

Opinnäytetyö

Rakennusmestari, AMK

2020

Pekka Alanne

BETONIN KOSTEUDEN SEURANTA TYÖMAILLA

– Etäluettavien kosteusmittareiden toiminnallisuus

Pekka Alanne

BETONIN KOSTEUDEN SEURANTA TYÖMAILLA

- Etäluettavien kosteusmittareiden toiminnallisuus

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin seurantamenetelmiin kuuluviin etäluettaviin antureihin, jotka lähettävät saamansa datan reaaliajassa suoraan pilvipalveluun. Tarkoituksena oli selvittää, ovatko etäluettavat betonin kosteusmittarit yhtä luotettavia kuin muut mittausmenetelmät.

Betonin kosteuden mittaus on jaettu kahteen eri laatukategoriaan: seurantamenetelmät ja tarkat mittausmenetelmät. Tarkkoihin mittausmenetelmiin kuuluvat porareikämittaus ja näytepalamittaus. Seurantamenetelmiin kuuluvat esimerkiksi etäluettavat betoniin upotettavat anturit, pintamittaus sekä mittaukset ottaen vanhoista porareikästä. Olosuhteet, kuten esimerkiksi lämpötila, ovat aina suuressa roolissa, kun porareikämittausmenetelmällä halutaan ottaa tarkkoja mittauksia, joita voitaisiin käyttää esimerkiksi betonin pinnoittamiskunnon toteamisessa. Näytepalamittaus on lähes riippumaton työmaalla vallitsevista oloista. Molempien näiden mittausmenetelmien yhteisenä ongelmana on kuitenkin se, että ne ovat kalliita työmaalle.

Opinnäytetyössä testattujen etäluettavien kosteusmittareiden vertailulukemat saatiin porareikämittausmenetelmällä. Etäluettavien kosteusmittareiden antamat suhteellisen kosteuden arvot olivat huomattavasti korkeampia kuin porareikämittauksen tulokset. Etäluettavien kosteusmittareiden valmistajalta kysyttiin, voisiko anturin alle jäädä tulosta häiritsevää kosteutta, jos betonirakenne on yhteen suuntaan kuivuva. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, sillä mittarin anturit sijaitsevat laitteen kyljessä, jolloin anturin alla olevan kosteuden ei ole mahdollista vaikuttaa tuloksiin.

Opinnäytetyössä käytettyjen etäluettavien antureiden antaman datan ei odotettu olevan näin heikkotasoisista, niillä voidaan silti todeta olevan potentiaalia. Antureiden antaman datan seuranta on erittäin yksinkertaista, koska niiden antama data siirtyy ja tallentuu automaattisesti pilvipalveluun. Tämä menetelmä on myös hyvin kustannustehokas. Vaikka etäluettavista mittareista jonain päivänä voisikin tulla yksi tarkoista mittausmenetelmistä, niin menetelmän yksinkertaisuudesta huolimatta on epätodennäköistä, että se koskaan tulisi korvaamaan muita menetelmiä ja kosteuden mittauksen asiantuntijoita työmailta.

ASIASANAT:

betoni, kosteusmittaus, etäluettava, porareikämittaus, tulevaisuus

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Master Builder

2020 | 37 pages, 7 pages in appendices

Pekka Alanne

CONCRETE MOISTURE MONITORING ON CONSTRUCTION SITES

- Functionality of remotely readable hygrometers

Concrete moisture measurement is divided into two different quality categories: monitoring methods and accurate measurement methods. Accurate measurement methods include borehole measurement and sample piece measurement. Monitoring methods include, for example, remotely readable sensors that are embedded in concrete, surface measurement, and taking measurement results from old boreholes.

Conditions, such as temperature, are always critical when the borehole measurement method is intended to take accurate measurement results that could be used, for example, to determine the condition of a concrete coating. Sample piece measurement is almost independent of the conditions prevailing on the construction site. However, a common problem with both of these measurement methods is that they are expensive.

This thesis introduces remotely readable sensors that send the received data in real time directly to the cloud service. The comparison readings for the remotely readable moisture meters tested in this thesis were obtained with the borehole measurement method. The relative humidity values given by remotely readable hygrometers were significantly higher than the results of the borehole measurements. The manufacturer of the remotely readable hygrometers was asked that, because the concrete structure was drying in one direction, could moisture remain under the sensor that would interfere with the results. However, this is not possible because the sensors of the meter are located on the side of the device.

Although the data provided by the remotely readable sensors used in this thesis were not expected to be so bad, it can still be stated that they have potential. Tracking the data provided by the sensors is very easy because the data they provide is automatically transferred and stored to the cloud service. This method is also very cost effective.

While remotely readable hygrometers could one day become one of the accurate measurement methods category, it is despite the simplicity of the method unlikely that it would ever replace other methods and the moisture measurement experts from construction sites.

KEYWORDS:

concrete, humidity measurement, remotely readable, borehole measurement, future

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet	6
1.2 Ojarannan Rakennus Oy	7
2 BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS	8
2.1 Käsitteitä	8
2.2 Betonoinnista lyhyesti	9
2.3 Betonin suhteellisen kosteuden tarkat mittaussuomenetelmät	10
2.3.1 Porareikämittaus	10
2.3.2 Näytepalamittaus	15
2.4 Seurantamenetelmät	16
2.5 Rakenteiden kosteudenmittaaja	20
3 KOSTEUDEN SEURANTA TUTKIMUSKOHTEESSA	22
3.1 Kosteuden seuranta työmaalla	25
3.2 Kosteuden raja-arvot päällystystä varten	27
4 TULOSTEN ANALYSOINTI	30
4.1 Tuloksia pidemmältä ajanjaksolta	30
4.2 Etäluettavien antureiden vertaaminen porareikämittaustuloksiin	32
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	34
5.1 Etäluettavien mittauslaitteiden epävarmuus	34
5.2 Etäluettavat anturit tulevaisuudessa	35
LÄHTEET	37

LIITTEET

- Liite 1. Wiiste SH1 WAN -tuotekortti.
- Liite 2. Wiiste SH1 -tuotekortti
- Liite 3. Vaisala SHM40 -sarjan tuotekortti

KUVAT

Kuva 1. Ojarannan Rakennus Oy:n logo.	7
Kuva 2. Porareikämittausmenetelmä yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa.	11
Kuva 3. Porareikämittauksessa käytettävät tuotteet.	13
Kuva 4. Asianmukaisesti valmistellussa mittausputkessa useimpien mittapäiden tasaantumisaika.	14
Kuva 5. Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa.	14
Kuva 6. Näytepalamittaus.	15
Kuva 7. Wiiste SH1-WAN.	18
Kuva 8. SolidRH SH1 anturi.	19
Kuva 9 SolidRH RD1 lukulaite ja käyttö.	20
Kuva 10. Vaahtolasipuhallus käynnissä.	23
Kuva 11. Liittolaattalevyt asennettu ja raudoitukset tehty.	24
Kuva 12. Pintalattiat valettu ja Ardex 8+9 tiivistysmassalla tehdyt tiivistystyöt tehty.	25
Kuva 13. Etäluettava anturi asennettuna. Anturin kyljessä näkyvillä mittauspäät.	26
Kuva 14. Porareikämittauksen mittausputket tasaantumassa.	27
Kuva 15. Porareikämittauksissa käytetty Vaisala SHM40-sarja.	32
Kuva 16. Huomattavia eroja nähtävissä porareikämittauksen ja etäluettavan anturin mittaustulosten välillä.	33

TAULUKOT

Taulukko 1. Betonin kosteuden raja-arvot eri lattianpäällysteille.	28
Taulukko 2. Laatoituksen jälkeen tapahtuva betonin kutistuminen erilähtökosteuksilla rakenteen kuivuessa kosteuteen 50%.	29
Taulukko 3. Etäluettavan anturin mittaama suhteellinen kosteus ajalta 24.2. –2.3.2020	31
Taulukko 4. Etäluettavan anturin mittaama lämpötila ajalta 24.2. –2.3.2020	31

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Betonin kosteuden seuranta on jo vuosia ollut samanlaista. Betonin kosteuspitoisuutta pystytään arvioimaan matemaattisesti, tai kosteuspitoisuus voidaan selvittää erilaisten mittausten menetelmien ja laitteiden avulla. Tänä päivänä yleisimpiin mittausten menetelmiin kuuluu muun muassa porareikämittausten menetelmä. Porareikämittausta käytetään usein, koska se luokitellaan yhdeksi tärkeistä mittausten menetelmistä.

Porareikämittauksen onnistumista varten porareikään asennettavan mittausputken tulee olla huolellisesti tiivistetty ja mittausputken tulee antaa olla koskemattomana useamman vuorokauden ajan. Työmaalla tämä voi olla haasteellista, sillä mittausputkien sijoittaminen voi olla haasteellista niin, että ne eivät olisi kenenkään tiellä eivätkä häiritsisi kenenkään työskentelyä. Jos mittausputkien tiivistys vahingoittuu, eivät mittaus tulokset ole enää tarkkoja, vaan niiden tulokset voivat heittää huomattavastikin.

Betonin kosteuden seuranta työmailla on tärkeää, jotta pystytään varmistamaan rakenteen pinnoitettavuus. Betonin kuivumisprosessi on kuitenkin hidasta, eikä betoni tule koskaan olemaan täysin kuivaa. Vaatimuksena on, että ennen betonin pinnoitusta betoni olisi saavuttanut pinnoitusmateriaalin valmistajan ohjeiden mukaisen suhteellisen kosteutensa (RH). Yleisimpien päällystysmateriaalien raja-arvot ovat välillä 80–90 % RH:a.

Jos betonirakenne ei ole saavuttanut päällystysmateriaalin suhteellisen kosteuden raja-arvoa ennen rakenteen pinnoittamista, voi tällä olla merkittäviä seurauksia. Kun esimerkiksi betonipinta halutaan maalata, laatoittaa tai sille halutaan asentaa lattiamatto, eivät materiaalit tule kiinnittymään kunnolla. Betonissa oleva kosteus pyrkii ulos rakenteesta ja täten kosteus samalla irrottaa pinnoitusmateriaalit poistuessaan. Lisäksi jos betonirakenne päällystetään liian aikaisin ja kosteus suljetaan rakenteeseen, saattaa siitä seurata sisäilmahaitallisia vaikutuksia.

Kun halutaan todeta betonin suhteellisen kosteuden olevan riittävän alhainen betonin pinnoitettavuutta varten, tulee mittaus suorittaa joko porareikämittausten menetelmää tai näytepalamittausten menetelmää käyttäen. Toisin kuin porareikämittaus, näytepalamittausten menetelmä on lähes riippumaton työmaalla vallitsevista olosuhteista, kuten lämpötilasta.

Vaikka porareikämittaus- ja näytepalamittausmenetelmä ovat tarkkoja ja luotettavia, on myös kehitetty paljon nopeampia ja kustannustehokkaampia mittausmenetelmiä, joita voidaan käyttää betonin kosteuden seurantaan työmailla. Yksi hyvä seurantamenetelmä on betoniin rakenteen betonoinnin aikana upotettava kosteusanturi. Betoniin upotettavia kosteusantureita on markkinoilla joko etäluettavina, jotka lähettävät dataa jatkuvasti pilvipalveluun, sekä antureita, joiden tulokset käydään rakenteen pinnalta erillisen mittalaitteen kanssa lukemassa.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan työmailla suoritettavia erilaisia betonin kuivumisen seurantaan liittyviä menetelmiä ja vertaillaan niitä. Tarkoituksena on selvittää, ovatko etäluettavat anturit yhtä luotettavia kuin perinteiset porareikämittaukset.

