



BETONIN KOSTEUSMITTAUKSEN KEHITTÄMINEN

Sampo Clewer

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015
Rakennustekniikka
Rakennustuotanto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennustuotanto

CLEWER, SAMPO:

Betonin kosteusmittauksen kehittäminen

Opinnäytetyö 86 sivua, joista liitteitä 38 sivua
Huhtikuu 2015

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua betonin kosteusmittaukseen ja kehittää mittausten menetelmiä. Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on ollut mittausteknologia-alan yritys Wiiste Oy. Tavoitteena oli tutkia Wiiste Oy:n kehittämää kosteusmittausmenetelmää ja vertailla sitä perinteiseen porareikämittaukseen. Tutkimuskohteina olivat Tampereen Uintikeskuksen perusrakennustyömaa Tampereen Kalevassa sekä Tampereen ammattikorkeakoulun betonilaboratorio. Opinnäytetyössä tutkittiin menetelmien mittaustulosten lisäksi soveltuvuutta työmaolosuhteisiin.

Tehtyjen mittausten perusteella tuloksista voidaan päätellä Wiiste Oy:n menetelmien kehittyneen mittaustarkkuuksien osalta tutkimusten aikana. Suurin painoarvo tutkimuksessa oli menetelmien epävarmuustekijöiden ja käytännöllisyyden arvioiminen. Wiiste Oy:n menetelmällä monet porareikämittauksen epävarmuustekijät on saatu kitkettyä pois, ja mittaustyö on helpompaa ja nopeampaa.

Yleisellä tasolla betonin kosteusmittauksessa on hyvin paljon kehitettävää. Nykyisellä teknologialla olisi mahdollisuuksia helpottaa mittausta huomattavasti. Jotta mittaustuloksia osattaisiin analysoida oikein, tulisi mittaajan ymmärtää betonin kuivumisen perusteet. Erityisesti lämpötilan huomioiminen mittauksissa on erittäin tärkeää. Monesti väärässä lämpötilassa tehdyt mittaukset ovatkin rakennustyömaiden ongelma.

ABSTRACT

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

CLEWER, SAMPO:
Development of Damp Measurement Techniques in Concrete

Bachelor's thesis 86 pages, appendices 38 pages
April 2015

Moisture is a common problem in concrete structures of all kinds of buildings. Whenever used as a bearing or non-bearing structure it is important that concrete as building material is dry enough. The problem is the difficulty of knowing the humidity concentration of the structure. The purpose of this thesis was to collect information and data of damp measurement of concrete and compare two different systems of damp measurements techniques. The two compared systems were a traditional damp measurement technique through a borehole and a new wireless damp measurement system developed by Wiiste PLC.

The data was collected from a basic restoration worksite at Tampere Swimming Center and from the laboratory of concrete studies at Tampere University of Applied Sciences. The results suggest that there are many unknown factors in damp measurements done through a borehole and that the newly developed wireless system is much faster and simpler to use. It was noticed that the precision of the wireless damp measurements become more accurate during the research process.

The theoretical section explores concrete dehumidification. The most important single factor in dehumidification is the conditions around the structure. The air needs to be warm and dry enough to help the drying process to be thorough. It is also important that concrete structures do not get wet during dehumidification process.

The findings of the research indicate that the new damp measurement system by Wiiste PLC is comprehensive and easy-to-perform. The traditional damp measurement technique through a borehole is old and it is a very slow and arduous system.

Key words: damp measurement, dehumidification, development

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KOSTEUS BETONISSA	6
3	BETONIN KUIVUMINEN.....	10
	3.1 Betonin kuivattamisen tarkoitus	10
	3.2 Betonin kuivumisolosuhteet	12
4	BETONIN KUIVUMISEN SEURANTA.....	15
	4.1 Porareikämittaus	15
	4.2 Muut kosteusmittausmenetelmät	18
	4.3 Wiiste Oy:n kosteusmittausjärjestelmä.....	21
5	ESIMERKKIKOHDE TAMPEREEN UINTIKESKUS.....	28
	5.1 Tutkittavat rakenteet	28
	5.2 Betoni ja kosteusrasitukset.....	29
	5.3 Betonin kuivatus	30
	5.4 Betonin kuivumisen seuranta.....	31
	5.5 Tulosten vertailu	32
	5.6 Yhteenveto	34
6	TAMK TESTILAATAT	36
	6.1 Toteutus	36
	6.2 Mittaustulokset.....	39
	6.3 Yhteenveto	41
7	POHDINTA.....	42
	LÄHTEET.....	48
	LIITTEET	49
	Liite 1. Tampereen Uintikeskuksen mittaustulokset	49
	Liite 2. TAMK:n testilaattojen mittaustulokset.....	61

1 JOHDANTO

Hyvän rakennuslaadun taustalla on aina kosteudenhallinta rakennusaikana. Kosteusvauriot ja kosteudesta johtuvat sisäilmaongelmat ovat valitettavan yleisiä nykyisessä rakennuskannassa. Yleisimpänä rakennusmateriaalina paljon vettä sisältävä betoni on suuressa roolissa kosteusongelmissa. Tästä syystä betonin kuivuminen ja kuivumisen seuranta kosteusmittauksin on hyvin tärkeää laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua betonin kosteusmittaukseen ja pyrkiä kosteusmittausmenetelmien kehittämiseen helpommaksi ja yksinkertaisemmaksi. Rajauksena opinnäytetyössä oli vertailla tämän hetken yleisintä kosteusmittausmenetelmää porareikämittausta ja mittausteknologia-alan yrityksen Wiiste Oy:n kehittämään SolidRH mittaussuorittimeen. Menetelmien vertailuja suoritettiin sekä työmaaloissa, että laboratorio-olosuhteissa. Vertailussa huomio kiinnittyi mittaustulosten lisäksi menetelmien käytännöllisyyden ja helppouden vertailuun. Tutkimusten perusteella nykyisessä porareikämittausmenetelmässä on huomattava määrä mittaajasta johtuvia epävarmuustekijöitä.

Kosteusmittausten lisäksi opinnäytetyö käsittelee myös betonin kuivumista ja olosuhteiden merkitystä betonin kuivatuksessa. Jotta kosteusmittaustuloksia voidaan tulkita oikein, tulee mittaajan ymmärtää betonin kuivumisen perusteet ja olosuhteiden vaikutukset kosteusmittauksiin. Betonin kuivumisen kannalta olennaisinta on ympäristön riittävä lämpötila, alhainen ilman kosteuspitoisuus ja betonirakenteen kastumisen estäminen.

Opinnäytetyön tuloksena Wiiste Oy sai lukuisia vertailumittaustuloksia ja tietoa laitteiston toimivuudesta erilaisissa olosuhteissa. Lisäksi mittausten aikana tutkittiin useampia erilaisia mitta-antureita ja kehitettiin toimivampia menetelmiä.

2 KOSTEUS BETONISSA

Betoni on yleisin rakennusmateriaali ja sitä käytetään kaikkialla maailmassa. Betoni on keinotekoinen kivi, joka koostuu sementistä, kiviaineksesta ja vedestä. Lisäksi betonissa voi olla näiden pääraaka-aineiden lisäksi erilaisia lisä- ja seosaineita, joilla sen ominaisuuksia voidaan muokata. Lisäaineita ovat mm. notkistimet, huokostimet, kiihdyttimet sekä hidastimet ja seosaineita mm. lentotuhka, masuunikuona, ferrokromikuona ja siliika.

Betonin osa-aineista kiviainesta on eniten (65-80 %) ja sen rakeisuudella, muodolla ja laadulla on suuri merkitys betonin ominaisuuksiin. Sementti toimii betonissa sideaineena, joka sitoo betonista yhtenäisen lujan massan. Vettä betonissa tarvitaan sementin lujittumisreaktioon sekä betonin työstettävyyden saavuttamiseen. Myös betonivalun jälkihoitoon käytetään usein vettä. (By201 2004, 31)

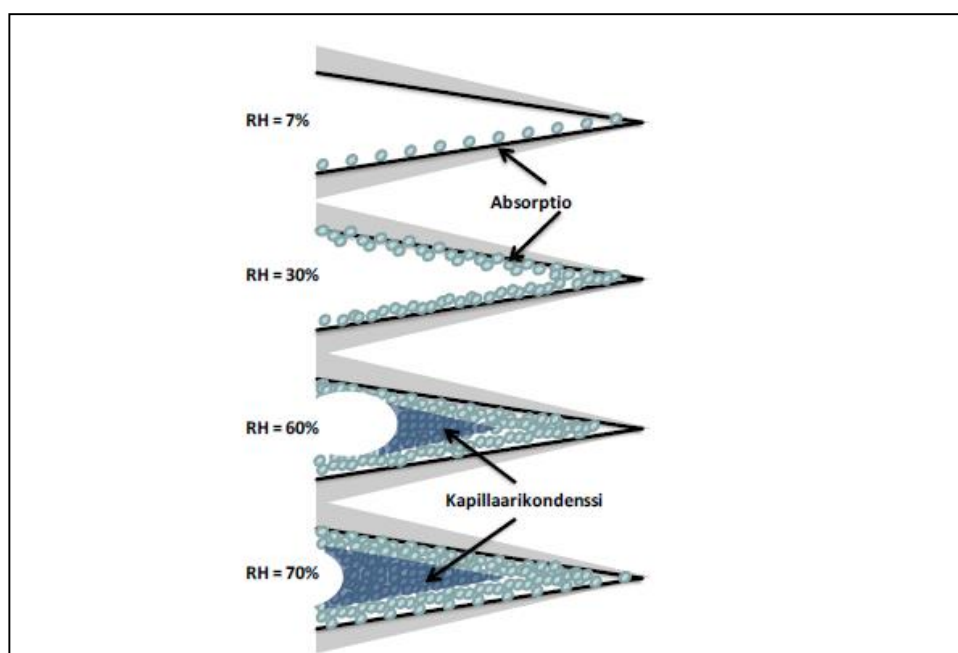
Betonissa on jo valmistusvaiheessa suuri määrä vettä. Valmistukseen käytetty vesi on suurin kosteuslähde betonissa, mutta myös rakenteeseen satanut vesi, lumi ja räntä sekä maata vasten valetuissa osissa maaperän kosteus ovat mahdollisia kosteuslähteitä. Ulkoisista kosteuslähteistä betoniin päässyt vesi on hitaammin poistuvaa, joten kuivumisen kannalta on erityisen tärkeää välttää betonia kastumasta.

Betoni on huokoinen materiaali, joten se voi sitoa tai luovuttaa kosteutta ympäröivästä ilmasta tai muusta materiaalista. Se kykenee imemään sekä nestemäisessä muodossa olevaa vettä, että vesihöyryä (Merikallio 2009, 11). Betoni pyrkii hygroskooppiseen tasapainokosteuteen eli samaan suhteelliseen kosteuteen ympäristön kanssa. Betoni on massiivinen materiaali, joten kosteuden siirtyminen siinä on hidasta ja tasapainotilan saavuttaminen saattaa kestää useita vuosia (Merikallio 2002, 10).

Vesi betonissa voidaan jakaa kahteen eri osa-alueeseen, kemiallisesti sitoutunut vesi ja fysikaalisesti sitoutunut vesi eli ns. vapaa vesi. Kemiallisella vedellä tarkoitetaan sementin ja veden kemiallisessa kovettumisreaktiossa eli hydratoitumisreaktiossa sementtiin sitoutunutta vettä. Tämä vesimäärä ei normaaliolosuhteissa poistu betonista. Kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on noin 25 paino-% betoniin sisältyneen sementin määrästä. Kemiallisen veden määrään vaikuttaa siis merkittävästi sementin määrä, käytetty vesi-sementtisuhte sekä vesi-sideainessuhde. Tekniikan tohtori Tarja Merikallion (2009, 12-13) esimerkin mukaan tavallisessa lattiabetonissa (v/s 0,8) käytetään vettä 200 kg/m³ ja sementtiä 250 kg/m³, jolloin vesimäärästä sitoutuu kemiallisesti vain 50 kg/m³ ja loput 150 kg/m³ sitoutuu betoniin fysikaalisesti.

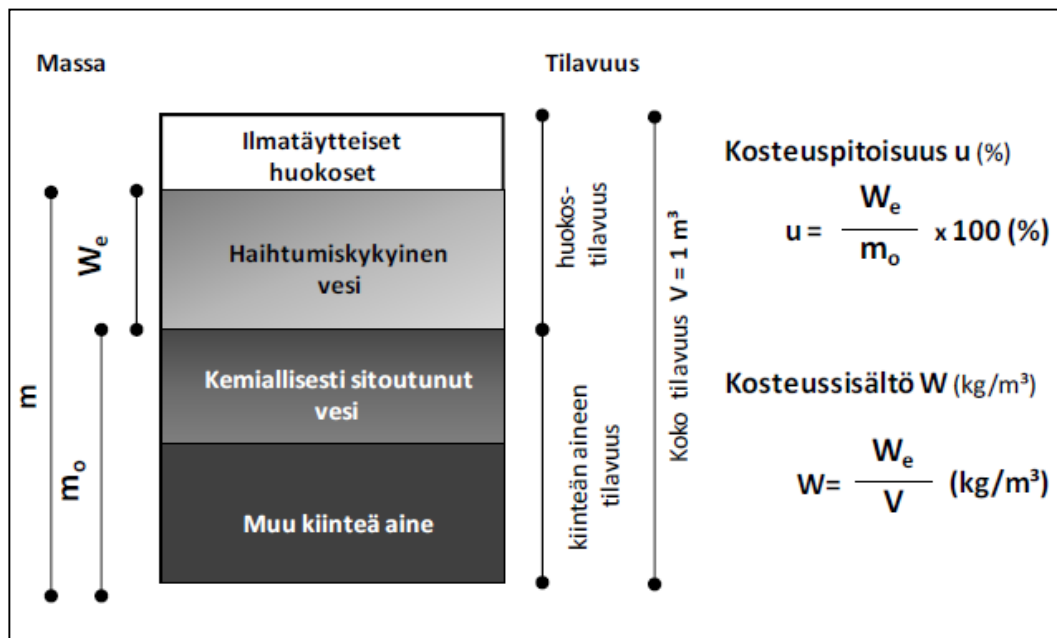
Fysikaalisesti sitoutunutta vettä betonissa on betonin huokosissa oleva vesi. Vettä esiintyy huokosissa kolmessa eri muodossa. Näitä muotoja ovat huokosten ilmatilassa oleva vesihöyry, huokosten pintaan vesimolekyylikerroksina absorboituneena ja huokosten pintaan kapillaarikondenssin vaikutuksesta absorboituneena vetenä kuten kuviossa 1 kuvataan. Ilmahuokosten lisäksi osa betonin fysikaalisesta vedestä sitoutuu sementtigelihuokosten systeemiin eli geelihuokosiin. Tämä geelivesi poistuu vasta hyvin kuivasta betonista. Fysikaalisesti sitoutunut vesi on vapaata vettä, joka pystyy liikkumaan huokosrakenteessa ja poistumaan betonista. Tästä syystä juuri fysikaalisesti sitoutunut vesi voi olla betonissa haitallista vettä pinnoitusmateriaaleille ja lattiapäällysteille.

