivattava välittömästi ennen massan levitystä esim. säteilylämmityksellä kovettumisen ja tartunnan varmistamiseksi Betonin pinta kostea mutta ei irtovettä. Huom. valmistajan ohjeet!

2.3 Kosteusvauriot

Betoni pystyy vastaanottamaan ja luovuttamaan vettä, eli turpoamaan ja kutistumaan. Nämä liikkeet voivat olla lattiapäällysteille pahoja muodonmuutoksia. Esimerkiksi keraamiset laatat voivat irrota betonialustastaan alustan kutistuessa tai turvotessa. Turpoaminen voi johtua muun muassa putkivuodon aiheuttamasta betonin kastumisesta. Myös muut lattiamateriaalit turpoavat, jos betonista haihtuu kosteutta lattiamateriaaliin. Aina ennen betonin päällystämistä on tarkistettava päällysteen tai pinnoitteen kosteudensietokyky, eli valmistajan edellyttämää suhteellisen kosteuden maksimi arvoa, ettei betoni ole liian kosteaa pinnoitushetkellä. (BY201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 527-528.)

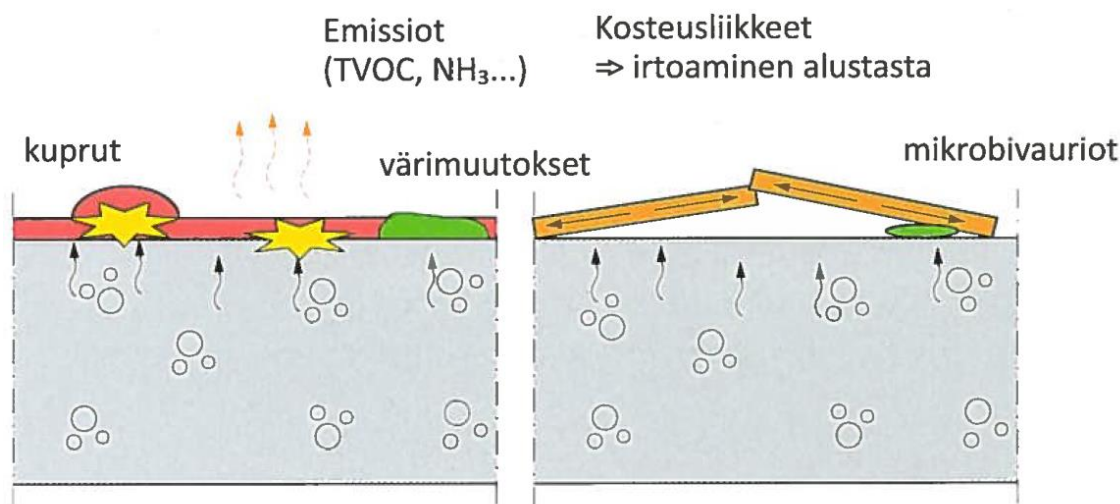
Tyypillisesti kosteusvauriot tulevat rakennusvirheistä ja -suunnittelusta, kuten siitä, että salaojitus on liian korkealla tai se puuttuu, ryömintätilan tuuletus puuttuu, alustäyttö on tehty virheellisesti tai betonin kosteusprosentti päällystyshetkellä on liian korkea. Kuvassa 1 näkyy vaurioita, kun betoni on ollut liian kosteaa päällystyshetkellä (BY201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 52.) Isona ongelmana on ollut 1950- ja 1960-luvun taloissa, kun orgaanista jätettä on jätetty alapohjaan. (RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet 2012, 190; Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 32).



KUVA 1. Betonin kosteusprosentti päällystyshetkellä on ollut liian korkea ja kosteus on päässyt irrottamaan liiman muovimatosta (BY201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 529)

Merkittäviä kosteusvaurioita ovat lattian päällysteiden irtoaminen ja lattiassa kulkevien putkien ulkopuolinen syöpyminen (BY 45/BLY 7 Betonilattiat 2018, 23).

Myös päällysteen värjäytyminen ja kupliminen, hajuhaitat sekä terveydelle haitalliset mikrobit ja kemialliset emissiot ovat tyypillisiä kosteusvaurioiden aiheuttamia haittoja. Kuviossa 3 on esitetty erilaisia kosteusvaurioiden haittoja. (BY201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 527-528).



KUVIO 3. Betonin liian suuri kosteus voi vaurioittaa pinnoitetta ja päällysteitä. (BY201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 528)

2.4 Kosteuden estäminen rakenteisiin

Kosteutta pyritään estämään rakennuspohjan kuivatuksella, sade- ja sulamisvesien hallinnalla, maaperän vedennousun ja kulkeutumisen hallinnalla, esimerkiksi maaperän kallistuksilla ja muodoilla sekä salaojilla ja sadevesijärjestelmällä. Kosteuden pääsemistä rakenteisiin pyritään estämään myös muilla keinoilla, kuten esimerkiksi estämällä kosteuden nousu maaperästä, lämmöneristämällä rakennus oikein sekä huolehtimalla riittävästä tuuletuksesta alapohjassa (vain tuulettuvan alapohjan tapauksessa). (RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet, 49.) Maaperästä nouseva kosteus katkaistaan betonilaatan alapuolisella lämmöneristeellä tai sorakerroksella, jonka paksuus tulee olla vähintään 200mm (BY 45/BLY 7 Betonilattiat 2018, 24).

Tuulettuvassa alapohjassa pyritään estämään kosteuden nousu rakenteisiin esimerkiksi lämmittämällä ryömintätilaa, jolloin suhteellinen kosteus pienenee, kui-

vaamalla ryömintätilaa koneellisesti, lämmöneristämällä maapohja tai tuulettamalla alapohjaa, jolloin tuuletuksen tarkoituksena on kuljettaa epäpuhtauksia ja kosteutta ulos. Myös koneellinen tuuletus on mahdollista ryömintätiloissa. Tuuletus on toteutettava siten, että rakenteen toiminnalle ja kestävyydelle ei ole haittaa, eikä myöskään rakennuksen tilojen terveellisyydelle. (RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet, 56-58.)

Anturan ja sokkelin välissä on syytä käyttää rakennekerrosta, joka katkaisee veden kapillaarisen nousun. Katkaisevana kerroksena käytetään usein bitumisiveilyä, bitumikermiä tai korroosiota kestävästä metallilevyä. (RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet, 55-56.)

2.5 Työmaa-aikainen kosteudenhallinta

Tavoitteena työmaan kosteudenhallinnalla on estää kosteusvaurioiden synty, varmistaa pinnoituskuivuuden saaminen ilman aikatauluviiveitä sekä estää materiaalien haitallinen kastuminen. Työmaille tehdään usein kosteudenhallintaan liittyviä suunnitelmia, kuten kuivumisaika-arvioita, olosuhdehallintasuunnitelma, kosteusmittaussuunnitelma. (Sisäilmayhdistys Ry.) Rakennukset suunnitellaan siten, että liiallinen kostus ei pääse rakenteisiin, mutta välillä rakenteisiin pääsee liikaa kosteutta, joka ei välttämättä ole suunnittelun syy. Syy voi olla muun muassa vesivahingosta rakennuksen sisällä tai työntekijöiden huolimattomasta veden käytöstä. Joskus suunnitteluratkaisut ovat niin monimutkaisia, että ne ovat työmaalla vaikea toteuttaa ja sen seurauksena vettä pääsee rakennukseen. Suunnitelmien mukainen toteutus on yksi avain asia rakentamisessa, jos suunnitelmia ei noudata, niin on suuri riski, että rakenteen jokin osa tulee vuotamaan vettä. (Merikallio 1998, 5-8.)

Rakentamisen ajan rakennusmateriaalit tulee suojata sateelta, eikä kastuneita materiaaleja tulisi laittaa rakennukseen. Rakennusmateriaaleiksi kannattaa valita kosteutta kestäviä ja helposti kuivatettavia materiaaleja. Myös keskeneräiset rakenteet on hyvä suojata sateelta. Jos on mahdollista, niin vesikatto olisi hyvä tehdä sääsuojan alla, näin varmistuttaisiin, että sadevesi ei pääse rakenteisiin. (Merikallio 1998, 9-13.)

Rakenteita kannattaa aina seurata kosteusmittauksin, jotta varmistutaan betonin kuivumisesta. Jos betonin kuivumista ei tapahdu, täytyy jotakin asiaa työmaalla muuttaa. Yleensä syynä ovat liian kostea sisäilma tai lämpötila on liian matala betonin kuivumiselle. (Merikallio 1998, 14-16.)

3 KOSTEUDEN MITTAUS

Tämän luvun tarkoituksena on esitellä yleisimmät mittausmenetelmät ja -laitteet. Betonin kosteusmittaukset jaetaan yleensä kolmeen erilaiseen mittaukseen, joita ovat lähtötaso-, seuranta- ja päällysteiden asennettavuusmittaukset. Näiden mittausten lisäksi mitataan yleensä huoneilmojen lämpötilaa ja suhteellista kosteutta, jotta kuivuminen tapahtuisi riittävän hyvissä olosuhteissa. (Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet, 5.)

3.1 Mittaukset ja mittauskohtien valinta

Lähtötasomittaukset mitataan silloin, kun vesikatto on valmiina eikä betoni pääse enää kastumaan. Seurantamittauksia tehdään 2-4 viikon välein. Seurantamittauksien tarkoituksena on todeta kuivumisen tapahtuvan ja varmistaa aika-aulussa pysyminen kuivumisen osalta. Jos kuivumisolosuhteet eivät ole riittävän hyvät, kuivumista ei tapahdu. Seurantamittauksien perusteella pystytään toteamaan kuivuminen tai mahdollisesti se, että rakenne ei kuivu ja on syytä ryhtyä kuivumisolosuhteiden parantamiseen. Päällystysmittaukset suoritetaan silloin, kun seurantamittauksista on saatu riittävän lähelle pinnoitettavuuskosteutta olevaa arvoa. Rakenteista on syytä ottaa lähtötasomittaus, jotta tiedetään, betonin lähtötasokosteus ja seurantamittauksia, jotta pystytään seuraamaan rakenteen kuivumista. Ennen pinnoitusta täytyy ottaa virallinen mittaus, josta pystytään todentamaan, että rakenne on riittävän kuiva pinnoitukselle. (Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet, 5.)

Porareikien mittauskohtien määrä valitaan aina tapauskohtaisesti, kuitenkin minimiotantana pidetään kahta mittauskohtia per valuerä, oletetusta kuivimmasta ja kosteimmasta kohdasta. Mittauskohtia on hyvä olla 1-2/valuerä. (Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet, 5.)

Päälystysmittaukset suoritetaan RT-kortin (RT 14-10984) virallisilla mittaussmenetelmillä, eli joko porareikä- tai näytepalamittauksin. Esimerkiksi karbidimittarilla tai pintakosteudenosoittimilla ei tule riittävän luotettavaa kuvaa betonin kosteudesta. (Betonirakenteiden päälystämisen ohjeet, 5.)