1.2 Ojarannan Rakennus Oy

Ojarannan Rakennus Oy (kuva 1) on vuonna 1996 perustettu rakennusliike ja sen kotipaikka sijaitsee Koski TL:ssä. Ojarannan Rakennus Oy kuuluu ammattirakentajia palvelevaan yritysryppääseen Rautanet Koski Oy:n sekä Kosken Betonielementti Oy:n kanssa.



Kuva 1. Ojarannan Rakennus Oy:n logo (Ojarannan Rakennus Oy).

Pääasiassa yritys tekee rakennus- ja korjauskohteita. Esimerkiksi kouluja, palvelurakennuksia ja asuinrakennuksia. Yritys myös omistaa ja vuokraa kiinteistöjä päätoimialueellaan Lounais-Suomessa.

Yritys työllistää tällä hetkellä noin 35 työntekijää, työnjohtajat mukaan luettuna. Vuonna 2019 Ojarannan Rakennuksen liikevaihto oli 12,1 miljoonaa euroa, ja tilikauden tulos oli 0,1 miljoonaa euroa.

Korkean laadun lisäksi korkea turvallisuustaso on yritykselle tärkeää. Yrityksellä on ISO 9001 -sertifikaatin mukainen laatujärjestelmä, ympäristö- ja turvallisuusohjeistus sekä RALA-pätevyys. Lisäksi henkilöstön tuli- ja työturvallisuuskortit pidetään aina ajan tasalla.

2 BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS

Betonin kuivumisnopeuteen vaikuttavat monet tekijät. Betoni jo itsessään on hitaasti kuivuvaa. Jos kovettunut betoni pääsee kastumaan, sen kuivumisnopeus hidastuu entisestään. Betoni ei saa kuivua liian nopeasti. Sen tulee ennen kuivumistaan saavuttaa vaadittu lujuusaste, jotta se kestäisi kuivumiskutistumasta syntyviä jännityksiä. (Timonen-Nissi 2019, 3.) Valun jälkeen tulee huolehtia kosteudesta betonirakenteessa, jotta betonin lujuus pääsee kehittymään oikein. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi peittämällä valettu alue muovilla.

Betonirakenteet tulee työmailla suojata hyvin ja mahdolliset sadevedet sekä lumet tulee siivota rakenteiden päältä. Kosteuden poistaminen betonirakenteista on hitaampaa, jos betoni pääsee kastumaan kovettumisensa jälkeen.

2.1 Käsitteitä

Suhteellinen kosteus RH

Suhteellinen kosteus RH (relative humidity) tarkoittaa kyseisessä lämpötilassa ilmassa olevan vesihöyrynpaineen suhdetta kyllästyspaineeseen. Suhteellinen kosteus ilmaistaan prosentteina (%); (RT 14-10984, 2010, 2).

Betonin suhteellinen kosteus

Betonin suhteellisella kosteudella tarkoitetaan betonin huokosissa olevaa ilman suhteellista kosteutta. Suhteellisella kosteudella kuvataan betonissa olevaa liikkumiskykyistä ja esimerkiksi pinnoitteen alle tasapainottumaan kykenevää kosteuspitoisuutta. Päälysteille se on käyttökelpoinen suure. Tämän takia päälystysraja-arvot tulee ilmoittaa suhteellisena kosteuspitoisuutena (RT 14-10984, 2010, 2).

Betonin vesipitoisuus

Betonin vesipitoisuudella tarkoitetaan betonissa olevaa fysikaalisesti sitoutunutta vettä. Tämä ilmaistaan painoprosentteina kuivapainosta (p%). Jos päälystysraja-arvot annetaan painoprosentteina, mitataan painoprosenttikosteutta suoraan punnitus-, kuivatus- tai karbidimenetelmällä (RT 14-10984, 2010, 2.)

Kriittinen kosteuspitoisuus

Kriittinen kosteuspitoisuus on betonin suurin sallittu kosteuspitoisuus, jossa betonin pintaan asennettu materiaali toimii moitteettomasti. Tämä raja-arvo tulee alittaa tietyllä syvyydellä ennen materiaalin asentamista betonipintaan. Materiaalivalmistajien tulee ilmoittaa raja-arvo tuotteillaan (RT 14-10984, 2010, 2.)

2.2 Betonoinnista lyhyesti

Betonointi voidaan aloittaa, kun muotti- ja raudoitustyöt on tehty ja suunnitellut putkitukset sekä muut varaukset on asennettu ja varmistettu. Muottien tulee myös olla puhdistettu, sekä hyvin tuettu betonoinnista niihin kohdistuvan paineen takia. Tuenta voidaan suorittaa esimerkiksi muottilukoilla sekä sitomalla ja tukemalla muotit tiukoiksi paketeiksi. Betonointi suoritetaan joko pumppu- tai nostoastibetonointina.

Kun valutyö on suoritettu ja alue siivottu valutarvikkeista aloitetaan betonin jälkihoito. Jälkihoidolla pyritään antamaan betonille mahdollisimman suotuisat kovettumisolosuhteet. Kosteutta rakenteessa tulee olla riittävästi betonin kovettumista varten. Oikea lämpötila tulee yrittää säilyttää betonin kovettumisen ajan ja betoni tulee suojata tuulelta, sateelta, auringonpaisteelta, kylmyydeltä ja muilta ulkoisilta tekijöiltä. Yleisesti ottaen betonipinnan sopiva jälkihoitoaika on noin 3...14 vuorokautta riippuen olosuhteista (Kivimäki & Koistinen, 2012, 11.)

Talvibetonoinnista puhutaan, kun betonointi tapahtuu alle +5°C:n lämpötilassa. Betonin kovettumis- ja sitoutumisreaktiot hidastuvat pakkasen takia ja pakkasen voi myös vaurioittaa vastabetonoituja rakenteita.

Talvella betonointia varten täytyy muottien ja raudoitusten olla puhtaat jäädästä ja lumesta. Muottien ja raudoitusten sulatuksessa käytetään yleensä höyryä. Lisäksi betonin lämpötilan tulee olla yli $+5^{\circ}\text{C}$ ja muottien tulee olla riittävän lämpimät, jonka takia valun tulee tapahtua mahdollisimman nopeasti, jotta vältetään massaa jäähdyttäviltä siirto- ja käsittelytavoilta (Kivimäki & Koistinen, 2012, 12.)

2.3 Betonin suhteellisen kosteuden tarkat mittaussuomenetelmät

Tarkkoihin mittaussuomenetelmiin kuuluvat porareikämittaus ja näytepalamittaus (RT 14-10984, 2010, 3). Näitä mittaussuomenetelmiä käytetään, kun betonista halutaan saada tarkat mittaussuolenekamat, esimerkiksi pinnoitettavuutta varten.

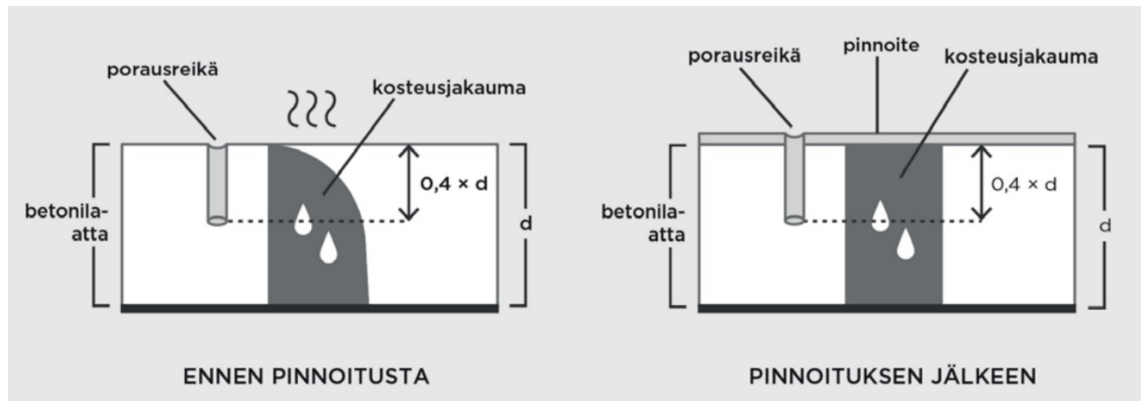
Kun betonin suhteellista kosteutta mitataan porareikä- tai näytepalamennetelmällä, ovat mittaussuolenekojien määrät rajalliset, koska ne ovat rakenteita rikkovia. Rakenteessa mahdollisesti oleva tekniikka, kuten lattialämmitys ovat usein alttiita rikkoutumiselle, kun rakenteita lähdetään mittaamaan näillä menetelmillä. Rakenteissa olevan tekniikan kartoittaminen tulisi tehdä jo ennen valuvaihetta ja määrittää mittaussuolenekojet hyvissä ajoin. Rakenteen valamisen jälkeen mittaussuolenekojien määrittäminen voi olla työlästä sekä riskialtista.

2.3.1 Porareikämittaus

Lämpötila on erittäin tärkeä osa mittausta. Jos betonin lämpötila on esimerkiksi alle $+15^{\circ}\text{C}$ tai yli $+25^{\circ}\text{C}$, ei mittaussuolenekojen tulos ole tarpeeksi tarkka ja tulosta voidaan käyttää ainoastaan suuntaa antavana. Lisäksi yleensä betonin pinnalla olevan ilman ja betoniin asennettavan mittapään lämpötilaero ei saa olla enemmän kuin 2°C (RT 14-10984, 2010, 3.)

Porareikien mittaussuolenekojet (kuva 2) lasketaan aina erikseen betonikerroksen paksuuden mukaan. Syvyyksille on asetettu raja-arvoiksi 10...70 mm. Jokaisesta mittaussuolenekojesta tulisi lähtökohtaisesti ottaa vähintään kahdesta eri syvyydestä mittaussuolenekojet. Esimerkiksi yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa mittaussuolenekojet ensimmäinen tulisi olla 40 % koko betonirakenteen paksuudesta (kaava 1) ja toinen reikä 40 % ensimmäisen porareikän syvyydestä (kaava 2). Esimerkiksi, jos betonikerros on 100 mm paksu,

ensimmäinen reikä tulee olla 40 mm syvä ja toinen reikä 16 mm eli 40 % ensimmäisen reiän syvyydestä.



Kuva 2. Porareikämittausmenetelmä yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa (Vaisala Oyj SHM40 käyttöohje, 19).

$$(0,4 * d) = A$$

Kaava 1. Arviointisyvyyden mitoitus, yhteen suuntaan kuivuva rakenne (Niemi 2010, 420).

$$(0,4 * A) = (\text{pintamittaus})$$

Kaava 2. Toisen ja sitä seuraavien porareikien mitoitus, pätee yhteen- ja kahteen suuntaan kuivuvien rakenteiden mitoitukseen (Niemi 2010, 420).