(Merikallio 2009, 13-14)



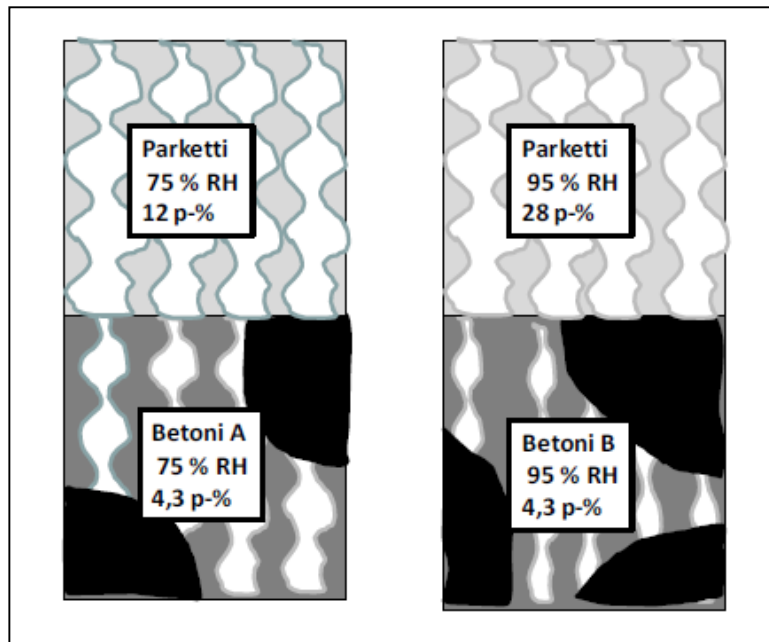
KUVIO 1. Fysikaalisesti sitoutunut vesi betonin ilmahuokosissa (Merikallio 2009, 13)

Veden määrä betonissa voidaan ilmoittaa joko kosteuspitoisuutena painoprosentteina betonin kuivapainosta (p-%), kosteussisältönä betonin tilavuuden suhteessa (kg/m³) tai betonin huokosten ilmatilan suhteellisen kosteuden RH(%). Kuvion 2 mukaisesti kosteuden painoprosentilla (u) betonin kuivapainosta tarkoitetaan haihtumiskykyisen veden (fysikaalisen veden) massan (W_e) suhteessa betonin kiinteän aineen massa (m_o). Kosteussisällöllä tarkoitetaan betonin sisältämän haihtumiskykyisen veden (fysikaalisen veden) massan (W_e) suhteena betonin koko tilavuuteen (V). Betonin kosteussisältö ja kosteuspitoisuus voidaan määrittää punnitus-kuivatus menetelmän avulla, jossa betonista otetaan näytepala, joka punnitaan, kuivatetaan ja punnitaan uudelleen. (Merikallio 2009, 14.)



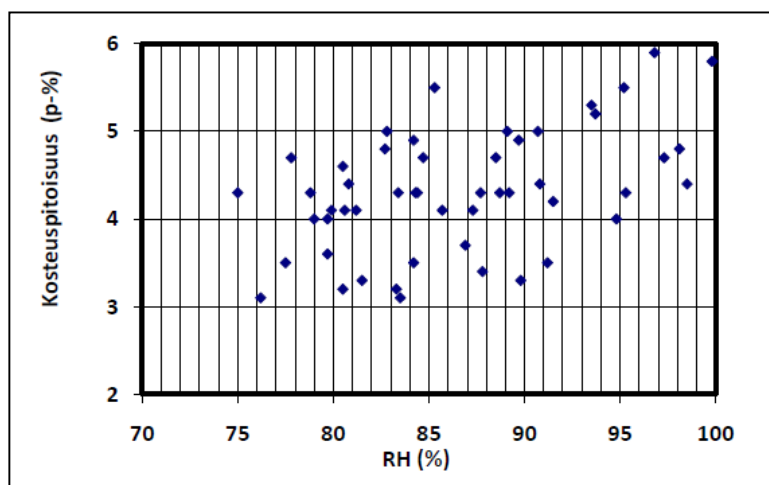
KUVIO 2. Periaatekuva betonin kosteuspitoisuuden ja kosteussisällön määrittämiseen (Merikallio 2009, 14)

Yleisin tapa betonin kosteuden ilmoittamiseen Suomessa on kuitenkin betonin huokosten ilmatilan suhteellisen kosteuden RH(%) mittaaminen. Suhteellisen kosteuden mittaaminen ilmoittaa vain ilmatilan huokosissa olevan vesihöyryn määrän suhteessa ilmatilan kykyyn sitoa kosteutta, eli se ei ota huomioon kaikkea fysikaalisesti sitoutunutta vettä. Suhteellisen kosteuden mittaamisessa betonin lämpötilalla on suuri merkitys. Kuvioista 3 huomataan, että lattiapinnoitteen kosteus on riippuvainen betonin suhteellisesta kosteudesta kosteuden painoprosentin sijaan. Tästä syystä betonin kuivumista seurataan Suomessa yleisimmin suhteellisen kosteuden arvoilla.



KUVIO 3. Betonin suhteellisen kosteuden ja painoprosentin vaikutus lattiapinnoitteen kosteuteen (Merikallio 2009, 18)

Eri betonin kosteuden määrittystavoilla on yhteys toisiinsa, mutta suoranaista korrelaatiota lukemilla ei ole. Eri-ikäisillä ja erilaatuilla betoneilla betonin kosteuspitoisuus (p-%) voi vaihdella hyvin paljon, vaikka suhteellinen kosteus (RH) olisi tismalleen sama. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat mm. betonin huokosmäärä ja rakenne, lämpötila, sementtimäärä, lisä- ja seosaineet sekä onko betonin kosteusprosentti nousemassa (absorptio) vai laskemassa (desorptio). Kuten kuvioista 4 huomataan, betonin kosteuspitoisuus painoprosentteina ei ole suoraan verrannollinen betonin kosteusprosenttiin. (Merikallio 2002, 10-11.)



KUVIO 4. Eri-ikäisten ja -laatuisten betonien kosteuspitoisuuden ja kosteusprosentin verrantoa (Merikallio 2009, 17)

3 BETONIN KUIVUMINEN

3.1 Betonin kuivattamisen tarkoitus

Betoni epäorgaanisena materiaalina kestää hyvin kosteutta eikä kosteudesta betonissa ole rakenteen toimivuudelle haittaa. Kosteusvaihtelut tosin vaikuttavat betonin muodonmuutoksiin, koska kuivuessaan betoni kutistuu ja kastuessaan turpoaa. Tämä saattaa aiheuttaa betonissa halkeamia ja lattiapäällysteiden vaurioita. Jotta tuoreeseen betoniin ei tulisi kuivumiskutistumasta johtuvia halkeamia, betonin jälkihoito on tärkeää tehdä kunnolla, jolloin betonin pinta ei pääse lujittumisen alkuvaiheessa kuivumaan liian nopeasti.

Tärkein syy betonin kuivattamiselle on pinnoitettavuuden saavuttaminen. Liian kostean betonin pinnoittaminen voi aiheuttaa vaurioita sen päällysteelle, kun kosteus siirtyy betonista lattiapinnoitteeseen. Kuten tekniikan tohtori Tarja Merikalliokin (2009, 19-20) listaa yleisimpiä vaurioita liian kostean betonin pinnoittamiseen ovat:

- keraamisten laattojen halkeilu betonin muodonmuutoksista johtuen
- muovimatto kupruilee ja värjäytyy
- parketti turpoaa ja irtoilee
- rappaukset, maalit ja tasoitteet hilseilevät
- jalkalistat homehtuvat
- epoksi- ja polyuretaanipinnoitteiden tartunta heikkenee.

Lisäksi vesi voi aiheuttaa joissakin lattiapinnoitteiden liimoissa ja massoissa kemiallisia reaktioita, jotka vaikuttavat sisäilman laatuun ja heikentävät massojen toimivuutta. Myös betonin ja lattiapinnoitteen välissä olevat liimat ja massat voivat toimia kasvualustana haitallisille mikrobikasvustoille, jos betonista pääsee siirtymään riittävän paljon kosteutta rakenteiden väliin, eikä kosteus pääse siirtymään lattiapinnoitteen läpi. (Merikallio 2009, 20)

Erilaisille lattiamateriaaleille on määritelty pinnoitettavuusvaatimuksia monissa eri kirjallisuuslähteissä. Kuten tekniikan tohtori Tarja Merikallion (2009, 37) kokoamasta taulukosta 1 huomataan, on eri kirjallisuuslähteissä huomattaviakin eroja. Koska pinnoitusvaatimukset voivat vaihdella eri julkaisuiden välillä, useimmiten on järkevintä käyttää pinnoitteen päällystysraja-arvona sen materiaalivalmistajan antamia ohjeita, jotta tuotteen takuu pysyy voimassa. Ongelmia päällystysraja-arvojen määrittämisessä kuitenkin tuottaa usein valmistajien väliset erot eri maissa käytettyjen raja-arvojen vaihtelulla, sekä vaihtelut kosteusmäärän ilmoitusmuodossa (paino-% ja suhteellinen kosteus RH).

TAULUKKO 1. Merikallion (2009, 37) kokoama taulukko eri lähteiden antamista betonin päällystettävyyden arvoista. Lukemat +20 °C asteen lämpötilassa.

Alustabetonin suhteellisen kosteuden RH (%) enimmäisarvot päällystyshetkellä				
Päällystemateriaali	SisäRYL 2000	by45/BLY7 Betonilattiat 2002	by 47 Betoniraken- tamisen laatuohjeet 2007 ¹⁾	Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet (2007) ^{1) 2)}
Alustaan liimattava lautaparketti (ilman puun ja betonin välistä kosteudeneristystä)	60 %	85 %	-	85 % (normaalibetonin) 90 % (v/s < 0,5)
Mosaiikkiparketti	80 %	80 % (pinta < 75 %)	85 % 90 % (v/s < 0,5)	85 % 90 % (v/s < 0,5)
Kelluva lautaparketti (puun ja betonin välissä kosteudeneristys)	80 %	90 %	85 % 90 % (kost. kestävä tasoite tai ei tasoitetta)	85 %
Laminaatti (puun ja betonin välissä kosteudeneristys)	80 %	-	85 %	85 %
Huopa ja solumuovipohjaiset muovimatot	85 %	85 %	85 %	85 %
Muovimatot ilman huopa- tai solumuovipohjaa	90 %	90 %	85 %	85 %
Kumimatot	85 %	85 %	85 %	85 %
Linoleumi	90 %	90 %	85 %	85 %
Tekstiilimatot, joissa alusrakenne	85 %	85 %	85 %	85 %
Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta	90 %	90 %	90 %	90 %
Muovilaatat	90 %	90 %	90 %	90 %

1) Kaikkien materiaalien kohdalla edellytetään lisäksi, että betonin suhteellinen kosteus rakenteen pintaosissa 1-3 cm:n syvyydellä on alle 75 %.

2) Julkaisussa *Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen* (2007) on samat arvot.

Eri laatuohjeiden ja materiaalivalmistajien ohjeiden lisäksi myös laissa on määräyksiä koskien betonin kuivumista. Maankäyttö- ja rakennuslaki määrää rakennekosteudesta seuraavalla tavalla.

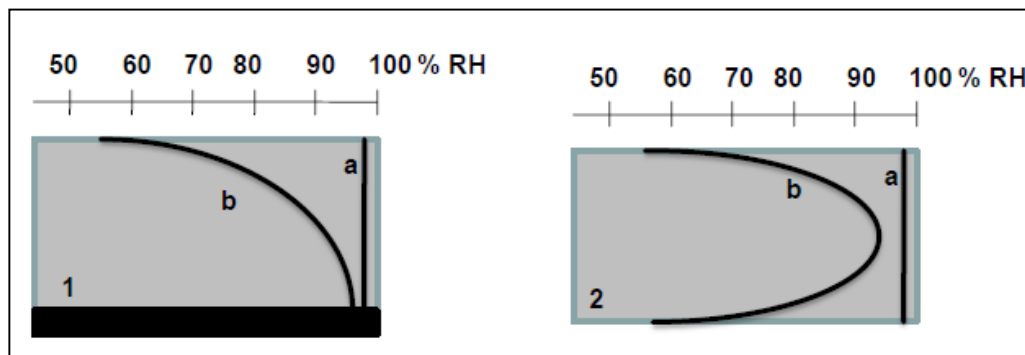
Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen. Rakennuksesta ei saa aiheutua terveyden vaarantumista sisäilman epäpuhtauksien, säteilyn, veden tai maapohjan pilaantumisen, savun, jäteveden tai jätteen puutteellisen käsittelyn taikka rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi. (MRL luku17, 117C §)

3.2 Betonin kuivumisolosuhteet

Lähtötilanteessa tuoreen betonin kosteusprosentti on 100 % betonointityön jälkeen ja betonin kosteuspitoisuus painoprosentteina voi vaihdella muutamasta prosentista jopa 15 prosenttiin riippuen betonin laadusta. Betonin kovettumisprosessissa osa vedestä sitoutuu sementtiin, jolloin betonin kuivuminen käynnistyy. Kovettumisreaktiossa myös lämpötila betonissa nousee, jolloin kosteuden poistuminen kiihtyy. Tämä kovettuessa kuivuva vesi on ns. kemiallisesti kuivuvaa vettä. Normaaleilla betoneilla tämä kuivuminen laskee betonin suhteellista kosteutta vain muutamana prosenttiyksikön, jolloin suurin osa betonin kuivumisesta tapahtuu haihtumisena ympäristöön. Nopeasti kuivuvat erikoisbetonit kuten NP-betoni ja itsestään kuivuvat betonit ovat erikoisbetoneita, joiden nopea kuivuminen perustuu alhaiseen vesi-sideainesuhteeseen, jolloin kemiallisen kuivumisen osuus voi nousta jopa 10 %:n tuntumaan. (Merikallio 2009, 21)

Suurin osa betonin kuivumisesta tapahtuu siis haihtumiskuiyumisella. Siinä betoniin fysikaalisesti sitoutunut vesi liikkuu betonin ja ympäröivän ilman tai materiaalin välillä pyrkien tasapainotilaan, jolloin molempien kosteusprosentti on sama. Alkuvaiheessa, kun betoni on vielä hyvin kostea, vesi siirtyy kapillaarisesti betonin pinnalle, josta se haihtuu ympäröivään ilmaan. Pinta kuitenkin kuivuu hyvin nopeasti, jolloin kapillaarinen veden siirtyminen estyy ja kosteus poistuu betonista vain vesihöyry-muodossa eli diffuusiolla. Diffuusiolla kuivuminen on huomattavasti kapillaarista kuivumista hitaampaa. (Merikallio 2009, 22)

Betonin pintaosat kuivuvat nopeammin ja mitä syvemmälle betonirakenteen sisään mennään, sitä kosteampaa betoni on. Betoni osien kuivumissuunnilla on myös keskeinen merkitys betonin kuivumisessa. Mitä enemmän betonissa on kuivumissuuntia ja mitä suuremmalta pinta-alalta betoni luovuttaa kosteutta, sitä nopeammin betoni kuivuu. Esimerkiksi maata vasten valetut alapohjalaatat ovat yhteen suuntaan kuivuvia, kun taas välipohjalaatat pääsevät kuivumaan sekä alaspäin, että ylöspäin, jolloin laatan kuivuminen on nopeampaa. Kuviossa 5 on sekä yhteen suuntaan kuivuvan, että kahteen suuntaan kuivuvan laatan kosteuden jakautumiskuvaajat. Yhteen suuntaan kuivuvassa laatas- sa betoni on kosteinta laatan alaosassa, kun kahteen suuntaan kuivuvassa laatas- sa laatan keskiosa on kaikkein kosteinta. (Merikallio 2009, 22-23)



KUVIO 5. Betonin suhteellisen kosteuden jakautumat yhteen suuntaan kuivuvalla laa- talla (1) ja kahteen suuntaan kuivuvalla laatalta (2) (Merikallio 2009, 23)

Betonin kuivumisen nopeuteen vaikuttaa merkittävästi betonin rakennepaksuus, betonin ja ympäröivän ilman lämpötila, kosteus ja ilmanvaihto sekä betonin vesi-sideainesuhde. Mitä paksumpi betonilaatta on, sitä hitaammin se kuivuu. Mitä pidempi matka kosteu- della on kulkeuduttavana betonin haihtumiskykyiselle pinnalle, sitä kauemmin se kes- tää. Peruseriaatteena voidaan pitää laatan paksuuden tuplaantuessa, kuivumisaika nel- linkertaistuu. Betonin vesi-sideainesuhde vaikuttaa betonin tiiveyteen. Mitä alhaisempi vesi-sideainesuhde on, sitä tiiviimpää betoni on ja mitä tiiviimpää betoni on, sitä hi- taammin se yleensä siirtää kosteutta. (Merikallio 2009, 24)

Myös ympäröivän ilman kyky sitoa kosteutta on merkittävä betonin kuivumisen kannalta. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän sillä on kykyä sitoa kosteutta ja mikäli ilma on hyvin kosteaa, sen kyky vastaanottaa kosteutta on huomattavasti hitaampaa. Tekniikan tohtori Tarja Merikallio on teoksessaan *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi* (2002, 39-56) määritellyt kertoimia erilaisille kuivumisaikaan vaikuttaville tekijöille, joista taulukossa 2 on kuvattu olosuhteiden kertoimia. Esimerkiksi jos ympäristön lämpötila on 10 °C ja kosteusprosentti 80 % (kerroin 1,7), betonin kuivuminen kestää 2,8 kertaa kauemmin kuin olosuhteissa 30 °C, 50 % (kerroin 0,6).