3.2 Suhteellisen kosteuden mittaaminen

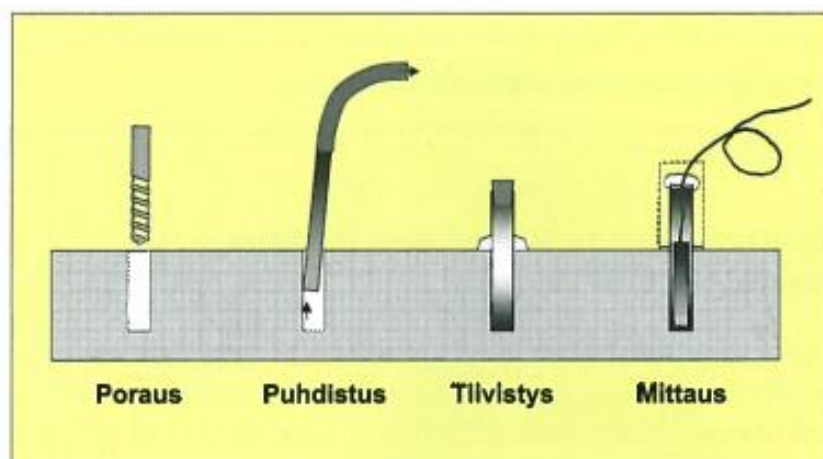
Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen RT-ohjekortin mukaan ”Betonirakenteen suhteellinen kosteus voidaan mitata tarkoilla mittaussmenetelmillä tai suuntaa-antavilla menetelmillä.” Kappaleet 3.2.1 ja 3.2.2 kertovat tarkoista mittaussmenetelmistä ja kappaleet 3.2.3 ja 3.2.4 kertovat suuntaa-antavista menetelmistä.

Betonin kosteuden voi mitata suhteellisena kosteutena tai painoprosentteina. Päälystymateriaalin kosteus ilmoitetaan suhteellisena kosteutena, joten myös betonista on mitattava suhteellinen kosteus eikä painoprosenttia. Mittaus on tehtävä suhteellisen kosteuden mittalaitteella. Suhteellinen kosteus on mitattava porareikä- tai näytepalamittauksin. Aina jos mitataan ensin painoprosentti ja se muutetaan suhteelliseksi kosteudeksi taulukoiden avulla, niin se johtaa helposti virheelliseen tulokseen, eikä siten painoprosenttimittausta voida pitää luotettavana mittaustapana. Painoprosenttia mittaavia mittalaitteita ovat muun muassa pintakosteudenmittarit ja erilaiset vastusmittarit. (Merikallio, Niemi, Komonen 2007, 81.)

3.2.1 Porareikämittaus

Porareikämittaus on suhteellisen kosteuden suosituin mittaussmenetelmä ja se vaatii ammattitaitoa ja huolellisuutta, jotta riskitekijät saataisiin minimoitua ja luotettava mittaus saavutettaisiin. Mittaustuloksiin vaikuttaa useat eri tekijät, kuten porareiän syvyys, puhdistus, tiivistys, tasaantuminen, ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä betonin lämpötila ja sen vaihtelu mittauksen aikana. Tarkkuuteen vaikuttaa myös mittalaitteen kalibrointi, joka on kalibroitava vähintään kerran vuodessa. (Merikallio, Niemi, Komonen 2007, 82.)

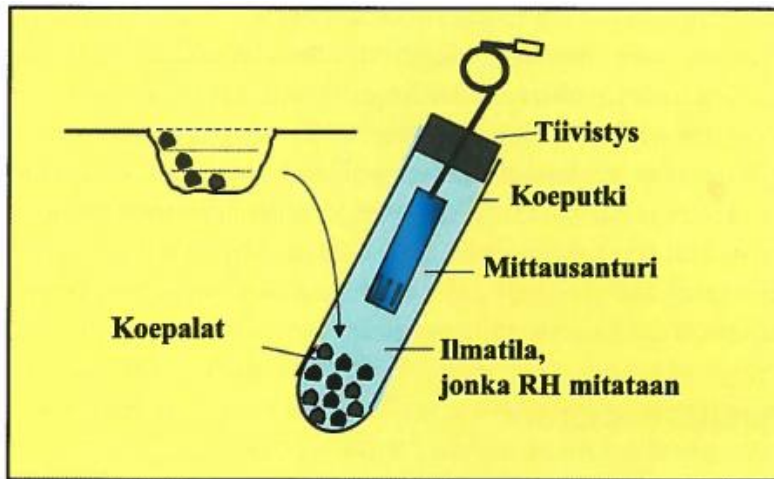
Porareikämittauksen voi suorittaa, kun betonin lämpötila on +15-+25°C, mutta ihannelämpötila olisi sama kuin rakennuksen käyttölämpötila (noin +20°C). Kun porareikämittausta suoritetaan, on tarkkaan mietittävä mittapiste, siihen vaikuttavat rakenneratkaisu, betonilaatu, päällystemateriaali ja olosuhteet. Olosuhteiden on pysyttävä samoina mittauksen aikana, muutoin tulokset voivat erota 5% todellisuudesta. Porareikämittauksessa reiän syvyys vaihtelee riippuen siitä, kuivuuko laatta yhteen vai kahteen suuntaan. Jos laatta kuivuu yhteen suuntaan, porareiän syvyys on 40% laatan paksuudesta ja jos laatta kuivuu kahteen suuntaan, reiän syvyys tulee olla 20% laatan paksuudesta. Reiät porataan kuivamenetelmällä ja reikiä porataan samaan syvyyteen kaksi rinnakkain, jotta tulosten eroavaisuudet tulevat ilmi. Reiät puhdistetaan huolellisesti imurilla, jonka jälkeen reikiin laitetaan putki, joka tiivistetään kitillä, myös putken yläpää tiivistetään kitillä tai tulpalla. Tämän jälkeen mittauspisteet suojataan ja rajataan, jotta olosuhteet pysyisivät samanlaisina eikä muita häiriötekijöitä pääsisi tilaan, jossa mittausta suoritetaan. Reikien on annettava tasaantua vähintään kolme vuorokautta, jonka jälkeen suoritetaan mittaukset. Jos reikien ei anneta tasaantua, niin lämpötilamittavirhe voi olla 2-3°C ja suhteellisen kosteuden mittavirhe voi olla 10-20%. Mittalaite on oltava kalibroitu ja mittapäät oltava kunnossa. Mittapäiden on annettava tasaantua olosuhteisiin ennen kuin mittapäät asennetaan porareikiin. Tasaantumisen jälkeen mittapäät asennetaan reikiin ja tiivistetään mittapään ja putken väli. Mittapäät annetaan tasaantua putkissa mittapään valmistajan antaman ajan verran, vähintään yksi tunti. Tasauksen jälkeen mittapää liitetään laitteeseen, joka lukee suhteellisen kosteuden ja lämpötilan. Tiedot kirjataan ylös samoin kuin mittapaikan numero, sijainti, syvyys, huoneilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Kuviossa 4 näkyy porareikämittauksen eri työvaiheita. (Merikallio, Niemi, Komonen 2007, 84-87 & Pastrav 1990, 107)



KUVIO 4. Porareikämittauksen eri työvaiheet (Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen, 83)

3.2.2 Näytepalamittaus

Näytepalamittauksen hyvänä puolena pidetään sitä, että mittauksen voi suorittaa betonin lämpötilan ollessa -20 - $+80^{\circ}\text{C}$. Näytepalamittaus porataan kuivamenetelmällä niin kuin porareikämittauskin. Mittauskohta ja -syvydet määritellään samalla lailla kuin porareikämittauksessa. Betoniin piikataan monttu, jonka halkaisija on 50-100mm ja jonka pohja on suora ja noin 5mm mittaussyvyyttä ylempanä. Tämän jälkeen betoninäytteitä otetaan koeputkeen montun pohjalta esimerkiksi lyöntitaltalla. Kolmasosa koeputkesta täytetään betonimuruilla ja näytteitä otetaan ainakin kaksi koeputkellista samasta mittaussyvydestä. Näytteet laitetaan koeputkeen yhdessä mittapäiden kanssa ja koeputki suljetaan tiiviisti. Putkien ja mittapäiden on annettava tasaantua mittauskohdan olosuhteisiin ennen kuin koeputkiin laitetaan näytteitä. Kuviossa 5 näkyy näytepalamittauksen periaate. (Niemi 2010, 3.)



KUVIO 5. Näytepalamittaus (Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen, 85)

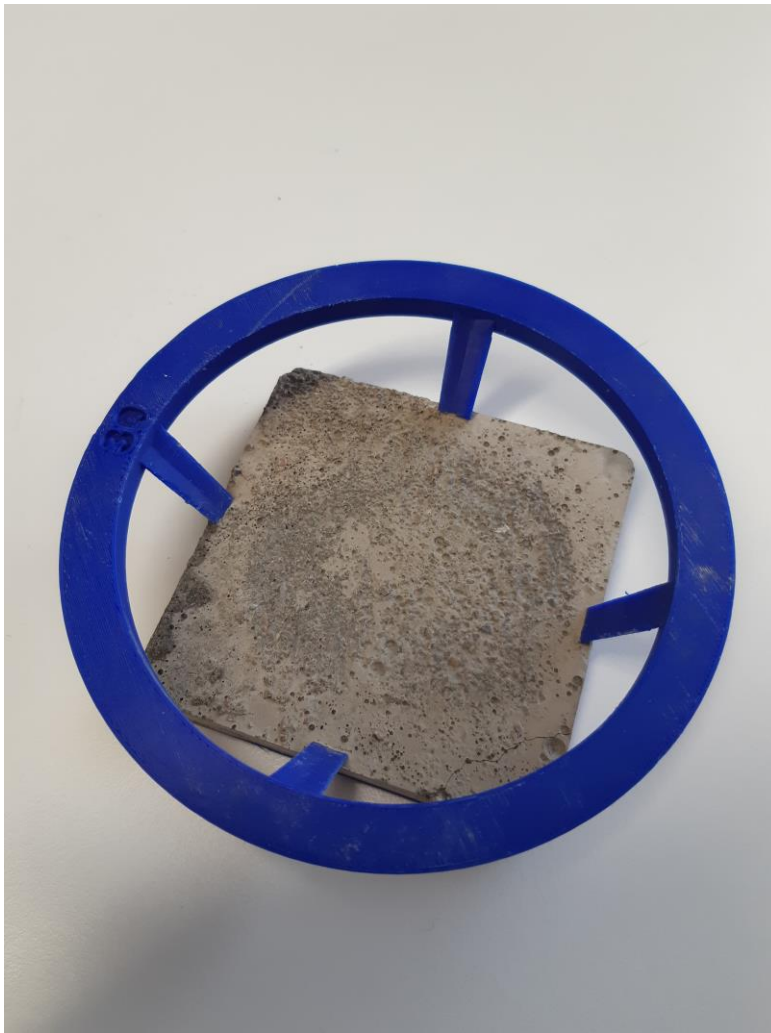
Koeputket viedään vakio- lämpötilaan tasaantumaan 5-10 tunniksi, lukuun ottamatta lujuimmat betonilaadut, joiden tasaantumisaika tulee olla pidempi. Kun tasaantuminen on suoritettu, mittalaitteesta otetaan samat tiedot ylös kuin porareikämittauksesta. (Niemi 2010, 3.)