Jos rakenne on kahteen suuntaan kuivuva, esimerkiksi välipohjalaatta. Tulee ensimmäinen porareikä laskea niin, että se on 20 % laatan paksuudesta (kaava 3). Toinen porareikä tulee olemaan 40 % ensimmäisestä reiästä (kaava 2).

$$(0,2 * d) = A$$

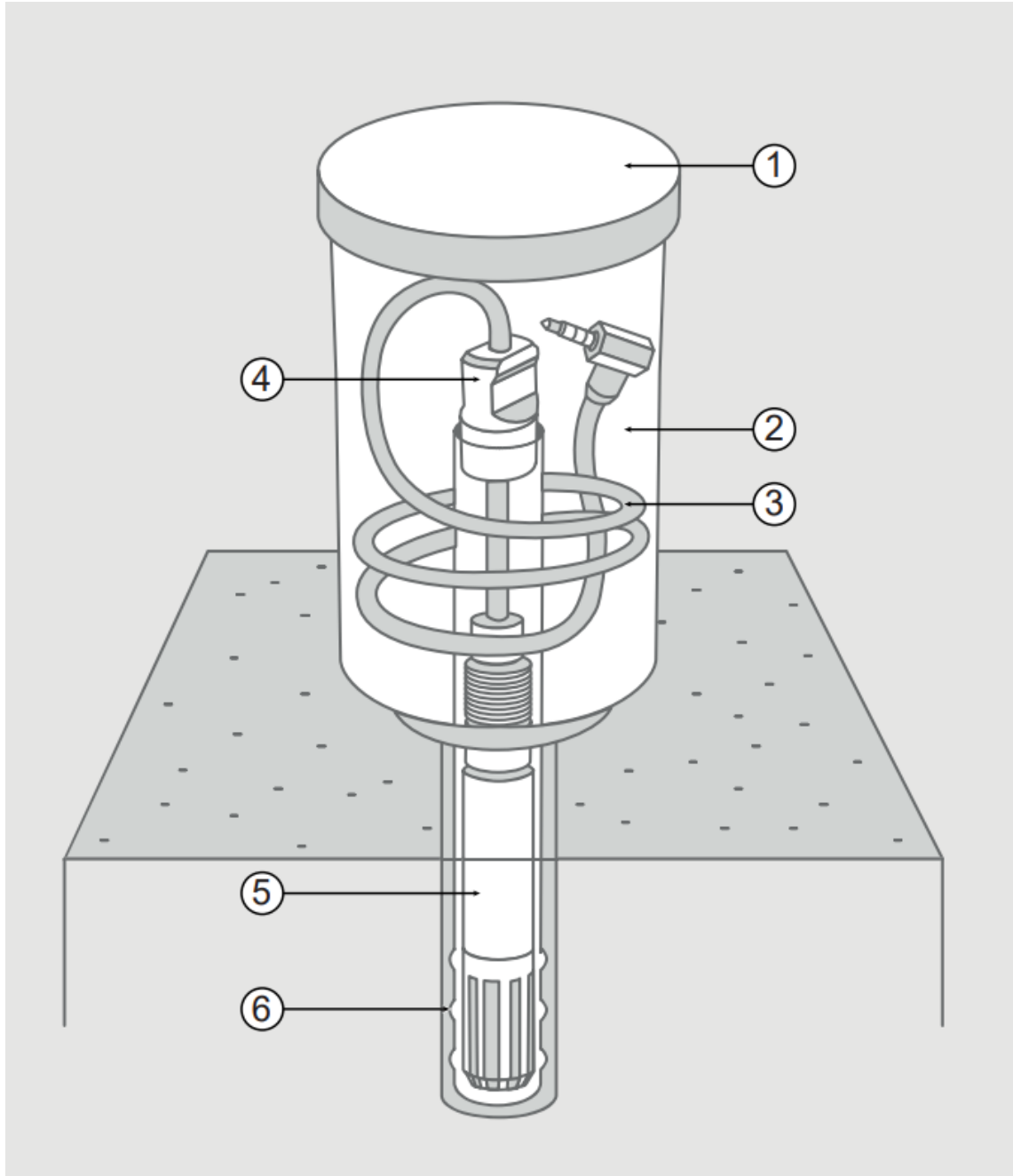
Kaava 3. Arviointisyvyyden mitoitus, kahteen suuntaan kuivuva rakenne (Niemi 2010, 420).

Jos betonikerros on hyvin paksu, niin haluttaessa reikiä voidaan porata useammista eri syvyyksistä, mutta maksimissaan 70 mm:n syvyyteen. Poraamalla enemmän mittapisteitä mahdollistetaan laajempi data.

Porareikämittauksissa käytettävien antureiden tarkkuus on todella riippuvaista työmaalla vallitsevista olosuhteista. Optimitilanteessakin voidaan antureiden tarkkuuden väittää olevan ± 1 %.

Porauksen takia betonin tila muuttuu epävakaaksi ja kosteutta ei voida täten mitata heti porauksen jälkeen. Porareikä, johon on jo asennettu mittaputki, joka on huolella tiivistetty, tulee antaa tasaantua vähintään kolme vuorokautta porauksesta. Työmaalla helppoin tämä voidaan toteuttaa poraamalla mittausreiät ja asentamalla mittausputket perjantaina. Tällöin tulokset voidaan ottaa tiistaina ja mittausputket voivat viikonlopun rauhassa tasaantua ja häiriötekijöiden määrä on minimoitu. Jos tasaantumisajoina tingitään ei voida tuloksia käyttää, kuin ainoastaan suuntaa antavina tuloksina.

Kun mittapää asennetaan mittausputkeen (kuva 3) tulostenottopäivänä ja se on tiivistetty huolellisesti kitillä tai jollain muulla, tulee mittapään antaa olla ja tasaantua vähintään tunnin ajan. Tasaantumisaika riippuu aina mittapään valmistajan määrittelemästä ajasta, mutta on kuitenkin aina vähintäänkin tunnin (kuva 4). Porauksen vaikutus betoniin poratussa reiässä ei ole vakio ja vaikutuksen häviämisenopeus saattaa vaihdella suurestikin (kuva 5).



Kuva 3. Porareikämittauksessa käytettävät tuotteet (SHM40 käyttöohje 2015, 28).

Kuvassa:

1 = kansi

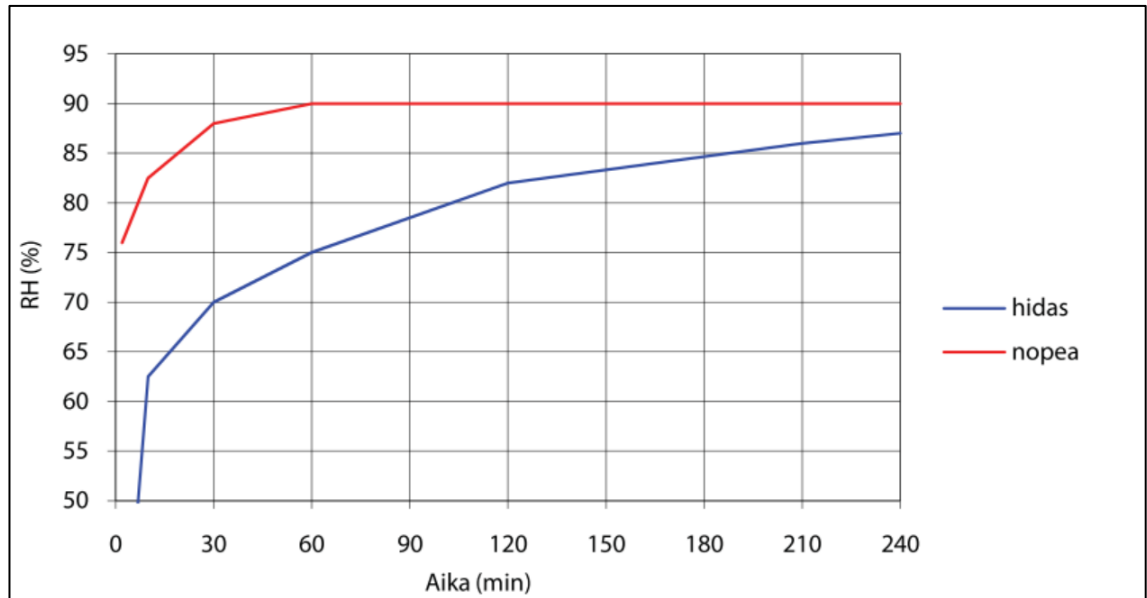
2 = suojus

3 = mittapään kaapeli

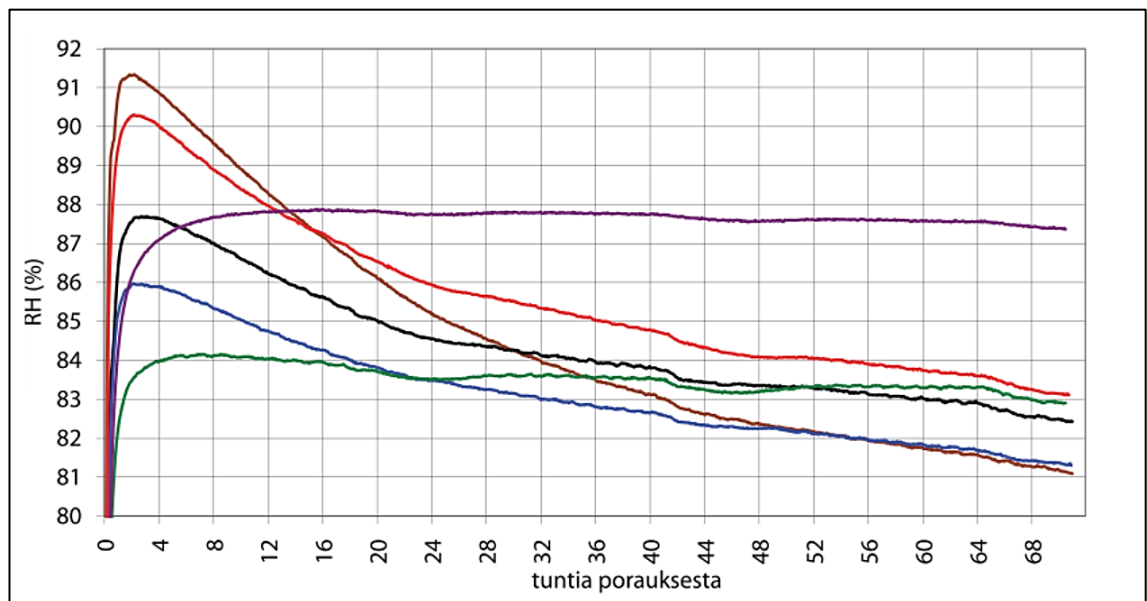
4 = kumitulppa

5 = mittapää

6 = asennusholkki



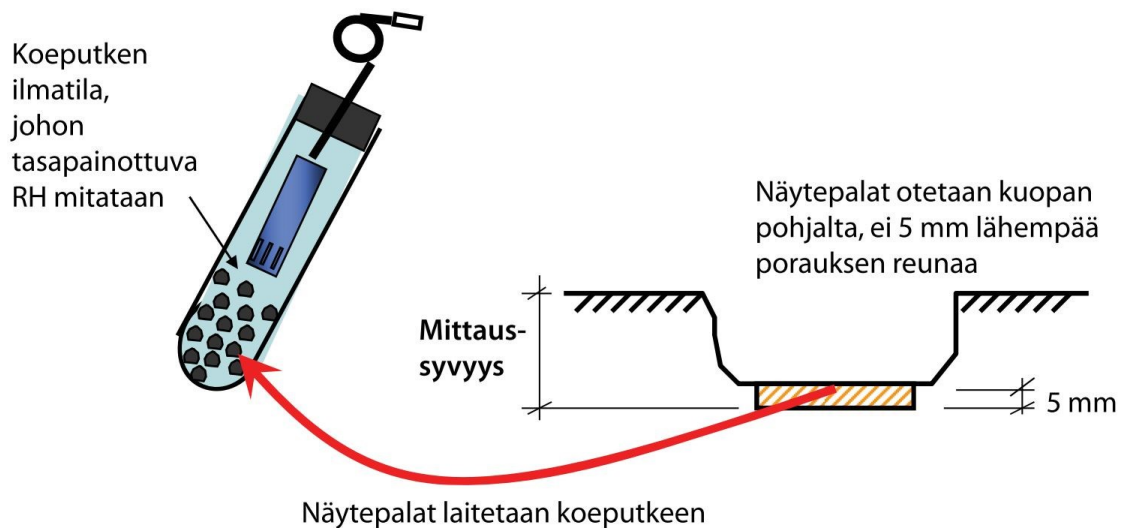
Kuva 4. Asianmukaisesti valmistellussa mittausputkessa useimpien mittapäiden tasaantumisaika (RT 14-10984, 2010, 6).