TAULUKKO 2. Merikallion (2002, 39-56) julkaisema taulukko olosuhteiden lämpötilan ja kosteusprosentin vaikutuksesta betonin kuivumisnopeuteen

OLOSUHTEET				
RH (%)	lämpötila (°C)			
	10,0	18,0	25,0	30,0
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Työmaaolosuhteissa on tärkeää kiinnittää huomiota betonin kuivattamisessa, että betonin kuivumiselle on varattu riittävästi aikaa. Betonirakenteiden kastumista on vältettävä ja tarvittava sääsuojaus on suunniteltava ja toteutettava huolella. Ilman lämpötila tulee saada riittävän suureksi (15-25 °C) ja suhteellinen kosteus rakennuksen sisällä mahdollisimman alhaiseksi. Näiden saavuttamiseksi tulee käyttää tarvittaessa väliaikaisia lämmittimiä ja ilmankuivaimia, riippuen vuodenajasta ja sääoloista. Työmaaoloissa työskentely ja erityisesti tasoitetyöt tuovat lisäkosteutta, jonka poistuminen tulee huomioida. Erityisen tärkeää on estää betonia kastumasta, sillä nestemäisessä muodossa vesi kulkeutuu betoniin huomattavasti nopeammin kuin vesihöyrynä. (Merikallio 1998, 13-19)

4 BETONIN KUIVUMISEN SEURANTA

Betonin kosteuden seuraamiseen on useita eri menetelmiä. Osa näistä menetelmistä on suuntaa antavia ja monissa tapauksissa tarkallakin mittauslaitteella voidaan saada hyvin erilaisia tuloksia. Tärkeintä betonin kosteuden mittaamisessa on saatujen tulosten tulkinta ja niistä tehdyt johtopäätökset. Erilaisilla mittausmenetelmillä voidaan mitata betonista kosteutta joko painoprosentteina tai suhteellisenä kosteutena. Tässä luvussa selostetaan lyhyesti erilaisia käytössä olevia kosteudenmittausmenetelmiä. Tarkimmin käydään läpi yleisimmin käytettyä, niin sanottua porareikämittausta sekä Wiiste Oy:n SolidRH-kosteudenmittausmenetelmää.

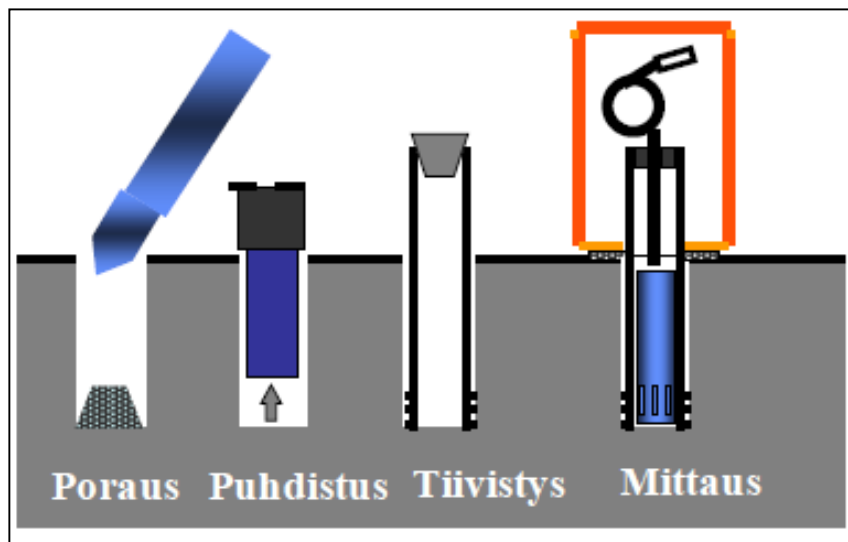
4.1 Porareikämittaus

Porareikämittaus on tällä hetkellä yleisin tapa seurata betonin kuivumista. Porareikämittauksessa mitataan betonin lämpötilaa ja betonin huokosten suhteellista kosteutta (RH) halutulta syvyydeltä. Porareikäantureissa on kapasitiivinen kosteusmittari, joka mittaa kapasitanssin muuttumista, kun vesimolekyylit imeytyvät ohueen polymeerikalvoon. Koska kalvoon imeytyy myös veden lisäksi kapasitanssiin vaikuttavia epäpuhtauksia, tulee anturit kalibroida tasaisin väliajoin. Porareikämittauslaitteita valmistaa useampiakin valmistaja (mm. Vaisala ja Testo). Eri valmistajilla ja erilaisilla malleilla on hieman erilaiset käyttöohjeet, etenkin tasaantumisaajat vaihtelevat, mutta tässä työssä esitellään porareikämittauksen peruseräperiaatteet.

Porareikämittaus toteutetaan kuvan 1 mukaisesti. Ensin porataan 16 mm halkaisijalla olevalla poranterällä betoniin reikä halutulle syvyydelle. Poraus toteutetaan kuivamenetelmällä. Reikää poratessa tulee ottaa huomioon, ettei poraus osu betonin raudoituksiin tai ettei reiän pohjalla ole suurta kiveä (vääristää mittaustulosta). Porattu reikä tulee seuraavaksi puhdistaa huolellisesti käyttäen imuria ja reikään mahtuvaa suutinta. Puutteellisesti puhdistettu porareikä vääristää mittaustulosta yleensä ylöspäin. Puhdistamisen jälkeen porattuun reikään asetetaan mittausputki, joka painetaan tiiviisti reiän pohjalle. Mittausputkena tulee käyttää joko laitevalmistajan tätä tarkoitusta varten valmistettuja mittausputkia tai 16 mm sähköputkea. Sähköputkea käytettäessä putken reunat tulee tiivistää betonin sisään jäävältä osalta, laitevalmistajien mittaputkissa on valmiit tiivistyslaipat.

Mittausputken ja betonin rajapinta tulee vielä tiivistää vesihöyrytiivillä kitillä, jonka jälkeen putki puhdistetaan imuroimalla se putken sisään mahtuvalla suuttimella. Puhdistuksen jälkeen putken pää tulpataan vesihöyrytiivillä kitillä tai tulpalla. Yleisesti porareikämittauksessa on käytetty vesihöyrytiivinä kittinä ns. sinitarraa. (RT14-10984 2010, 4)

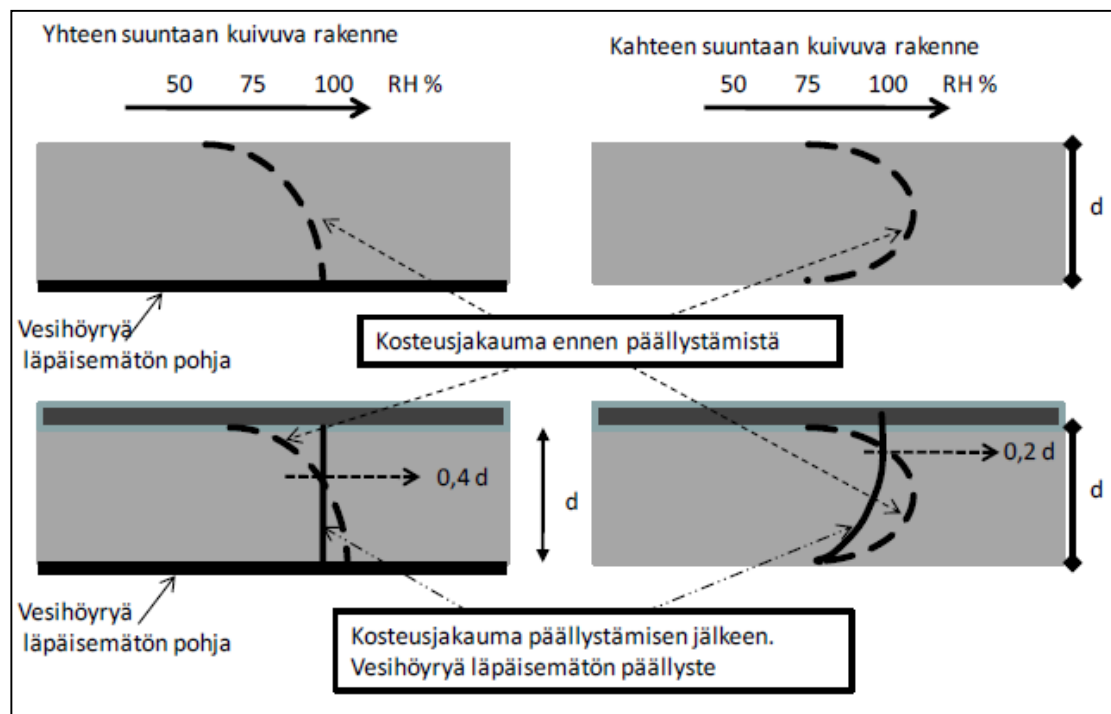
Kun reikä on porattu, tulpattu ja tiivistetty, tulee porareikä antaa tasaantua vähintään 3vrk, jotta mittausreikä saavuttaa kosteustasapainon betonin kanssa. Tämän jälkeen reikään asetetaan mittapää, jonka annetaan tasaantua reiässä mittapään valmistajan antamien ohjeiden mukaan 1-4h ennen mittausta. Mittapää voidaan asentaa myös porauksen yhteydessä, mutta silloin reiän on annettava tasaantua myös 3vrk. Riittävän tasaantumisen jälkeen mittaustulos luetaan mittapään kiinnitetyllä näyttölaitteella. (RT14-10984 2010, 5)



KUVA 1. Betonin suhteellisen kosteuden määrittäminen porareikämittauksella (Merikallio 2009, 61)

Porareikämittauksessa luotettavan mittaustuloksen aikaansaamiseksi mitattavan kohteen lämpötilan tulee olla 15-25 °C. Lisäksi mittareikien porauksen ja mittauksen välillä olosuhteet (lämpötila) on pyrittävä pitämään mahdollisimman vakiona, jottei lämpötilamuutoksista johtuvaa kosteuden tehostettua siirtymistä tai tiivistymistä mittausputken päase tapahtumaan. Mikäli mitattavassa kohteessa on lattialämmitys, tulee se sulkea viimeistään 2 viikkoa ennen mittausta. Porareikämittauksessa reiän minimisyvyys tulee olla 10mm. (RT 14-10984 2010, 3)

Ennen porareikämittausta tulee mittaajalla olla kosteusmittaussuunnitelma, jonka perusteena ovat tiedot tutkittavista rakenteista, valuajankohdasta ja tulevista pintamateriaaleista. Näiden tietojen perusteella mittaajan tulee valita mittauspikat ja syvyydet. Mittauspaikkoja tulee olla riittävän kattava määrä, jotta päästään riittävään varmuuteen tutkittavan alueen kokonaisuudesta. Mittaussyvyyksien valinnassa tärkeintä on tieto tutkittavasta rakenteesta. Peruseriaatteena on, että jokaiselta mittauspikalta otetaan mittaus kahdelta tai kolmelta eri syvyydeltä. Yksi mittaus tulee olla rakenteen pinnasta (0-10mm), yksi 20-30 mm syvyydeltä. Näillä mittauksilla selvitetään, että rakenteen pinta on riittävän kuiva pinnoitusta varten (yleisesti vaadittu $RH < 75\%$). Pintamittaus jätetään usein tekemättä, mikäli 20-30 mm syvyydeltä saadut tulokset ovat riittävän kuivat, eikä rakenteen pinta ole päässyt kastumaan. Kolmas mittaus syvyydeltä, jolle betonirakenteen kokonaiskosteuden oletetaan maksimissaan tasaantuvan pinnoituksen jälkeen. Perusteet tämän syvyyden valinnalle ovat kuviossa 6. Kuten kuvasta voidaan todeta, yhteen suuntaan kuivuvissa laatoissa mittaussyvyys on 40 prosenttia laatan vahvuudesta ja kahteen suuntaan kuivuvissa 20 prosenttia laatan vahvuudesta.