3.3 Muita tapoja mitata kosteus

Tässä luvussa esitellään muutamia muita tapoja mitata kosteutta. Nämä eivät ole RT 14-10984 mukaisesti virallisia tapoja mitata betonin suhteellista kosteutta.

3.3.1 Vigilan Humi 2 -kosteusanturi

Vigilan Humi 2 -antureilla seurataan betonivalun rakennusaikaista kuivumista ja mahdollisten kosteusvaurioiden tunnistamista. Anturi on esivalettu eikä sitä tarvitse kalibroida. Anturit soveltuvat rakennuksen elinikäiseen kosteusseurantaan ja näin ollen ne ovat yksi osa rakennuksen huolto- ja laaduntarkkailujärjestelmää. Antureista saa kosteusprosentin ja lämpötilan rikkomatta lattian rakennetta. Kuvassa 2 on Vigilan Humi 2 -anturi.



KUVA 2. Vigilan Humi 2 -kosteusanturi 30mm

Humi 2 –kosteusanturit perustuvat anturien ympärillä olevan erikoislaastin sähkönjohtavuuteen, tämä erikoislaasti on koko ajan kosteustasapainossa ympärillä olevan betonin kanssa. Kun lukulaitteelta lähetetään radiosignaali anturille, niin anturi aktivoituu ja aistii ympärillä olevan laastin kosteuden. Tämä tieto saadaan takaisin lukulaitteelle sähkömagneettisena signaalina, joka tulkitaan lukulaitteella laastin ja ympäröivän betonin suhteellisena kosteutena. (Jaaksola 2020.)

Antureita on kahta erilaista mallia, jotka ovat joko säätöjalallinen- tai kelluva anturi. Säätöjalallinen anturi kiinnitetään alustaan ennen betonivalua ja arvostelusyvyys voidaan säätää jo ennen valua ja tarkentaa syvyyttä valun yhteydessä. Kelluva anturi laitetaan valun yhteydessä pinnan kanssa tasan, joten arvostelusyvyudeksi tulee anturin korkeus. Antureiden vakio arviointisyvyys on 30mm,

40mm ja 70mm. Antureita on myös mahdollista saada juuri itselle haluamalle arviointisyvyydelle. Anturit sopivat 50-240mm paksuille valuille, niin uudis- kuin korjausrakentamiseenkin. Anturin syvyys riippuu kuivumissuunnista, yhteen suuntaan kuivuville laatoille anturi laitetaan 40% laatan paksuudesta ja kahteen suuntaan kuivuville laatoille 20 % syvyydelle. Esimerkiksi yhteen suuntaan kuivuvan 170mm paksun valun kanssa valitaan anturi, jonka arviointisyvyys on 70mm. Mitatarkkuudet Humi 2 -kosteusantureissa ovat suhteellista kosteutta mitattaessa $\pm 2,5\%$ ja lämpötilaa mitattaessa $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$. Maksimi asennussyvyys on 10 senttimetriä. (Vigilan.fi) Anturit ovat luotettavimmillaan $0-40^{\circ}\text{C}$ lämpötiloissa (Jaaksola).

Anturit luetaan omalla Humi D-mittarilla (kuva 3), joka kertoo betonin kosteuden ja lämpötilan. Mittari pystyy lukemaan 100mm saakka ja suhteellisen kosteuden alue on 65-98%. Betonin täytyy olla $0-40^{\circ}\text{C}$, jotta Humi D-mittarilla voidaan lukea suhteellinen kosteus. Mittarin tarkkuudeksi on annettu $\pm 2,5 \text{ RH } \%$. (Vigilan.fi.)



KUVA 3. Vigilan Humi D -mittari

3.3.2 Kosteuden mittaus painoprosenteina tai suhteellisena kosteutena

Kaikki tässä luvussa esitetyt mittaustavat ovat suuntaa-antavia ja useimmista saadaan tulokseksi kosteus painoprosenteina eikä niitä näin ollen voida pitää luotettavina. Esimerkiksi pintakosteudenosoittimella mitattaessa betonilaatujen koostumukset vaikuttavat mittaustuloksiin ja eri valmistajien pintakosteudenosoittimet antavat eri tuloksia, vaikka mittareilla mitattaisiin samasta paikasta. Pintakosteusmittareiden toiminta perustuu sähkönjohtavuuteen ja laitteet lukevat vain rakenteiden pintaosan kosteusprosentin, eikä niillä pysty mittaamaan kosteutta syvemmältä rakenteesta. Pintakosteusmittari on vain yksi tapa mitata betonin kosteutta rikkomatta betonia. (Merikallio 2002, 6.)

Toinen tapa mitata betonin suhteellista kosteutta on kalsiumkarbidimittari. Kalsiumkarbidimittarin käyttö perustuu metallisen koeputken paineeseen, joka muunnetaan taulukon avulla painoprosenteiksi. Betonista otetaan näytepala ja laitetaan koeputkeen ja näytteen sekaan laitetaan teräskuulia. Koeputkea ravistaessa kalsiumkarbidi reagoi betonin kosteuden kanssa ja synnyttää paineen koeputkeen. Koeputken korkissa on painemittari, josta luetaan paine ja taulukon avulla muutetaan painoprosenteiksi. Kalsiumkarbidimittarin ongelmana on taulukot, jotka antavat betonin kosteuden painoprosenteina, jotta painoprosenteista saadaan suhteellinen kosteus, painoprosentit pitää vielä muuttaa muunnostaulukolla suhteelliseksi kosteudeksi. Lisäksi muunnostaulukoita on saatavilla vain yleisimmille betonilaaduille. Paine- ja painoprosenttitaulukoiden avulla on mahdollista saada suhteellinen kosteus, mutta tällä menetelmällä voidaan saada virheellistä tulkintaa. (Merikallio 2002, 6.)

Vastusmittarilla suhteellisen kosteuden mittaaminen on harvinaista Suomessa, mutta Keski-Euroopassa hyvin yleistä. Vastusmittarin käytössä porataan kaksi reikää, joihin laitetaan vastukset. Mittari mittaa elektrodien välistä sähkövastusta ja betonin kosteus vaikuttaa sähkövastuksien suuruuteen. Vastusmittarilla saadaan kosteus painoprosenteina, mikä ei ole hyödyllistä, sillä materiaalivalmistajat ilmoittavat päällystyskosteuden suhteellisena kosteutena. Mittaustulokseen vaikuttaa betonin lisäaineet ja raudoitteet. (Merikallio 2002, 6-7.)

Seuraava tapa mitata kosteutta painoprosentteina on kuivatus-punnitus -menetelmä, jossa betonin näytepala punnitaan ensin kosteana ja sitten kuivatuksen jälkeen. Näytepala kuivataan 105°C lämpötilassa. Kosteuspitoisuus saadaan kostean ja kuivan painon erotuksena ja jakamalla kuivalla painolla, tulos kerrotaan vielä sadalla, jotta saadaan painoprosentit. Menetelmänä kuivatus-punnitus -menetelmä on hyvä, mutta sen ongelmana on näytteenotto, näytteiden säilytys ja punnitus. Näytteet otetaan poraamalla. Tämä lämmittää betonia ja kuivattaa porauskohtaa, joten tulokset voivat olla virheelliset. Tulokset ovat painoprosentteina, joten taulukoista lukiessa suhteellista kosteutta voi syntyä virheellistä tietoa. (Merikallio 2002, 7, 14.)

4 TUTKIMUS

Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksen pääpiirteet ja kerrotaan tarkasti, miten tutkimus on tehty, jotta tutkimuksen voi tarvittaessa uusida kuka tahansa. Tutkimuksen teossa on noudatettu hyvää tieteellistä käytäntöä eli tutkimuksessa ei loukata ketään tutkimusasetelmilla, aineiston keräämisellä ja käsittelyllä eikä myöskään tulosten esittämisellä (Vilkkä 2007, 90).

4.1 Tutkimuksen toteutus

Opinnäytetyöprosessi alkoi syyskuussa 2019 tutkimusaiheen valinnalla, kun aihe oli pääpiirteittäin selvillä. Vigilan Humi 2 -antureiden asennus alkoi aikaisemmin ja niitä aloitettiin mittaamaan muutaman viikon asennuksen jälkeen. Ilman tutkimustakin olosuhteet ja antureiden tiedot olisi otettu talteen ja dokumentoitu asiaan kuuluvalla menetelmällä. Myöskin porareikä- ja näytepalamittaukset olisi otettu, vaikka tutkimusta ei olisi tehty Vigilan Humi 2 -antureista. Anturit luettiin kahden viikon välein ja porareikä- ja näytepalamittauksia otettiin aina ennen pinoitusta, myös betonin kuivumisen seurantaan käytettiin porareikämittauksia. Tämän teki siihen valittu urakoitsija, joka mittasi anturit ja porareiät, kokosi tiedot yhteen ja lähetti ne SRV:n työmaan toimihenkilöille.

4.2 Kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimus

Tämä opinnäytetyö toteutettiin vertailevana kvantitatiivisena tutkimuksena eli määrällisenä tutkimuksena, jossa numeroilla ja vertailuilla esitetään tuloksia ja niitä tulkitsemalla pystytään tekemään johtopäätökset (Jyväskylän Yliopisto). Kvantitatiivinen tutkimus tarkoittaa, että tutkittavia materiaaleja käsitellään numeroiden avulla, tutkimustulokset ovat numeerisessa muodossa, mutta olennaiset tulokset esitetään sanallisesti. Määrällistä tutkimusta käytetään silloin, kun halutaan saada vastaus kysymykseen ”kuinka paljon, kuinka moni ja kuinka usein?”. Määrällisen tutkimuksen tavoitteena on löytää säännönmukaisuuksia ja tutkimustuloksien perusteella rakennetaan, selitetään, uudistetaan, puretaan tai täsmennetään aiempia teorioita. (Vilkkä 2009, 13-14, 25.)

Tämä tutkimus on tehty objektiivisesti eli tutkija ei ole vaikuttanut tutkimustuloksiin ja tutkija on puolueeton niin tutkimusprosessissa kuin myös -tuloksissa. Objektiivisessä tutkimuksessa tutkija pyrkii olemaan mahdollisimman etäinen tutkimusprosessiin ja tutkijan tulisi vain tulkita tutkimustuloksia. (Vilkkä 2009, 16.)

