

Janne Männikkö

DIGITALISAATION HYÖDYNTÄMINEN BETONIVALUN KOSTEUDEN VALVONNASSA

DIGITALISAATION HYÖDYNTÄMINEN BETONIVALUN KOSTEUDEN VALVONNASSA

Janne Männikkö
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, tuotantotekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Janne Männikkö

Opinnäytetyön nimi: Digitalisaation hyödyntäminen betonivalun kosteuden valvonnassa

Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017 Sivumäärä: 37 + 3 liitettä

Betonin kuivuminen on rakennustyömaan tärkeimpiä seurattavia mittauksia. Mikäli betonivalu pinnoitetaan liian aikaisessa vaiheessa, ovat kosteusvaurion riskit mittavat. Useissa koulurakennuksissa, jotka ovat valmistuneet 2010-luvun alussa, on raportoitu sisäilmaongelmia, jotka ovat aiheutuneet muun muassa betonin liian aikaisesta pinnoittamisesta.

Työn aiheena oli vertailla markkinoilla tällä hetkellä olevia vaihtoehtoja betonivalun elektroniseen kosteudenmittaukseen. Työn tilaaja oli YIT Rakennus Oy. Tilaajaa kiinnostivat erityisesti jo valuun asennettavat, betonirakenteen sisään jäävät mittalaitteet, joita pystyisi hyödyntämään myös rakennusajan jälkeen. Työn tavoitteena oli kerätä käyttökokemuksia antureista.

Käyttökokemuksia kerättiin pääasiassa sähköpostihaastatteluilla, joiden pohjalta päädyttiin keskittymään Wiiste Oy:n mitta-anturiin. YIT:n Komentajan talon työmaalla Oulussa koemitattiin Wiiste Oy:n SH1-antureilla pintalattiaavalujen kosteuspitoisuutta.

Työmaalla todettiin, että SH1-antureiden sijoitusten suunnittelu Relia-palvelussa ja asentaminen valuun on todella yksinkertaista. Antureiden sijaintiin pitää kiinnittää erityisen paljon huomiota, jos kohteessa on lämmitettyjä valualueita. SH1-antureilla saatiin luotua kuivumisen trendikäyrä, josta oli helppo havaita, kuivuuko betonivalu vai täytyykö kuivumisolosuhteisiin tehdä muutoksia.

Työmaan aikataulun muuttuminen jätti opinnäytetyöhön suunnitellut mittaukset vajavaisiksi. Vaikka työmaan kosteudenvälvontaan valittuja Wiiste Oy:n SH1-antureita ehdittiin asentaa opinnäytetyön puitteissa vain kaksi kappaletta, saatiin jo näiden asentamisesta käyttökelpoista tietoa anturien paikkojen suunnitteluun.

Asiasanat: betoni, kosteus, kuivuminen, kosteusmittaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building Engineering

Author: Janne Männikkö

Title of thesis: Use of Digitalization in Moisture Measurement of Cast-in-Situ Concrete

Supervisor: Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017

Pages: 37 + 3 appendices

This thesis was commissioned by YIT Construction Ltd. The objective of this thesis was to gather information about and collect user's experience of moisture monitoring probes available on the market. The commissioner was especially interested in probes, which can be installed in the concrete cast and remain in the structure permanently.

Understanding and knowing the moisture content of the cast-in-situ concrete is one of the most important measurements of the construction site. In order to avoid moisture damage in the structure, the moisture content of the concrete cast must be known. Synchronizing other tasks dependent on the completion of the concrete drying, such as the coating process, is difficult. Thus, the demand and efficiency of using probes is seen.

The data for the study was collected primarily by an e-mail questionnaire. Together with the commissioner, it was decided to focus mainly on the SH-1 probe, manufactured by Wiiste Ltd. Later, the SH-1 probe was tested on the construction site of Komentajan talo, where YIT was the main contractor.

Planning the installation location of the moisture monitoring sensors was convenient with the use of Relia-software. Moisture monitoring, using the SH-1 probe, was simple and the probe was straightforward to install.

Due to a change in schedule of the construction site, the end result of this thesis remains open. Comparative monitoring with a borehole moisture monitoring probe could not be examined.

Keywords: Cast-in-situ, concrete, moisture monitoring, moisture measurements

ALKULAUSE

Kiitos YIT:n Ville Sivuselle kiinnostavasta aiheesta ja tämän työn mahdollistamisesta. Kiitos tuesta Lauralle, ystäväilleni ja perheelleni.

Oulu, 8.4.17

Janne Männikkö

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	7
2 . BETONIN VALMISTUS	8
2.1 Betonin valaminen	10
3 BETONIN KUIVUMINEN	12
3.1 Betonin kosteus	12
3.2 Betonin kuivuminen	13
3.3 Betonin kosteuden mittaaminen	14
3.3.1 Porareikämittaus	16
3.3.2 Näytepalamittaus	17
3.3.3 Mittauksen luotettavuus	18
4 BETONIIN ASENNETTAVAT KOSTEUDENMITTALAITTEET	20
4.1 RF SensIT CMM	20
4.2 Wiiste Oy SolidRH	21
4.3 IoLiving – Vaisala HMP110	23
5 MITTAUKSET TYÖMAALLA	24
5.1 Delta-palkki	24
5.2 Relia-palvelu	25
5.3 Kosteuden mittaus maanvaraisesta laatasta	28
5.4 Kosteuden mittaus delta-palkeista	29
5.5 Kosteuden mittaus pintabetonilattioista	32
6 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	36
LIITTEET	38

1 JOHDANTO

Betonin kuivuminen on yksi tärkeimmistä rakennustyömaan aikataulun kriittisen polun tekijöistä. Betonin kuivuminen rytmittää monia työvaiheita. Mikäli betonirakenteen vaatimaa kuivumisaikaa ei huomioida aikataulusuunnittelussa, voi seurauksena olla hankkeen myöhästyminen tai liian kostean betonin pinnoittaminen, josta voi seurata kosteusvaurio ja sisäilmaongelmia.

Betonin oikea-aikainen pinnoittaminen estää myöhemmin ilmenevät rakennusvirheet, esimerkiksi kosteusvauriot ja niistä aiheutuvat ongelmat. Jotta pinnoittaminen saadaan tehtyä oikeaan aikaan, on betonin kosteuspitoisuus tiedettävä tarkasti. Perinteiset porareikä- ja näytepalamenetelmät ovat tarkkoja, mutta myös hitaita ja kalliita.

Työn tavoitteena on tutkia reaaliaikaisten mitta-anturien toimintaa ja luotettavuutta. Tilaajaa kiinnostavat erityisesti rakenteen sisään jäävät mitta-anturit, jotka ovat hyödynnettävissä rakennusajan jälkeenkin.

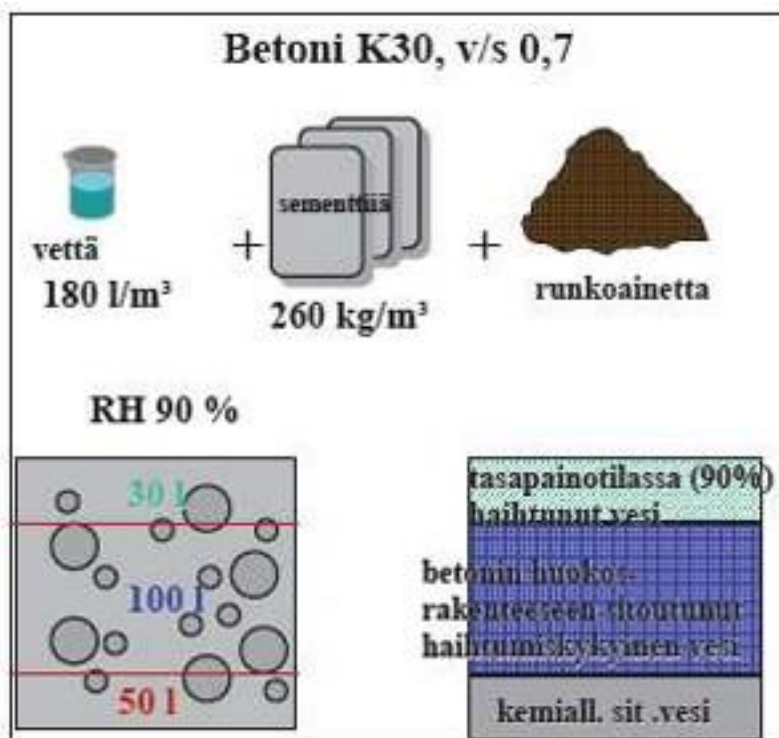
Työssä tarkastellaan betoniin jätettävien antureiden toimintaa sekä selvitetään, voiko niillä seurata betonin kosteutta reaaliajassa luotettavasti. Sähköpostihaastatteluilla saatujen vastausten ja YIT:n Oulun konttorilla käydyn palaverin perusteella työssä tutustutaan tarkemmin vain Wiiste Oy:n mitta-antureihin. Wiiste Oy:n anturi on ainoa tässä työssä tarkastelluista antureista, mikä jää kokonaan betonirakenteen sisään rakennuksen valmistuttua ja on vielä käytettävissä rakennusajan jälkeiseen kosteudenseurantaan.