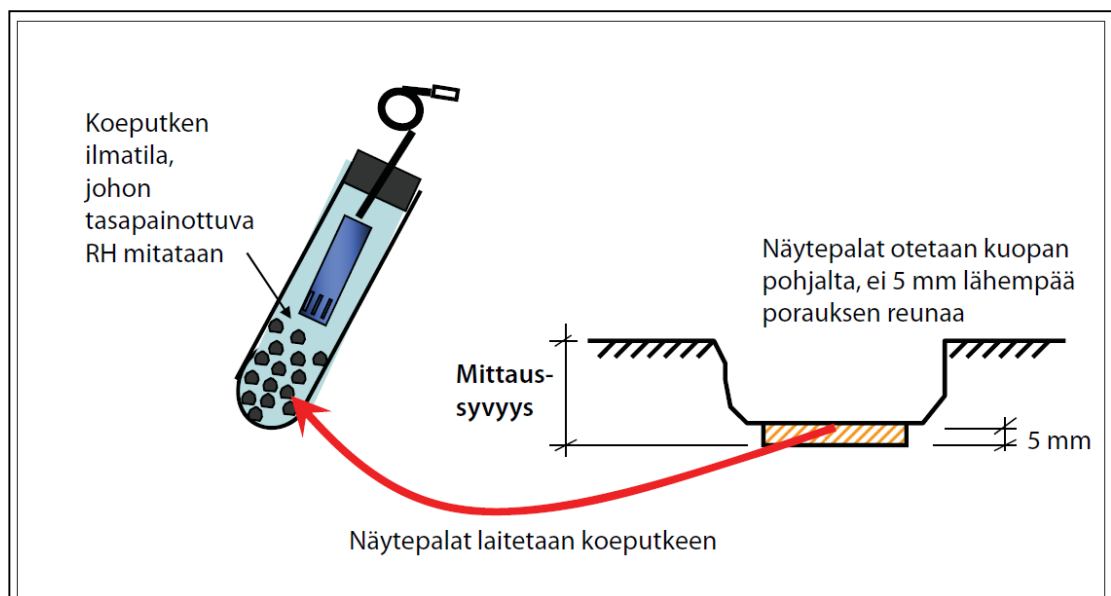


KUVIO 6. Porareikämittauksen mittaussyvyyksien valinta (Merikallio 2009, 48)

4.2 Muut kosteusmittausmenetelmät

Näytepalamittaus

Näytepalamittausmenetelmällä betonista mitataan porareikämittauksen tavoin betonin huokosten ilmatilan suhteellista kosteutta (RH). Myös mittauslaitteet ovat samat, kuin porareikämittauksessa. Näytepalamittauksessa betoniin piikataan tai porataan kuoppa, josta piikataan näytemursia halutulta syvyydeltä. Näitä murusia kerätään koeputkeen noin 1/3 koeputken tilavuudesta. Tämän jälkeen koeputken laitetaan kosteusmittapää ja koeputki tiivistetään huolellisesti. Koeputki viedään tämän jälkeen +20 °C asteen vakio- lämpötilaan ja olosuhteiden annetaan tasaantua koeputkessa 2-12 tuntia. Tämän jälkeen mittau tulokset voidaan lukea näyttölaitteella. Näytepalamittauksen periaate on kuvattu myös kuvassa 2. Näytepalamenetelmää voidaan käyttää betonin kosteuden mittaamiseen myös porareikämittausta korkeammassa tai alhaisemmassa lämpötilassa. (Merikallio 2002, 16-18)



KUVA 2. Näytepalamittaus (RT 14-10984 2010, 7)

Pintakosteudenosoittimet

Pintakosteudenosoittimet ovat rakenteita rikkomaton menetelmä, joka perustuu materiaalin sähkönjohtavuuden mittaamiseen. Mitä kosteampaa materiaali on, sitä paremmin se johtaa sähköä. Betonilaatujen erot koostumuksissa vaikuttavat niistä saatuihin mitaustuloksiin ja pintakosteudenosoittimet soveltuvatkin parhaiten kosteimpien paikkojen etsimiseen rakenteesta. Kuten nimestä voi päätellä, laitteella voi mitata vain mitattavan rakenteen pintaosien kosteutta. Pintakosteudenosoittimet eivät sovellu rakenteen päällystettävyyssmittauksiin. (Merikallio 2002, 6-7)

Kalsiumkarbidimittari

Kalsiumkarbidimittauksella määritetään betonin kosteutta painoprosentteina. Mittauksessa betonista otetaan näytepaloja, jotka laitetaan metalliseen koepulloon yhdessä kalsiumkarbidijauhetta sisältävän lasiampullin ja teräskuulien kanssa. Pulloa ravistetaan, jolloin ampulli rikkoutuu ja kalsiumkarbidi sekä betoni reagoivat keskenään. Reaktiosta syntyvä paine mitataan pullon korkissa olevasta painemittarista. Taulukoista saadaan painetta vastaava betonin kosteuspitoisuus. Tämän menetelmän hyöty on sen nopeus. Haittapuolina ovat, ettei kaikille betonilaaduille löydy riittävän luotettavia taulukoita ja nykyään useimmat pinnoitusvaatimukset ilmaistaan painoprosenttien sijaan suhteellisenä kosteutena. (Merikallio 2002, 7)

Vastusmittaus

Vastusmittaus on Suomessa harvemmin käytetty, mutta Keski-Euroopassa hyvin yleinen menetelmä betonin kosteuden mittaamiseen. Vastusmittauksella mitataan betonin kosteuspitoisuutta painoprosentteina, joten ongelmaksi muodostuu tulosten muuntaminen suhteellisen kosteuden arvoiksi kuten kalsiumkarbidimittauksella. Vastusmittauksessa mitataan betonin sisään asennettujen elektrodien välistä sähkövastusta. Mittaus on rakenteita rikkova, sillä elektrodit asennetaan rakenteeseen porattuihin reikiin. (Merikallio 2002, 7-8)

Punnitus-kuivatus –menetelmä

Punnitus-kuivatus –menetelmällä selvitetään betonin kosteuspitoisuutta painoprosentteina ja se on vastusmittausta ja kalsiumkarbidimittausta tarkempi. Menetelmällä betonista otetaan näytepala esimerkiksi piikkaamalla ja näyte punnitaan. Punnituksen jälkeen näytettä kuivatetaan 105 °C asteen lämpötilassa, kunnes sen massa laskee enintään 0,1 % näytteen alkuperäisestä massasta vuorokaudessa. Tämän jälkeen näyte punnitaan uudelleen ja näytteen kuivapainon sekä alkuperäisen painon perusteella voidaan laskea näytepalan kosteuden paino-%. Tämä menetelmä vaatii laboratorio-olosuhteita (mm. ilmastoitu uuni ja tarkka vaaka), joten menetelmän soveltuvuus normaaleihin työmaaolosuhteisiin on heikko. (Merikallio 2002, 8)

4.3 Wiiste Oy:n kosteusmittausjärjestelmä

Wiiste Oy on suomalainen, vuonna 2012 perustettu mittausteknologia-alan yritys. Yritys tarjoaa laitteisto- ja ohjelmistoratkaisuja rakennekosteusmittauksiin. Yritys valmistaa langatonta kosteudenmittausmenetelmää joka soveltuu sekä betonin rakennusaikaisen kuivumisen mittaamiseen, että pinnoitusten jälkeiseen kosteusseurantaan.

SolidRH-laitteisto

Wiiste Oy:n kehittämä SolidRH-laitteisto on tarkoitettu betonirakenteiden kosteuden ja lämpötilan seurantaan. SolidRH-laitteisto koostuu betoniin asennettavista langattomista antureista ja käsikäyttöisestä lukulaitteesta. Mittaustekniikaltaan SolidRH perustuu kapasitiiviseen kosteusanturiin ja samoihin ilmiöihin kuin porareikämittauskin. Lisäksi Wiiste Oy on kehittänyt Relia-ohjelmiston, johon lukulaitteen mittatiedot saadaan siirrettyä lukulaitteesta digitaalisesti. Relia-ohjelmisto on selainpohjainen ja toimii pilvessä. Relian avulla mittaustuloksia voi seurata tietokoneella, tabletilla tai älypuhelimella.

Kosteus- ja lämpötila-anturit ja asennus

SolidRH anturit mittaavat digitaalisesti betonin lämpötilaa ja betonin suhteellista kosteutta (RH). Anturit eivät sisällä akkua tai muuta virtalähdettä. Energia siirtyy langattomasti lukulaitteella mittauksen yhteydessä. Antureita valmistetaan tällä hetkellä viittä erilaista tyyppiä, valuun asennettava SH1-anturi, jälkikäteen betonirakenteeseen porattava SH2-anturi, porareikämittauksiin tarkoitettu SHR-anturi, rakenteen pintaan asennettava SH3-anturi sekä mm. ahtaisiin eristetiloihin ja hormeihin tarkoitettu SH4-anturi. Jokainen anturi on yksilöllisesti sarjanumeroitu, sekä niiden mittaussyvyys valmiiksi asetettu.

Valuun asennettavat SH1-anturit valmistetaan halutun pituisiksi (15-70 mm) mittaus-suunnitelman mukaisesti. Mittaussyvytydet valitaan samoin kuin porareikämittauksessa-kin. Anturit asennetaan betonivalun aikana tuoreeseen betonimassaan heti levityksen ja linjauksen jälkeen, kun asennuspaikka on oikeassa korossa. Anturi painetaan putki alas-päin betoniin siten että anturin yläpinta tulee tasan betonin yläpinnan kanssa. Asennuk-sen jälkeen betonipinta voidaan hiertää ja jälkihoitaa täysin normaalisti. Lisäksi anturis-sa on kahden millin hiomisvara, joten myöhemmin tehtävällä pinnan hiomisella ei ole vaikutusta anturin toimintaan. Anturi on aina mittavalmiina sekä mitattavissa myös pin-noitusten jälkeen.

SH1-anturia on saatavilla myös pystysuoriin betonirakenteisiin. Tämä vaatii ylimääräi-sen filterin asentamisen anturin päähän, ettei betonimassaa mene anturin mittaputkeen. Eli asennustapa pitää ottaa huomioon jo tehtaalla. Seinäanturi kiinnitetään muottiin kahdella ruuvilla muottiasennuksen aikana. Betonointityössä on otettava huomioon, ettei antureiden päälle lasketa suoraan betonia ja ettei betonia tiivistettäessä kolhita an-turia. SH1-antureita voidaan asentaa myös elementtitehtaalla erilaisiin rakenteisiin, esi-merkiksi maanpaineisiin seuraamaan ulkopuolisen vedeneristeen toimivuutta.



KUVA 3. SolidRH1 SH1 anturi (SolidRH käyttöohje, 8)

Valmiiseen betonirakenteeseen asennettava SH2-anturi on mittaa betonin lämpötilaa ja kosteutta. Anturi asennetaan poraamalla betoniin 25 mm poranterällä halutun syvyinen reikä (kuivamenetelmällä), joka puhdistetaan imurilla ja reikään mahtuvalla suuttimella. Puhdistettuun reikään lyödään asennusholkkia ja vasaraa apuna käyttäen lieriön muotoinen anturi. Asennuksen jälkeen anturin tasaantumisaika on 3 vrk, jonka jälkeen anturi on aina mitattavissa, myös pinnoituksen jälkeenkin. SH2-anturit ovat tarkoitettu ensisijaisesti saneeraustyömaille ja uudistyömaille täydentämään uudistyömaan kosteusseurantaa esimerkiksi paikoissa, jotka ovat työmaan aikana päässeet kastumaan.

Porareikämittauksiin soveltuvaa SHR-anturia käytetään kuten tavallista porareikäantureita. Anturi asennetaan samaan mittaputkeen kuin tavalliset porareikäanturit. Hyötynä perinteiseen porareikämittaukseen on tiedon saaminen Relia-palveluun. Näin ollen mitaussuunnitelmien teko, mittaustulosten tallennus ja tulosten raportointi on nopeampaa ja helpompaa kuin perinteisellä menetelmällä. Kuvassa 8 on esitetty SolidRH SHR-anturi.



KUVA 4. Wiiste Oy:n SolidRH SHR anturi

Betonirakenteen pinnalle asennettava SH3-anturi on tarkoitettu betonin ja lattiapinnoitteen rajapinnan kosteusmuutosten seuraamiseen tai esimerkiksi vedeneristeen pitävyyden arviointiin. Anturi asennetaan valmiin betonipinnan päälle ennen lattian pinnoitusta. Asennuksessa betoniin porataan 25 mm poranterällä noin 10 mm syvyinen reikä, joka puhdistetaan imurilla. Porauksen ja puhdistuksen jälkeen anturin reunoille levitetään liimamassaa ja anturi painetaan reiän päälle siten, että anturin pinta tulee betonipinnan tasaan. Anturin asennus on tämän jälkeen valmis ja lattia voidaan pinnoittaa. SH3-anturia voidaan käyttää myös mm. rankaseinän sisällä olevan kosteuden seurantaan. Näissä tapauksissa anturi kiinnitetään levytyksen sisäpuolelle ja sitä voidaan lukea seinän levyrakenteen läpi.



KUVA 5. Wiiste Oy:n SolidRH SH3 anturi

SolidRH SH4-anturit ovat tarkoitettu hankalasti saavutettavien rakenteiden kosteusmittauksiin. Muista antureista poiketen SH4-anturissa on mittaus- ja lukupäät erillisiä, kaapelilla yhdistettyjä osia. Tämä mahdollistaa mittauspään sijoittamisen syvälle rakenteisiin tai ahtaisiin paikkoihin, joihin lukulaite ei mahtuisi. Esimerkiksi seinien eristetilat ja putkihormit ovat paikkoja, joissa SH4-anturia voidaan hyödyntää.



KUVA 6. Wiiste Oy:n SolidRH SH4 anturi

Tulosten mittaus

Mittaustulosten lukemiseen antureista käytetään SolidRH RD1-lukulaitteella. Lukulaite on langaton, akkukäyttöinen ja digitaalisella näytöllä varustettu helppokäyttöinen laite. Sillä mitataan halutun anturin mittaushetkellä vallitsevan lämpötila ja suhteellinen kosteus viemällä laite anturin päälle liipaisin pohjassa. Mittaaminen onnistuu myös lattiapinnoitteen päältä, sillä lukulaitteella voidaan mitata anturin tulos jopa 40 mm etäisyydeltä anturin päästä. Laite ilmoittaa anturin olevan lähellä keltaisella merkkivalolla sekä äänimerkillä ja mittauksen olevan käynnissä vihreällä merkkivalolla sekä äänimerkillä. Kun mittaus on valmis, näyttölaitteen ruutuun ilmestyy mittaustulokset. Samalla mittaustulokset, mittausaika, anturin sarjanumero ja syvyys tallentuvat lukulaitteen muistiin. Lisäksi lukulaite tallentaa mittaushetkellä vallitsevan ympäristön lämpötilan ja il-mankosteuden.

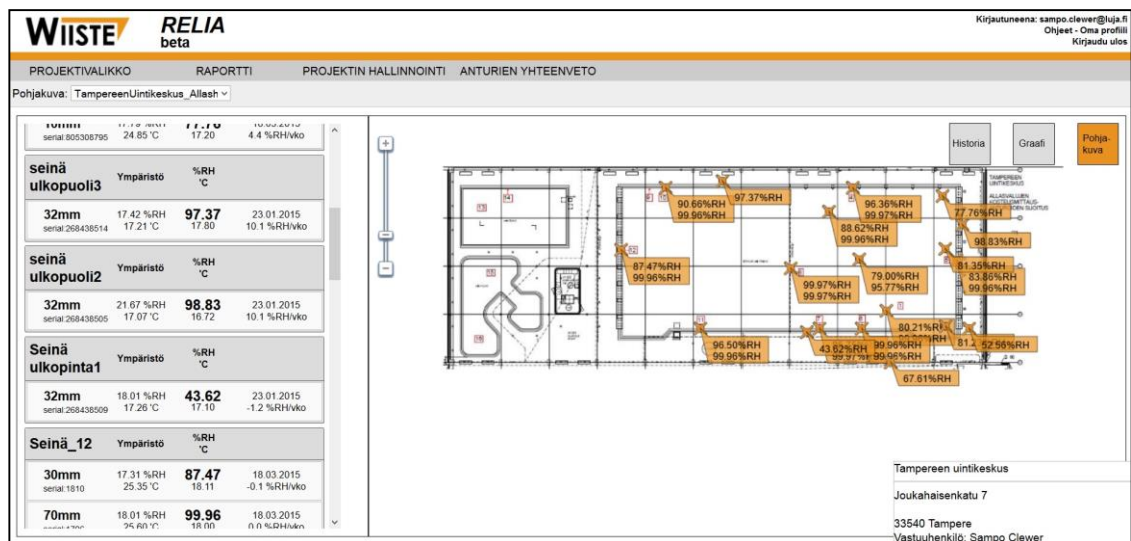


KUVA 7. SolidRH1 RD1-lukulaite (SolidRH käyttöohje, 10)

Tulosten koonti ja tiedonsiirto

Wiiste Oy:n Relia-ohjelmisto on kosteusmittauksen suunnittelua, seuranta ja tulosten raportointia varten tehty selainpohjainen pilvessä toimiva palvelu. Kullekin mittauskohteelle luodaan palveluun oma projekti, johon voidaan lisätä esimerkiksi pohjapiirustus tai valokuva kohteesta. Piirustukseen merkitään halutut mittauspaikat ja anturipituudet. Mittausten jälkeen RD1-lukulaitteeseen tallennetut mittatiedot voidaan viedä digitaalisesti Relia-palveluun ja haluttuun projektiin. Tietojen viemiseen tietokoneelle tulee olla ladattuna WSync-ohjelma. Ensimmäisellä tietojenvientikerralla anturit sidotaan pohjapiirustuksen mittauspaikkoihin ja tästä eteenpäin tiedot siirtyvät lukulaitteesta automaattisesti oikeille mittauspaikoille, kun lukulaite yhdistetään Relia-palveluun. Projektille voidaan lisätä käyttäjiä, jolloin jokainen asianomainen pääsee seuraamaan Reliasta mitaustulosten kehitystä. Tietoja lukeakseen ei tarvitse ladata ohjelmistoja ja tietojenluku onnistuu millä tahansa tietokoneella, tabletilla tai älypuhelimella.