Ominaista määrälliselle tutkimukselle on se, että tutkija asettaa hypoteesin eli tutkimusongelman. Hypoteesi on perusteltu ja se on tehty aiempien tutkimuksien perusteella. (Vilkkä 2009, 24.)

4.3 Tutkimuksen yleistieto

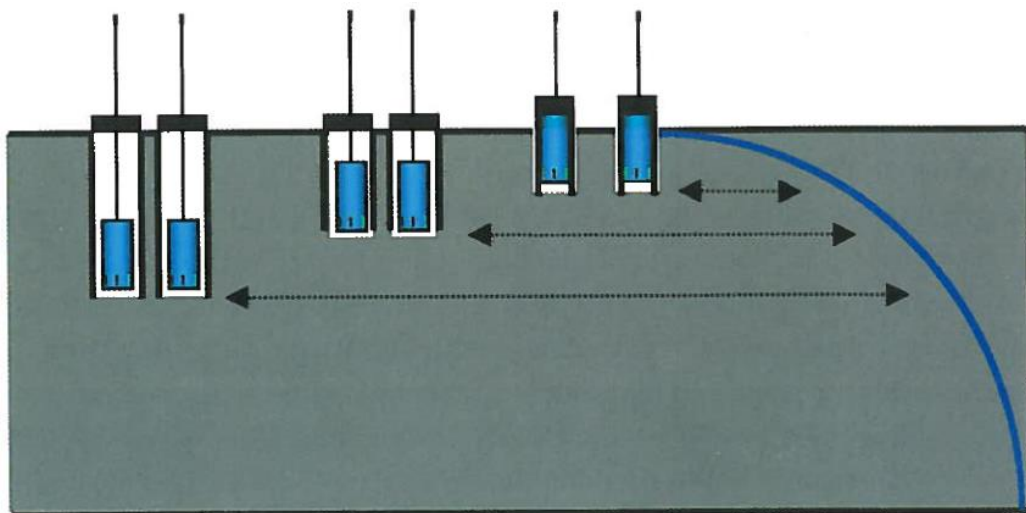
Ensimmäisellä valukerralla 22.7.2019 ei vielä käytetty Vigilan Humi 2 -antureita, koska niiden tilaus kesti odotettua kauemmin, mutta toiselle valukerralle saatiin Vigilan Humi 2 -anturit käyttöön. Tutkimuksen aloitushetkenä käytetään, kun lattiavaluun asennettiin ensimmäiset Vigilan Humi 2 -anturit. Tutkimuksen aloitushetki oli 7.8.2019.

Vigilan Humi 2 -kosteusanturit asennettiin lattiavalujen yhteydessä betonivaluun. Lattiavalut aloitettiin heti, kun vesikatto saatiin tiiviiksi. Toisella valukerralla valettiin noin 550m², johon laitettiin yhteensä neljä Vigilan Humi 2 -anturia, jotka asennettiin 30mm, 30mm, 30mm ja 70mm syvyyteen. Anturit luettiin noin kerran kahdessa viikossa. Tiheällä mittaustaajuudella seurattiin betonin kuivumista.

Porareikämittausta varten porareikä porattiin 4-5 päivää ennen mittauksen ottoa, jotta porareiässä saavutetaan tasapainokosteus. Sisätiloissa lämpötila pyrittiin pitämään mahdollisimman lähellä rakennuksen käyttölämpötilaa koko rakentamisen ajan sekä betonilattian lämpötilaksi pyrittiin saamaan yli 15°C, jotta porareikämittaustuloksia voitaisiin pitää luotettavina. Maalämpö saatiin päälle helmikuun alussa ja silloin lattialämmityksen avulla lattian lämpötilaksi saatiin yli 20°C. Tutkimuksen lopetushetkenä käytän 7.1.2020, jolloin oli tämän tutkimuksen viimeiset vertailukohteet mitattu, mutta silloin ei vielä saatu lattian lämpötilaksi yli 20°C.

Hankkeeseen laitettiin yhteensä 69 anturia, mutta tässä tutkimuksessa tutkitaan vain 21 anturia. Anturit, joita tässä tutkimuksessa tutkitaan ovat tiloissa, joista otetaan myös porareikä- tai näytepalamittaus, jotta saadaan mahdollisimman läheltä anturia myös virallinen mittaus. Tutkimuksessa verrataan aina saman valukerran porareikämittausta ja Vigilan Humi 2 -anturia. Anturit ovat asennettu ympäri rakennusta, niin ohuisiin kuin myös paksuihin betonivaluihin, anturit ovat 30-170mm paksuisissa valuissa. Antureita on asennettu jokaiseen valukertaan 2-5 kappaletta riippuen valualueen pinta-alasta. Tälle työmaalle valittiin kolme eri anturia, jotka mittaavat 30mm, 40mm ja 70mm syvyyksistä riippuen mikä anturi on asennettu.

Pinnoituskosteutta mitattaessa kustakin mittauskohdasta otetaan kolmesta eri syvyydestä mittaustulos, kustakin mittaussyvyydestä otetaan kaksi tulosta eri rei'istä ja tuloksista otetaan keskiarvot, jotta saataisiin mahdollisimman luotettava mittaustulos (kuvio 6). Alkuvaiheessa, kun betonin kosteutta seurattiin porareikämittauksilla, tuloksia otettiin kolmesta syvyydestä, mutta vain yksi mittaus kustakin syvyydestä. Porareikämittauksien mittaussyvyudet ovat 15mm, 30mm ja 70mm. Näytepalamittauksia on otettu tiloista, joiden pinnoitettavuus on täytynyt suorittaa mahdollisimman nopeasti. Tällaisia tiloja on muun muassa ilmanvaihtokonehuoneet, muutamat telehuoneet ja mallisellit. Näytepalamittauksia on otettu tutkimuksen lopetushetken mennessä yhteensä kuusi kappaletta.



KUVIO 6. Jokaisesta mittaussyvyydestä otetaan kaksi mittaustulosta (Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen, 86)

4.4 Antureiden vertailu virallisiin mittaustapoihin

Antureita vertailtiin aina saman valukerran porareikä- tai näytepalamittauksiin. Antureiden tulokset olivat myös pääosin samalta mittaussyvyydeltä kuin porareikämittauksen mittaussyvyys. Muutamassa mittauksessa porareikämittaus on otettu 28mm syvyydestä ja anturin antamat tulokset ovat 30mm syvyydestä. Yhdessä kohtaan porareikämittauksia otettiin 28mm ja 48 mm syvyydestä ja niiden keskiarvoa vertailtiin 40mm syvyydellä olevaan anturiin. Betonivalun ikä ja lämpötila olivat tällä tavalla mahdollisimman sama molemmilla mittaustyyeillä. Tällä tyyllillä saatiin mahdollisimman realistinen tutkimustulos ja täten tuloksia voidaan pitää luotettavina.

4.5 Hypoteesi

Sampo Clewer (2015) tutki opinnäytetyössään Wiiste Oy:n kehittämää kosteusanturia Tampereen uimahallin peruskorjauksessa, joka on idealtaan samanlainen, kun Vigilan Humi 2 -anturi. Sieltä tutkimustulokset osoittautuivat epäluotettaviksi, syynä oli anturin komponenttivalmistajan prosessimuutoksesta. Clewerin mukaan jälkiseuranta pystyy Wiiste Oy:n antureilla edelleen tekemään. Wiiste Oy:n antureiden tulokset näyttivät pitkään lähes 100% suhteellista kosteutta, vaikka porareikämittauksien perusteella suhteellinen kosteus oli 90%. Muutama anturi kerkesi kirimään saman kosteuden kuin porareikämittauksien antamat kosteudet, mutta muut anturit näyttivät yhä lähes 100%. Anturit rupesivat kirimään vasta kun todellinen suhteellinen kosteus oli alle 90%.

Lämpötilaa Wiiste Oy:n kosteusmittarit näyttivät tarkasti ja suurimmaksi osaksi keskihajonta oli alle 0,1°C lämpötilaa mitattaessa. Suhteellisen kosteuden mittaauksessa tuli selviä eroja, etenkin ohuemmissa laatoissa hajonta oli suuri, paksuissa laatoissa keskihajontaa ei juurikaan ollut. (Clewer 2015, 43.)

Tämän perusteella asetetaan tutkimukselle hypoteesiksi, että Vigilan Humi 2 -kosteusanturit eivät ole luotettavia mittausten menetelmiä, vaan niiden käyttö sopii paremmin kuivumisen seurantaan. Hypoteesiksi asetettiin myös se, että anturit

voivat olla erinomaisia esimerkiksi 10 vuoden päästä, jos on syytä epäillä vedeneristyksen pitävyyttä tai kosteusvauriota. Mutta tässä tutkimuksessa ei tulla tutkimaan antureiden toimivuutta 10 vuoden ajanjaksolla.

Hypoteesissa olkoon myös, että Vigilan Humi 2 -anturilla lämpötilaa mitattaessa vaihteluväli tulee olemaan varsin pientä ($\pm 0,3^{\circ}\text{C}$). Kun taas suhteellista kosteutta mitataan, niin uskon, että paksummissa laatoissa tulee olemaan huomattavia eroja, mutta ohuemmissa laatoissa ei tule merkittävää eroa. Merkittävää eroa pidän yli 2,5% vaihteluväliä, sillä antureiden tarkkuus suhteellista kosteutta mitattaessa on $\pm 2,5\%$.

4.6 Tutkimuksen haasteet

Tutkimuksen haasteina oli saada urakoitsijan työntekijät asentamaan Vigilan Humi 2 -anturit ohjeiden mukaisesti (liite 1). Iso osa antureista on asennettu huolimattomasti ja näin ollen niistä ei saa tuloksia luettua tai niiden tulokset eivät ole realistiset. Huonosti asennettu anturi antaa suhteellisen kosteuden ja lämpötilan virheellisesti tai antureita ei pystytä ollenkaan lukemaan. Osa antureista on myös asennettu viallisesti, siten että ne ovat liian syvällä betonivalussa, eikä niiden sijaintia löydy mittalaitteella etsiessä tai anturit ovat liian korkealla, jolloin mittaus-syvyys on eriävä kuin on ilmoitettu. Kuvassa 4 on asennettu 40mm anturi ja huolimattoman asennuksen takia anturi on noin 1,5cm lattiapintaa korkeammalla, joten anturi mittaa oikeasti 25mm syvyydestä. Tämänlaisissa tapauksissa jäi usein myös anturin keskiosa ilman betonia, jolloin tulokset ovat virheellisiä. Muutamia antureita hajosi ennen asennusta. Kuvassa 5 näkyy hajonnut anturi, anturin sininen kehikko on liian heikkoa ja siksi osat hajosivat jo ennen asennusta. Oikea tapa asentaa anturi on jättää anturin yläosa betonivalun kanssa tasan, jotta anturit löytyvät, kun niitä mitataan (kuva 6). Anturit toimivat myös, jos ne ovat kokonaan betonivalussa, tällöin niiden sijainti on merkittävä tarkasti pohjakuvaan, jotta ne löytyvät mittaushetkellä.