Työn aluksi perehdytään betonin valmistukseen, valamiseen sekä kuivumiseen. Betonin kuivumisen ymmärtämiseksi täytyy tietää sen koostumuksesta ja reaktioista veden kanssa.

Työn tilaaja on YIT Rakennus Oy. YIT on Suomen suurin asuntorakentaja, jolla on yli 100 vuoden kokemus. YIT toimii sekä asunto- että toimitilarakentamisessa, kuten myös infrastruktuurin rakentamisessa. YIT:n toiminta-alue on laaja, se kattaa Suomen, Venäjän, Baltian maat, Tšekin, Slovakian ja Puolan.

2 . BETONIN VALMISTUS

Betonin valmistukseen tarvitaan sementtiä, vettä ja kiviainesta. (Kuva 1.) Sementtiliima eli sementtikivi sitoo kiviaineksen yhteen muodostaen keinotekoisia kiveä. Betonin työstettävyyden tai kovettuneen betonin ominaisuuksien parantamiseksi betonissa voidaan käyttää lisä- ja seosaineita. Betonin ”reseptin” laatimista kutsutaan suhteitukseksi. (1, linkit Tietoa betonista -> Tietoa betonista pienrakentajalle ja rautakauppiaille -> Betonin osa-aineet; 2, s. 31.)



Kuva 1. Betonin valmistus (4, linkit Toteutus -> Kosteudenhallinta)

Rakennusluvan vaativissa kantavissa sekä säälle alttiissa rakenteissa on käytettävä CE-merkittyä sementtiä. Sementin valinnalla voidaan vaikuttaa niin betonin työstettävyyteen kuin valmiin betonin laatuun ja ominaisuuksiin. (2, s. 39; 3.)

Betonin valmistuksessa käytettävän veden täytyy olla puhdasta, yleensä juomakelpoista vettä. Kaikenlaiset veden epäpuhtaudet (humus, kemikaalit, rasvat ja

öljyt, jopa sokeri) heikentävät betonikiven muodostumiseen vaadittuja reaktioita.
(3.)

Betonin runkoaineena voidaan käyttää periaatteessa mitä vain riittävän tiivistä ja lujaa rakeista materiaalia, mitä on saatavilla hyvin ja riittävän paljon. Kiviaines ei saa osallistua betonikiven muodostumisreaktioihin. Kiviaines voi olla joko luonnosta sellaisenaan otettua tai murskattua. Betonin valmistamiseen voidaan käyttää myös keinotekoisia aineita, kuten masuunikuonaa tai kevytsoraa. Runkoaineen täytyy olla puhdistettu eloperäisestä aineesta ja humuksesta, sillä ne hidastavat tai estävät sementin kovettumista. (2, s. 31; 3.)

Pienellä vesi/sementti-suhteella saavutetaan tiivis ja luja betoni. Käytettäessä suurirakeista kiviainesta tarvitaan vähemmän sementtiä, jolloin betonin sitoutumisnopeus on suurempi ja sen kovettuminen nopeampaa. Toisaalta, tiiviin ja lujan betonin kosteuspitoisuus laskee hitaammin. (3; 9, s. 34.)

Betonin teknisiä ominaisuuksia, kuten sitoutumista tai kovettumista, voidaan säädellä suhteituksen lisäksi lisäaineilla. Näin pyritään myös parantamaan betonin taloudellista kilpailukykyä. Korkealujuusbetonin tai pakkasenkestävän betonin valmistaminen ilman lisäaineita on lähes mahdotonta. Lisäaineiden annostuksen ja yhteistoiminnan vaikutukset betonimassaan on tiedettävä ennen niiden käyttöä, sillä niiden toiminta on riippuvainen hyvin monesta seikasta, esim. sementtilaadusta, runkoaineen rakeisuudesta tai annostusjärjestyksestä. (1, linkit Tietoa betonista -> Tietoa betonista suunnittelijalle -> Seosaineet sementissä; 2, s. 63.)

Notkistavilla lisäaineilla voidaan pienentää vesi-sementtisuhdetta ja parantaa betonimassan notkeutta ja työstettävyyttä. Notkistimet jaetaan ryhmiin niiden mahdollistaman veden vähennyksen mukaan. Notkistimilla voidaan vähentää ~5 – 15 % ja tehonotkistimilla ~12 – 30 % käytettävästä vesimäärästä betonin muokkautuvuuden huonontumatta. Mikäli ainetta käytetään ilman vesimäärän vähennystä, se voi toimia nesteyttimenä, ja sitä lisätään vain parantamaan työstettävyyttä. Notkistimien vaikutusajat vaihtelevat 15 minuutista useisiin tunteihin. Pitkävaikutteisten notkistimien käyttö lisää halkeilu- ja erottumisriskiä. (2, s. 65; 3.)

Huokostimien tehtävä on nostaa betonin ilmamäärää ~4 – 8 %:iin normaalista ~1 – 2 %:sta. Ilmamäärän nostolla pyritään luomaan betoniin suojahuokosia, jotka estävät betonin rikkoontumisen sen sisältävän veden jäätyessä ja näin ollen lisäävät betonin pakkasenkestävyyttä. Huokostimien käytöllä voidaan parantaa betonimassan muokkautuvuutta lisäämällä sen notkeutta ja parantaa sen kuljetuskestävyyttä, mutta toisaalta huokostimen käyttö alentaa betonin loppulujuutta. (2, s. 65; 3.)

2.1 Betonin valaminen

Betonimassan suhteitus, ja sen mukana ominaisuudet, täytyy määrittää valukohteen ja haluttujen ominaisuuksien tai koostumuksen mukaan. Tärkeimpinä ovat lujuus, säilyvyys ja työstettävyys. (2, s. 69.)

Betonirakenteet jakautuvat raudoitettuihin ja raudoittamattomiin rakenteisiin. Raudoittamattomina rakenteina voidaan tehdä esim. omakotitalon autotallin lattia. Raudoitetun rakenteen kestävyys perustuu betonin ja raudoitteen ”yhteistointaan”: betoni vastaanottaa puristus- ja raudoite vetojännitykset. (3.)

Betonimassa siirretään työmaalle betoniasemalta pyörintäsäiliöautolla. Työmaalla betonimassa voidaan siirtää esim. pumppaamalla, nostureilla tai hihnakuljettimilla. (3.)

Muottien täytyy olla puhtaat ja riittävästi tuetut sekä raudoituksien pitää olla oikeilla paikoilla suojaetäisyydet huomioiden. Muottia täytettäessä massa saa pudota enintään 1,0 – 1,5 m korkeudelta, jotta siinä ei tapahdu erottumista. Massa ei myöskään saa osua raudoituksiin tai muottipintoihin pudotessaan. Massan vaakasiirtoja täytyy välttää. Massan tärytys pitää tapahtua oikeaoppisesti, jotta se täyttää muotin tasaisesti ja siitä tulee riittävän tiivistä. (3.)

Heti betonimassan valun alkuvaiheessa siinä tapahtuu plastisia muodonmuutoksia, kutistumaa ja painumaa. Plastinen kutistuma johtuu massan pintaan nousseen veden liian nopeasta haihtumisesta eli pinnan liian nopeasta kuivumi-

sesta. Jos betonimassan partikkelit eivät pääse laskeutumaan alaspäin sitä mukaan, kun vettä haihtuu massan pinnasta, syntyy pintaan kutistumisesta johtuvia halkeamia. Plastinen painuma johtuu painavampien runkoainesten ja sementin painovoimaisesta laskeutumisesta ja veden nousemisesta massan pintaan. Jos plastinen painuma ei pääse tapahtumaan, esim. raudoitustangon kohdalla, syntyy sille kohdalle halkeama. (2, s. 72; 3.)

Plastisten muodonmuutosten aiheuttamia halkeamia voidaan estää pitämällä valun nousunopeus kohtuullisena, tiivistämällä betoni huolellisesti ja jälkitäryksellä. (4.)

3 BETONIN KUIVUMINEN

3.1 Betonin kosteus

Betonilla on monta eri kosteuslähdettä. Se sisältää itsessään kosteutta riippuen siihen käytetystä vesimäärästä, mutta se voi myös huokoisena materiaalina imeä kosteutta ympäröivästä ilmasta tai rakenteista. Kuvassa 2 on esitetty betonin eri kosteudenlähteet rakennuksessa. (5, linkit Toteutus -> Kosteudenhallinta.)



Kuva 2. Betonin kosteuslähteet (5, linkit Toteutus -> Kosteudenhallinta)

Vesi on todella tärkeässä roolissa betonin kovettumisreaktiossa. Vettä tarvitaan sementtikiven muodostumisreaktioon sekä betonin riittävän notkeuden takaamiseksi. Saatavilla oleva veden määrä määrittää sementtikiven hydrataatioasteen, eli kemiallisesti sitoutuneen veden määrän. 25 %:n vesimäärä sementin painosta riittää teoreettiseen täydelliseen hydrataatioreaktioon. Täydelliseen

hydratoitumiseen ei kuitenkaan kenttäoloissa ole mahdollista päästä, vaan kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on todellisuudessa pienempi. (2, s. 53; 10, s. 33.)