Kuvassa 8 on näkymä Relia-ohjelmiston Tampereen Uintikeskuksen projektista. Palveluun on siirretty mittauskohteen pohjakuva, jonka päälle mittauspisteet lisätään. Palvelusta pääsee näkemään kunkin mittauspisteen kaikki mittaustulokset ja lisäksi sieltä saa tulostettua valmiin raportin kosteusmittauksista. Lisäksi Reliasta on helppo seurata kunkin mittauspisteen kuivumista graafisena kuvaajana, joka päivittyy automaattisesti kunkin mittaustuloksen siirron jälkeen. Projektille voidaan lisätä useita henkilöitä käyttäjäksi, jolloin esimerkiksi työmaan valvoja ja rakennuttaja pääsevät myös katsomaan tulosten kehitystä.



KUVA 8. Wiiste Oy:n Relia-ohjelmisto

5 ESIMERKKIKOHDE TAMPEREEN UINTIKESKUS

Tutkin opinnäytetyötäni varten erilaisia kosteusmittausmenetelmiä myös rakennustyömaalla. Tutkimuskohteenani oli Tampereen Uintikeskuksen perusparannustyömaa Tampereen Kalevassa.

Tampereen Uintikeskus on valmistunut vuonna 1979. Alkuperäinen rakennus on 3-kerroksinen ja siellä on yksi 50 m kilpailumitat täyttävä allas, opetusallas sekä kahluuallas. Kohteelle tehtävä peruskorjaus on erittäin suuri kattaen talotekniikan uudistamisen, pintasaneerauksen ja tilojen uudelleenjärjestelyä koko rakennuksen alueella. Perusparannustyöt alkoivat kesäkuussa 2013 ja työmaa valmistuu toukokuussa 2015.

Kosteusmittaustutkimukseni rajoittuivat työmaalla 50 m pituisen kilpauima-altaan betonin kuivumisen seurantaan. Käyttämiäni mittausten menetelmiä olivat porareikämittaus sekä Wiisteen SolidRH mittaus.

5.1 Tutkittavat rakenteet

Uima-altaan pohja on teräsbetoninen paalujen varaan valettu n.300 mm vahva laatta. Perusparannuksessa pohjalaatasta poistettiin alkaalikiviainesreaktion vuoksi lujuuskatoa kärsinyttä betonia altaan reuna-alueilta n.150 mm. Lisäksi altaan matalan osan pohjalaatasta poistettiin vanhaa betonia koko laatan alueelta n.70 mm. Betoni poistettiin vesipiikkaamalla. Vanhan laatan päälle valettiin uusi teräsbetonilaatta jonka vahvuus matalalla osalla 70 mm (sama korko kuin vanhassa) ja syvässä päässä 300 mm. Uuden laatan sisään tulivat myös uudet vedenkäsittelyputket.

Uima-altaan seinät ovat teräsbetonisia ja niiden paksuus 300-400 mm. Kuten pohjalaatastaakin, myös seinien betoni oli kärsinyt alkaalikiviainesreaktion vuoksi lujuuskatoa. Vanhasta rakenteesta jouduttiin tästä johtuen purkamaan seinän yläosan loiskekouru, matalan pään seinän sisäpinnasta kauttaaltaan 100mm ja syvän pään seinän alaosa 170 mm, muualta 100 mm. Uusi betoni valettiin samaan pintaan kuin vanha.

5.2 Betoni ja kosteusrasitukset

Altaan pohja on valettu ”ruutuvaluna” yhteensä neljässä eri osassa. Betonivalut on suoritettu pumppuvaluna. Ennen valua pohjalla olevaa vanhaa betonia kasteltu 2vrk ja valun jälkeen jälkihoitona vesiletkukastelu 14 vrk.

Altaan pohjavaluissa käytetty betoni on lujuusluokaltaan C30/37, notkeusluokaltaan S3 ja rasitusluokaltaan XC2, XD2. Betoniin käytetyn kiviaineksen maksimi raekoko on 16mm ja betonin suunniteltu käyttöikä 30 vuotta. Kuten uima-allasvaluissa yleensä, myös tässäkin kohteessa betonin vesisementtisuhde on alle 0,45.

Altaan seinät valettiin neljässä eri osassa. Ensimmäinen valu oli matalan pään varvastason alapuoleinen osa, toinen matalan pään varvastason yläpuoleinen seinä ja loiskekourut, kolmas valu oli syvän pään varvastason alapuoleinen seinä ja neljäs valu syvän pään varvastason yläpuoleinen osa sekä loiskekourut. Ennen valua seinien vanhaa betonia kasteltu 2 vrk ja valun jälkeen jälkihoitona vesiletkukastelu 14 vrk.

Koska seinävaluissa oli reilusti terästä ja hyvin ahdas tila valumuotin välissä, oli valuihin käytettävä notkeaa (notkeusluokka S5) massaa. Lisäksi betonin tiivistykseen ei pystytty käyttämään vibraa, joten käytetty betoni oli itsetiivistyvää (ITB). Muilta osin betoni oli samanlaista kuin altaan pohjavaluissa.

Altaan kosteusrasitukset vaikuttavat merkittävästi betonin riittävän kuivumisen arviointiin ja saavuttamiseen. Alla on listaus altaan betonirakenteisiin kohdistuneista kosteusrasituksista. Altaan kosteusrasituksia ovat:

- vanha betoni vesirasituksessa vuodet 1979-2013 (vanhassa rakenteessa ei vedeneristettä laatoituksen alla)
- vesipiikkaukseen käytetyn veden rasitus tammi-maaliskuu 2014
- vanhan betonin kastelu (2 vrk märkänä) ennen valua
- uuden betonin valmistukseen käytetty vesi
- jälkihoitokastelu (14 vrk vesiletkukastelu, suodatinkangas + muovi)
- sementtiliiman poisto + pinnan karhennus vesipiikkaamalla
- altaan koetäyttö vedellä 6.-26.10.2014 (paljas betonipinta).

5.3 Betonin kuivatus

Uima-altaan pintamateriaalina on keraaminen laatta jonka alla vedeneriste. Vedeneristeenä altaissa on ARDEX S 7, ja valmistajan vaatimukset alustalle on betonin RH < 90 % lämpötilan ollessa +20 °C astetta.

Betonin riittävän nopealla kuivumisella altaan koetäytön jälkeen oli merkittävä rooli työmaan aikataulun mukaiselle valmistumiselle. Ennen koetäyttöä betonin lujittumisen kehityksen ja halkeamien sekä muodonmuutosten välttämiseksi olosuhteet pidettiin mahdollisimman tasaisina. Ennen koetäyttöä allashallin lämpötila 20-25 °C ja ilman kosteus (RH) 50-60 %.

Altaan koetäyttö suoritettiin lokakuussa 2014. Koetäytön tarkoitus oli testata altaan betonin vesitiiviyttä ja löytää halkeamat, jotka koetäytön jälkeen injektoitiin epoksilla. Jotta altaan täyttöön käytetty vesi ei nostaisi allashallin ilmankosteutta merkittävästi jo koetäytön aikana hallin lämpötilaa nostettiin 25 °C asteeseen kiertovesilämmitteisillä lämpöpuhaltimilla. Puhaltimet sijoitettiin allashallin päätyihin ulko-ovien edustalle ja ovia pidettiin auki päivisin, jolloin viileää ja kuivaa ulkoilmaa tuotiin sisätilaan lämmitäten se.

Altaan koetäytön päätyttyä hallin olosuhteiden tavoitteiksi asetettiin T=20-25 °C, RH=30 %. Tavoitteiden saavuttamiseksi tehtiin seuraavat kuivatustoimenpiteet:

- allashallin ulko-ovien edustalle kaksi lämpöpuhallinta
- allashallin ulko-ovet pidettiin auki arkipäivisin klo7-15.30 (kylmää ulkoilmaa lämmittimen läpi sisätilaan->pieni RH)
- altaan pohjalla ilmankuivaimia 2 kpl
- altaan pohjalla puhaltimet ilman vaihtumisen tehostamiseen (ns.tuulivaikutus)
- altaan tyhjennyksen jälkeen pintavesi poistettiin vesi-imurilla.

5.4 Betonin kuivumisen seuranta

Seurannan tarkoituksena oli selvittää betonin riittävän kuivumisen saavuttaminen ennen vedeneristettä sekä tutkia eri mittausmenetelmien eroja. Altaan betonin kuivumisen seurantaan käytettiin Wiiste Oy:n SolidRH menetelmää sekä perinteistä porareikämittausta.

Wiiste

Wiisteen SolidRH SH1 antureita sijoitettiin altaan betonivaluihin erillisen suunnitelman mukaisesti. Antureita sijoitettiin altaan pohjalle kolmeen eri mittauspisteeseen, kuhunkin kaksi anturia, yksi 30 mm ja yksi 70 mm syvyydelle. Altaan seiniin sijoitettiin antureita seitsemään eri mittauspisteeseen, kuhunkin kaksi anturia 30 mm ja 70 mm syvyyksille.

Lisäksi kohteessa oli testattavana myös Wiisteen SolidRH SH2 jälkiasennusantureita sekä Wiisteen SolidRH SH3 pintakosteus-antureita. Jälkiasennus-antureilla mitattiin altaan ulkopuolelta vanhaa altaan betoniseinää 32 mm syvyydeltä. Mittauspaikkoja oli yhteensä 3 kpl eri puolilla ja eri korkeuksilla allasta. SH3 antureita sijoitettiin altaan pohjalle 3 kpl sekä allashallin lattialle 2 kpl. Ne sijoitettiin betonin pinnan tasoon vedeneristeen alapuolelle.

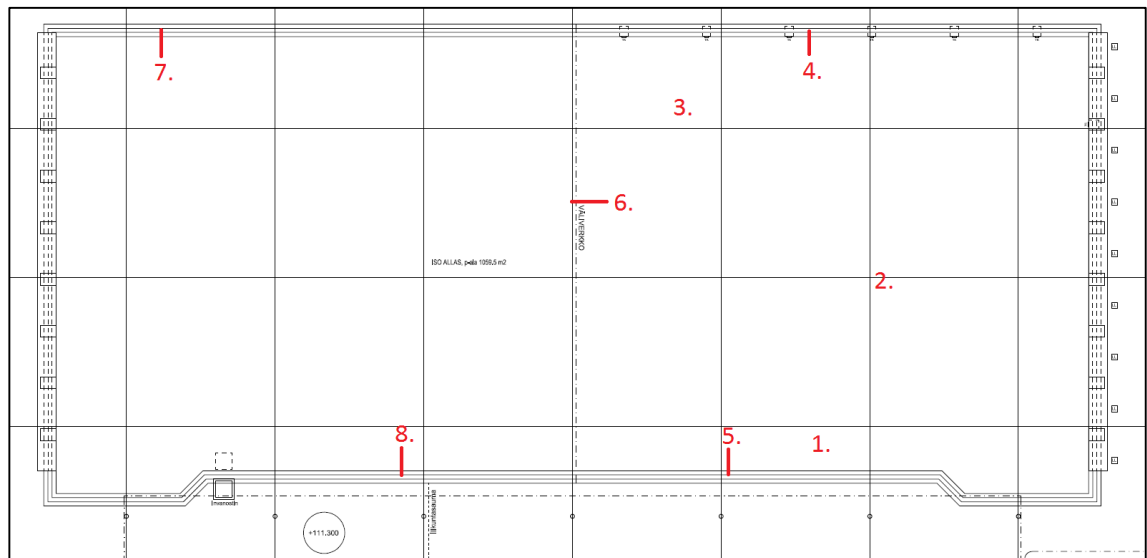
Wiisteen SolidRH menetelmällä antureita voidaan käydä mittaamassa koska tahansa erillisellä RD1-lukulaitteella ja mittauksia voi suorittaa myös betonin pinnoittamisen jälkeenkin, jopa veden alla.

Porareikämittaus

Altaan kuivumista seurattiin myös perinteisellä porareikämittauksella. Mittaukset suoritettiin erillisen suunnitelman mukaisesti. Mittaukset tehtiin altaan koetäytön jälkeen ja jatkettiin, kunnes altaan pinnat olivat saavuttaneet alle 90 % suhteellisen kosteuden. Mittauspaikkoja oli yhteensä yhdeksän, kussakin mittauspisteessä kahdesta eri syvyydestä (30 mm ja 70 mm). Lisäksi syvän pään pohjalta mitattiin myös syvyyksiltä 120 mm ja 180 mm. Porareikien mittauspaikkoja oli altaan pohjassa neljä, joista kolme syvässä päässä. Loput viisi mittauspaikkaa oli altaan seinissä eri puolilla allasta.

5.5 Tulosten vertailu

Tässä opinnäytetyössä mittaustulokset on rajattu aikajaksolle 30.10 - 16.12.2014, jolloin tehtiin seuranta sekä porareikämenetelmällä, että Wiiste Oy:n järjestelmällä. Tampereen Uintikeskuksen työmaalla Wiiste Oy:n menetelmää on käytetty jo altaan betonoinnista kesäkuulta 2014 lähtien, työmaan loppuun asti. Lisäksi mittausta voidaan jatkaa myös käytön aikana. Mittaustulosten vertailu on myös rajattu samalta kohdalta allasta kahdella eri menetelmällä otettuihin kosteusmittaustuloksiin. Porareikämittauksen ja Wiiste Oy:n järjestelmän tuloksista vertailukelpoisia keskenään ovat 3 kpl altaan syvän pään pohjan mittausta paikkaa sekä 5 kpl altaan seinien mittausta paikkoja eri puolilla allasta. Vertailukelpoisiksi mittausta paikoiksi luokiteltiin yhden neliömetrin suuruisella alueella olevat mittausta paikat. Kuvassa 9 on esitetty kyseiset mittausta paikat. Mittausta paikat 1-3 ovat altaan syvän pään pohjassa, 4 ja 5 altaan syvän pään seinissä, mittausta paikka 6 altaan väliseinässä sekä mittausta paikat 8 ja 9 ovat altaan matalan pään seinissä.