KUVA 4. Huonosti asennettu Vigilan Humi 2 –anturi



KUVA 5. Anturi on hajonnut jo ennen asennusta



KUVA 6. Oikein asennettu anturi

Tutkimuksen haasteena oli saada tuloksia Vigilan Humi 2 -antureista kuin myös porareikämittauksista. Porareikämittauksien tulppia oli potkittu ja siten kaikista porareikämittauksista ei saatu aina tuloksia. Loppua kohti porareikien ympärille rakennettiin pieni kehikko (kuva 7), jotta porareiät saisi olla paikoillaan. Porareikien sijainti oli isona syynä tulppien irtoamiseen, esimerkiksi mallisellin wc:n lattiassa oli kolme porareikämittauspaikkaa, samaan aikaan wc-tilassa tehtiin maalaus-, tasoite- ja seinien laatoitustöitä. Tästä syystä porareikien tulpat olivat usein vaurioituneita mallisellissä.



KUVA 7. Porareikämittauspisteiden ympärille rakennettu kehikko.

5 TUTKIMUSTULOKSET

Tässä luvussa vertaillaan tutkimustuloksia Vigilan Humi 2 -antureista, porareikä- sekä näytepalamittauksista. Jos Humi 2 –kosteusantureita tai porareikämittauksia on samassa syvyydessä useampi, niin niistä on otettu keskiarvo, jota vertaillaan toisen mittaustavan arvoon. Kaikki tulokset on koottu liitteeseen 2.

5.1 Vigilan Humi 2 -antureiden tuloksien vertailu porareikämittaus tuloksiin

Antureita ja porareikämittauksia on luettu useammin kuin tässä luvussa esitellään. Tässä luvussa esitellään vain kertoja, jolloin anturit ja porareikämittaus on tehty samana päivänä. Paljon oli mittauksia jolloin, luettiin vain anturit tai tehtiin vain porareikä-/näytepalamittauksia. Tutkimuksen luotettavuuden vuoksi tähän tutkimukseen on otettu vain tuloksia, jotka on tehty samana päivänä ja samasta valukerrasta. Taulukoissa 2-9 on vertailtu porareikämittauksien ja Vigilan Humi 2-antureiden tuloksia eri päivinä ja eri valukerroista. Taulukoista näkee suhteellisen kosteuden ja lämpötilojen erot. Jos ero on negatiivinen, niin Humi 2 -anturin näyttämä arvo on ollut alhaisempi kuin porareikämittauksen antama arvo. Jos ero on positiivinen, niin Humi 2 -anturi on näyttänyt suurempaa arvoa kuin porareikämittaus on antanut tulokseksi.

Ilmanvaihtokonehuone osa 1

Ilmanvaihtokonehuoneen lattia valettiin 22.8.2019, jonne laitettiin yhteensä kaksi Humi 2 –anturia 30mm syvyyteen, nämä anturit luettiin 3.10.2019. Koska molemmat anturit laitettiin betonivalun paksuuden takia 30mm syvyyteen, on näiden tuloksista otettu keskiarvot. Anturit antoivat lattian keskiarvo lämpötilaksi 17,2°C ja suhteellisen kosteuden keskiarvoksi 86,6%.

Samasta tilasta tehtiin myös samana päivänä porareikämittauksia kaksi kappaletta eri syvyyksistä. Porareikämittaus 1 otettiin 28mm syvyydestä ja porareikämittaus 2 otettiin 48mm syvyydestä. Porareikämittaus 1 antoi lattian lämpötilaksi

16,2°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 78,2% ja porareikämittaus 2 antoi lattian lämpötilaksi 16,3°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 82,7%. Ilmanvaihtokonehuoneessa olosuhteita mittaava anturi näytti lämpötilaksi 18°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 58,8%. Antureiden ja porareikämittauksien tulokset näkyvät taulukosta 2.

Taulukko 2. Ilmanvaihtokonehuone 1 osa 1

IVKH 1 osa 1	Valettu:	22.8.2019	Mitattu:	3.10.2019	Huomioita:	Keskiarvo		Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		
ivkh	Porareikä 1	28	16,2	78,2					
ivkh	Porareikä 2	48	16,3	82,7					
ivkh	Vigilan 1	30	18	90,5					
ivkh	Vigilan 2	30	16,3	82,6	→	17,2	86,6	1,0	8,4
ivkh	Olosuhdeanturi	30	18	58,8					

Ilmanvaihtokonehuone osa 1

Seuraavan kerran anturit ja porareivät mitattiin 31.10.2019 ja silloin anturit antoivat keskiarvo lämpötilaksi 14°C ja suhteellisen kosteuden keskiarvoksi 84,5%. Porareikämittaus 3 lämpötila oli 14,4°C ja suhteellinen kosteus 78,5% ja porareikämittaus 4 lämpötila oli 14,8°C ja suhteellinen kosteus 81,8%. Olosuhdeanturi ilmanvaihtokonehuoneessa näytti lämpötilaksi 14°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 52,6%. Taulukossa 3 näkyy ilmanvaihtokonehuoneen mittaustulokset, kun mitaukset on suoritettu 31.10.2019.

Taulukko 3. Ilmanvaihtokonehuone 1 osa 1

IVKH 1 osa 1	Valettu:	22.8.2019	Mitattu:	31.10.2019	Huomioita:	Keskiarvo		Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		
ivkh	Porareikä 3	28	14,4	78,5					
ivkh	Porareikä 4	48	14,8	81,8					
ivkh	Vigilan 3	30	14	85,5					
ivkh	Vigilan 4	30	14	83,4	→	14,0	84,5	-0,4	6,0
ivkh	Olosuhdeanturi	30	14	52,6					

Ilmanvaihtokonehuone 1 osa 2

Pienet alueet jäivät valamatta ilmanvaihtokonehuoneesta ensimmäisellä kerralla. Loput alueet olivat pinta-alaltaan 51m² ja ne valettiin 8.10.2019. Tähän 50 neliön alueeseen laitettiin kaksi Humi 2 -anturia ja tehtiin kaksi porareikämittausta. Anturit laitettiin 40mm ja 70mm syvyyteen. Porareikämittaukset tehtiin 28mm ja 48mm syvyyksistä. Anturit luettiin ja porareikämittaukset tehtiin 31.10.2019.

Anturi numero 5 oli syvyydessä 40mm ja se antoi lämpötilaksi 16°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 71%. Anturi numero 6 oli syvyydessä 70mm, mutta sitä ei löytynyt mittaushetkellä betonivalusta, joten siitä ei saatu tuloksia. Porareikä numero 5 oli syvyydessä 28mm ja se antoi lämpötilaksi 15,6°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 90%. Porareikä numero 6 oli 48mm syvyydessä ja se antoi lämpötilaksi 15,9°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 98,9%. Porareikämittausten keskiarvokosteus oli 94,5% ja keskiarvolämpötila oli 15,8°C. Olosuhdeanturi ilmanvaihtokonehuoneessa näytti lämpötilaksi 14°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 52,6%. Taulukosta 4 näkee ilmanvaihtokonehuoneen toisen valukerran kosteus- ja lämpötila-arvoja.

Taulukko 4. Ilmanvaihtokonehuoneen 1 osan 2 kosteus ja lämpötilat

IVKH 1 osa 2	Valettu:	8.10.2019	Mitattu:		Huomioita:	Keskiarvo		Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		
ivkh	Porareikä 5	28	15,6	90		→	15,8	94,5	
ivkh	Porareikä 6	48	15,9	98,9					
ivkh	Vigilan 5	40	16	71				0,2	-23,5
ivkh	Vigilan 6	70	ei löytynyt	ei löytynyt	Huono asennus				
ivkh	Olosuhdeanturi		14	52,6					

Selliosasto

Taulukkoon 5 on lueteltu neljännen valukerran tuloksia, kun anturi ja porareivät on mitattu 14.10.2019 ja neljäs valukerta valettiin 11.9.2019. Mittauspäivänä mitattiin tältä alueelta vain yksi sellin anturi ja se oli syvyydessä 40mm, samalla kerralla mitattiin kaksi porareikämittausta syvyyksistä 30mm ja 75mm. Humi 2 –anturi antoi lämpötilaksi 22°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 84%.

Porareikämittaus 5 eli 30mm syvyydestä mitattu porareikä antoi lämpötilaksi 18,8°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 83,9%. Porareikämittaus 6 oli 75mm syvyydessä ja sen lämpötila oli 18,5°C ja suhteellinen kosteus 84,9%. Tässä tilassa ei ollut olosuhdeanturia mittaamassa sisäilman olosuhteita.

Taulukko 5. Selliosaston mittaustuloksia

Selliosasto	Valettu:	11.9.2019	Mitattu:		Huomioita:	Keskiarvo		Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		
1f02	Porareikä 7	30	18,8	83,9					
1f02	Porareikä 8	70	18,5	84,9					
1f02	Vigilan 7	40	22	84					

Yleisiä tiloja ja selliosasto

Taulukossa 6 on esitetty tuloksia myös neljännen kerran valukerrasta, mutta tulokset on luettu 31.10.2019. Antureita luettiin useampi ja suuremmalta alalta, esimerkiksi yleisissä tiloissa olevia antureita ja myös selleissä olevia antureita. Mittauspäivänä luettiin yhteensä neljä Vigilan Humi 2 –kosteusanturia, kaksi porareikämittausta ja olosuhdeanturi. Humi-anturit olivat syvyyksissä 30mm, 30mm, 40mm ja 40mm, joten samoissa syvyyksissä olevien antureiden tulokset on esitetty keskiarvoina. 30mm syvyydessä olevien antureiden keskiarvolämpötila oli 12°C ja suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 87,5%. 40mm syvyydessä olevien antureiden lämpötila keskiarvoltaan oli 18,8°C ja suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 75,5%. Näistä toinen anturi oli asennettu huonosti.

Porareikämittauksia otettiin kahdesta eri syvyydestä, joista 30mm anturi näytti lämpötilaksi 16,9°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 69,9%. 70mm porareikäputki oli vaurioitunut, joten siitä ei saatu tuloksia. Olosuhdeanturi näytti lämpötilaksi 20,9°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 36%.

Taulukko 6. Yleisten tilojen ja selliosaston mittaustuloksia

Yleisiä tiloja	Valettu:	11.9.2019		31.10.2019		Huomioita:	Keskiarvo		Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)	Lämpötila (°C):		Suhteellinen kosteus (%)			
1f02	Porareikä 9	30	16,9	69,9?	Mittaus epäonnistunut					
1f02	Porareikä 10	70			Putki vaurioitunut					
1f01	Vigilan 8	30	14	88,1		→	12,0	87,5		
1g03	Vigilan 9	30	10	86,9						
1f02	Vigilan 10	40	21,5	81		→	18,8	75,5		
1g34	Vigilan 11	40	13?	70?	Huono asennus					
1f02	Olosuhdeanturi	30	20,9	36						

Yleisiä tiloja ja selliosasto

Taulukko 7 on myös samasta valukerrasta, mutta mittauspäivä on ollut 27.11, silloin luettiin samat neljä Humi –anturia, kolme porareikämittausta ja olosuhdeanturi. 30mm syvyyteen asennetut anturit antoivat keskiarvo lämpötilaksi 16°C ja suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 78,8%. 40mm syvyyteen asennetut anturit antoivat keskiarvolämpötilaksi 17,5°C ja suhteellisen kosteuden keskiarvoksi 68,5%. Näistä toinen oli huonosti asennettu anturi.