Betonin valmistamiseen käytetystä vedestä osa hydratoituu sementin kanssa muodostaen sementtiliimaa. Hydratoitunut vesi ei pysty poistumaan rakenteesta. Hydrataatioreaktio alkaa tuntien sisällä betonin valmistamisesta. Sen nopeus on alussa suurin, ja hidastuu ajan mittaan. Normaalilla sementillä reaktio on tapahtunut suurimmaksi osaksi 15 vuorokauden kuluessa, jonka jälkeen se jatkuu hyvin hitaasti. Reaktiossa kuluva vettä kuvataan sitoutumiskuivumisella. (10, s. 33; 13, s. 13.)

Kemiallisesti sitoutuneen veden lisäksi betonin huokosrakenteeseen sitoutuu vettä fysikaalisesti. Tämä vesi on vapaata, haihtumiskykyistä vettä, joka voi poistua betonihuokosista sen pyrkiessä tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa. Veden poistumista betonin huokosverkostosta, eli kuivumista, tapahtuu niin kauan, kunnes betoni on saavuttanut hygroskooppisen tasapainon ympäristön kanssa, eli kun betoni huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on sama, kuin ympäröivän ilman. (10, s. 33; 13, s. 14.)

3.2 Betonin kuivuminen

Valetun betonin kuivuminen on suhteellisen hidasta muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna, sen kuivumisaika on monen tekijän summa. Ympäröivät olosuhteet vaikuttavat huomattavasti valetun betonirakenteen kuivumisaikaan. Ympäristön lämpötila, ilman suhteellinen kosteus ja ilmavirrat vaikuttavat betonin pinnalta tapahtuvaan haihtumiseen ja rakenteen sisällä olevan kosteuden siirtymiseen rakenteen pintaan. (5, linkit Toteutus -> Kosteudenhallinta; 10, s. 32.)

Betonin kuivumisen kannalta optimaalisin ympäristön suhteellinen kosteus on 50 % 25–30 °C lämpötilassa. Haihtumiskuivuminen on valetuissa betonirakenteissa merkittävämpää kuin sitoutumiskuivuminen. Ympäristön suhteellisen kosteuspitoisuuden (RH) laskiessa kasvaa rakenteen sisäosan ja pinnan kosteus-

ero ja samalla kosteutta siirtävä voima. Toisaalta, samalla kun ympäristön suhteellinen kosteuspitoisuus laskee, laskee myös betonin vesihöyryn läpäisevyys, eli kosteuden siirtyminen pintaosiin hidastuu. (10, s. 35.)

Rakenteen paksuus ja rakenneratkaisu vaikuttavat siihen, miten pitkän matkan kosteus joutuu siirtymään betonissa, että se pääsee pintaan, mistä se voi haihtua. Paksussa rakenteessa siirtymismatka on suurempi ja näin ollen kuivuminen hitaampaa. Jos kosteuden haihtuminen on mahdollista vain yhteen suuntaan, hidastuu kuivuminen entisestään. Rakenteen alapinnassa oleva kosteus joutuu siirtymään koko rakenteen läpi ennen kuin se pääsee haihtumiskykyiseen pintaan, esim. eristeen päälle valettu maanvarainen laatta. (10, s. 35; 13 s. 22.)

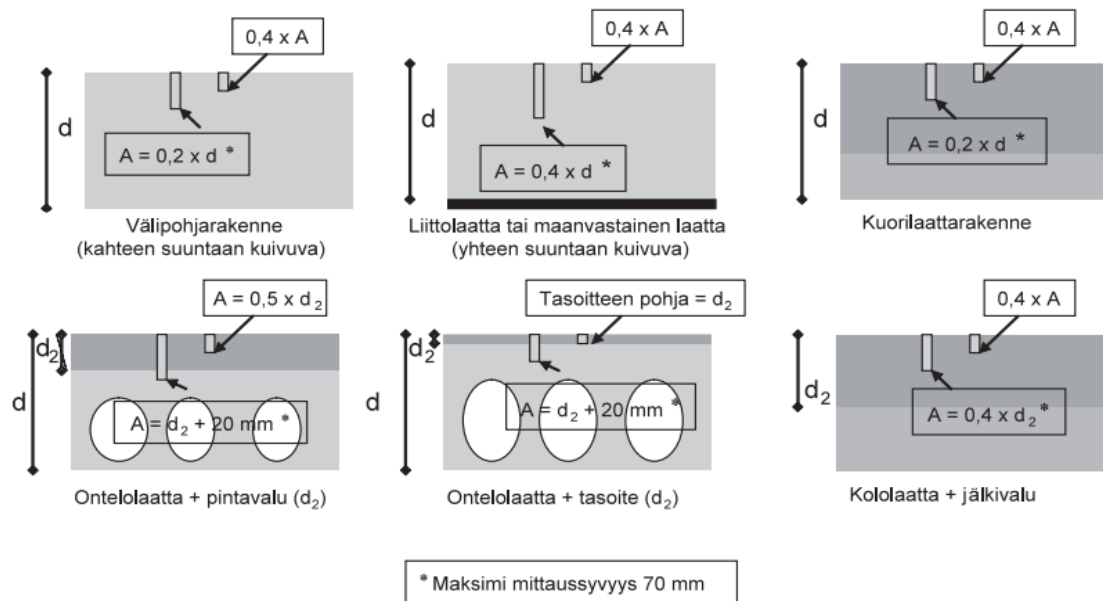
Kuivuessaan betoni kutistuu. Kutistuminen johtuu betonista poistuvasta vedestä, jota poistuu ensin kapillaarihuokosista ja sen jälkeen geelihuokosista. Geelihuokosten kuivuminen kuivattaa myös sementtigeelin, mikä kuivuessaan ja kutistuessaan pakottaa myös betonin kutistumaan. Vastaavasti kastuessaan betoni laajenee. Kuivumiskutistuma riippuu betonin koostumuksesta sekä olosuhteista, missä betoni on. Kuivissa sisätiloissa betonin kuivumiskutistuma on luokkaa 0,4 – 0,6 mm/m. (2, s. 90; 13, s. 24.)

3.3 Betonin kosteuden mittaaminen

Betonirakenteen kosteudenmittaajalta vaaditaan riittävä rakennustekniikan ja rakennusmateriaalien tuntemus sekä riittävä ymmärrys lämmön ja kosteuden liikkeistä ja liikkumisesta rakenteissa sekä kyky osata soveltaa tätä tietoa käytännössä. (12.)

Betonirakenteen kosteusmittaukset tehdään betonin suhteellisen kosteuspitoisuuden mittaamiseen suunnitellulla laitteistolla. Mittaukset tehdään eri syvyyksiltä, jotta voidaan arvioida, mikä on betonin tasapainokosteus pinnoittamisen jälkeen. Kosteuden arviointisyvyys riippuu mitattavan rakenteen paksuudesta ja

rakenneratkaisusta (kuva 3). Mittaajalla on oltava ymmärrys laitteiden toiminnasta ja niiden rajoituksista. (6, s. 1; 11, s. 25.)



Kuva 3. Mittaussyvyudet eri rakenneratkaisuilla ja -paksuuksilla (6.)

Betonirakenteen kosteusmittaukseen on olemassa epätarkkoja (esim. pintakosteusmittari) ja tarkkoja (esim. porareikämittaus) menetelmiä. Epätarkkoja mittauksia ei tule käyttää betonirakenteen pinnoitettavuutta arvioitaessa. Epätarkkojen mittareiden mittaus perustuu pääasiassa sähkönjohtavuuteen, eivätkä ne mittaa kuin rakenteen pintaosan kosteutta $\sim 1 - 2$ cm syvyydeltä. Epätarkat mittarit eivät anna mittaustulosta suhteellisenä kosteutena, eivätkä ole täten luotettavia. Niillä voidaan ennemminkin käyttää rakenteessa mahdollisesti olevan kosteuden kartoittamiseen. (13, s. 81.)