Kuva 5. Betonilattian "riittävän" kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa (RT 14-10984, 2010, 6).

2.3.2 Näytepalamittaus

Näytepalamittauksen (kuva 6) hyviä ominaisuuksia on, että se on lähes riippumaton työmaalla vallitsevista olosuhteista. Lukemienottolämpötilan tulee kuitenkin olla $\pm 2^\circ\text{C}$:n tarkkuudella betonin vakiosta käyttölämpötilasta.



Kuva 6. Näytepalamittaus (RT 14-10984, 2010, 7).

Jos mittauksilta vaaditaan hyvää mittaustulosta ja olosuhteet ovat haastavat käytetään usein näytepalamittausta, jos mittauksilta vaaditaan hyvää mittaustarkkuutta. Näytepalamittaus voidaan suorittaa jopa lämpötila ollessa $-20\dots +80^\circ\text{C}$ (RT 14-10984, 2010, 3). Näissä olosuhteissa ei pystytä porareikämittausta käyttämään.

Näytepalojen ottamista varten tehdään betoniin haluttuun mittaussyvyyteen asti kolo. Kun vaadittuun mittaussyvyyteen on päästy, betonista piikataan näytepaloja, jotka ovat mahdollisimman suuria koeputken kokoon nähden. Näytepalamenetelmällä mittaussyvyys on vähintään 2 mm (RT 14-10984, 2010, 3).

Näytepalojen ollessa koeputkessa annetaan niiden tasaantua, jolloin tasapainottuva betonin suhteellinen kosteus voidaan mitata. Jos esimerkiksi tasaantumisen aikana koeputken ollessa $+20^\circ\text{C}$:n lämpötilassa, saadaan mitattavan betonin suhteellinen kosteus kyseisessä $+20^\circ\text{C}$:n vakiolämpötilassa (RT 14-10984, 2010, 7).

2.4 Seurantamenetelmät

Betonin kosteutta tulee seurata, jotta tiedetään, onko järkevää tilata rakenteiden kosteuden mittaamisen asiantuntija ottamaan tarkat mittaustulokset rakenteista. Jos betoni ei ole tarpeeksi kuivaa pinnoitettavuutta varten, on asiantuntijan mittaus turha, koska tulokset joudutaan ottamaan uudestaan, kunnes tulokset näyttävät betonin olevan pinnoitettavissa. Turhista asiantuntijan mittauksista syntyy aina ylimääräisiä kustannuksia työmaalle, joka ei ole hyvä asia.

Seuranta varten käytössä ovat esimerkiksi etäluettavat ja paikan päällä mitattavat vaaluun upotettavat anturit sekä pintamittaus. Normaalien seurantamenetelmien lisäksi porareikämittaukset, jotka on tehty vanhoja porareikiä käyttäen, tai mittaus on suoritettu heti poraamisen jälkeen, luokitellaan seurantamenetelmäksi. Näiden mittausmenetelmien antamia tuloksia ei saa käyttää, kun halutaan saada pinnoitettavuustulokset.

Joskus taas ei ole tarpeellista, eikä aina edes mahdollistakaan, päästä hyvään mittaus-tarkkuuteen. Tarkkoja tuloksia työmaa tarvitsee lähtökohtaisesti ainoastaan, jotta pystytään esimerkiksi toteamaan betonin riittävä kuivuus pinnoitettavuutta varten. Tällöin voidaan tehdä niin sanottuja suuntaa antavia mittauksia, jotka voivat olla aivan riittäviä, kunhan niiden joskus hyvinkin suuri epätarkkuus tiedostetaan (RT 14-10984, 2010, 3).

Pintamittaus

Pintakosteusilmaisimen näyttämiin tuloksiin saattavat vaikuttaa kosteuden lisäksi rakenteen pintaan nostamat suolakkerrostumat, teräkset, rakenteiden vaihtelut ja eri materiaalien koostumukset. Anturi ilmaisee rakenteen kosteuspitoisuuden sen koko mittaamaltaan syvyydeltä ja täten ilmaisimen antamien tulosten perusteella ei voida erotella kosteuspitoisuutta rakenteessa eri syvyyksillä (RT 14-10984, 2010, 11).

Yleisimmät pintakosteusilmaisimet ilmoittavat saamansa kosteuspitoisuuden painoprosentteina. Jotkin mittarit antavat laskennallisen suhteellisen kosteuspitoisuuden, jonka takia mittaustarkkuus on lähes aina erittäin alhainen (RT 14-10984, 2010, 11). Pintakosteusilmaisimia käytetään lähinnä korjauskohteissa, joissa halutaan kartoittaa vesiva-hinko tarkasti, nopeasti ja helposti.

Betoniin valun aikana sijoitettavat anturit

Betoniin valun aikana asennettavien kosteusantureiden etuna on, että ne eivät vaikuta työskentelyyn mittalaitteiden alueella millään tavalla, missään vaiheessa työmaata. Tämä johtuu siitä, että ne sijaitsevat betonin sisällä turvassa häiriöntekijöiltä.

On olemassa betoniin valettavia antureita, joiden tulosten ottaminen tapahtuu erillisen skannerin avulla. On myös olemassa mittareita, jotka lähettävät dataa suoraan pilvipalveluun. Suoraan pilvipalveluun lähetettäviä antureita voisi jopa sanoa kaikkein helpoimmaksi seurantamenetelmäksi. Työmaan työnjohtajien ei tarvitse kuin ainoastaan avata tietokoneellansa seurantaohjelma, josta he näkevät reaaliajassa betonin olosuhteet. Lisäksi myös ulkopuolinen henkilö, kuten esimerkiksi työmaanvalvoja, pystyy valvomaan antureiden lähettämää dataa.

Tällä hetkellä etäluettavia kosteusmittausantureita valmistaa esimerkiksi Wiiste Oy. Heiltä löytyy niin internetiin suoraan dataa lähettäviä valuun upotettavia antureita, kuin myös valuun upotettavia antureita, joista otetaan tulokset paikan päällä langattomasti.

SH1-WAN

Wiisteen SH1-WAN (liite 1) on suomalainen uuden sukupolven anturi, jolla mitataan betonin kosteutta ja lämpötilaa. Anturi (kuva 7) asennetaan betoniin valun aikana, jonka jälkeen se alkaa lähettämään mittaustietoja itsenäisesti internetiin. Tämä mahdollistaa kosteustilanteen etävalvonnan myös työmaan ulkopuolella reaaliaikaisesti.



Kuva 7. Wiiste SH1-WAN (Wiiste Oy 2019b, 1).

Mittarin hyviä ominaisuuksia on, että se kykenee antamaan tarkkoja tuloksia jopa vaihtelevissakin olosuhteissa. Lisäksi valmistaja lupaa antureiden paristojen säilyvän jopa kymmenen vuotta. Anturit toimitetaan aina työmaille valmiiksi ilmoitettuun mittaussyvyyteen kalibroituina (WiisteOy 2019b, 1).

SH1-WAN anturin toimintaperiaate on samanlainen kuin tämän opinnäytetyön teisteissä käytetyt anturit.

Wiiste SolidRH SH1

Suomessa suunniteltu ja valmistettu Wiisteen SH1 anturi (liite 2), jolla mitataan betonin kosteutta ja lämpötilaa. Mittari (kuva 8) sisältää uudenlaisen W-Tip-mittapäärakenteen, joka nopeuttaa merkittävästi tasaantumisaikaa. Tämä mahdollistaa tarkan betonin kosteuden mittaamisen heti betonin valamisen jälkeen, myös vaihtelevissa olosuhteissa (Wiiste Oy 2019a, 1).



Kuva 8. SolidRH SH1 anturi (Wiiste Oy 2019a, 1).

Tiedot luetaan ja tallennetaan käsilukijalla Wiiste SolidRH RD1 (kuva 9). Tiedot voi siirtää käsilukijan USB -liitännän kautta tietokoneella pilvipalveluun.



Kuva 9. Lukulaitteen SolidRH RD1 käyttö (Wiiste Oy 2016, 17).

2.5 Rakenteiden kosteudenmittaaja

Rakenteiden kosteudenmittaajan ammattipätevyys tulee todistaa muodollista pätevyyttä osoittavalla asiakirjalla. Tällä asiakirjalla tarkoitetaan tutkintotodistuksia, todistuksia ja muita asiakirjoja koulutuksesta, jonka mittaaja on suorittanut, kuten VTT:n sertifioima rakenteiden kosteudenmittaaja. Lisäksi rakenteiden kosteuden mittaajalta vaaditaan vähintään rakennusalan perustutkinto ja puolentoistavuoden työkokemus rakennusosalta. Jos pohjakoulutusta ei ole, tulee mittaajalla olla vähintään kolmen vuoden kokemus rakennusosalta.

Betonin kosteuden seurantaan työmaalla ei tarvitse olla todistusta pätevyydestä. Ainoastaan, jos mittauksilla halutaan todistaa betonirakenteen olevan esimerkiksi pinnoitettavissa, tulee mittaajalla olla todistus pätevyydestä.

Rakenteiden kosteudenmittaajan koulutus koostuu teoriaosuudesta, joka kestää vähintään neljä päivää sekä näyttötyöstä, jossa kuvataan betonin suhteellisen kosteuden mittausta aidosta betonirakenteesta ja kohteesta (Eurofins Expert Services Oy 2020).

Jokaisesta kokeesta ja mittauksesta tulee tehdä merkintä mittauspöytäkirjaan. Pöytäkirjassa tulee olla merkittynä kokeiden ja mittausten päivämäärä, koe- ja mittaustulokset ja piirrokset kokeiden ja mittausten sijainneista. Lisäksi tulee olla merkittynä jatkotoimenpiteet ja selvitykset mahdollisista poikkeamista rakenteissa. Pöytäkirjan allekirjoittaa henkilö, joka on suorittanut kokeet ja mittaukset (RT 14-10984, 2010, 10).