KUVA 9. Vertailumittausta paikat

Taulukkoon 3 on kirjattu kooste kaikkien altaan koetäytön jälkeisten porareikämittausten tuloksista, sekä vastaavana ajankohtana mitatut Wiiste Oy:n SolidRH SH1 antureiden tulokset. Kustakin mittauksesta on saatu sekä suhteellisen kosteuden arvot, että lämpötila halutulla syvyydellä. Kunkin mittausta paikan mittaussyvyyydet ovat 30 mm ja 70 mm. Kaikki kosteusmittaustulokset ovat liitteessä 1.

TAULUKKO 3. Tampereen Uintikeskuksen ison altaan mittaustulokset kahdella eri menetelmällä mitattuna aikavälillä 30.10. - 16.12.2014.

MITTAUSTULOKSET												
	Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	30.10.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	24.11.2014	1.12.2014	8.12.2014	16.12.2014	
				RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
				T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
ALTAAN POHJA 1	WIISTE 30mm	1817	30	100	99,96	99,96	82,57	78,39		73,41	70,59	
					21,14	21,36	22,34	21,9		20,89	19,73	
	PR 30mm		30	100	92	90,9		83,3	84,1	74,4	76,8	
					22,5	22,2		21,8	20,3	20,9	19,6	
	WIISTE 70mm	1801	70	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	89,19	
					21,22	21,42	22,27	21,92		20,96	19,8	
	PR 70mm		70	100	93,5	93,1		88,7	92,3	91,1	89,8	
						22	22,3		21,7	20,5	20,7	19,7
ALTAAN POHJA 2	WIISTE 30mm	1795	30	100	99,96	99,96	99,96	99,96		80,95	79,08	
					21,56	21,7	22,62	22,37		21,24	20,05	
	PR 30mm		70	100	91,6	86,3		77,7	82,1	77,8	75,6	
					22,7	21,5		22,2	20,2	21,1	19,7	
	WIISTE 70mm	1807	70	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
					21,64	21,75	22,64	22,39		21,24	20,08	
	PR 70mm		70	100	87,6	90,9		87,8	87,1	86,5	86,2	
					23	22,2		22,1	20,6	21	19,8	
ALTAAN POHJA 3	WIISTE 30mm	1815	30	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
					22,11	21,31	21,94	21,65		20,59	19,54	
	PR 30mm		30	100	93,4	98,5		86,5	83,2	78,8	70,1	
					22,5	20,9		21,9	20,2	20,8	19,6	
	WIISTE 70mm	1832	70	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
					21,68	21,91	22,51	22,2		21,15	20,1	
	PR 70mm		70	100	96,3	93,3		90,8	90,6	87,6	82,2	
					22,9	21,8		21,9	20,5	20,8	19,8	
ALTAAN SEINÄ 4	WIISTE 30mm	1785	30	100	99,97	99,97	99,97	99,97		99,97	99,97	
					22,57	21,72	22,48	22,11		20,88	19,58	
	PR 30mm		30	100	91	93,1		79,1	81,3	76	73,8	
					23	21,8		21,8	19,3	20,8	19,1	
	WIISTE 70mm	1768	70	100								
	PR 70mm		70	100	95,6	92,3		93	93	91,1	89,9	
					22,6	22		21,7	20,4	20,6	19,3	
ALTAAN SEINÄ 5	WIISTE 30mm	1799	30	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
					21,51	21,37	21,86	21,57		20,73	19,58	
	PR 30mm		30	100	88	91,6		80,8	85,6	82,9	82	
					22,6	20,6		21,5	20	20,7	19,5	
	WIISTE 70mm	1979	70	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
					21,44	21,28	21,79	21,5		20,63	19,49	
	PR 70mm		70	100	96,1	96,8		94,7	93,7	92,9	91,9	
					22	21,3		21,4	20,2	20,6	19,5	
ALTAAN SEINÄ 6	WIISTE 30mm	1785	30	100	99,97	99,97	99,97	99,97		99,97	99,97	
					22,57	21,72	22,48	22,11		20,88	19,58	
	PR 30mm		30	100	90,8	93,9		84	86,3	82,4	81	
					23	21,8		21,8	19,3	20,8	19,1	
	WIISTE 70mm	1768	70	100	99,97	99,97	99,97	99,97		99,97	99,97	
					22,57	21,72	22,48	22,11		20,88	19,58	
	PR 70mm		70	100	96,2	98,4		95,5	97	96,7	96,4	
					22,6	22		21,7	20,4	20,6	19,3	
ALTAAN SEINÄ 7	WIISTE 30mm	1970	30	100	99,96	43,56	21,1	99,96		99,96	94,15	
					23,38	125	125	22,66		21,14	19,42	
	PR 30mm		30	100	94,8	97		91	82,1	80		
					23,8	22,1		21,7	20,1	21		
	WIISTE 70mm	1809	70	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
					25,06	22,84	22,7	22,24		21,19	19,47	
	PR 70mm		70	100	96,3	96,4		95,5	93,4	91,6		
					23,6	22,5		22	20,8	21		
ALTAAN SEINÄ 8	WIISTE 30mm	1822	30	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
					22,7	22,3	22,77	22,28		21,24	20,01	
	PR 30mm		30	100	91,2	91		84,3	83,9	82,5	81,7	
					23,2	22,5		22	20,3	21	19,6	
	WIISTE 70mm	1842	70	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
					22,54	22,16	22,6	22,11		22,08	19,82	
	PR 70mm		70	100	97,9	98,6		97,8	97,1	95,5	94,8	
					22,9	22,2		21,8	20,7	20,8	19,7	

5.6 Yhteenveto

Tähän kappaleeseen olen koonnut omia havaintojani mittaustuloksista sekä mittausten suorittamisesta.

Menetelmät

Wiiste Oy:n SolidRH SH1 antureiden asennus vaatii hyvää ennakkosuunnittelua ennen betonointitöiden alkua. Hyvän mittaussuunnitelman tekoon Relia-ohjelmisto on erinomainen työkalu. Antureiden asennuspaikat tulee olla tiedossa jo ennen asennusta ja erityisesti seinävaluissa anturit tulee muistaa asentaa oikeaan aikaan muottityön ollessa käynnissä. Myös betonointityö seinävaluissa vaatii huomiointia ettei anturit irtoa muosteista valun aikana. Työmaalla kaikki 14 seinäanturia pysyivät valujen aikana paikallaan, joten tässä kohteessa antureiden asennustyö onnistui erinomaisesti. Lattiavaluissa antureiden asennuksessa huomionarvoista on saada anturit asennettua suoraan ja pinnan kanssa samaan tasoon. Mikäli anturi jää liian ylös tai painuu liian syvälle betoniin, voi se asennuksen, hierron tai liippauksen yhteydessä päästä kääntymään tai heilahtamaan. Liian alas jäänyt anturi mittaa väärältä syvyydeltä. Huolellisuus asennuksessa pienentää riskiä epävarmuustekijöihin huomattavasti. Kohteessa kaikkien kuuden pohjaan asennettavan anturin asennus onnistui hyvin ja anturit pysyivät paikallaan myös koneellisesti suoritettun hierron yhteydessä. Antureiden asennus työmaalla oli siis onnistunut.

Tampereen Uintikeskuksen työmaalla anturit joutuivat asennuksen jälkeen poikkeuksellisen suureen kosteusrasitukseen. Ensin kahden viikon jälkihoito, jossa betonin pinta pidettiin jatkuvasti märkänä, vesiletukastelulla sekä harsolla ja muovilla peittäen. Myöhemmin allas täytettiin vedellä kolmen viikon ajaksi, jolloin anturit olivat tämän ajan vedenpaineen alla. Betonia ei pinnoitettu ennen koetäyttöä. Näistä poikkeuksellisen suurista kosteusrasituksista huolimatta lähes kaikki (yli 90 %) antureista toimi koko mittausjakson ajan. Lisäksi mittauspaikalla 3 olleet anturit 1815 ja 1832 jäivät pinnan karhennuksen aikana suojaamatta, jolloin niiden päältä betonia karhennettiin vesipiikkaamalla. Tästä huolimatta molemmat anturit säilyivät ehjänä. Kaiken kaikkiaan työmaalla olleiden antureiden suojakuoret kestivät hyvin suuretkin kosteusrasitukset.

Asennustöiden jälkeen mittaustulosten lukeminen oli todella helppoa ja nopeaa. Käytännössä onnistuneen asennuksen jälkeen mittausten tekemisessä ei ole enää mittaajasta riippuvaisia muuttujia. Myös tulosten vienti lukulaitteesta Relia-palveluun on hyvin yksinkertaista. Lisäksi antureita voidaan lukea milloin vain.

Porareikämittauksella mittauspaiikat voidaan päättää vasta mittausten yhteydessä. Lisäksi mittauspaiikkoja voidaan halutessaan muuttaa. Reikien porauspaukkoja valitessa tulee olla tiedossa mm. vesijohdot ja lattialämmityspotket. Porareikämittaus on huomattavasti hitaampi suorittaa, kuin SolidRH antureiden mittaaminen. Lisäksi yhdestä porareikästä saadaan luotettavia tuloksia vain muutaman viikon. Porareikämenetelmän heikkoutena on myös, että usein työmaalla porareikäputket kolhiintuvat, jolloin mittausta ei voida suorittaa kyseistä putkesta. Porareikämittauksessa luotettavan tuloksen saamiseksi on oltava huolellinen mittaputkien tiivistyksessä, reikien porauksessa ja tasaantumisaikojen riittävydestä.

Mittaustulokset

Wiiste Oy:n SolidRH SH1 antureiden Tampereen Uintikeskukselle toimitetussa valmistuserässä anturit näyttivät lähes 100 % suhteellista kosteutta. Vasta kun todellinen betonin suhteellinen kosteus oli alle 90 %, antureiden näyttämät kirivät todellisen suhteellisen kosteuden tasolle. Muutamit mittausturit (1817, 1801 ja 1795) ehtivät saavuttaa vertailujakson aikana porareikämittausten tulokset, mutta loput antureista näyttivät vielä lähes 100 % suhteellisen kosteuden lukemaa. Anturin näyttämän virhe johtui anturin komponenttivalmistajan prosessimuutoksesta, jonka huomattiin jälkepäin vaikuttavan anturin käyttäytymiseen betonissa. Virheellisestä toiminnasta johtuen kuivumisen seuranta SH1-antureilla epäonnistui, mutta jälkiseuranta näillä voidaan edelleen tehdä, koska siinä oleellista on muutosten seuranta. Vertailumittaustajakson jälkeen useimpien antureiden näyttämät saavuttivat todellisen kosteuden arvon. Syksymmällä mm. Tampereen ammattikorkeakoulussa tehdyissä testeissä testattiin yhtenä osana tätä ongelmaa korjaavia tuotantoprosessin muutoksia.

Betonin kuivumisen seurantaan olennaisena osana kuuluu myös ympäristön olosuhteiden seuranta. Olosuhteiden tavoitteena koetäytön jälkeisenä aikana oli +20-25 °C asteen lämpötila, sekä 30 % suhteellinen kosteus. Mittauksista saaduilla tuloksilla saadut arvot olivat keskimäärin 21,55 °C ja 36,24 %, joten tavoitteissa pysyttiin kohtuullisen hyvin.

6 TAMK TESTILAATAT

Wiiste Oy:n SolidRH mittausjärjestelmää testattiin myös Tampereen ammattikorkeakoulun testilaboratoriossa. Mittausten tarkoituksena oli tutkia antureiden eri valmistusprosessien vaikutusta antureiden tarkkuuteen ja hajontaan. Vertailumittauksena käytettiin porareikämenetelmää. Porareikämittaukset toteutettiin RT-ohjekortin 14-10984 mukaisesti. Tutkimukset suoritettiin yhdessä Wiiste Oy:n sekä TAMK:n henkilökunnan kanssa. Tutkimukset toteutettiin aikavälillä syyskuu 2014, tammikuu 2015.

6.1 Toteutus

Testissä tutkittiin yhteensä 98 anturia, joiden mittaustuloksia seurattiin viikoittain. Anturit asennettiin TAMK:n betonilaboratoriossa valettuihin seitsemään testilaattaan ja kunkin laatan kuivumista seurattiin kahden kuukauden ajan. Vertailumittaukset tehtiin neljän ja kahdeksan viikon jälkeen niiden valusta. Tutkimukseen käytettiin itse valmistettua betonia, joka valettiin muovilla päällystettyihin puisiin valumuotteihin. Laatat olivat yhteen suuntaan kuivuvia. Kuivumissuunta kaikissa laatoissa oli ylöspäin. Tutkimuksen ajan laatat olivat TAMK:n betonilaboratorion tiloissa tasaisissa sisäolosuhteissa. Ympäristön olosuhteita seurattiin koko toteutuksen ajan. Jälkihoitona laatat peiteltiin valun jälkeen yhden viikon ajaksi.

Laatta 1

Betonilaatta numero 1 valettiin 4.9.2014 itse valmistetusta betonista. Betoni oli lujuusluokaltaan K30, notkeusluokaltaan S3 ja sen kiviaineksen maksimi raekoko oli 16 mm. Betonin valmistukseen ei käytetty lisä- tai seosaineita. Betonilaatta oli mitoiltaan 900x350x60mm. Laattaan asennettiin betonivalun yhteydessä 12 kpl SH1 antureita, joista 6 kpl oli mittaussyvyydeltään 16 mm ja loput 6 kpl mittaussyvyydeltään 32 mm. Lisäksi laattaan asennettiin 13.10.2014 kaksi kappaletta SH2 jälkiasennusantureita. Jälkiasennusantureiden mittaussyvyys oli myös 32 mm. Antureita käytiin lukemassa viikoittain ja laattoihin tehtiin vertailumittaukset porareikämenetelmällä kolme kertaa. Porareikämittauksissa mittaussyvyyydet olivat samat (16 mm ja 32 mm) kuin antureissa. Jokaisella vertailumittauksella mittauspisteitä oli neljä, kaksi kullakin syvyydellä. Jokaiselle vertailumittaukselle porattiin uudet porareivät 3 vrk ennen mittausta.

Laatta 2

Betonilaatta numero 2 valettiin 4.9.2014 itse valmistetusta betonista. Betonimassa oli samaa kuin laatassa 1 (K30, S3, maksimi raekoko 16 mm). Betonilaatta oli mitoiltaan 900x350x100 mm. Laattaan asennettiin betonivalun yhteydessä 12 kpl SH1 antureita, joista 6 kpl oli mittaussyvyydeltään 48 mm ja loput 6 kpl mittaussyvyydeltään 70 mm. Antureita käytiin lukemassa viikoittain ja laattoihin tehtiin vertailumittaukset porareikämenetelmällä 3 kertaa. Porareikämittauksissa mittaussyvyyydet olivat samat (48 mm ja 70 mm) kun antureissa. Jokaisella vertailumittauskerralla mittauspisteitä oli neljä, kaksi kullakin syvyydellä. Jokaiselle vertailumittaukselle porattiin uudet porareiät 3 vrk ennen mittausta.

Laatta 3

Betonilaatta numero 3 valettiin 4.9.2014 itse valmistetusta betonista. Betonimassa oli samaa kuin laatassa 1 ja 2 (K30, S3, maksimi raekoko 16 mm). Betonilaatta oli mitoiltaan 600x350x100 mm. Laattaan asennettiin betonivalun yhteydessä 10 kpl SH1 antureita, joista 4 kpl oli mittaussyvyydeltään 48 mm ja loput 6 kpl mittaussyvyydeltään 70 mm. Antureita käytiin lukemassa viikoittain ja laattoihin tehtiin vertailumittaukset porareikämenetelmällä 3 kertaa. Porareikämittauksissa mittaussyvyyydet olivat samat (48 mm ja 70 mm) kun antureissa. Jokaisella vertailumittauskerralla mittauspisteitä oli neljä, kaksi kullakin syvyydellä. Jokaiselle vertailumittaukselle porattiin uudet porareiät 3 vrk ennen mittausta.