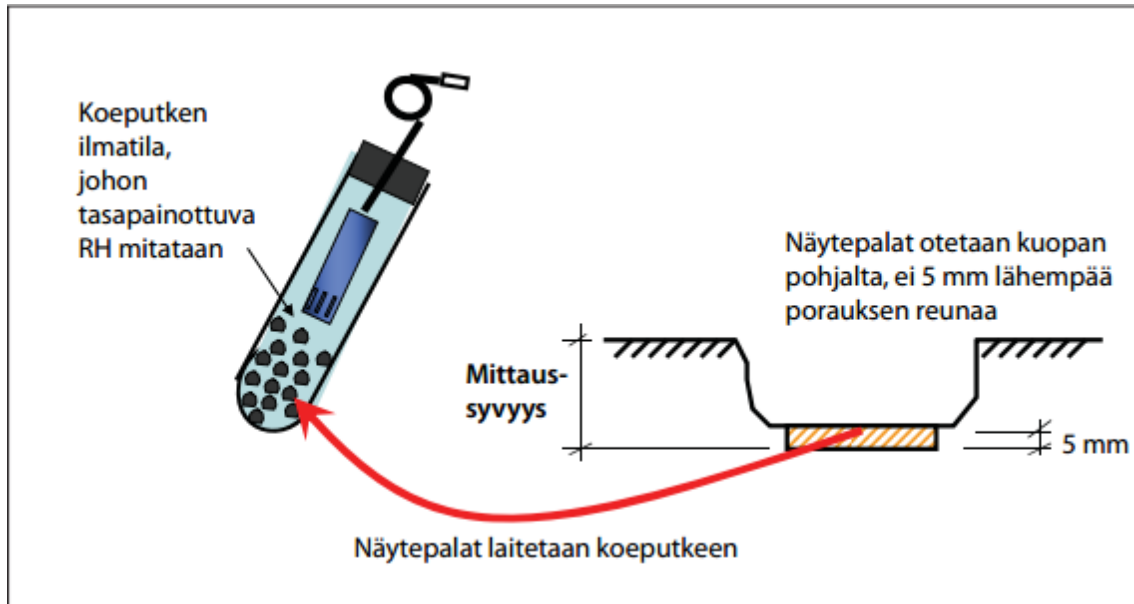
Tarkkoja mittausmenetelmiä ovat koepala- ja porareikämittaus. Koepalamittauksista käytetään yleisesti työmailla, koska sitä pidetään luotettavimpana menetelmänä. Se ei ole työmaaolosuhteissa herkkä olosuhteiden vaihtelulle. (7, s. 16.)

3.3.1 Porareikämittaus

Porareikämittaus tehdään yleensä 16mm porareiästä. Jos käytetään mittalaitetoimittajan tarjoamaa mittapääkohtaista asennusputkea, voi porareiän koko olla myös muu kuin 16mm, kuitenkin vähintään 10mm. Pienemmällä reiällä porareiän pohjan pinta-ala jää liian pieneksi suhteessa putken tilavuuteen. Reikä porataan tavallisesti iskuporakoneella, millimetrin tarkkuudella sille syvyydelle mistä kosteuspitoisuus halutaan mitata. Porauksen jälkeen reikä puhdistetaan huolellisesti pölystä. Reikään asennetaan mittaputki ja putken ja betonin yläpinnan rajakohta tiivistetään vesihöyryntiiviiksi. Putki puhdistetaan taas, jonka jälkeen putken yläpää tiivistetään vesihöyryntiiviiksi. Putken annetaan olla paikallaan vähintään 3 vuorokautta, jotta se saavuttaa tasapainokosteuden reiän kanssa. (12.)

Mittapään annetaan tasaantua ympäröiviin olosuhteisiin ennen sen asennusta mittausputkeen. Mittauksen suorittajan on tiedettävä mittapäälle ominainen tasaantumisaika, jotta mittaputkesta saadaan luotettavia arvoja. Normaalisti mittapääät vaativat 1 – 4 tuntia tasaantumiseen. Jos mittapää on asennettu putkeen jo porausvaiheessa, 72 tunnin tasaantumisaika poraamisen ja lukemienoton välillä on taatusti riittävä. Mikäli porareikämittaus tehdään samasta kohteesta useamman kerran, paras mittatarkkuus saavutetaan aina tuoreesta porareiästä. (12.)

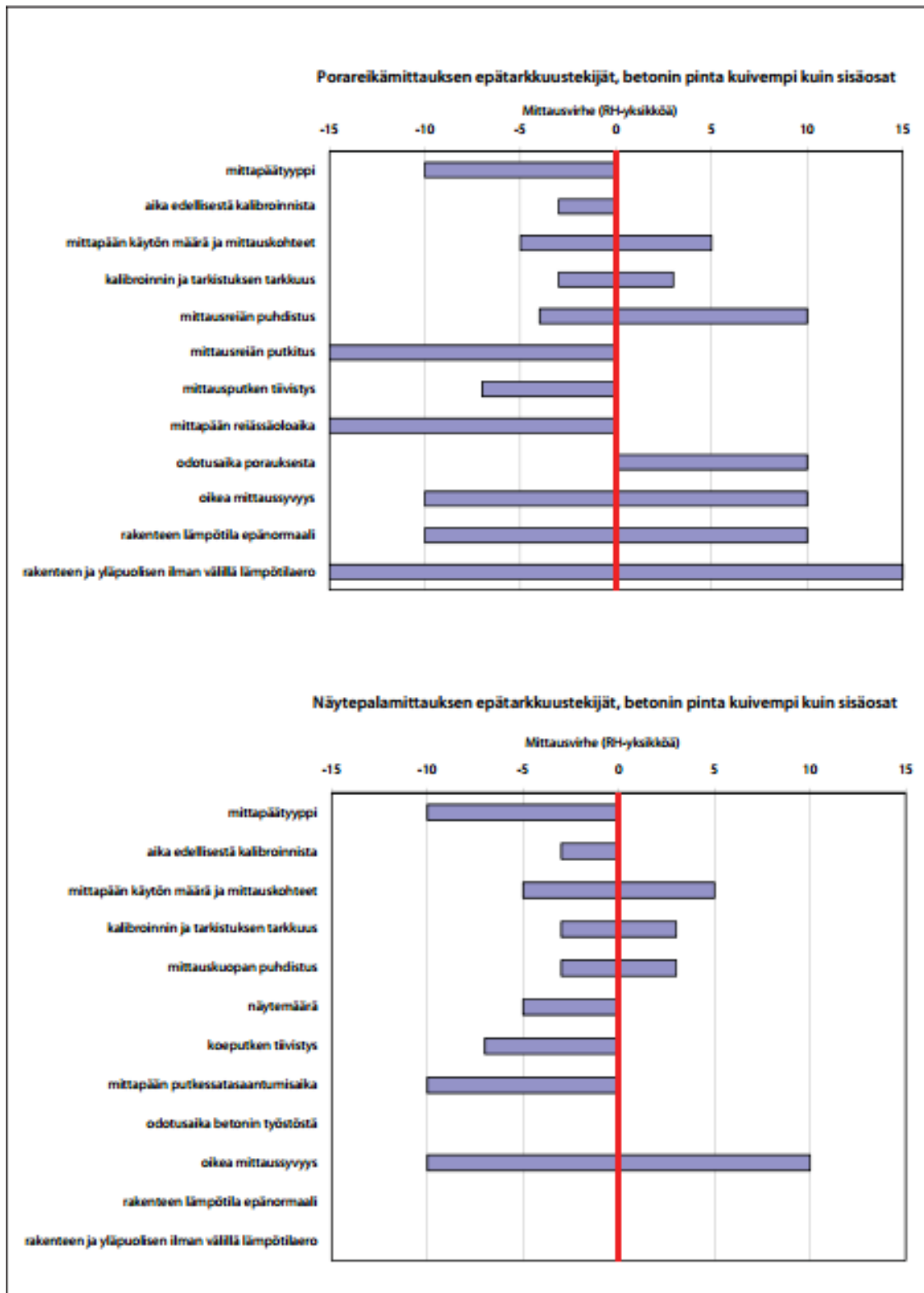
3.3.2 Näytepalamittaus



Kuva 4. Näytepalamittauksen periaate (12.)

Näytepalamittaus otetaan betoniin joko poraamalla ja piikkaamalla tai pelkästään piikkaamalla tehdystä kuopasta. Kuvassa 4 on esitetty näytepalamittauksen näytteenoton periaate. Kun näytepalat on piikattu kuopan pohjalta ja laitettu koeputkeen, putkeen asennetaan heti myös mittapää ja putken yläosa tiivistetään vesihöyryntiiviiksi. Koeputken annetaan tasaantua vakioämpötilassa 5 – 12 tuntia, riippuen mittapään vaatimasta tasaantumisaajasta. Lukemienoton tulee tapahtua ± 2 °C lämpötilassa rakenteen normaalista käyttölämpötilasta. (12.)

3.3.3 Mittauksen luotettavuus



Kuva 5. Porareikä- ja näytepalamittauksen epätarkkuustekijät ja niiden suuruusluokat (12.)