3 KOSTEUDEN SEURANTA TUTKIMUSKOHTEESSA

Tutkimus alkoi keväällä 2019. Kohteena oli vuonna 1898 rakennetun yläkoulun saneeraustyömaa Salossa. Koulu oli otettu saneerattavaksi sisäilmaongelmien vuoksi. Sisäilmaongelmat johtuivat käytännössä enimmäkseen siitä, että rakennuksen rakenteet eivät olleet tiiviitä ja täten huonosti tuulettuvasta alapohjasta pääsi haitallista ilmaa sisätiloihin. Koulussa aloitettiin keväällä 2019 tiivistyskorjaustyöt.

Rakennuksen ensimmäinen kerroksen pintalattiat purettiin kokonaan ja vanhat sahanpurut sekä muu orgaaninen aine poistettiin lattiarakenteista. Rakennuksen alapohjarakenteet puhdistettiin huolellisesti, jonka jälkeen mikrobit tuhottiin betonirakenteista kuivajäähallituksen avulla. Kuivajää eli hiilidioksidijää tai hiilihappojää on kiinteään olomuotoon saatettua hiilidioksidia, jonka lämpötila on noin -79 °C (Dry Ice Finland 2020).

Puhdistuksen jälkeen alapohjarakenteessa olleet sahanpurut korvattiin vaahtolasilla (kuva 10). Vaahtolasimurske valmistetaan kierrätyslasista ja sen valmistusprosessin ansiosta se ei sisällä orgaanisia aineita. Se on kevyt ja palamaton materiaali, jonka käsittely on helppoa ja tehokasta keveytensä ansiosta. Vaahtolasimurskeen hyvä kitkakulma ja asettuvuus luovat hyvän ja vankan alusrakenteen työmaalle.



Kuva 10. Vaahtolasipuhallus käynnissä.

Pintalattiavalua varten asennettiin betonipalkkien päälle liittolaattalevyt (kuva 11). Peltien reunat sekä saumat ja muut mahdolliset vuotokohtat tiivistettiin huolellisesti ennen kuin betonivalu suoritettiin. Liittolaattalevyistä johtuen pintalattian betonirakenne on yhteen suuntaan kuivuva.



Kuva 11. Liittolaattalevyt asennettu ja raudoitukset tehty.

Pintalattiavalujen jälkeen, kun betonin todettiin olevan pinnoituskuiva, tiivistettiin lattian ja seinän väliset nurkkaliitokset käyttäen Ardex 8+9 -eristemassaa (kuva 12). Myös kaikki mahdolliset läpiviennit ja muut mahdolliset saumakohtat tiivistettiin tällä aineella. Tiivistysten jälkeen lattiat laatoitettiin. Jotta saatiin koko ensimmäinen kerros tiivistettyä, tiivistettiin myös seinistä ikkunat sekä kaikki seinissä olevat läpiviennit, kuten patterien putket ja kannakkeet käyttäen Illbruck sp925 air seal -tiivistysmassaa.



Kuva 12. Pintalattiat valettu ja Ardex 8+9 -eristemassalla tehdyt tiivistystyöt tehty.

3.1 Kosteuden seuranta työmaalla

Työmaalle otettiin testattavaksi kolme kappaletta etäluettavia betonin kosteusantureita, jotka lähettivät saamansa datan reaaliajassa suoraan pilvipalveluun (kuva 13). Anturit olivat vielä prototyypivaiheessa.



Kuva 13. Etäluettava anturi asennettuna. Anturin kyljessä näkyvillä mittauspääät.

Antureiden saaminen oikeaan mittaussyvyyteen oli ongelmallinen niiden kiinnitysmenetelmän vuoksi. Normaalisti valuuin upotettavat anturit asennetaan betonin valamisen aikana niin, että niiden yläpää jää betonin pinnan kanssa tasan ja ne ovat jo tehtaalla mitoitettu oikeaan mittaussyvyyteen. Työmaalla testattavana olleiden antureiden kiinnitys tapahtui kuitenkin jo ennen betonin valamista. Antureiden kanssa kuitenkin päästiin lähestulkoon oikeaan mittaussyvyyteen jo pelkästään niin, että ne ruuvattiin kiinni liittolaattalevyyn.

Antureista jokainen sijoitettiin omaan valulohkoonsa, jotta niistä saatu data olisi laajempaa. Antureiden asentajana toimi niiden valmistajayrityksen työntekijä.

Seuranta tapahtui enimmäkseen etäluettavilla antureilla, eikä porareikämittauksilla. Työn edetessä huomattiin, että jostain syystä betonilaatat eivät lähteneetkään kuivumaan odotetulla tavalla. Porareikämittauksilla (kuva 14) havaittiin betonin suhteellisen kosteuden arvojen olevan huomattavasti alhaisempia kuin mitä etäluettavat anturit olivat antaneet ymmärtää.



Kuva 14. Porareikämittauksen mittausputket tasaantumassa.

Porareikämittauksista yksi suoritettiin etäluettavan mittausanturin vierestä vertailulukemia varten. Työmaalla olisi ollut mahdollisuus ottaa vertailulukemat myös kahden muunkin anturin kohdalta, mutta näin ei tullut tehtyä. Etäluettavista antureista kuitenkin jokainen näytti samankaltaisia tuloksia. Näin ollen voidaan todeta, että vaikka porareikämittaustuloksia olisikin otettu muidenkin etäluettavien vierestä, niin tulokset olisivat todennäköisesti näyttäneet samalta kuin ensimmäisenkin kanssa.

3.2 Kosteuden raja-arvot päällystystä varten

Mitä tiiviimpi päällystemateriaali on, sitä kuivempi betonirakenteen tulee olla myös syvemmällä. Betonin kuivumisen seuranta on työmaan aikataulun kannalta aina suuressa roolissa. Työmailla ei tapahdu montaakaan asiaa mitkä ovat jatkotöiden kannalta yhtä kriittisessä roolissa. Jos esimerkiksi betonilattian päälle haluttaisiin asentaa lattiamatto, on useimpien lattiamattovalmistajien asettamat raja-arvot 85–90 % RH

arviointisyvyydellä A. Betonin pinnasta 1–3 cm syvyydellä taas sallittu betonin ja/tai tasoitteen sallittu arvo on 75 % RH (taulukko 1).

Taulukko 1. Betonin kosteuden raja-arvot eri lattianpäällysteillä (Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet, 2007).

Lattianpäällyste		Betonin RH (%) arviointisyvyydellä (A) ¹⁾	Betonin ja/tai tasoitteen RH (%) pinnassa ja 1...3 cm:n syvyydellä (0,4xA)
Kelluva lautaparketti ja alusmateriaali		85	75
Alustaan liimattava lautaparketti	Normaali betoni 85	85	75
	Erikoisbetoni w<0,5	90	75
Laminaatti		85	75
Mosaiikkiparketti	Normaali betoni	85	75
	Erikoisbetoni w<0,5	90	75
Muovimatot		85	75
Linoleumi		85	75
Kumimatot		85	75
Tekstiilimatto, tiivis alusta (pvc, kumi, kumilateksisively) tai luonnonmateriaalista tehty		85	75
Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta		90	75
Muovi-, kumi- ja linoleumilaatat		90	75
¹⁾ Arviointisyvyys A on rakenteen paksuudesta riippuva kosteusmittausvyvyys. Kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa mittaussyvyys on 20 % rakenteen paksuudesta ja yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa 40 %. Maksimimittaussyvyys on 70 mm.			

Laattapinnoituksilla raja-arvot voivat olla korkeampia kuin muilla materiaaleilla (taulukko 2). Laattapinnoituksen kanssa lähtökohtana kuitenkin on se, että sen päällysteraja-arvo saa korkeintaan olla 5 % RH:a korkeampi kuin muovimatolla, koska osa betonirakenteen kosteudesta pääsee poistumaan laattojen saumojen kautta. Laattapinnoituksissa kosteus välittömästi lattiapäällysteen alla ei saa kuitenkaan nousta yli 85 % RH (Niemi 2010, 422).

Taulukko 2. Laatoituksen jälkeen tapahtuva betonin kutistuminen erilähtökosteuksilla rakenteen kuivussa kosteuteen 50 % (Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet, 2007).

Keraamiset laatat, kuivat tilat	Betonin RH (%) arviointisyvyydellä A ²⁾
Mahdollinen kutistuma laatoituksen jälkeen ¹⁾ (mm/m)	
0,45... 0,65	95
0,35...0,55	90
0,3... 0,4	85
0,2... 0,3	80
¹⁾ Kutistuma on otettava huomioon joustavien saumojen määrää suunniteltaessa sekä kiinnitysلااستin valinnassa. ²⁾ Arviointisyvyys A on rakenteen paksuudesta riippuva kosteusmittausvyvyys. Kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa mittausvyvyys on 20 % rakenteen paksuudesta ja yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa 40 %. Maksimimittausvyvyys on 70 mm.	

Opinnäytetyön kohteessa lattiapäällystysmateriaalina oli 30 x 30 cm lattialaatta. Lattialaatoitukselle oli määritetty tehtäväksi liikuntasaumot aina viisi kertaa viisi laattaa kooksen laatta-alan alueella. Tässä asiassa tehtiin poikkeus hyväksyttämällä tilaajan kanssa, että laatoituksessa käytettävä kiinnitysلااستi on erityisen joustavaa eikä tällöin tarvitse liikuntasauvoja niin tiheästi.

Kohteessa päällystykseen raja-arvona käytettiin kiinnitysلااستin valmistajan ohje -arvoa eli 85 % RH arviointisyvyydellä A²⁾.

4 TULOSTEN ANALYSOINTI

Etäluettavat mittarit päivittivät tietoa jatkuvasti verkkoon, josta tuloksia voi seurata reaaliajassa. Kyseinen järjestelmä tekee työmaiden kosteuden seurannasta erittäin yksinkertaista ja aikataulullisesti tehokasta työmaan kannalta. Tällä menetelmällä työmaan työnohtajien ei tarvitse erikseen käydä työmaalla suorittamassa mittauksia.

Vertailulukemat etäluettaville saimme porareikämittauksia käyttäen. Työmaalla työnohjo suoritti porareikämittauksilla kosteuden seurantaa. Vertailukelpoiset tulokset tulivat kolmannelta osapuolelta. Työnjohdon suorittamien porareikämittausten tulokset eivät eronneet juurikaan kolmannen osapuolen ammattilaisten saamista tuloksista.

Porareikämittauksia suoritettiin kohteessa jokaisessa valulohkossa. Etäluettavia mittareita kuitenkin oli käytössämme ainoastaan kolme kappaletta. Myös ainoastaan yhdet porareikätulokset otettiin etäluettavan mittarin läheltä. Täten vertailtavaa materiaalia on hyvin rajoitetusti.

4.1 Tuloksia pidemmältä ajanjaksolta

Yksi etäluettavien mittareiden hyödyistä on niiden pitkäikäisyys. Valmistaja lupasi antureiden akkujen kestävän yhdeksästä kymmeneen vuotta. Jos antureita asennettaisiin yhä enemmän valuihin, pystyisi tilaaja tarkkailemaan helposti mahdollisia kosteusvaurioita.

Anturit ilmoittavat betonin suhteellisen kosteuden (taulukko 3) sekä betonin lämpötilan (taulukko 4). Kohteessa ei ollut lattialämmitystä.

Taulukko 3. Etäluettavan anturin mittaama suhteellinen kosteus ajalta 24.2.–2.3.2020.