Laatta 4

Betonilaatta numero 4 valettiin 6.10.2014 Fesconin S100 kuivabetonista. Betonilaatta oli mitoiltaan 900x350x60 mm. Laattaan asennettiin betonivalun yhteydessä 14 kpl SH1 antureita, joista 7 kpl oli mittaussyvyydeltään 16 mm ja loput 7 kpl mittaussyvyydeltään 32 mm. Antureita käytiin lukemassa viikoittain ja laattoihin tehtiin vertailumittaukset porareikämenetelmällä kaksi kertaa. Porareikämittauksissa mittaussyvyyydet olivat samat (16 mm ja 32 mm) kun antureissa. Jokaisella vertailumittauskerralla mittauspisteitä oli neljä, kaksi kullakin syvyydellä. Jokaiselle vertailumittaukselle porattiin uudet porareiät 3 vrk ennen mittausta.

Laatta 5

Betonilaatta numero 5 valettiin 6.10.2014 Fesconin S100 kuivabetonista. Betonilaatta oli mitoiltaan 900x350x60 mm. Laattaan asennettiin betonivalun yhteydessä 15 kpl SH1 antureita, joista 7 kpl oli mittaussyvyydeltään 16 mm ja loput 8 kpl mittaussyvyydeltään 32 mm. Antureita käytiin lukemassa viikoittain ja laattoihin tehtiin vertailumittaukset porareikämenetelmällä kaksi kertaa. Porareikämittauksissa mittaussyvyyydet olivat samat (16 mm ja 32 mm) kun antureissa. Jokaisella vertailumittauskerralla mittauspisteitä oli neljä, kaksi kullakin syvyydellä. Jokaiselle vertailumittaukselle porattiin uudet porareiät 3 vrk ennen mittausta.

Laatta 6

Betonilaatta numero 6 valettiin 25.11.2014 itse valmistetusta betonista. Betonimassa valmistettiin samalla reseptillä kuin laatoissa 1, 2 ja 3. Betoni oli siis lujuusluokaltaan K30, notkeusluokaltaan S3 ja kiviaineksen maksimi raekoko oli 16 mm. Betonilaatta oli mitoiltaan 900x350x60 mm. Laattaan asennettiin betonivalun yhteydessä 10 kpl SH1 antureita, joista 5 kpl oli mittaussyvyydeltään 16 mm ja loput 5 kpl mittaussyvyydeltään 32 mm. Antureita käytiin lukemassa viikoittain ja laattoihin tehtiin vertailumittaukset porareikämenetelmällä kaksi kertaa. Porareikämittauksissa mittaussyvyyydet olivat samat (16 mm ja 32 mm) kun antureissa. Jokaisella vertailumittauskerralla mittauspisteitä oli neljä, kaksi kullakin syvyydellä. Jokaiselle vertailumittaukselle porattiin uudet porareiät 3 vrk ennen mittausta.

Laatta 7

Betonilaatta numero 7 valettiin 25.11.2014 itse valmistetusta betonista. Betonimassa oli samaa kuin laatoissa 6 (K30, S3, maksimi raekoko 16 mm). Betonilaatta oli mitoiltaan 600x350x100 mm. Laattaan asennettiin betonivalun yhteydessä 14 kpl SH1 antureita, joista 9 kpl oli mittaussyvyydeltään 48 mm ja loput 5 kpl mittaussyvyydeltään 70 mm. Antureita käytiin lukemassa viikoittain ja laattoihin tehtiin vertailumittaukset porareikämenetelmällä 3 kertaa. Porareikämittauksissa mittaussyvyyydet olivat samat (48 mm ja 70 mm) kun antureissa. Jokaisella vertailumittauskerralla mittauspisteitä oli neljä, kaksi kullakin syvyydellä. Jokaiselle vertailumittaukselle porattiin uudet porareiät 3 vrk ennen mittausta.

6.2 Mittaustulokset

Kaikki tutkimuksen aikana saadut mittaustulokset on esitetty liitteessä kaksi. Mittauksista on suhteellisen kosteuden ja lämpötilan lisäksi vertailtu mittausten menetelmien mittaustulosten eroja (taulukko 4) sekä samaan laattaan asennettujen antureiden ja porareikämittausten hajontaa (taulukko 5).

Koska kunkin laatan anturit on valmistettu eri prosessilla, on jokaisesta laatasta koottu oma itsenäinen koontinsa. Taulukoon 4 on koottuna kustakin laatasta mitattujen vertailumittausten erotuksia. Tulokset on laskettu vähentämällä Wiiste Oy:n SolidRH antureiden yhden mittauskerran mittaustulosten keskiarvosta samaan aikaan tehtyjen porareikämittausten keskiarvon. Eli negatiiviset luvut tarkoittavat antureiden näyttäneen pienempiä arvoja ja positiiviset luvut porareikämittauksia suurempia arvoja.

TAULUKKO 4. TAMK:n testilaattojen mittausten menetelmien vertailu.

mittausmenetelmän mittaustulosten vertailu															
		pvm	RH [%]	RH erotus	T [°C]	T erotus			pvm	RH [%]	RH erotus	T [°C]	T erotus		
laatta 1	16mm	9.loka	78,82	-0,88	21,06	0,16	laatta 4	16mm	10.marras	80,05	6,30	20,81	-0,14		
		16.loka	75,75	4,25	21,27	-0,04			2.joulu	69,48	9,18	21,53	-0,22		
		10.marras	68,68	11,73	21,48	0,03			10.marras	88,64	1,74	20,83	-0,17		
	32mm	9.loka	88,7	1,80	21,34	0,34		32mm	20.marras	85,13	4,88	21,23	0,18		
		16.loka	87,01	6,76	21,28	0,23			2.joulu	81,85	3,70	21,52	0,07		
		10.marras	82,5	6,65	21,51	0,15			10.marras	80,7	4,30	20,43	-0,22		
laatta 2	48mm	9.loka	97,96	7,05	21,59	0,14	laatta 5	16mm	2.joulu	70,78	7,18	21,16	-0,29		
		16.loka	97,63	9,03	22,11	0,21			32mm	10.marras	90,58	5,53	20,39	-0,06	
		10.marras	94,2	11,65	22,55	0,05				2.joulu	84,6	7,00	21,10	-0,05	
	70mm	9.loka	98,54	6,84	21,60	0,15		laatta 6		16mm	19.joulu	66	3,40	21,98	0,13
		16.loka	98,38	7,23	22,33	0,18			23.tammi		42,5	-1,20	22,42	0,17	
		10.marras	97,56	10,41	22,87	0,32			32mm		19.joulu	81,92	2,27	22,01	0,26
laatta 3	48mm	9.loka	97,65	7,30	21,11	0,26	laatta 7			48mm	23.tammi	69,07	2,57	22,39	0,24
		16.loka	97,05	9,85	21,48	0,18					19.joulu	86,86	-1,54	22,02	0,32
		10.marras	91,83	8,43	21,45	0,10			23.tammi		77,1	-3,50	22,32	0,22	
	70mm	9.loka	98,28	7,58	21,03	0,18		70mm	19.joulu	89,26	-1,79	22,03	0,28		
		16.loka	97,92	6,72	21,32	0,12			23.tammi	83,68	-1,12	22,34	0,29		
		10.marras	93,89	7,89	21,65	0,10									
pvm		mittaus päivämäärä													
RH [%]		SH1-antureiden suhteellisen kosteuden keskiarvotulos													
RH erotus		SH1-antureiden suhteellisen kosteuden keskiarvon erotus porareikämittausten keskiarvosta													
T [°C]		SH1-antureiden lämpötilojen keskiarvotulos													
T erotus		SH1-antureiden lämpötilojen keskiarvon erotus porareikämittausten keskiarvosta													

Taulukkoon 5 on koottu kaikkien testilaattojen koko testausajan mittaustulosten keskihajonta. Tulokset on koottu kunkin laatan yhdellä mittauskerralla otettujen tulosten keskihajontana, joista eri mittauskertojen keskihajontojen keskiarvo on yhden laatan kokonaiskeskihajonta. Jokaisen laatan anturit ovat valmistettu eri prosesseilla, joten eri laattojen keskihajontoja ei voi yhdistää keskenään. Porareikämittausten keskihajonta on koottu sekä laattakohtaisesti, että yhdistäen kaikkien laattojen samoilta mittaussyvyyksiltä saadut tulokset.

TAULUKKO 5. TAMK:n testilaattojen mittaustulosten keskihajonta.

MITTAUSTULOSEN KESKIHAJONTA ERI MENETELMILLÄ									
			RH [%]	T [°C]				RH [%]	T [°C]
laatta 1	16mm	SH1	2,64	0,07	laatta 5	16mm	SH1	2,31	0,17
		PORAREIKÄ	6,82	0,07			PORAREIKÄ	1,70	0,14
	32mm	SH1	1,78	0,09		32mm	SH1	1,17	0,14
		SH2	0,37	0,02			PORAREIKÄ	0,60	0,14
		PORAREIKÄ	1,37	0,05					
laatta 2	48mm	SH1	0,91	0,10	laatta 6	16mm	SH1	1,32	0,10
		PORAREIKÄ	0,67	0,04			PORAREIKÄ	2,33	0,14
	70mm	SH1	0,23	0,08		32mm	SH1	0,83	0,06
		PORAREIKÄ	0,24	0,12			PORAREIKÄ	2,79	0,14
laatta 3	48mm	SH1	0,84	0,15	laatta 7	48mm	SH1	1,97	0,08
		PORAREIKÄ	1,17	0,07			PORAREIKÄ	0,64	0,07
	70mm	SH1	1,33	0,13		70mm	SH1	2,70	0,07
		PORAREIKÄ	2,05	0,14			PORAREIKÄ	1,10	0,07
PORAREIKÄMITTAUKSEN KESKIHAJONTA MITTAUSSYVYYSITTÄIN									
laatta 4	16mm	SH1	1,61	0,09	16mm	2,93 %		0,10 °C	
		PORAREIKÄ	0,88	0,07	32mm	1,44 %		0,08 °C	
	32mm	SH1	0,73	0,09	48mm	0,83 %		0,06 °C	
		PORAREIKÄ	0,99	0,05	70mm	1,13 %		0,11 °C	

6.3 Yhteenveto

Tähän kappaleeseen olen koonnut omia havaintojani mittaustuloksista sekä mittausten suorittamisesta.

Lämpötilojen osalta sekä keskihajonta, että tarkkuus vaikuttivat hyvältä. Kaikkien Wiiste Oy:n antureiden keskihajonta oli alle 0,2 °C astetta ja suurin osa alle 0,1 °C astetta. Porareikämittauksissa vertailtujen mittausten määrä oli reilusti pienempi, mutta keskihajonta oli samaa suuruusluokkaa (0,05-0,14 °C) siitä huolimatta Lämpötilojen mittaus-tarkkuuden määrittäessä mittaustulosten keskiarvojen vertailut vaihtelevat välillä (-0,22) – (+0,34) °C. Mittaustarkkuus vaikuttaa mittausten perusteella olevan molemmilla menetelmillä riittävän tarkka. Mittaussyvyyksillä ei vaikuttanut olevan merkitystä lämpötilamittauksen tuloksiin. Ympäristön lämpötila pysyi mittausten ajan hyvin lähellä vakiota (keskimäärin 21,4 °C), joten testistä ei voi tehdä luotettavia päätelmiä lämpötilamittausten mittaustuloksista reilusti muuttuvissa olosuhteissa.

Suhteellisen kosteuden mittauksen osalta eri menetelmillä valmistetuissa antureissa havaittiin selkeitä eroja. Keskihajonnan osalta Wiiste Oy:n SH1 antureiden keskihajonta vaihteli välillä 0,23 - 2,70 %. Suurin osa mittaustulosten hajonnasta oli alle 2 %. Porareikämittausten keskihajonnan vaihteluväli oli 0,24 - 6,82 %. Matalissa porareissa (16mm) oli havaittavissa suurta hajontaa mittaustuloksissa, joita ei syvemmissä reissa ollut. Mittaustarkkuudessa eri laattojen SH1 antureissa oli eroja. Ensimmäisten kolmen laatan SH1 antureiden mittaustulokset antoivat selvästi kosteampia arvoja, kuin porareikämittaus. Suurimmat vaihtelut olivat laatussa 2 (48 mm syvyydessä 11,65 % ja 70 mm syvyydessä 10,41 %). Myös laattojen 4 ja 5 antureiden mittaustulokset olivat selkeästi kosteampia, kuin porareikämittauksissa (vaihtelu välillä 1,74 - 9,18 %). Viimeisenä valetut testilaatat 6 ja 7 valettiin samalla reseptillä kuin ensimmäiset kolme laattaa. Niiden mittaustuloksien tarkkuus on selvästi parempi, kuin aikaisemmilla laatoilla. Mittaustulosten vertailut porareikämittauksiin vaihtelivat välillä (-3,5) – (+3,4) %.

7 POHDINTA

Nykyajan nopeatempoisessa rakentamisessa usein juuri betonirakenteiden riittävä kuivuminen on aikataulutuksen ja rakennuslaadun osalta merkittävässä osassa. Tästä syystä opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua betonin kuivumiseen ja kosteusmittaukseen, sekä pohtia kehittämistarpeita niihin. Lisäksi pyrkimyksenä oli tutustua Wiiste Oy:n kosteusmittausmenetelmiin ja avustaa kehitystyössä sekä luotettavuuden ja varmuuden osalta, että myös työmaasoveltuvuuden osalta.

Betonin kuivatus

Betonirakenteiden kuivumiseen liittyvistä asioista usein työmaalla jää liian vähälle huomiolle ympäristön lämpötila ja kosteus. Usein ajatellaan betonin kuivuvan ympäristön olosuhteista riippumatta aina vanhan nyrkkisäännön mukaisesti 1 cm viikossa. Todellisuudessa betonin kuivumisaika moninkertaistuu, jos lämpötila on 15-20 °C asteen sijaan 0-5 °C astetta. Myös ilmankosteudella on suuri merkitys kuivumiseen, sillä kostea ympäristö ei kykene vastaanottamaan kosteutta betonirakenteesta. Kun ulkoilma on lämmintä, myös ilman absoluuttinen kosteus on suuri, jolloin ulkoilman siirtyessä sisätilaan (lämpötila laskee) suhteellinen kosteus nousee suureksi. Tämä ilmiö on yleinen kesäaikaan. Viileällä ilmalla (talvikausi) ilmiö on päinvastainen. Kun ulkoilma on viileää, sen absoluuttinen kosteus on pieni, jolloin ilman lämmitessä sisäilman lämpötilaan, suhteellinen kosteus pienenee huomattavasti. Eli kesäaikana on betonin kuivatuksessa pyrittävä kuivaamaan ilmaa esimerkiksi kosteudenpoistajilla ja talviaikaan taas lämmittämään ilmaa esimerkiksi lämpöpuhaltimilla.