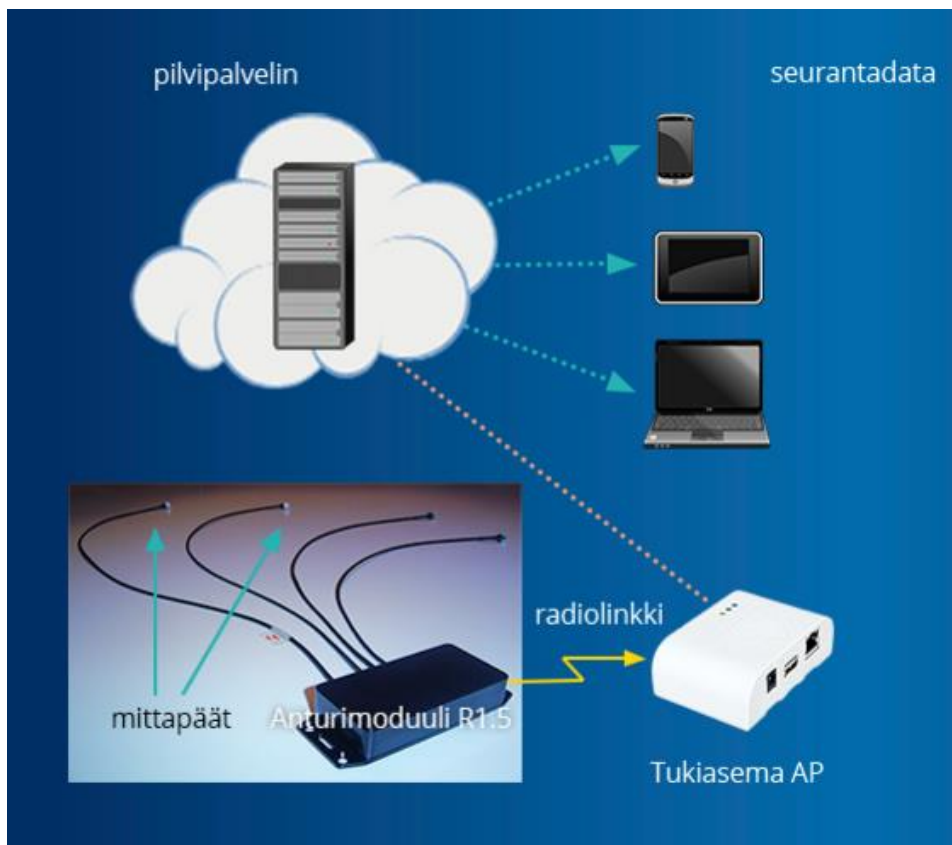
Vaikka porareikä- tai näytepalamittauksen näytteenottaja on ammattitaitoinen henkilö, liittyy näihin mittaustapoihin aina joitain epätarkkuustekijöitä. Kuvassa 5 on esitetty *RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* –kortissa esitetyt epätarkkuustekijät. *RT 14-10984* –kortin ohjeita noudattaen on mahdollisuus päästä ± 5 RH-yksikön kokonaismittaustarkkuuteen. (12.)

4 BETONIIN ASENETTAVAT KOSTEUDENMITTALAITTEET

Markkinoilla tarjolla olevat suhteellisen kosteuden mitta-anturit tallentavat näyte-
reiästä sekä kosteuspitoisuuden että lämpötilan. Luotettavimmat tulokset beto-
nin sisältämästä kosteuspitoisuudesta saadaan, kun mittaus tehdään lähellä be-
tonin lopullista käyttölämpötilaa. Yleisimmin se on +20 °C. (11, s. 26.)

4.1 RF SensIT CMM

RF SensIT Oy:n CMM (Continuous Moisture Monitoring) – järjestelmä lähettää
reaaliaikaista tietoa rakenteen kosteuspitoisuudesta ja lämpötilasta. RF SensIT
mittasalkku koostuu mitta-antureista, jotka asennetaan kiinteästi rakenteeseen,
anturimoduuleista, jotka lähettävät anturien tiedot tukiasemalle sekä tukiase-
mista. Mitta-antureista kerätty tieto lähetetään 3G-yhteyden kautta verkkopalve-
limelle, joka luo tiedoista päivittyvät taulukot. (16.)



Kuva 6. RF SensIT:n toimintaperiaate (16, linkit *Palvelut ja teknologia*)

Mitta-anturi asennetaan betonivaluun valmisbetonisessa suojaholkissa. Mittapää ei kestä suoraa kosketusta emäksiseen betoniin, ja sementtiliima voi tukkia anturin. Suojaholkki pyrkii tasapainokosteuteen ympäröivän betonin kanssa, jolloin mittatulokset ovat todenmukaisia. (11.)

Anturit ovat yhdistetty anturimoduuliin johdolla. Anturimoduuli käyttää virtalähteenään paristoa, jonka kestoikä on noin 10 vuotta. Moduulin mittaväli on ensimmäiset kaksi vuotta kerran tunnissa, jonka jälkeen kerran päivässä. Anturimoduuli on radioyhteydessä AP tukiasemaan, joka lähettää tiedot 3G-yhteydellä verkkopalvelimelle. (16.)

4.2 Wiiste Oy SolidRH

Wiiste OY:n kehittämä SolidRH tuotesarjan SH1-anturi (kuva 7) on betoniin jo valuvaiheessa kiinteästi asennettava langaton anturi betonivalun lämpötilan ja suhteellisen kosteuspitoisuuden seurantaan. Sillä voidaan seurata betonin olosuhteita rakennusaikana sekä rakenteen valmistuttua. (8, linkit Tuotteet -> SolidRH SH1 tuotekortti.)



KUVA 7. SolidRH SH1 -anturi. (8, linkit Tuotteet -> SolidRH SH1 tuotekortti)

SH1-anturi luetaan SolidRH RD1-lukulaitteella (kuva 8) langattomasti. Lukulaitteen muistiin tallentuu kunkin anturin kosteus- ja lämpötila-arvot, ympäristöolosuhteet sekä päivämäärä ja kellonaika. RD1-lukulaite voidaan yhdistää tietoko-

neeseen USB-portin kautta ja siirtää mittaustiedot Wiiste Oy:n Relia-pilvipalvelimelle. Relia-ohjelmisto on luotu SolidRH-laitteiston tueksi, jotta laitteiston tuoma etu saadaan tehokkaasti hyödynnettyä. Relia-ohjelmisto auttaa kosteusmittausten suunnittelussa ja raportoinnissa. (8, linkit Tuotteet.)



Kuva 8. SolidRH RD1-lukulaite. (8, linkit Tuotteet)

SH1-anturin antamat kosteuslukemat eivät ole absoluuttisesti oikeita, mutta sen antamat lukemat antavat hyvin paljon tietoa siitä, kuivuuko betoni ja missä vaiheessa se voisi olla pinnoituskuivaa. Muita näytteenottotapoja on kuitenkin käytetty betonin pinnoitettavuuden varmentamiseksi. (15.)

4.3 IoLiving – Vaisala HMP110



Kuva 9. IoLiving kosteusseuranta-anturi. (9, linkit Kauppa -> IoLiving – Vaisala HMP110)

IoLiving-kosteusmittari koostuu tiedonkeräyslaitteesta sekä Vaisala HMP110-kosteusanturista. Kosteusmittausanturi asennetaan betoniin RT14-10675-kortin mukaisesti betoniin porattuun porareikään. (9.)

Tiedonkeräyslaite mittaa 20 minuutin välein kosteuden ja lämpötilan betonista sekä huoneilmasta. Tiedonkeräyslaitteen tallentamat lukemat luetaan matkapuhelimella tai taulutietokoneella bluetooth-yhteyden kautta. IoLiving-sovellus siirtää tiedot IoLiving-pilvipalveluun. (9.)

5 MITTAUKSET TYÖMAALLA

Keväällä 2017 koemitattiin Wiiste Oy:n antureilla pintalattian kosteuspitoisuutta YIT:n Komentajan Talon työmaalla Oulun Kasarmilla.

5.1 Delta-palkki

Rakennuskohteen välipohjarakenteeksi oli valittu ontelolaatta-välipohja. Ontelolaattakentät kannattuvat sekä JK-leukapalkkeihin että delta-palkkeihin. (Kuva 10). Delta-palkki on Peikko Groupin valmistama palkkiratkaisu, jonka ansiosta voidaan toteuttaa suuria, avoimia tiloja.



Kuva 10. Delta-palkki (14, linkit Tuotteet -> Deltapalkki)

Delta-palkit valetaan täyteen betonia ontelolaattakenttien saumavalujen yhteydessä, jolloin delta-palkit ja ontelolaatat muodostavat liittorakenteen. Delta-palkkien ongelma kosteudenhallinnan kannalta on betonin kuivuminen. Palkin sisällä oleva betoni ei pääse kuivumaan kuin palkissa olevien reikien kautta kahdelta sivulta, ja niiltäkään ei täysin tehokkaasti. Kohteessa palkit ovat jopa 320mm korkeita. Lämmityslankahyllyjen etäisyys palkin pohjalta vaihtelee 30-100mm välillä. Palkkien sisällä olevat lämmityslangat nopeuttavat kuivumista, mutta samalla vaikeuttavat luotettavaa kosteusseuranta nostamalla betonin lämpötilaa.

Jotta delta-palkkien sisäosista saisi tarkat kosteusmittauslukemat, pitäisi kosteusmittaus tehdä lämmityslankojen alapuolelta, sekä lämmityslangat pitäisivät sammuttaa muutamien päivien ajaksi, jotta betonin kosteus tasaantuisi. Tämän jälkeen tehdyllä mittauksella saisi todellisen lukeman betonin kosteudesta.