Päivämäärä	Korkein RH	Alhaisin RH
25.02.2020	84,8 %	84,7 %
26.02.2020	84,8 %	84,7 %
27.02.2020	84,8 %	84,7 %
28.02.2020	84,8 %	84,7 %
29.02.2020	84,8 %	84,7 %
01.03.2020	84,8 %	84,6 %
02.03.2020	84,8 %	84,7 %

Taulukko 4. Etäluettavan anturin mittaama lämpötila ajalta 24.2.–2.3.2020.

Päivämäärä	Korkein lämpötila °C	Alhaisin lämpötila °C
25.02.2020	17,1	17,0
26.02.2020	17,1	17,0
27.02.2020	17,1	17,0
28.02.2020	17,1	16,9
29.02.2020	17,0	16,9
01.03.2020	16,9	16,8
02.03.2020	16,9	16,8

Antureiden antamista tuloksista näkee, että vaikka kyseinen betonilattia oli valettu yhdeksän kuukautta aikaisemmin, on sen kosteus edelleen erittäin korkea. Antureiden mukaan betonilaatta on tällä hetkelläkin hieman kostea, eikä lattian suhteellinen kosteus ole koskaan ollut alhaisempi kuin 84 %.

4.2 Etäluettavien antureiden vertaaminen porareikämittaustuloksiin

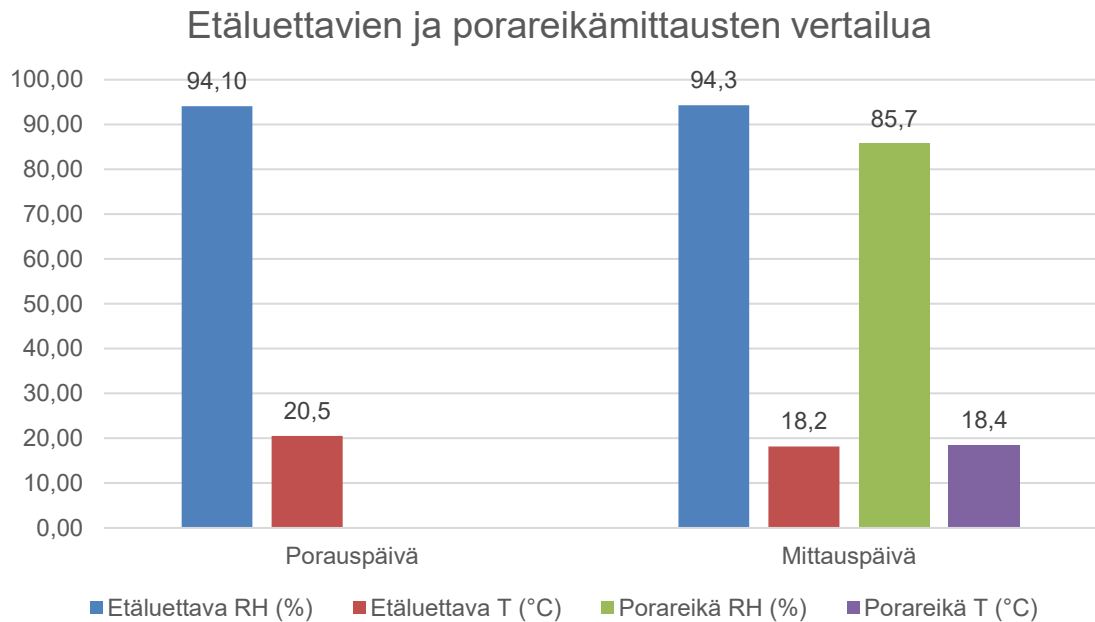
Etäluettavat anturin antoivat työmaalle käsityksen, että lattiaa ei voitu pinnoittaa. Anturit näyttivät betonin suhteellisen kosteuden olevan yli 90 % RH:a, kun lattioiden laatoituksen olisi kuulunut jo alkaa. Lattioiden valamisesta oli tässä vaiheessa kulunut jo hieman yli kuukausi. Työmaalla tehtiin omia mittauksia ja aloimme epäilemään etäluettavien antureiden toimintaa. Tässä vaiheessa työmaalle otettiin rakenteiden kosteuden mittaaja ottamaan tulokset porareikämittausmenetelmällä (kuva 15).



Kuva 15. Porareikämittauksissa käytetty Vaisala SHM40-sarja (SHM40-sarja rakenteiden kosteuden mittaamiseen Datalehti B211187FI-G1/3) (liite 3).

Alhaalla oikealta vasemmalle kuvassa näkyvät mittausputket, mittari ja anturi, mittausputkien tulpat ja mittausputken suoja

Porareikämittaustulosten tultua selvisi, että etäluettavat anturit heittävät noin 10 %- yksikköä yläkanttiin (kuva 16). Syy, miksi porareikämittausten tulokset näyttivät huomattavasti alempia arvoja kuin betoniin upotetut anturit, ei koskaan varmuudella selvinnyt.



Kuva 16. Huomattavia eroja nähtävissä porareikämittauksen ja etäluettavan anturin mittaustulosten välillä.

Betoniin upotettu anturi, jonka luota otettiin myös porareikämittaukset, sijaitsi noin 900 mm:n päässä seinistä ja anturin pohja oli kiinnitetty liittolaattalevyyn. Laitteen pohjasta oli liittolaatan alimpaan pisteeseen matkaa noin 45 mm:n ja pohja on noin 50 mm:n päässä betonivalun pinnasta.

Laitteessa sijaitsevat anturit sijaitsivat noin sentin verran pohjan yläpuolella laitteen kyljessä. Tällöin siis laitteen anturit jäivät hieman liian syvälle verrattuna oikeaan mittaussyvyyteen, mutta kuitenkin niin vähän, ettei tämän pitäisi vaikuttaa mittaustuloksiin radikaalisti.

Porareikämittaustulokset otettiin 40 mm:n syvyydeltä, joka vastasi lähes tulkoon etäluettavien mittareiden antureiden syvyyttä. Kuitenkin valuun upotettujen antureiden mittaustulos otetaan huomattavasti pienemmästä tilavuudesta kuin porareikämittausten tulokset. Porareikämittausten tulos otetaan halkaisijaltaan noin 10 mm:n kokoiselta alueelta. testeissä käytetyt anturit ottavat tuloksensa halkaisijaltaan vain noin 5 mm:n kokoiselta alueelta.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa selvisi, että ainakaan testeissä käytetyt etäluettavat mitta-anturit eivät olleet niin luotettavia kuin perinteisempi porareikämittaus. Etäluettava mittausten menetelmä on vielä varsin uusi keksintö ja kehitystä varmasti tulee tapahtumaan eteenpäin.

Käytöltään etäluettavat anturit ovat huomattavasti helpompia kuin muut menetelmät. Etäluettavilla voidaan välttää lukuisat muuttujat, joita esiintyy työmailla. Esimerkiksi kun mittausta suoritetaan käyttäen porareikämittausta, on aina mahdollista, että mittaputkia vahingossa kolhitaan ja täten tulokset eivät ole luotettavia.

Kosteuden seuraaminen on erittäin helppoa suorittaa etäluettavia käyttäen varsinkin, jos työmaalla on hyvin paljon valettavia pintoja, joiden suhteellinen kosteus tulisi tietää. Esimerkiksi, jos työmaalla on paljon lattiapinta-alaa, joka laatoitetaan, olisi helpompaa ainoastaan asentaa etäluettavat mittalaitteet valun joukkoon ja tarkastella kosteuksia ja lämpötiloja verkosta. Nykypäivänä tämä tehdään edelleen muun muassa porareikämittauksilla, joka on paljon aikaa vievää. Jokaisesta lattiasta tulee ottaa useita mittauksia eri paikoista. Porauksia siis suoritetaan paljon joista syntyy kustannuksia ja aikaa kuluu paljon.

Mahdollisuudet kerätä tarpeeksi dataa tässä tutkimuksessa eri valmistajilta olivat rajalliset. Mahdollisuudet päästä työmaalle suorittamaan testejä ovat hyvin rajallisia. Kaikki riippuu siitä, missä vaiheessa työmaalla mennään. Jotta olisi mahdollista käyttää etäluettavia kosteusantureita hyödyksi työmailla, tulisi työmaalla olla työvaiheena vähintäänkin pintalattiavalu, johon anturit voisi sijoittaa. Valitettavasti tämän tutkimuksen aikana sopivia työmaita ei ollut enempää.

5.1 Etäluettavien mittauslaitteiden epävarmuus

Etäluettaviin antureihin liittyy paljon epävarmuustekijöitä vielä tänä päivänä. Kuitenkin järjestelmän ollessa niinkin kustannustehokasta, voidaan toivoa, että etäluettavat anturit jatkaisivat kehittymistään ja ne voitaisiin vielä jonain päivänä hyväksyä osaksi tarkkoja mittausten menetelmiä.

Betonin sisään valettavien antureiden tämänhetkinen ongelma on, että niitä ei voi asentamisen jälkeen enää tyypillisesti kalibroida. Esimerkiksi Wiiste Oy lupaa antureillensa yhden vuoden mittaisen takuun kalibroinnissa. Antureiden tulosten seurauksessa täytyy siis ottaa huomioon tulosten epävarmuus.

Toinen ongelma betoniin upotettavissa antureissa on, että niiden saaminen oikeaan asennussyvyYTEEN on haastavaa. Anturit tulee tilata etukäteen työmaalle, sillä ne kalibroidaan tehtaalla mittaussyvyYksiin valmiiksi. Useimmiten betonin paksuudesta ei voida olla täysin varmoja ennen betonivalua ja paksuus voi vaihdella rakenteessa paikoittain.

Porareikämittauksissa on aina suositeltavaa ottaa useampi mittaus samasta paikasta, mutta eri syvyyksistä. Tällä tavoin saadaan paljon vertailukelpoista dataa ja mahdolliset poikkeamat on helppo havaita ja niiden syyt ovat yleensä helposti selitettävissä. Tämä sama voitaisiin suorittaa myös betoniin upotettavilla antureilla asentamalla useampi mittari, jotka ovat eri syvyyksiin kalibroituja. Näin ei kuitenkaan tehdä, koska etäluettavien antureiden tuloksia ei hyväksytä tarkoiksi, jolloin ylimääräisistä antureista syntyisi ainoastaan turhia kustannusvaikutuksia työmaille.

5.2 Etäluettavat anturit tulevaisuudessa

Nykypäivänä teknologiassa otetaan valtavia harppauksia eteenpäin hyvin nopeasti. Vaikka etäluettavia betonin kosteusantureita ei vielä tänä päivänä hyväksytä osaksi tarkkoja mittaumenetelmiä, on hyvin mahdollista, että jo esimerkiksi kymmenen vuoden kuluessa tässäkin asiassa tapahtuu muutos.

Etäluettavilla antureilla on paljon hyviä ominaisuuksia. Niillä voidaan tarkkailla rakennuksen olosuhteita helposti myös työmaiden ulkopuolella. Myös tilaajan kannalta tulevaisuutta ajatellen voi olla hyvä sijoittaa muutamia etäluettavia mittareita rakennukseen mahdollisen tulevaisuuden tarkkailun kannalta. Mahdolliset kosteusongelmat ovat helposti havaittavissa antureiden avulla.

Vaikka tulevaisuudessa kehitettäisiinkin täydellinen kosteusanturi, on silti epätodennäköistä, että työmaat pääsisivät luopumaan kokonaisuudessaan kosteusmittaajista. Tämä johtuu siitä, että anturi mittaa juuri nimenomaan kyseisestä paikasta, johon se on sijoitettu. Jos halutaan varmistua täydellisesti betonin kosteudesta, tulee kaikki pinnat vähintäänkin kartoittaa esimerkiksi pintakosteusmittarilla, ja jos jossain paikoissa ilmenee suurempia kosteuksia, otetaan näistä paikoista näytepalat.