Porareikämittaukset otettiin 15mm, 30mm ja 70mm syvyyksistä. 15mm syvyydestä otettu porareikämittaus antoi lämpötilaksi 16,6°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 75%. 30mm syvyydessä lämpötila oli 17°C ja suhteellinen kosteus 85,9%. 70mm syvyydessä lämpötila oli 17,8°C ja suhteellinen kosteus 96,6%. Olosuhdeanturin mittaama lämpötila oli 18,6°C ja suhteellinen kosteus oli 42,8%.

Taulukko 7. Yleisten tilojen ja selliosaston mittaustuloksia

Yleisiä tiloja	Valettu:	11.9.2019		Mitattu:		27.11.2019		Huomioita:	Keskiarvo		Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):		Syvyys (mm):	Suhteellinen kosteus (%)		
1f02	Porareikä 11	15	16,6	15	16,6	15	16,6					
1f02	Porareikä 12	30	17	30	17	30	17					
1f02	Porareikä 13	70	17,8	70	17,8	70	17,8					
1g03	Vigilan 12	30	13	30	13	30	13					
1f01	Vigilan 13	30	19	30	19	30	19		→ 16,0	78,8	-1,0	-7,1
1f02	Vigilan 14	40	20	40	20	40	20		→ 17,5	68,5		
1g34	Vigilan 15	40	15	40	15	40	15	Huono asennus				
1f04	Olosuhdeanturi		18,6		18,6		18,6					

D-selliisiipi

Taulukko 8 tulokset ovat mitattu 27.11.2019 ja lattia on valettu 4.10.2019. Mittaukset ovat otettu D-selliisiveistä, joka oli ensimmäinen sellisiipi, johon valettiin lattia. Lattiavaluun laitettiin yhteensä neljä anturia kolmeen eri syvyyteen, mutta kolme niistä oli asennettu huonosti ja yhtä ei löytynyt mittauspäivänä. Tämän takia mittaustuloksia ei voida pitää luotettavina eikä tuloksia voida vertailla keskenään.

Porareikämittauksia on otettu kustakin syvyydestä kaksi kappaletta. 15mm porareikien keskilämpötila on 15,3°C ja keskiarvo suhteellisesta kosteudesta on 81,2%. 30mm porareikämittauksien keskiarvolämpötila on 15,3°C ja suhteellisen kosteuden keskiarvo on 91,2%. Syvimmällä olevan 70mm porareikämittauksien keskilämpötila 15,8°C ja suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 92,7%. Olosuhdeanturi näytti lämpötilaksi 13,3°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 56,5%.

Taulukko 8. D-selliisivein mittaustulokset

D-siipi 1krs	Valettu:	4.10.2019		Mitattu:		27.11.2019		Huomioita:	Keskiarvo		Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):		Syvyys (mm):	Suhteellinen kosteus (%)		
1d02	Porareikä 14	15	15,3	15	15,3	15	15,3		→ 15,3	81,2		
1d03	Porareikä 15	15	15,2	15	15,2	15	15,2					
1d02	Porareikä 16	30	15,3	30	15,3	30	15,3		→ 15,3	91,2		
1d03	Porareikä 17	30	15,3	30	15,3	30	15,3					
1d02	Porareikä 18	70	15,9	70	15,9	70	15,9		→ 15,8	92,7		
1d03	Porareikä 19	70	15,6	70	15,6	70	15,6	Tulppaus vaurioitunut				
1d14	Vigilan 16	30	12	30	12	30	12	Huono asennus				
1d01	Vigilan 17	40	12	40	12	40	12	Huono asennus	→ 12,0	79,7		
1d01	Vigilan 18	40	12	40	12	40	12	Huono asennus				
1d11	Vigilan 19	70		70		70		Ei löytynyt				
1d14	Olosuhdeanturi		13,3		13,3		13,3					

Selliosasto

Taulukossa 9 on yhteensä kuuden porareian tulokset ja kahden Vigilanin Humi 2 -antureiden tulokset. Kuudesta porareistä aina kaksi on ollut samasta syvyydestä, jolloin tulokset ovat esitettyinä keskiarvona. Humi 2 -antureita asennettiin 30mm ja 70mm syvyyteen. Mittaushetkellä 30mm anturi antoi lämpötilaksi 18°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 83,8%. 70mm anturi antoi tuloksiksi 18°C ja 90%.

15mm porareikämittausten keskilämpötila on 16,3°C ja keskiarvo suhteellisesta kosteudesta on 75,5%. 30mm porareikämittausten tulokset ovat 16,5°C ja 84,9%. 70mm porareikämittausten tulokset ovat 15,7°C ja 94,5%.

Taulukko 9. Selliosaston mittaustulokset

Selliosasto	Valettu:	25.9.2019		7.1.2020		Huomioita:	Keskiarvo		Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)	Lämpötila (°C):		Suhteellinen kosteus (%)			
1 e12	Porareikä 20	15	16,7	75,3						
1 e10	Porareikä 21	15	15,9	75,7		→	16,3	75,5		
1 e12	Porareikä 22	30	16,8	84						
1 e10	Porareikä 23	30	16,1	85,8		→	16,5	84,9		
1 e12	Porareikä 24	70	17	95,8						
1 e10	Porareikä 25	70	16,3	93,1		→	16,7	94,5		
1 e16	Vigilan 20	30	18	83,8					1,5	-1,1
1 e10	Vigilan 21	70	18	90					1,3	-4,5

5.2 Yhteenveto

Vigilan Humi 2- antureita ja porareikämittauksia vertaillessa ongelmaksi tuli, että päiviä, jolloin luettiin anturit ja tehtiin porareikämittauksia, oli huomattavan vähän. Antureiden lukua ja näytepalamittauksia ei tehty kertaakaan samoina päivinä, siten niitä ei pystytty vertaamaan toisiinsa. Kun oli mitattu anturit ja porareiat, niin aika usein oli joko porareikien tulppaus epäonnistunut tai anturit olivat asennettu huonosti, joten niitäkään ei pystytty aina vertailemaan.

Antureita ja porareikämittauksia, jotka pystyttiin lukemaan ja toteamaan vertailukelpoisiksi oli yhteensä viisi kappaletta. Tutkimuksessa ei pystytty vertailemaan näytepalamittauksia ja Vigilan Humi 2 -antureita. Tähän syynä on se, että samana päivänä ei otettu antureiden tuloksia ja näytepalamittauksia. Jos tuloksia olisi vertailtu eri päivinä otetuista tuloksista, niin tulokset eivät olisi olleet luotettavia, eikä siten tähän tutkimukseen sopivia.

RT-kortin (RT 14-10984) mukaan porareian lämpötilahaarukka on 15-25°C, tutkimuksessa osa porareikämittauksien lämpötilat olivat alle lämpötilahaarukan, joten niiden tuloksia ei voida pitää luotettavina. Joissain tapauksissa 28mm ja 48mm porareikämittauksista otettiin keskiarvo, jota vertailtiin 40mm kosteusanturiin. Tällä tavalla saatiin enemmän vertailukelpoisia tuloksia.

Vigilan Humi 2 – 30mm kosteusantureiden tutkimustuloksien analysointi

Vertailukelpoisia 30mm antureita oli yhteensä 3 kappaletta. Antureita vertaillessa lämpötilaerot olivat suhteellisen pieniä. Kaksi anturia näytti betonin lämpötilaksi korkeampaa kuin porareikämittauksella saatu lämpötila ja yksi anturi näytti vähemmän kuin porareikämittauksella saatu lämpötila. Lämpötila vaihteli yhteensä 2,5°C, sillä alimmillaan Humi 2 -anturi näytti yhden asteen alempaa lämpötilaa kuin porareikämittauksen lämpötila ja enimmillään anturi näytti 1,5°C enemmän kuin porareikämittauksen lämpötila. Kaksi muuta arvoa olivat 1°C ja -0,4°C, joten lämpötilaa Vigilan Humi 2 -kosteusanturit näyttivät suhteellisen hyvin. Lämpötilan virhemarginaalina tässä tutkimuksessa on $\pm 1,5^\circ\text{C}$, jos kyseessä on 30mm kosteusanturi.

Näissä 30mm antureissa suhteellista kosteutta mitattaessa erot olivat suurempia, kuin lämpötilaa mitattaessa. Vertailukelpoisia tuloksia oli yhteensä myös kolme kappaletta ja näiden vaihteluväli oli 15,5%. Yksi anturi näytti 8,4% enemmän kuin porareikämittauksella saavutettu suhteellinen kosteus. Kaksi muuta anturia näyttivät vähemmän kuin porareikämittauksessa saatu kosteus. Toinen näytti -7,1% vähemmän ja toinen -1,1%. Näiden tutkimustulosten mukaan 30mm anturilla suhteellista kosteutta mitattaessa virhemarginaali on $\pm 8,4\%$.

Vigilan Humi 2 – 40mm kosteusantureiden tutkimustuloksien analysointi

Seuraavana analysoitiin 40mm anturit, joita onnistuttiin tutkimukseen saamaan vain yksi vertailukohde, joten tulosta ei voi pitää luotettavana. Lämpötilaero anturin ja porareikämittauksen välillä oli vain 0,2°C, eli anturi näytti betonin lämpötilaksi suurempaa kuin se todellisuudessa oli. Suhteellista kosteutta mitattaessa anturi näytti 23,5% vähemmän kuin porareikämittauksella saatu suhteellinen kosteus. Tässä 40mm anturin vertailukohteena on 28mm ja 48mm syvyydestä otetut

porareikämittausten keskiarvot, siten tulos voi vääristää, koska vertailukohteena ei ole porareikämittausta tasan 40mm syvyydestä.