5.2 Relia-palvelu

Yritys, joka järjesti työmaan kosteudenhallinnan, loi Wiiste Oy:n Relia-palveluun projektipohjan työmaasta, ja luovutti palvelun käyttöoikeudet työmaan henkilöstölle. Palvelun käytön aloittamiseen tarvittiin pohjakuvat kohteesta

WIISTE **RELIA**
beta

Finland UK
Kirjautuneena: janne.mannikko@yit.fi
Ohjeet - Käyttäjaprofiili
Kirjautu ulos

Projekti	Päivämäärä	Luoja
H14 Komentajan talo	15.03.2017	[Redacted]
+ Luo uusi projekti		
SolidRH SHR Antureiden raportointityökalu (Relia R)		

PROJEKTIKORTTI

H14 Komentajan talo

Osoite:
Veteraaninkatu 2
90130 Oulu

Rakennuttaja:

Pääurakoitsija:
YIT

Vastuuhenkilö:
[Redacted]

Kuva 11. Relia-palvelun etusivu

Relia-palvelussa kohteen mittapisteiden suunnittelu oli erittäin helppoa. Ensin määritettiin mittapisteeseen tulevat anturit, jonka jälkeen mittapisteen symbolia pystyi vapaasti liikuttelemaan pohjakuvissa. (Kuva 12)



Kuva 12. Mittapisteiden luominen

Kun anturi oli asennettu valun yhteydessä paikalleen, se käytiin lukemassa RD1-lukulaitteella. Anturin tiedot tallentuivat lukulaitteen muistiin, josta ne ladattiin tietokoneen kautta Relia-palveluun. Palvelussa anturien tiedot täytyi vielä

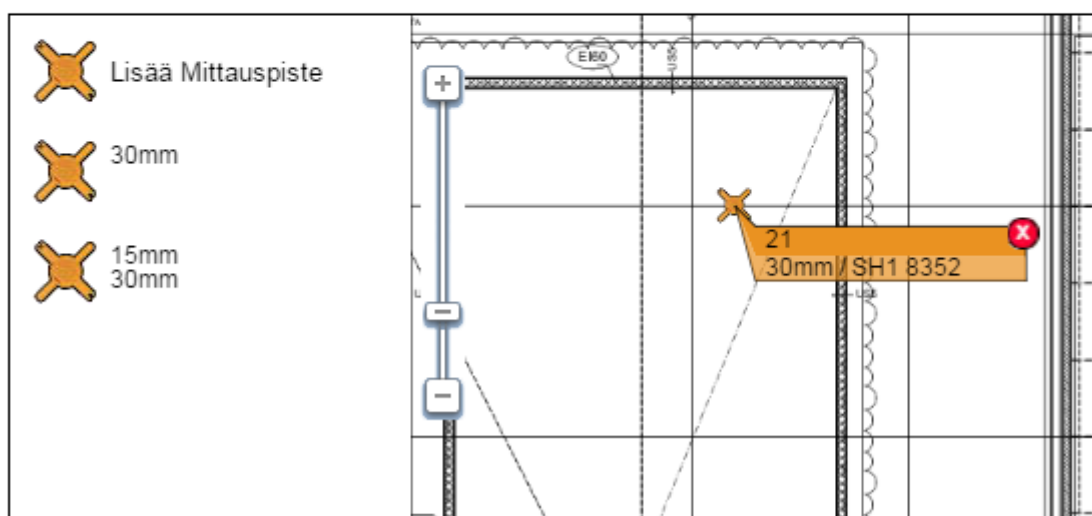
siirtää oikean mittapisteen symboliin, joka rekisteröi anturin sarjanumeron pohjakuvaan. (Kuva 13)

WIISTE

RELIA
beta

PROJEKTIVALIKKO PROJEKTISIVU PROJEKTISUUNNITELMA

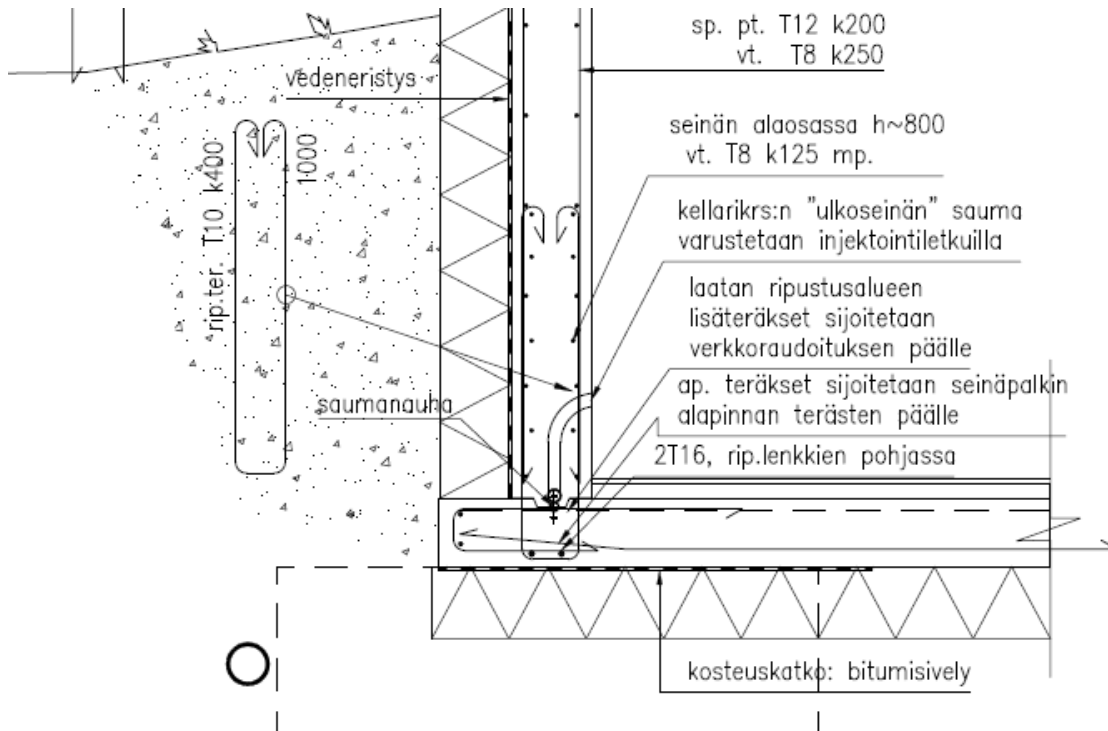
Pohjakuva: 2 Krs. POISTA POHJAKUVA



Kuva 13. Valuun asennettu anturi

5.3 Kosteuden mittaus maanvaraisesta laatasta

Kellarikerroksen maanvarainen lattialaatta on keskimäärin 200mm milliiä paksu, eristeen päälle valettu laatta. (Kuva 15).



Kuva 15. Kellarin lattiarakenne

Rakenne on yhteen suuntaan kuivuva, koska eristekerros estää laattaa luovuttamasta kosteutta alaspäin. Kellarista mitattiin betonin kosteuspitoisuutta kolmesta pisteestä, joista yksi oli väestönsuojassa. Mittaukset tehtiin porareikämittauksina Vaisalan SHM-40 -anturilla.

Kellarin maanvaraisen laatan kosteusvalvontapisteet suunniteltiin vasta myöhemmin, joten mittauksiin ei ollut mahdollista käyttää Wiiste Oy:n SH1-antureita.

Kellarin maanvaraisen laatan kosteudet mitattiin viikoilla 13 ja 14. Ensimmäisen mittauksen yhteydessä otettiin käyttöön loLiving-olosuhdemittari. Mittari mittaa ympäristön lämpötilaa sekä suhteellista kosteuspitoisuutta. Mittari on yhdistetty matkapuhelimeen, joka lataa tiedot suoraan verkkopalveluun.

Kellarin kuivumisolosuhteet olivat mittausten mukaan optimaaliset (Liite 3). Lämpötila pysyi keskimäärin 21 – 28 °C:n välillä ilman suhteellisen kosteuden (RH) pysytellessä keskimäärin 25 – 30 %:n välillä. Kellarissa muurattiin väliseiniä viikoilla 13-15, jonka johdosta ilman RH-pitoisuus saattoi nousta hetkellisesti jopa 45 %:iin. Ilmanvaihdoista ja lämmityksestä huolehdittiin kahdella kaukolämpöpuhaltimella. (Kuva 16).



Kuva 16. Kaukolämpöverkkoon liitetty puhallin

5.4 Kosteuden mittaus delta-palkeista

Delta-palkkien kosteudenmittaukseen valittiin Wiiste Oy:n valmistama porareikään asennettava anturi. Anturi on muunneltu versio Wiiste Oy:n SHR-anturista (kuva 17), jota käytetään porareikämittauksissa. Muunnellun anturin pituus oli 400mm, jotta se ylittäisi mittaamaan kosteuden delta-palkin sisältä.



Kuva 17. Wiiste Oy:n SHR-anturi

Delta-palkkien kosteusseurantaan varten palkkeihin asennettiin valuvaiheessa mittaputket (kuva 18). Putken päät tulpattiin teipillä, jotta betoni, lumi tai vesi eivät pääsisi niiden sisään.



Kuva 18. Delta-palkin mittaputki asennettiin valun yhteydessä

Mittaputket asemoitiin valuun niin, että niiden pää tuli lämpölankahyllyn alapuolelle. (Kuva 19).