Lisäksi mittaaja on kosteuden mittaamiseen erikoistunut asiantuntia. Mittaaja pystyy toimimaan työmaan konsulttina ja avustamaan työmaata monin eri tavoin. Esimerkiksi tulkitsemalla mittauksia ja arvioimaan, onko kuivumisprosessi lähtenyt edistymään toivotulla tavalla.

LÄHTEET

Dry Ice Finland 2019. Kuivajääpuhallus. Viitattu 28.8.2020 www.dryice.fi/kuivajaapuhallus/.

Kivimäki, C. Koistinen, L. 2012. Betonointi. Ratu 0403. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Komonen, J; Merikallio, T. & Niemi, S. 2007. Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Niemi, S. 2010. Betonirakenteiden kosteuden mittaaminen ja onnistunut päällystäminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Olenius, A. 2006. Työmaan laadunvarmistus, tarkastukset ja mittaukset. Ratu 1215-S. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Pesonen, A. 2019. Betonin kuivumisen seuranta etäluettavilla antureilla. Viitattu 26.8.2020 www.vertia.fi/betonin-kuivumisen-seuranta-etaluettavilla-antureilla/.

RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 05-10984. 2010. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Timonen-Nissi, H. 2019. Betonin kuivuminen. Helsinki: Rudus Oy.

Vaisala Oyj. 2015. Rakenteiden kosteusmittalaitepaketti Vaisala SHM40 KÄYTTÖOHJE. M211423FI-C. Helsinki: Vaisala Oyj.

Vaisala Oyj. 2020. SHM40-sarja rakenteiden kosteuden mittaamiseen Datalehti. B211187FI-G1/3 Helsinki: Vaisala Oyj.

Wiiste Oy. 2016. Wiiste SolidRH -käyttöohje. Tampere: Wiiste Oy

Wiiste Oy. 2019a. Wiiste SH1 -tuotekortti. Tampere: Wiiste Oy

Wiiste Oy. 2019b. Wiiste SH1 Wan -tuotekortti. Tampere: Wiiste Oy.

Wiiste Oy. 2019c. Wiiste SOLIDRH -tuotekortti. Tampere: Wiiste Oy.

Liite 1. Wiiste SH1-WAN tuotekortti

WIISTE

TUOTEKORTTI
Tammikuu 2019
1(2)

SH1-WAN INTERNETIIN INTEGROITU KOSTEUSANTURI

Wiiste
IoT

Wiisteen SH1-WAN on suomalainen uuden sukupolven anturi, jonka käyttötarkoitus on betonin kosteuden ja lämpötilan mittaaminen. Anturi asennetaan betoniin valun aikana. SH1-WAN lähettää mittaustiedot itsenäisesti internetiin, mikä mahdollistaa kosteustilanteen reaaliaikaisen etävalvonnan työmaan ulkopuolelta.

Työmaaolosuhteeseen kehitetyn anturin ominaisuuksiin kuuluvat automaattiset hälytykset lämpötilalle, suhteelliselle kosteudelle ja pariston varaukselle. SH1-WAN mahdollistaa rakennuksen käytönaikaisen automaattisen seurannan pariston kestoajan (jopa 10 vuotta). Sen jälkeen tiedot ovat luettavissa käsilukijalla ja siirrettävissä edelleen pilvipalvelu Reliaan.

Tarkka W-Tip -mittapää

SH1-WAN sisältää uudenlaisen W-Tip -mittapäärakenteen. Merkittävästi nopeutuneen tasaantumisaikansa ansiosta anturi mahdollistaa tarkan betonin kosteuden mittaamisen heti valun jälkeen, myös vaihtelevassa lämpötilassa.

Tulosten luku selaimella

Anturi lähettää kosteus- ja lämpötilatiedot reaaliajassa pilvipalvelu Reliaan. Selainpohjaisen, eri päätelaitteille skaalautuvan Relian muita ominaisuuksia ovat tietojen arkistointi, raportointi, jakaminen ja mittausten suunnittelu pohjakuvien päälle.

Mittaussyvyys

Anturit toimitetaan valmiiksi mitoitettuna ja mittaussyvyys ohjelmoituna anturin muistiin. Lisätietoa oikean mittaussyvyyden valinnasta mm. RT ohjekortissa RT 14-10984 "Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen".

Kalibrointi

Kiinteästi asennettavat SolidRH SH-sarjan anturit toimitetaan tehdaskalibroituina. Ohjeiden mukaisesti säilytettyinä ja asennettuna kalibrointi on voimassa yhden vuoden. Antureita ei tyypillisesti kalibroida enää asennuksen jälkeen, jolloin ajan myötä tapahtuva mittaustarkkuuden heikentyminen (kts. tekniset tiedot) on huomioitava mittaustuloksia tarkastellessa.



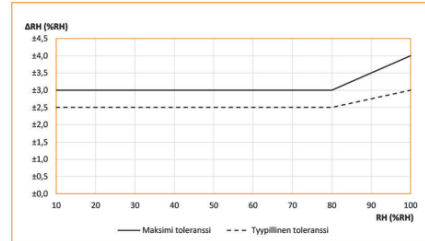
SH1-WAN – OMINAISUUKSIA

- Betoniin kiinteästi valun aikana asennettava
- Langaton etäluku (LoRaWAN)
- Langaton lähiluku (SolidRH RD1)
- Pariston toiminta-aika jopa 10 vuotta
- Nopea Wiiste W-Tip -mittapää
- Mittaussyvyys 15 - 70 mm

TEKNISEET TIEDOT

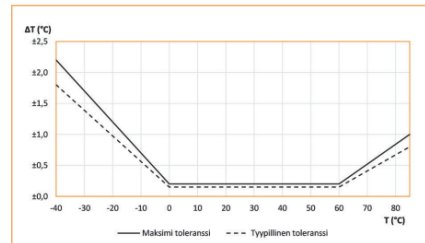
Kosteuden mittaus

Mitta-alue	10 ... 100 %RH
Mittaustarkkuus	(kts. kuva 1) $\pm 2,5$ %RH (10 ... 80 %RH)
Toistettavuus	$\pm 0,2$ %RH
Hystereesi	$< \pm 1$ %RH
Resoluutio	0,1 %RH
Lineaarisuusvirhe	$< \pm 1$ %RH
Vasteaika (T10-90%)	< 20 s
Ryömintä	$< 0,5$ %RH/a
Anturityyppi	Kapasiitiivinen polymeeri



Lämpötilan mittaus

Mitta-alue	-40 ... 85 °C
Mittaustarkkuus	(kts. kuva 2) $\pm 0,2$ °C (0 ... 60 °C)
Toistettavuus	$\pm 0,1$ °C
Resoluutio	0,1 °C
Vasteaika (T10-90%)	< 10 min
Ryömintä	$< 0,05$ °C/a
Anturityyppi	PTAT

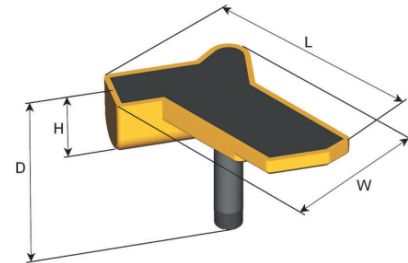


Sähköiset ominaisuudet

Sisäinen virtalähde	3,6 V / 1,2 Ah / 4,32 Wh (Li-SOCl2)
Verkkoyhteys	LoRaWAN
Lähtetimen teho	25 mW / 14 dBm

Mekaaniset ominaisuudet

Ulkomitat	(kts. kuva 3)
L	86 mm
W	55 mm
H	23 mm
D	≥ 15 mm
Paino	38 ... 50 g (D = 15 ... 70 mm)
Tiivistysluokka	IP68



Käyttö ja varastointi

Käyttölämpötila-alue	-40 ... 85 °C
Varastointiolosuhteet	20 ... 30 °C / 40 ... 60 %RH

Säilytettävä auringonvalolta, pölyltä, kemikaaleilta ja niiden höyryiltä suojattuna.



VALMISTUS, MYYNTI JA NEUVONTA

WIISTE OY
 Tiiliruukinkatu 22
 33200 TAMPERE

Puhelin 050 442 3232
 info@wiiste.com
 www.wiiste.com

Liite 2. Wiiste SH1 tuotekortti

WIISTE

TUOTEKORTTI
4 / 2019
1(2)

SH1 TARKKA JA NOPEA KOSTEUSANTURI

Wiiste
SOLIDRH

Wiisteen SH1 on Suomessa suunniteltu ja valmistettu anturi, jonka käyttötarkoitus on betonin kosteuden ja lämpötilan mittaaminen. SH1 sisältää uudenlaisen W-Tip -mittapäärakenteen. Merkittävästi nopeutuneen tasaantumisaikansa ansiosta anturi mahdollistaa tarkan betonin kosteuden mittaamisen heti valun jälkeen, myös vaihtelevassa lämpötilassa.

Työmaaoolosuhteisiin kehitetty SH1 mahdollistaa työmaavaiheen lisäksi kosteudenseurannan koko rakennuksen elinkaaren ajan. Tiedot luetaan ja tallennetaan käsilukijalla (Wiiste SolidRH RD1).

Raportointi ja tietojen jako pilvipalvelussa

Tiedot on helppo siirtää käsilukijan usb-liitännän kautta tietokoneella pilvipalvelu Reliaan. Selainpohjaisen, eri päätelaitteille skaalautuvan Relian muita ominaisuuksia ovat tietojen arkistointi, raportointi, jakaminen ja mittausten suunnittelu pohjakuvien päälle.

Mittaussyvyys

Anturit toimitetaan valmiiksi mitoitettuna ja mittaussyvyys ohjelmoituna anturin muistiin. Lisätietoa oikean mittaussyvyyden valinnasta mm. RT ohjekortissa RT 14-10984 "Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen".

Kalibrointi

Kiinteästi asennettavat SolidRH SH-sarjan anturit toimitetaan tehdaskalibroituina. Ohjeiden mukaisesti säilytettynä ja asennettuna kalibrointi on voimassa yhden vuoden. Antureita ei tyypillisesti kalibroida enää asennuksen jälkeen, jolloin ajan myötä tapahtuva mittaus-tarkkuuden heikentyminen (kts. tekniset tiedot) on huomioitava mittaustuloksia tarkastellessa.



SH1-OMINAISUUKSIA

- Betoniin kiinteästi valun aikana asennettava
- Langaton lähiluku (SolidRH RD1)
- Nopea Wiiste W-Tip -mittapää
- Mittaussyvyys 15 - 70 mm

TEKNISET TIEDOT

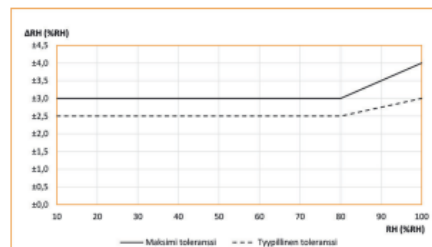
Kosteuden mittaus

Mitta-alue ⁽¹⁾	10 ... 100 %RH
Mittaustarkkuus ⁽²⁾ (kts.kuva 1)	±2,5 %RH (10 ... 80 %RH)
Toistettavuus ⁽³⁾	±0,2 %RH
Hystereesi	< ±1 %RH
Resoluutio	0,1 %RH
Lineaarisuusvirhe	< ±1 %RH
Vasteaika (T10-90%)	< 20 s
Ryömintä	< 0,5 %RH/a
Anturityyppi	Kapasiitiivinen polymeeri

(1) Maksimi kastepiste on rajoitettu 80°C.