Vigilan Humi 2 – 70mm kosteusantureiden tutkimustuloksien analysointi

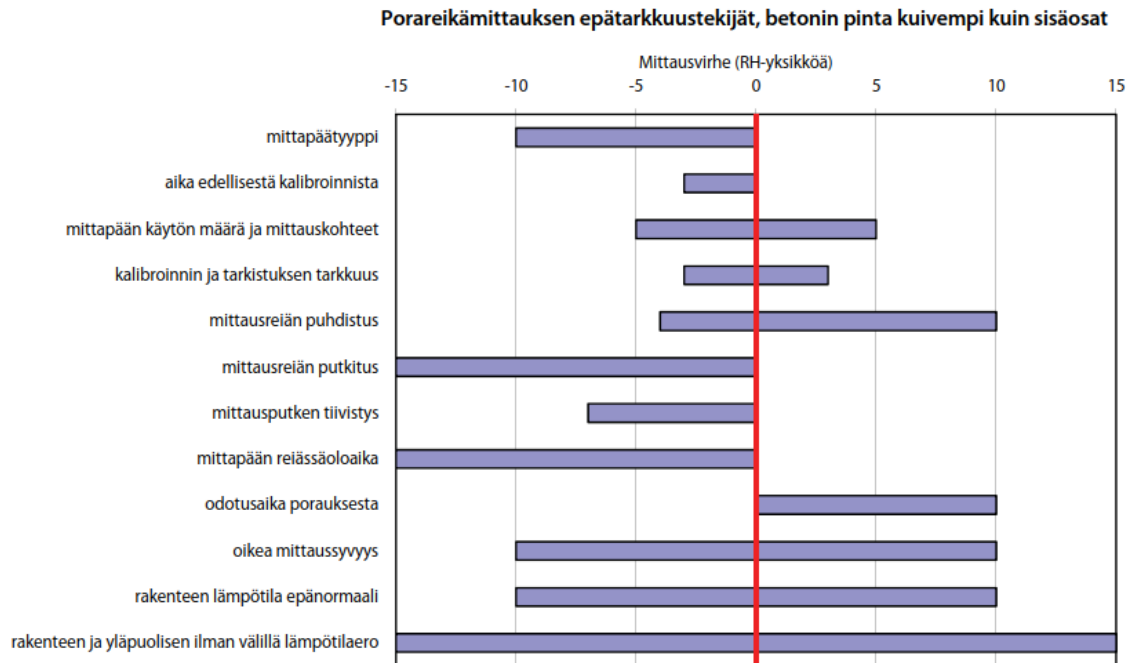
Kun vertailtiin 70mm Humi 2 -anturia ja porareikämittaustuloksia, niin ilmeni, että tuloksia on todella vähän. Löytyi vain yksi kerta, kun 70mm anturia ja 70mm porareikämittausta on mitattu samalta valukerralta samana päivänä. Tästä tulokseksi osoittautui, että Humi 2 -anturi näytti 1,3°C enemmän kuin porareikämittauksen lämpötila ja suhteellinen kosteus oli 4,5% vähemmän kuin porareikämittauksella saatu suhteellinen kosteus. Paksuissa betonilaatoissa olevien 70mm antureiden ja 70mm porareikämittauksien tuloksia ei voi pitää luotettavana, sillä tuloksia olisi pitänyt saada enemmän, jotta pystyttäisiin ottamaan keskihajonta. Tällä tavalla yksittäiset laite- ja mittausvirheet saataisiin pois tuloksista.

Porareikämittausten ja antureiden lämpötila eron haarukka oli suurimmillaan 1,5°C ja pienimmillään 0,2°C. 80% antureista näytti betonin lämpötilaksi suurempaa kuin porareikämittauksien antama lämpötila. Suhteellisen kosteuden haarukka oli huomattavasti suurempi. Isoin ero oli 23,5% ja pienin 1,1%. Suurin osa antureista näytti liian alhaista kosteutta, 80% antureista näytti alhaisempaa kosteutta kuin porareikämittauksen suhteellinen kosteus.

Anturit ovat tehty ja suunniteltu mittaamaan suhteellista kosteutta ja tässä mittauksessa 80% antureista näytti alhaisempaa kosteutta kuin mitä todellisuudessa on. Tutkimuksen mukaan anturit ovat todella usein ”epäluotettavalla puolella”, parempi olisi, kun anturit näyttäisi suurempaa suhteellisen kosteuden arvoa, kuin todellisuudessa on. Kaikkein paras olisi tietysti, että anturit näyttäisivät korkeintaan mittavirheen verran eroa porareikä- tai näytepalamittauksesta.

Kaksi vertailutaulukkoa, jätettiin tietoisesti pois tutkimuksesta, sillä porareikämittauksien osoittama lämpötila oli alle 15°C, tällöin porareikämittauksia voidaan pitää epäluotettavina, sillä RT-kortin (RT 14-10984) mukaan porareikämittaus on luotettavimmillaan 15-25°C lämpötilassa. Kuviosta 7 pystyy näkemään rakenteen lämpötilan vaikutuksen mittauksituloksiin, mittausvirhe voi olla ±10 RH-yksikköä.

Myöskään ilman ja rakenteen lämpötilaero ei saa olla yli 2°C. Tutkimukseen haettiin vain vertailukohteiksi tuloksia, jotka ovat virallisen porareikämittausten rajoissa sekä Vigilan Humi 2 -antureiden ohjeiden rajoissa. Myös tämän takia vertailukelpoisia tuloksia tuli huomattavasti vähemmän mitä alussa oli ajateltu.



KUVIO 7. Porareikämittausten epätarkkuustekijöitä (RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus)

Antureita asennettiin yhteensä 69 kappaletta ja niistä 17 asennettiin huonosti tai niitä ei löytynyt. Jatkossa, jos työmaille otetaan Vigilan Humi 2 -antureita on syytä ottaa säätöjalallinen anturi, jotta ne olisi asennettu oikein ja oikeaan korkoon. Kun antureita asennettiin lattiavaluun, pintabetonilattiaurakoitsijalle annettiin hyvät ohjeet asennukseen, mutta silti asennuksia epäonnistui huomattavan paljon enemmän mitä oltiin ajateltu.

Antureita on myös mitattu pinnoittamisen jälkeen. Pinnoitettuja tiloja, joissa on myös antureita, on tutkimusaikana yhteensä kaksi kappaletta. Molemmista tiloista käytiin mittaamassa anturit, mutta kumpaakaan ei löytynyt pinnoitteen alta. Tähän suurin syy on epätarkka merkkauk pohjakuvaan.

6 POHDINTA

Kosteus betonissa on ajankohtainen aihe ja siksi aiheesta oli hyvä tehdä opinnäytetyö. Betonin seurantaan on kehitetty useita erilaisia antureita ja oli luontevaa tehdä opinnäytetyö Vigilan Oy:n kehittämästä Humi 2 -anturista, sillä kohteeseen valittiin nämä anturit. Mitään antureita ei ole vielä hyväksytty RT-kortiston mukaan viralliseksi mittaussmenetelmäksi, mutta tulevaisuudessa antureista luultavasti saadaan, niin tarkkoja, että ne voidaan hyväksyä virallisiksi mittaussmenetelmiksi. Jos näin tapahtuisi työmaat säästäisivät kustannuksissa merkittävästi, koska mittaus ei maksa yritykselle juurikaan, varsinkin jos lukulaite on jo ostettu yritykselle.

Tämän tutkimuksen teossa haastavaa oli saada luotettavia ja vertailukelpoisia tuloksia, joista olisi tulevaisuudessa hyötyä SRV Rakennus Oy:lle. Tämän tutkimuksen lopputuloksena päädyttiin tulokseen, että Vigilan Humi 2 -anturit eivät ole luotettavia eikä myöskään tarkkoja mittaussmenetelmiä. Pieni otanta ja suppeat vertailutulokset voivat vääristää tuloksia, jos vertailukelpoisia tuloksia olisi enemmän, niin tulokset olisivat luultavasti luotettavampia.

Työelämään tämä tutkimus vaikuttaa suuresti. Muun muassa seuraavissa hankkeissa tiedetään, että jos Vigilaneja halutaan käyttää SRV:n kohteissa, niin kannattaa valita säätöjalallinen anturi, niiden avulla antureiden asennus onnistuu varmasti paremmin kuin ilman säätöjalkaa olevalla anturilla. Jos työmaa päättyy ottamaan säätöjalattoman anturin, niin silloin kannattaa varautua epätarkkoihin mitaustuloksiin ja lukuisiin antureihin, jotka ovat asennettu huonosti. Vigilan Oy:n pitäisi keskittyä, miten saisi säätöjalattomat anturit asennettua paremmalla prosentilla betonivaluun. Säätöjalalliset anturit ovat jo kehitelty, mutta säätöjalattomissa antureissa on vielä kehitettävää. Myös luotettavuuden parantaminen olisi tärkeä asia mitä olisi syytä kehittää.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyöprosessi onnistui hyvin. Vertailukelpoisia tutkimustuloksia olisi saanut olla enemmän, mutta asennusvirheiden takia niitä ei saatu. Ensi kerralla, kun tutkimuksen tekee, niin osataan ottaa huomioon tutkimustuloksien riittävä määrä.

Tämän tutkimuksen perusteella kosteudenmittausanturit eivät ole vielä riittävän korkealla tasolla, jotta niitä olisi järkevä ottaa työmaalle edes betonin kosteuden seurantaan. Antureille tarvitaan vielä lisää kehitystyötä ja tarkkuutta, jotta niiden kaikki hyöty saataisiin käytettyä mahdollisimman kustannustehokkaasti. Jaakso-
lan mukaan antureita kehitetään koko ajan lisää ja esimerkiksi antureiden päällä oleva sinisen kehikon muovia vahvistetaan, jotta se ei pääse hajoamaan kuvan 8 mukaisesti.

Hypoteesiin vertaus

Tutkimukselle tehtiin hypoteesi, joka oli, että Vigilan Humi 2 -kosteusanturit eivät ole luotettavia mittausten menetelmiä, vaan niiden käyttö sopii paremmin kuivumisen seurantaan. Hypoteesissa oli myös maininta, että lämpötilaa mitattaessa vaihteluväli tulee olemaan varsin pientä. Kun taas suhteellista kosteutta mitattaessa vaihteluvälissä tulee huomattavia eroja etenkin paksummissa laatoissa, mutta ohuemmissa laatoissa ei tule merkittävää eroa (0,3%). Merkittävä ero on tässä hypoteesissa yli 2,5% vaihteluväliä, sillä antureiden tarkkuus suhteellista kosteutta mitattaessa on $\pm 2,5\%$.

Hypoteesiin kirjattiin myös, että anturit olisivat erinomaisia esimerkiksi 10 vuoden päästä, jos on syytä epäillä vedeneristyksen pitävyyttä tai kosteusvauriota. Mutta tämän tutkimuksen tarkoituksena ei ole tutkia antureita pidemmällä ajanjaksolla.

Ohuissa betonivaluissa eli 30mm syvyydeltä mitattaessa lämpötilaerot olivat $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$. Kosteutta mitattaessa suhteellisen kosteuden vaihteluväli oli 8,4%. Kun mitattiin 40mm syvyydestä lämpötilaerot olivat $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ja suhteellisen kosteuden vaihteluväli oli 23,5%. Syvemmältä mitattaessa eli 70mm syvyydestä lämpötilaero oli $\pm 1,3^{\circ}\text{C}$ ja suhteellisen kosteuden ero oli 4,5%.