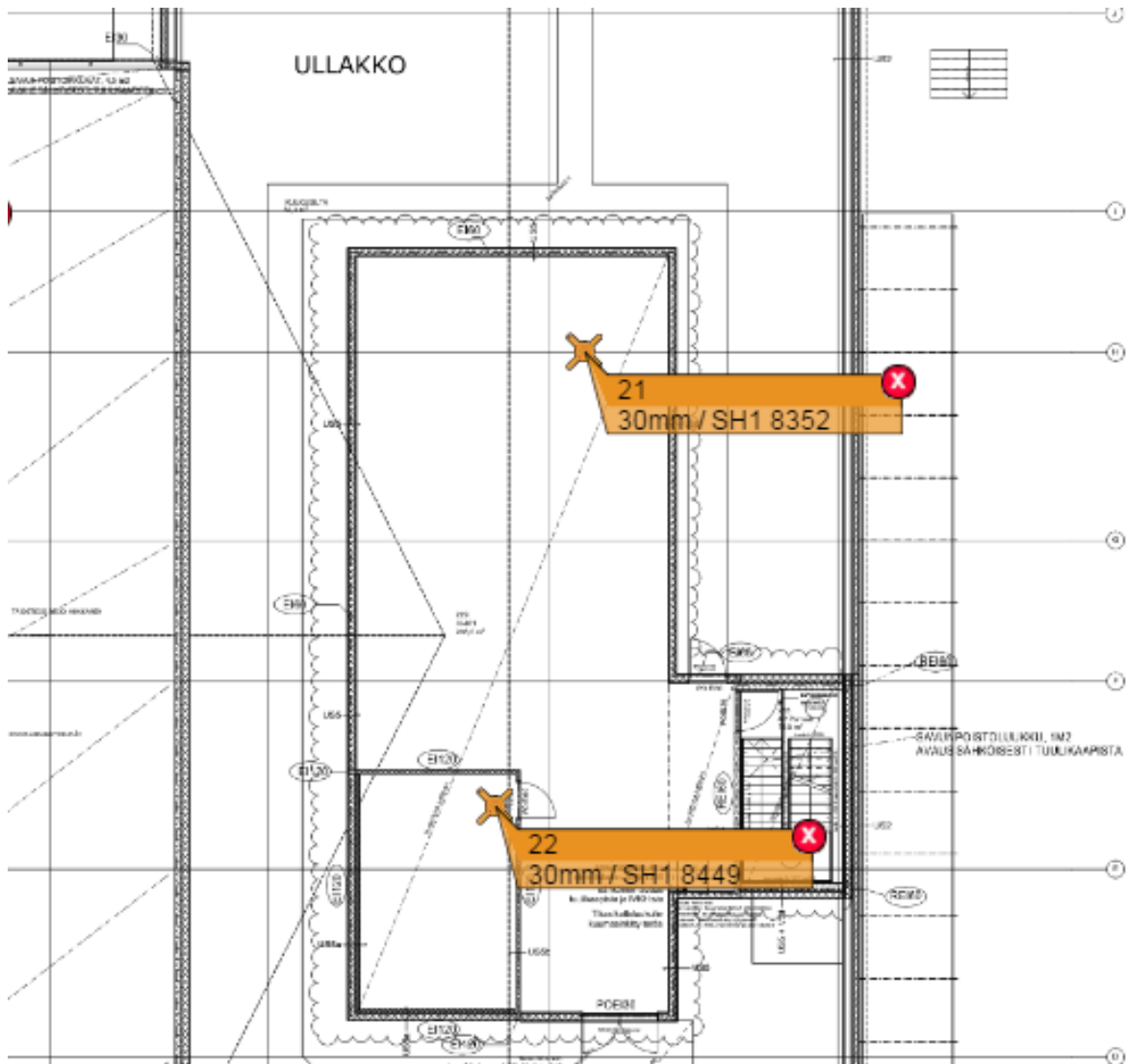
Kuva 19. Delta-palkin lämpöankahylly

Putken alapää tukittiin teipillä, joka porataan rikki, samalla poistaen betoniliima-kerros. Näin betonin kosteus pääsee nousemaan mittaputkeen. Ennen mitta-anturin asentamista mittaputki puhalletaan paineilmalla puhtaaksi.

Joka kerrokseen asennettiin kaksi mittauspistettä. Mittapistet sijoitettiin pilarien läheisyyteen, jotta ne olisivat mahdollisimman vähän haitaksi työmaan muulle toiminnalle.

5.5 Kosteuden mittaus pintabetonilattioista

Ensimmäiset SH1-anturit asennettiin 2. kerroksen IV-konehuoneen lattiavaluun viikolla 13. Antureita asennettiin 2 kappaletta. (Kuva 20).



Kuva 20. IV-konehuoneen kosteusmittauksen anturit

Anturit käytiin lukemassa heti seuraavana päivänä valusta, kun betonivalun todettiin kovettuneen riittävästi. Anturit luettiin RD1-lukulaitteella ja tiedot ladattiin Relia-pilvipalveluun. Anturit sijoitettiin konehuoneeseen kuvan 20 mukaisesti.

Anturin 21 huomattiin ilmoittavan paljon korkeampia betonin suhteellisen kosteuden arvoja anturiin 22 verrattuna. Tämän syyksi paljastui, että anturi 21 oli

asennettu delta-palkin lämmityksen vaikutusalueelle. Delta-palkin lämmitys nostaa sitä ympäröivän betonin lämpötilaa samalla ”työntäen” kosteutta pois betonista, mikä vääristää anturin 21 mittaustulosta.

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tutkia ja vertailla markkinoilla olevia etäluettavia betonin kosteuden mittaustantureita. Tiedonhaussa tehtyjen haastatteluiden pohjalta valittiin tarkempaan selvitykseen Wiiste Oy:n SolidRH SH1-mitta-anturi. Wiiste Oy:n anturit valittiin työmaan kosteus seurannan työkaluksi ja SH1-anturilla tehtiin koemittauksia työmaaolosuhteissa.

Betonin kosteuden mittauksessa on pitkään luotettu porareikä- ja näytepalamittauksiin. Ne ovatkin todella luotettavia tapoja saada tietoon betonin todellinen kosteus pitoisuus, mutta ne ovat näytteenottotapoina työläitä, hitaita ja kalliita. Porareikämittauksen näytteenottoputkien täytyy tasaantua betonin kosteuden kanssa noin kolme päivää. Käytännön kokemukset ovat osoittaneet, että työnteekijät eivät välttämättä osaa varoa näitä putkia, vaan ne ovat alttiita rikkoontumiselle.

Uudet, sähköisesti luettavat tai etäluettavat mitta-anturit ovat vasta kehityksensä alkupäässä. RF SensIT:n ja loLiving:n mittalaitteet vaativat vielä johtoja anturin ja mittayksikön välille.

SolidRH SH1-anturi oli todella helppo asentaa betonivaluun. Relia-palvelussa oli erittäin helppo suunnitella kosteusmittapisteiden sijoittelu. 2. kerroksen IV-konehuoneeseen liian lähelle lämmitettyä delta-palkkia asennettu anturi huomautti, että mittapisteiden suunnittelussa pitää ottaa huomioon muutakin, kuin sähköjohtojen sekä vesi- ja viemäriputkien sijainti lattiassa.

SH1-anturi ei tarvitse käyttöön johtoja, mutta sen mitta-arvot pitää käydä fyysisesti paikan päällä lukemassa, jonka jälkeen ne pitää siirtää tietokoneen ohjelmiston kautta pilvipalveluun.

SH1-anturilla saatiin luotua betonin kuivumisen trendikäyrä, jota seuraamalla voidaan kohdistaa pinnoitettavuuden varmistusmittaus oikeaan ajankohtaan. Betonin pinnoitettavuus tullaan varmistamaan mittaamalla betonin kosteus pitoisuus porareikä-menetelmällä. Anturien myöhempää, rakennusaikaista käyttöä varten niiden sijainti piti kirjata tarkasti pohjakuviin. Sähköpostihaastatteluissa

saatujen kokemusten mukaan, mitat pitää sijoittaa tarkasti kiinteisiin kohteisiin, jotta anturit eivät ”mene hukkaan”.

Varmistamalla betonin riittävän matala kosteusprosentti ennen pinnoittamista, voidaan poistaa lähes kaikki myöhemmin ilmenevät rakennusvirheet. Sähköisesti luettavien ja etäluettavien antureiden käyttöön liittyy kuitenkin vielä ongelmia. RF SensIT:n anturin mittapää asennetaan valmisbetoniseen suojakuoreen, joka tietyissä olosuhteissa voi kondensoida kosteutta sisäänsä. Anturimoduuli ja AP tukiasema tarvitsevat radiosignaalin viestiäkseen. Signaali ei kulje metallirakenteiden läpi, ja betonirakenteet heikentävät sen kuuluvuutta. Wiiste OY:n SH1-anturi asennetaan valuvaiheessa kiinteästi rakenteeseen, joten sitä ei voida siirtää eikä kalibroida. Valuvaiheessa ei voida olla varmoja, missä kostein kohta lopulta sijaitsee, ja se voi jäädä mittaamatta.

Tämän opinnäytetyön tiedonhaun sähköpostihaastatteluilla ei saatu toivottua määrää vastauksia, joten tutkittujen anturien määrä jäi suunniteltua vähäisemmäksi. Alkuperäisen suunnitelman laajuisia koemittauksia ei ehditty tekemään työmaan aikataulun muututtua. Työn tutkimuksen loppu jää myös avoimeksi.