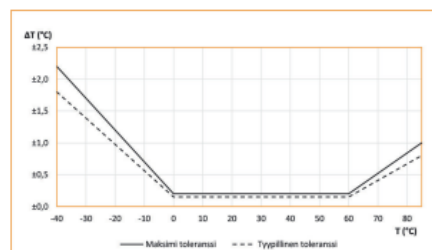
(2) Tarkkuus testattu 23°C nousevan suhteellisen kosteuden suuntaan. Tarkkuudessa ei ole huomioitu lineaarisuusvirhettä tai hystereesiä.

(3) Toistettavuus on mitattu samaan suuntaan, eikä ota huomioon hystereesiä.



Lämpötilan mittaus

Mitta-alue	-40 ... 85 °C
Mittaustarkkuus (kts. kuva 2)	±0,2 °C (0 ... 60 °C)
Toistettavuus	±0,1 °C
Resoluutio	0,1 °C
Vasteaika (T10-90%)	< 10 min
Ryömintä	< 0,05 °C/a
Anturityyppi	PTAT



Sähköiset ominaisuudet

Lähilukuetäisyys	0 ... 40 mm
------------------	-------------

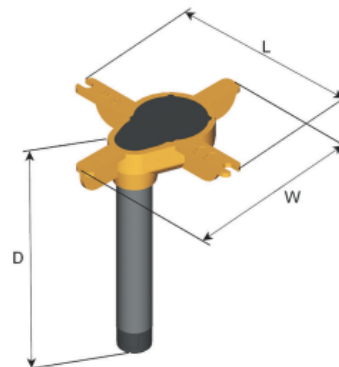
Mekaaniset ominaisuudet

Ulkomitat (kts.kuva 3)	
L	60 mm
W	60 mm
D	≥ 15 mm
Paino	7 ... 15 g (D = 15 ... 70 mm)
Tiivistysluokka	IP68

Käyttö ja varastointi

Käyttölämpötila-alue	-40 ... 85 °C
Varastointiolosuhteet	20 ... 30 °C / 40 ... 60 %RH

Säilytettävä auringonvalolta, pölyltä, kemikaaleilta ja niiden höyryiltä suojattuna.



VALMISTUS, MYYNTI JA NEUVONTA

WIISTE OY
 Tiiliruukinkatu 22
 33200 TAMPERE

Puhelin 050 442 3232
 info@wiiste.com
 www.wiiste.com

Liite 3. Vaisala SHM40-sarja tuotekortti

VAISALA

SHM40-sarja rakenteiden kosteuden mittaamiseen



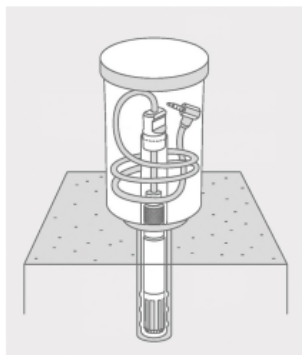
Ominaisuudet

- Täysin keskenään vaihdettavissa olevat mittapää
- Tarkat mittaustiedot numero-, tilasto- tai kuvaajanäkymässä
- Täyttää ASTM-standardin F2170 vaatimukset
- IP65-luokiteltu mittapää ja kotelo
- SHM40-sarjan vakiosisältö:
 - HM40-näyttölaite ja sovitin
 - 1 suhteellisen kosteuden ja läm-pötilan mittapää HMP40S ja kaapeli
 - 12 muoviholkkia
 - 12 kumitulppaa
 - 3 kannellista suojusta
 - Jäljitettävä kalibrointitodistus
 - Säänkestävä kantolaukku olkahihnalla

Rakenteiden kosteuden mittaamiseen tarkoitettu Vaisala HUMICAP® SHM40 -sarja tarjoaa helpon ja luotettavan ratkaisun kosteuden mittaamiseen betonirakenteista ja muista rakenteista.

Kosteuden mittaaminen pinnan alta

Betoni kuivuu epätasaisesti ja on usein kuivempaa pinnalta. Siksi on tärkeää tehdä mittaus pinnan alapuolelta. Pinnan alapuolisesta kosteudesta saadaan hankittua tietoa porareikämenetelmällä. Siinä kosteusmittapää jätetään porareikään, kunnes reiän kosteus tasaantuu ja kosteuden luotettava mittaaminen on mahdollista.



Betoniin tehty porareikä, johon on asetettu HMP40S-mittapää.

SHM40 kattaa koko porareikämittauksen

Rakenteiden kosteuden mittaamiseen tarkoitettu Vaisala HUMICAP® SHM40 on täydellinen ratkaisu porareikämittauksiin. Aloitussarja koostuu HMP40S-

mittapäästä, HM40-näyttölaitteesta, porareikämittaukseen käytettävistä lisätarvikkeista sekä säänkestävästä kotelosta, joka on suunniteltu kestämään rakennustyömaiden kosteita ja vaativia olosuhteita.

SHM40-sarjan lisätarvikkeiden avulla voidaan valmistella kosteuden mittaukseen käytettävä reikä tuoreeseen betoniin. Valmiiksi muotoillut reiät poistavat poraustarpeen ja samalla betoniin upotettujen lämmityselementtien tai putkien vaurioittamisen riskin.

SHM40-sarja rakenteellisen kosteuden mittaamiseen

Helppo mittaus useilla HMP40S-mittapäillä ja pikaliit-timillä

HMP40S-mittapäät voidaan vaihtaa keskenään. Mittapäät on helppo kytkeä HM40-näyttölaitteeseen napsausliittimillä, joiden ansiosta yhdessä näyttölaitteessa voidaan kätevästi käyttää useita mittapäitä. Mittaustiedot voidaan näyttää numero-, tilasto-, tai kuvaajamuodossa.



Liittimen kiinnitys HM40-näyttölaitteeseen mittaustulosten lukemista varten.

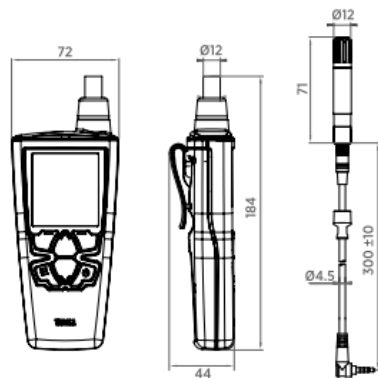
Tekniset tiedot

HMP40S-mittapään suorituskyky

Suhteellinen kosteus	
Mittausalue	0–100 %RH
Tarkkuus (ml. epälineaarisuus, hystereesi ja toistettavuus) lämpötila-alueella:	
0 ... +40 °C	0–90 %RH: ±1,5 %RH 90–100 %RH: ±2,5 %RH
–40 ... 0 °C ja +40 ... +80 °C	0–90 %RH: ±3,0 %RH 90–100 %RH: ±4,0 %RH
Tehdaskalibroinnin epävarmuus +20 °C:ssa:	
0–90 %RH	±1,1 %RH
90–100 %RH	±1,8 %RH
Kosteusanturi	HUMICAP® 180R
Stabiilius	±2 %RH 2 vuoden aikana
Lämpötila	
Mittausalue	–40 ... +80 °C
Tarkkuus lämpötila-alueella:	
0 ... +40 °C	±0,2 °C
–40 ... 0 °C, +40 ... +80 °C	±0,4 °C
Lämpötila-anturi	PT1000 RTD, luokka F0.1 IEC 60751

HMP40S-mittapään mekaaniset tiedot

Mittapään paino vakiokaapella käytössä	31 g
Mittapään kotelo materiaali	Ruostumaton teräs
Mittapään suodatin ja anturin suojaus	Kalvosuodin kromilla päällystettyä ABS-muovia
Kaapelin materiaali	Johdin: PVC, vaippa: PU
Kaapeliliitin	TRRS, uros, 3,5 mm
Mittapään kotelo IP-luokka	IP65
Tarvittava porareiän halkaisija	16 mm
Mittausvyövyys vakiovarustuksella	min. 30 mm, maks. 90 mm



Mitat millimetreinä

Käyttöympäristö

Mittapään toimintalämpötila-alue	–40 ... +80 °C
Näyttölaitteen toimintalämpötila-alue	–10 ... +60 °C
Varastointilämpötila-alue	–30 ... +70 °C

VAISALA

www.vaisala.com

Julkaisija: Vaisala | B211187FI-G © Vaisala Oyj 2020

Kaikki oikeudet pidätetään. Kaikki logot ja tuotenimet ovat Vaisalan tai sen kumppanien tavaramerkkejä. Tämän asiakirjan sisältämien tietojen jäljentäminen, siirtäminen, jakelu tai tallentaminen on ehdottomasti kielletty. Kaikkia tietoja – myös teknisiä – voidaan muuttaa ilman erillistä ilmoitusta.

HM40-näyttölaitteen mekaaniset tiedot

Paino	
Näyttölaitte ja sovitin	240 g
SHM40:n kotelo ja vakiosisältö	3,7 kg
Näyttölaitteen materiaalit	PC-ABS-seos, näyttö akryylimuovia
Näyttölaitteen sovitimen materiaalit	Nikkelpinnoitettu messinki muovisella päällysteellä
Näyttölaitteen kotelon IP-luokka	IP54
Mekaaninen pudotusiskunkestävyys	1,0 m ilman mittapäättä

HM40-näyttölaitteen yleiset tiedot

Käynnistysaika	< 3 s
Alkaliparistot	2 × AA, 1,5 V (LR6)
Käyttöaika (alkaliparistot)	Tyypillisesti 100 tuntia (ilman taustavaloa)
Lasketut muuttujat	Td, Tw, a, x, h
Valikkokielet	englanti, saksa, ranska, suomi, espanja, ruotsi, kiina (yksinkertaistettu), venäjä, japani
Näyttö	LCD (140 × 160 pikseliä)
Sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC)	EN 61326-1, kannettava laite

Varaosat ja lisätarvikkeet

HM40-näyttölaitte, sovitin ja kaapelilla varustettu mittapää	HM40S
Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittapää sekä kaapeli	HMP40S
HM40-näyttölaitte ja sovitin	HM40SINDI
Pikaliitännäsovitin	HM40SADAPTER
Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittapään kaapeli	HMP40SCABLE
Pitkä kaapeli (2,7 m) suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittapääle	HMP40SCABLE2
Muoviputkisarja (12 kpl)	19266HM
Muoviputkisarja, pitkät (200 mm) putket (12 kpl)	245789
Kumitulpat (12 kpl)	233976
Kannellinen suoja (3 kpl)	19268HM
Säänkestävä kantolaukku SHM40-sarjalle	CASEFORSHM40SP
USB-laturi HM40-näyttölaitteen paristoille	229249SP
Muovinen ritilä- ja kalvosuodin HMP40S-mittapääle	DRW010525SP
Lisätarvikkeet kostealle betonille	
Muovilaippasarja (12 kpl)	26529HM
Pitkä kumitulppa kostealle betonille (12 kpl)	26530HM