Näitä mittaustuloksia, joita opinnäytetyössä käytettiin ovat jokseenkin huonoja, niiden monipuolisuuden takia. Osista syvyyksistä saatiin vain yksi vertailukohde, ja hypoteesia laatiessa oletettiin, että arviointisyvyyksistä olisi tullut enemmän vertailukohtia. Mutta näitä tuloksia ja hypoteesia vertaillen pystyy kertomaan,

että hypoteesi oli väärässä. Lämpötilaa mitattaessa hypoteesi ei pitänyt paikkaansa, sillä merkittäviä eroja tuli lämpötilaa mitattaessa. Kaikki tutkimustulokset huomioon otettuna lämpötilan vaihteluväliksi tuli suurimmiltaan $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$, Vigilan Oy:n toimitusjohtajan Mikko Jaaksolan mukaan lämpötilan mittatarkkuus on $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$.

Kosteuden mittauksessa ohuemmissa laatoissa oli vaihteluväli huomattavasti suurempi kuin paksummissa laatoissa, ja hypoteesiin oli laitettu juuri toisin päin. Syy tähän voi olla esimerkiksi paksumpien laattojen vähäiset vertailukohteet, jos vertailukohtia olisi saatu enemmän, niin tulos olisi voinut kääntyä toisin päin ja siten hypoteesi olisi pitänyt paikkaansa.

Jatkotutkimus

Aiheesta saisi monia hyviä jatkotutkimuksia, esimerkiksi yksi hyvä jatkotutkimusaihe olisi ”ovatko anturit luotettavia pidemmällä ajanjaksolla?”. Aiheena tämä olisi hyvä ja tärkeä tehdä, jotta olisi tutkimustietoja, miten anturit todella toimivat pidemmällä ajanjaksolla. Toinen hyvä tutkimuskohde olisi säätöjalallisten antureiden luotettavuuden tutkiminen, niiden asennus on helpompaa kuin säätöjalattomien, joten tutkimustuloksia saisi paremmin. Säätöjalka anturissa olisi muutenkin parempi ratkaisu kuin säätöjalaton anturi, sillä säätöjalallisessa anturissa arviointisyvyys olisi aina oikein.

LÄHTEET

BY 45/BLY 7 Betonilattiat 2018. 2018. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, Suomen Betonitieto Oy.

BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2018. Vaasa: Grano Oy, BY-Koulutus Oy.

Betoniteollisuus ry. Luettu 26.11.2019. <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/jalkihoito/>

Clewer, S. 2015. Betonin kosteusmittauksen kehittäminen. Opinnäytetyö. Luettu 2.2.2020.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201504285302>

Jaaksola, M. 2020. Vigilan Oy:n toimitusjohtajan sähköposti. Vigilan Oy.

Jyväskylän Yliopisto. 2015. Määrällinen tutkimus. Luettu 9.12.2019.
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/maarallinen-tutkimus>

Kuivumisolosuhteiden mittaaminen. Luettu 3.12.2019.
<http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimet/mittaus/kuivumisolosuhteiden-mittaaminen>

Merikallio, T. 1998. Kosteuden hallinta rakennustyömaalla. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy.

Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, Suomen Betonitieto Oy.

Merikallio, T., Niemi, S., Komonen, J. 2007. Betonilattiarakeiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Lahti: Esa Print Oy, Suomen Betonitieto Oy.

Niemi, S. 2010. Betonirakenteiden kosteuden mittaaminen ja onnistunut päällystäminen. Luettu 3.12.2019. www.rakennustieto.fi

Pastrav. M. 1990. Moisture and temperature measurements in concrete. Risk for misleading result when measuring in drilled holes. Building Physics in the Nordic Countries. Luettu 3.4.2020.
<http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1113830/FULLTEXT01.pdf>

RIL 107-2012. 2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Saarijärven Offset Oy, Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

RT 14-10984. Ohjetiedosto. 2010. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. Rakennustietosäätiö. Rakennustieto Oy.

Sisäilmayhdistys Ry. Luettu 12.2.2020.
<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Korjausten-laadunvarmistus/Tyomaan-kosteudenhallinta>

Vigilan Oy. Luettu 3.12.2019.
<https://www.vigilan.fi/>

Vilkkä, H. 2007. Tutki ja mittaa. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Vilkkä, H. 2009. Tutki ja kehitä. 1.-3. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

LIITTEET

Liite 1. Vigilan Humi 2-asennusohje



Kelluvan HUMI 2-kosteusanturin asennusohje

Esivalettu kelluva Humi 2-anturi soveltuu normaalien betonilaatujen kosteuden ja kuivumisen seurantaan.

- Humi 2-anturit asennetaan alla olevan kuvan 1 mukaan siten, että anturijalan yläpinta asettuu valun yläpinnan tasalle ja jää näkyviin kuvan 2 mukaan.
- Varmista anturin näkyvyys tulevia mittauksia varten --- eli puhdista anturin kehän yläpinta betonista kuvan 2 mukaan

PYRI VÄLTTÄMÄÄN ANTURIN ASENTAMISTA SUORAAN RAUDOITUKSEN TAI LÄMMITYSKAAPELIN PÄALLE SIIRTÄMÄLLÄ ANTURIA SIVUSUUNNASSA MAHDOLLISIMMAN KESKELLE RAUDOITUKSEN SILMÄÄ TAI KAAPELIVETOJEN PUOLI VÄLIÄ !!



Kuva 1

Kuva 2

Humi 2-anturit asettuvat arvostelusyvyiteensä, kuten esim. 32 mm tai 40 mm:n syvyyteen valun pinnasta vastaten ylöspäin kuivuvan 80 mm tai 100 mm paksun alapohjalaatan kosteuden arvostelusyvyyttä (=40 % laatan paksuudesta).

Näkyviin jäävä anturijalan yläpinta (kuva 2) helpottaa anturin löytämistä, kun siitä mitataan kosteusarvoja Humi D-mittarilla.

Huolehdi työmaalla esteettömistä ja normaaleista kuivumisolosuhteista Humi-antureiden kohdalla. Tällä tavoin saadaan mahdollisimman hyvä Humi-mittaustulosten edustavuus.

Liite 2. Kaikki tutkimustulokset

	Valettu:	22.8.2019	Mitattu:	3.10.2019	Huomioita:	Keskiarvo			
IVKH 1 osa 1		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)	Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
ivkh	Porareikä 1	28	16,2	78,2					
ivkh	Porareikä 2	48	16,3	82,7					
ivkh	Vigilan 1	30	18	90,5					
ivkh	Vigilan 2	30	16,3	82,6		→ 17,2	86,6	0,9	8,4
ivkh	Olosuhdeanturi	30	18	58,8					
	Valettu:	22.8.2019	Mitattu:	31.10.2019	Huomioita:	Keskiarvo			
IVKH 1 osa 1		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)	Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
ivkh	Porareikä 3	28	14,4	78,5					
ivkh	Porareikä 4	48	14,8	81,8					
ivkh	Vigilan 3	30	14	85,5					
ivkh	Vigilan 4	30	14	83,4		→ 14,0	84,5	-0,4	6,0
ivkh	Olosuhdeanturi	30	14	52,6					
	Valettu:	8.10.2019	Mitattu:	31.10.2019	Huomioita:	Keskiarvo			
IVKH 1 osa 2		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)	Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
ivkh	Porareikä 5	28	15,6	90					
ivkh	Porareikä 6	48	15,9	98,9		→ 15,8	94,5		
ivkh	Vigilan 5	40	16	71				0,2	-23,5
ivkh	Vigilan 6	70	ei löytynyt	ei löytynyt	Huono asennus				
ivkh	Olosuhdeanturi	30	14	52,6					
	Valettu:	11.9.2019	Mitattu:	14.10.2019	Huomioita:	Keskiarvo			
Selliosasto		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)	Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
1f02	Porareikä 7	30	18,8	83,9					
1f02	Porareikä 8	70	18,5	84,9					
1f02	Vigilan 7	40	22	84					
	Valettu:	11.9.2019	Mitattu:	31.10.2019	Huomioita:	Keskiarvo			
Yleisiä tiloja		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)	Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
1f02	Porareikä 9	30	16,9	69,9?	Mittaus epäonnistunut				
1f02	Porareikä 10	70			Putki vaurioitunut				
1f01	Vigilan 8	30	14	88,1					
1g03	Vigilan 9	30	10	86,9		→ 12,0	87,5		
1f02	Vigilan 10	40	21,5	81					
1g34	Vigilan 11	40	13?	70?	Huono asennus	→ 18,8	75,5		
1f02	Olosuhdeanturi	30	20,9	36					
	Valettu:	11.9.2019	Mitattu:	27.11.2019	Huomioita:	Keskiarvo			
Selliosasto		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)	Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
1f02	Porareikä 11	15	16,6	75					
1f02	Porareikä 12	30	17	85,9					
1f02	Porareikä 13	70	17,8	96,6					
1g03	Vigilan 12	30	13	82,5					
1f01	Vigilan 13	30	19	75		→ 16,0	78,8	-1,0	-7,1
1f02	Vigilan 14	40	20	72					
1g34	Vigilan 15	40	15	65	Huono asennus	→ 17,5	68,5		
1f04	Olosuhdeanturi	30	18,6	42,8					
	Valettu:	4.10.2019	Mitattu:	27.11.2019	Huomioita:	Keskiarvo			
D-siipi 1krs		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)	Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
1d02	Porareikä 14	15	15,3	83,4					
1d03	Porareikä 15	15	15,2	78,9		→ 15,3	81,2		
1d02	Porareikä 16	30	15,3	91,5					
1d03	Porareikä 17	30	15,3	90,8		→ 15,3	91,2		
1d02	Porareikä 18	70	15,9	95,8					
1d03	Porareikä 19	70	15,6	89,6?	Tulppaus vaurioitunut	→ 15,8	92,7		
1d14	Vigilan 16	30	12	74?	Huono asennus				
1d01	Vigilan 17	40	12	76?	Huono asennus	→ 12,0	79,7		
1d01	Vigilan 18	40	12	83,4?	Huono asennus				
1d11	Vigilan 19	70			Ei löytynyt				
1d14	Olosuhdeanturi	30	13,3	56,5					
	Valettu:	25.9.2019	Mitattu:	7.1.2020	Huomioita:	Keskiarvo			
Selliosasto		Syvyys (mm):	Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)		Lämpötila (°C):	Suhteellinen kosteus (%)	Lämpötila ero	Suhteellinen kosteus ero
1 e12	Porareikä 20	15	16,7	75,3					
1 e10	Porareikä 21	15	15,9	75,7		→ 16,3	75,5		
1 e12	Porareikä 22	30	16,8	84					
1 e10	Porareikä 23	30	16,1	85,8		→ 16,5	84,9		
1 e12	Porareikä 24	70	17	95,8					
1 e10	Porareikä 25	70	16,3	93,1		→ 16,7	94,5		
1 e16	Vigilan 20	30	18	83,8				1,5	-1,1
1 e10	Vigilan 21	70	18	90				1,3	-4,5