LÄHTEET

1. Finnsementti. Saatavissa: www.finnsementti.fi. Hakupäivä 8.11.2016.
2. Suomen Betoniyhdistys 2004. Betonitekniikan oppikirja by201. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry
3. Kääriäinen, Hannu 2013, T510103 Betonitekniikka 1 3 op, Opintojakson luennot syksyllä 2013. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
4. Kääriäinen, Hannu 2016, T512605 Betonitekniikka 2, 5 op, Opintojakson luennot syksyllä 2016. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
5. Valmisbetoni. Saatavissa www.valmisbetoni.fi. Hakupäivä 8.11.2016.
6. Niemi, Sami 2008. Betonirakenteen kosteuden mittaaminen ja onnistunut päällystäminen. Saatavissa <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100401.pdf>. Hakupäivä 8.11.2016.
7. Siltala, Jaakko 2016. Betonin kuivuminen paikallavalurakenteessa. Insinööri-työ. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
8. Wiiste Oy. Saatavissa: www.wiiste.com. Hakupäivä 20.11.2016.
9. IoLiving. Saatavissa www.ioliving.com/fi. Hakupäivä 23.11.2016.
10. Merikallio, Tarja 2015. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Rakennustieto Oy
11. Partanen, Petteri 2015. Rakennusajan reaaliaikainen kosteudenmittaus rakenteista. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopisto, rakennustekniikan laitos.

12. RT 14-10984. 2010. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. Rakennustieto Oy. Saatavissa <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/103082.html.stx> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 14.12.2016.
13. Komonen, Juha - Merikallio, Tarja – Niemi, Sami 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Betonitieto Oy
14. Peikko Group. Saatavissa www.peikko.fi. Hakupäivä 5.2.2017.
15. Wiiste Oy kosteusmittalaitteet. 2017. SRV. Sähköpostihaastattelu. Vastaanottaja: Janne Männikkö. 22.12.2017
16. RF SensIT. Saatavissa www.rfsensit.fi. Hakupäivä 4.4.2017

LIITTEET

- Liite 1 Lähtötietomuistio
- Liite 2 Kellarin olosuhdemittaus
- Liite 3 IV-konehuoneen kosteusmittaus

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä _____

Tilaaja _____

Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot _____

Työn nimi _____

Työn kuvaus _____

Työn tavoitteet

Tavoiteaikataulu _____

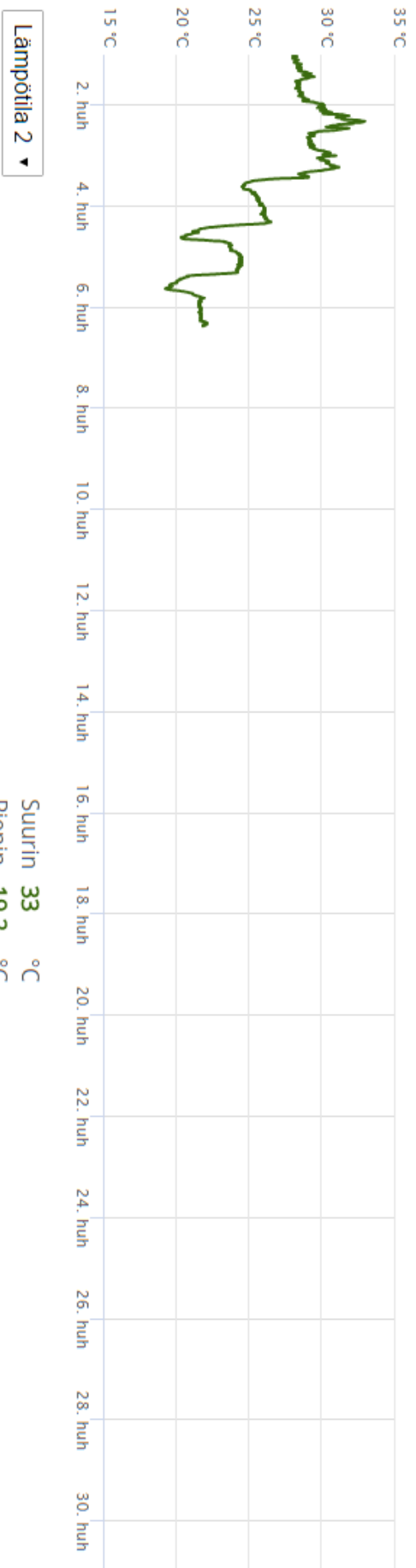
Päiväys ja allekirjoitukset _____

H14 komentajan talo



huhtikuu

Kuukausi ▾



Lämpötila 2 ▾

Suurin 33 °C
Pienin 19.2 °C

H14 komentajan talo



huhtikuu

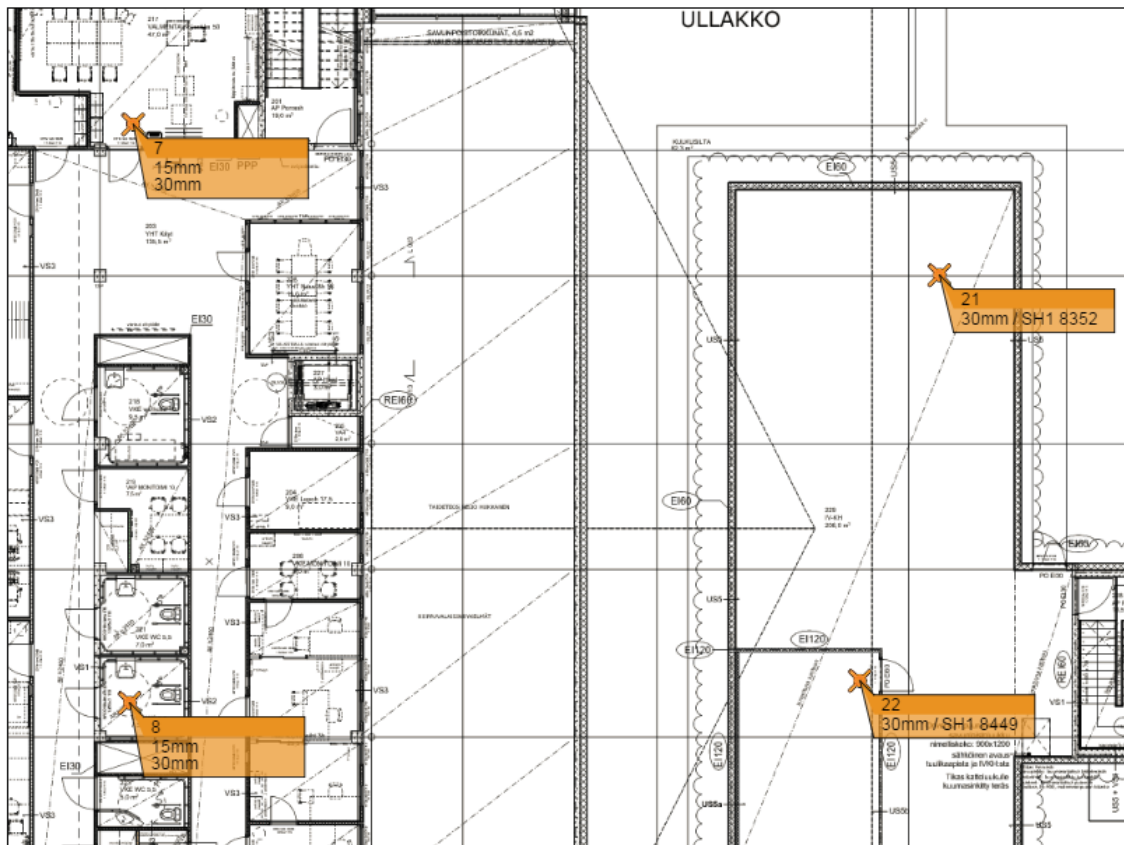
Kuukausi ▾



Kosteus 2 ▾

Suurin **39** %
Pienin **20** %

Pohjakuva:2 Krs.



Mittapiste	Mittaus syvyys [mm]	Anturi #	Viimeisin mittaus				
			Aika	Ympäristö T [°C]	Ympäristö RH [%]	T [°C]	RH [%]
21	30	SH1 8352	06.04.2017 06:35	16.29	32.93	25.02	93.17
22	30	SH1 8449	06.04.2017 06:35	16.12	34.67	21.97	84.40

SolidRH-laitteiston mittausalue ja tyypillinen mittausepävarmuus

±2,5 %RH välillä 0 - 90 %RH, ±3,0 %RH yli 90 %RH

±0,2 °C välillä 0 - 60 °C

Tarkkuudessa ei ole huomioitu asennusvirheistä johtuvaa mittausepävarmuutta.

Tarkkuudessa ei ole huomioitu betonin ja ympäristön välisestä lämpötilaerosta aiheutuvaa mittausepävarmuutta.

Mittaushistoria

Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	29.03.2017	30.03.2017	03.04.2017	05.04.2017	06.04.2017
			RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]	RH [%] T [°C]
21	SH1 8352	30	97.74 22.14	97.36 22.65	94.56 26.32	92.58 26.75	93.17 25.02
22	SH1 8449	30	89.73 19.31	88.90 20.52	86.54 23.48	85.19 24.33	84.40 21.97