Toinen merkittävä ongelma työmailla on rakenteiden kastuminen. Suomessa on sadepäiviä vuosittain keskimäärin yli 140 (RT 05-10410), joten rakennustyömailla ulkoinen kosteusrasitus on aina suuri. Suurista sademääristä johtuen betonirakenteilla on suuri kastumisriski. Monesti työmailla ajatellaan, ettei betonin kastumisella ole merkitystä, sillä eihän itse betoni kosteudesta vaurioиду. Todellisuudessa kuitenkin ylimääräinen betoniin päässyt vesi poistuu huomattavasti hitaammin, kuin valmistusvaiheessa betonissa oleva vesi, jolloin aina betonin kastuessa, sen kuivumisaika pitenee. Sääsuojan alla rakentaminen on nykyisin hyvä keino pitää rakenteet kuivana.

Kosteusmittaus yleisesti

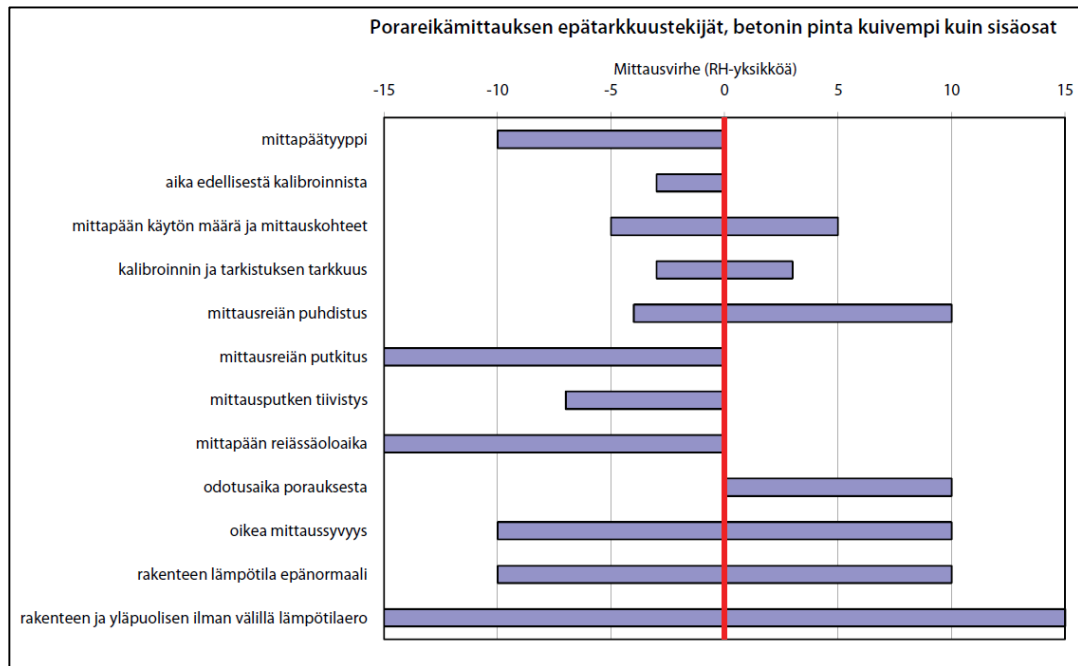
Työmailla kosteusmittaukset ovat yleensä ulkopuolisilta tilattuna melko kalliita, joten usein rakennusliike tekee kosteusmittaukset itse, tai tilaa liian vähäisen määrän mittauksia kattavan kuivumisen seurannan saamiseksi. Tästä syystä monesti kosteusmittausten tekijältä puuttuu tarvittava tieto mittaustulosten tulkintaan.

Yleisin virhe on mitata väärästä lämpötilasta. Mikäli betonirakenne on valettu talvella ja on ollut lujittumisen jälkeen alle 10 °C asteen lämpötilassa, se voi antaa hyvinkin kuivia lukemia mittauksista, jotka suoritetaan alle 15 °C asteen lämpötilassa. Kun rakenne lämpiää, ilmahuokosten seinämällä oleva vesi muuttuu vesihöyryksi ilmahuokosiin ja betonin suhteellinen kosteus kohoaa merkittävästi. Betonin lämmitessä sen huokosten suhteellinen kosteus voi jopa yli kymmenen prosenttiyksikköä.

Myös lämpötilan vaihtelut alaspäin vaikuttavat kosteusmittauksiin. Mikäli betonia ns. tehokuivatetaan yli 30 °C asteen lämpötilassa ja tämän jälkeen lämpötila laskee normaaliin 20 °C asteen lämpötilaan, on mittaustuloksissa suuri ero. Suuressa lämpötilassa myös betonin ilmahuokosten kastepiste on korkeampi, jolloin suhteellinen kosteus on alhaisempi. Kun ilmahuokosen lämpötila tippuu, myös kastepiste laskee, jolloin samalla absoluuttisen kosteuden määrällä suhteellinen kosteus nousee. Tämä ilmiö ei kuitenkaan ole sama kuin ilmalla, koska osa kosteudesta sitoutuu huokosten seinämiin (absorboituu). Tehtyjen mittausten perusteella betonin suhteellinen kosteus nousee, jos betonirakenteen lämpötila tippuu (kastepisteen muutos vaikuttaa enemmän, kuin absorboitunut vesi). Työmaalla tärkeintä siis on, että mittaukset tehdään rakennuskohteen tulevassa käyttölämpötilassa.

Porareikämittaus

Porareikämittaus on oikein tehtynä tarkka menetelmä betonin kosteusmittaukseen. Porareikämittauksen ongelmana ovat menetelmän hitaus, työläys ja useat mittaajasta johtuvat epävarmuustekijät. Kuten jo RT-ohjekortissa 14-10984 on kuvattu, epävarmuustekijöitä on useita. Kuviossa 7 on esitetty epävarmuustekijöitä ja niiden vaikutuksia mitaustuloksiin.



KUVIO 7. Porareikämittauksen epävarmuustekijät (RT 14-10984, 9)

Merkittävämpiä mittaajasta johtuvia epävarmuustekijöitä ovat porareian syvyys, puhdistus ja tiivistys. Porareian syvyyden tarkkuudeksi määritellään 1mm, mutta erityisesti epätasaisella alustalla poranterän pyöristetyn muodon johdosta samaa reikää mitattaessa kaksi eri mittaajaa voi saada useiden millien vaihtelun. Myös mittausväline (työntömitta tai rullamitta) vaikuttaa tulokseen. Porareian puhdistukseen voidaan ohjekortin mukaisesti käyttää paineilmaa tai imuria. Näillä menetelmillä puhdistukseen on mahdollista saada huomattavia mitaustulokseen vaikuttavia eroja. Putken tiivistykseen on yleisesti käytetty sinitarraa, mutta myös muita tiivistystapoja käytetään, esimerkiksi akryylimassaa. Putken tiiveydestä ei ole koskaan 100 % varmuutta.

Mittausten ja tutkimusten perusteella voidaan myös kyseenalaistaa RT-ohjekortissa 14-10984 mainittu seikka porareian minimisyvyydestä. Ohjeissa mainitaan porareikämittauksen minimisyvyydeksi 10 mm. Tehtyjen tutkimusten perusteella jo 16 mm syvyydellä putken tiivistyksessä oli vaikeuksia ja mittaustuloksilla merkittävästi suurempi hajonta, kuin syvemmältä otetuista mittauksista.

Lisäksi porareikämittauksen ongelmana voidaan pitää mittausputken irtoamista reiästä. Usein kosteusmittausten aikaan työmaalla on useita muitakin työvaiheita käynnissä, jolloin on paljon liikennettä. Mittausputkia kolhitaan helposti epähuomiossa jalalla, jolloin mittaus kyseistä mittauspisteestä on mahdotonta. Turmeltuneesta mittausputkesta mittaustuloksen epävarmuustekijät ovat hyvin suuret.

Porareikämittaus on tasaantumisaikoinen hyvin hidas prosessi. Nopeimmillaan luotettavia mittaustuloksia on saatavilla kolmen vuorokauden kuluttua mittareikien porauksesta. Lisäksi mittapäiden tasaumisajat ovat vähintään tunnin, eli yhdellä mittapäällä ei ehdi päivän aikana montaa mittausta tekemään. Lisäksi reikien poraaminen on työlästä. Mittaaja tarvitsee useita eri työkaluja ja välineitä mukaansa reikiä poratessa. Porareikämittausprosessia hidastaa myös se, että useimmilla laitteistoilla ei voi tallentaa mitattuja tuloksia, vaan mittaajan on kirjattava käsin saadut mittaustulokset ja myöhemmin niiden pohjalta kirjoitettava raportti mittauksista.

Porareikämittauksen heikkoutena voidaan pitää myös sitä, että se on rakenteita rikkova menetelmä. Esimerkiksi jo pinnoitetuille lattiarakenteille ei voida suorittaa porareikämittausta pintamateriaalia rikkomatta. Tästä syystä porareikämittauksen soveltuvuus kuntotutkimukseen on rajallinen.

Lisäksi on hyvä muistaa, että yksittäisen porareikämittauksen kokonaistarkkuus on yleensä +/- 3 ... +/- 5 prosenttiyksikköä. Näinollen mittaustuloksen luotettavuuden arvioimiseksi tulisi tehdä useita mittauksia, useista eri mittauspisteistä ja usealla eri anturilla, mikäli halutaan päästä hyvään kokonaistarkkuuteen.

Wiiste Oy:n menetelmä

Wiiste Oy on pyrkinyt kehittämään kokonaisvaltaista kosteusmittausmenetelmää, jolla pyrittäisiin välttämään porareikämittauksen ongelmakohtia. Itse kosteuden ja lämpötilan mittaaminen perustuu samoihin ilmiöihin, kuin porareikämittaus, mutta sen ympärille on pyritty nykyteknologiaa hyödyntämällä kehittämään mittausprosessia kokonaisuutena. Wiiste Oy:n yhtenä pääideana on kerätä mittausdataa riittävän paljon, jotta saataisiin tietoa betonin kuivumisesta riittävän pitkältä ajalta. SolidRH-järjestelmällä muutaman porareikämittauksen hinnalla saadaan jo 10-20 mittaustulosta, jolloin päästään huomattavasti selkeämpään kuvaan betonin kuivumisesta pitkällä aikavälillä, yhden yksittäisen mittaushetken sijaan.

Mittaajasta riippuvaisia epävarmuustekijöitä on Wiisteen SolidRH-menetelmässä huomattavasti vähemmän, kuin porareikämittauksessa. Ainoa mitaajasta/asentajasta riippuvainen työvaihe on anturin asennus. Huolellisesti ohjeita noudattamalla tutkimuksessa ei huomattu ongelmia antureiden asennuksessa. SH1 anturin lattia-asennuksissa käytetyn betonimassan kiviraekoolla oli vaikutuksia asennuksen helppouteen, mutta tasaisesti painamalla antureiden asennus onnistui myös jäykkään ja suurirakeiseen betoniin. Betonin kovettuttua anturi ei pääse enää vaurioitumaan työskentelystä tai kastumisesta johtuen. Lisäksi anturi ei häiritse työskentelyä kohteella millään lailla.

Ongelmia tuottivat SolidRH SH2 jälkiasennusanturit, jotka asennettiin kovettuneeseen betoniin porattuun reikään lyömällä. Käytössä olleista prototyypeissä havaitut ongelmat on otettu huomioon tuotteen jatkokehityksessä.

Wiiste Oy:n SolidRH-menetelmällä mittaustapahtuma on huomattavasti nopeampi ja vaivattomampi, kuin porareikämittaus. Tässä vaiheessa ei tarvitse odotella tasaantumisaikoja, eikä kirjata tuloksia paperille, sillä tulokset tallentuvat lukulaitteeseen. Mittaustulosten lukemisen voi helposti yhdistää isoilla rakennustyömailla TR-mittauksen tai työmaakerrosten yhteyteen, jolloin antureiden lukemiseen ei kulu 15 minuuttia kauempaa. Mitatessa antureiden paikat tulee olla mitaajan tiedossa, jotta lukijan tuominen anturin päälle on nopeaa ja helppoa. Mittapaikkojen tarkkuudeksi riittää noin 0,5 m, koska lukulaitteessa on ilmaisim, joka tunnistaa kun laite on lähellä anturia.

Lisäksi Wiiste Oy:n SolidRH-menetelmässä mittaukset onnistuvat myös pinnoitusten jälkeen. Mitta-anturit pystytään lukemaan pinnoitteen läpi (noin 30-40 mm), jolloin laitteistolla kyetään seuraamaan esimerkiksi vedeneristyksen pitävyyttä ja betonin kosteuden muutoksia pitkällä aikavälillä. Antureiden lukeminen voisi olla esimerkiksi osana rakennuksen muita huoltotoimenpiteitä, jolloin mittauksia tehtäisiin tasaisin väliajoin. Anturit eivät sisällä mitään vanhenevia akkuja, paristoja tai muita virtalähteitä ja ovat näin mitattavissa pinnoitteiden läpi hyvissä olosuhteissa yli 10 vuotta.

Mittaustulosten siirto lukulaitteesta tietokoneelle käy vaivattomasti. Koneeseen tulee asentaa WSync-ohjelmisto, jotta tulokset saadaan Relia-palveluun. Palvelu toimii muuten hyvin, mutta kehitettävää on vielä tulostettavan raportin ulkoasussa ja lisäksi mitaustuloshistoriaa näkee vain kunkin mittauspisteen kahdeksan edellisen mittauksen tulokset. Yksi mahdollinen kehittämiskohde voisi olla myös mitaustulosten saaminen Relia-palvelusta suoraan esimerkiksi Excel-muotoon, jolloin mittaaja pystyisi kokoamaan mitaustulokset haluamaansa muotoon. Käytössäni ollut Relia-ohjelmisto oli Beta-versio, ja uusi päivitetty versio on tekeillä. Muun muassa yllä mainittuihin kehitysehdotuksiin tehdään parannuksia tulevassa versiossa.

Tuotteen kalibrointi-arvojen ja mitaustarkkuuden kehittämisen eteen on panostettu ja pyrkimyksenä on löytää riittävällä varmuudella toimiva menetelmä tuotantoon, joka on myös aikataulullisesti ja kustannuksellisesti kilpailukykyinen. Tutkimuksen perusteella tuotteelle on selkeä markkinarako ja tarve sekä rakennustyömailla, että kuntotutkimusten apuvälineenä. Tämän tutkimuksen aikana onnistuttiin kehittämään Wiiste Oy:n tuotteita ja saamaan lisätietoa työmaalla kohdattavista haasteista, joten tutkimuksen tulokseen voidaan olla tyytyväisiä.

LÄHTEET

By201 betonitekniikan oppikirja 2004

Maankäyttö- ja rakennuslaki. Luettu 29.3.2015
(<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>)

Tarja Merikallio 2009. Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa.

Tarja Merikallio 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi.

Tarja Merikallio 1998. Kosteudenhallinta rakennustyömaalla.

RT 05-10410 Ilmasto, kosteus, sade ja lumi

RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus

Wiiste Oy yrityksen ja tuotteiden esittely. Luettu 5.4.2015
(<http://www.wiiste.com/>)

Wiiste Oy:n SolidRH käyttöohje. Luettu 5.4.2015
(http://www.wiiste.com/downloads/SolidRH_kayttoohje_v1.1_17.12.2013.pdf)

LIITTEET

Liite 1. Tampereen Uintikeskuksen mittaustulokset

KOSTEUSMITTAUSTULOKSET

TAMPEREEN UINTIKESKUS

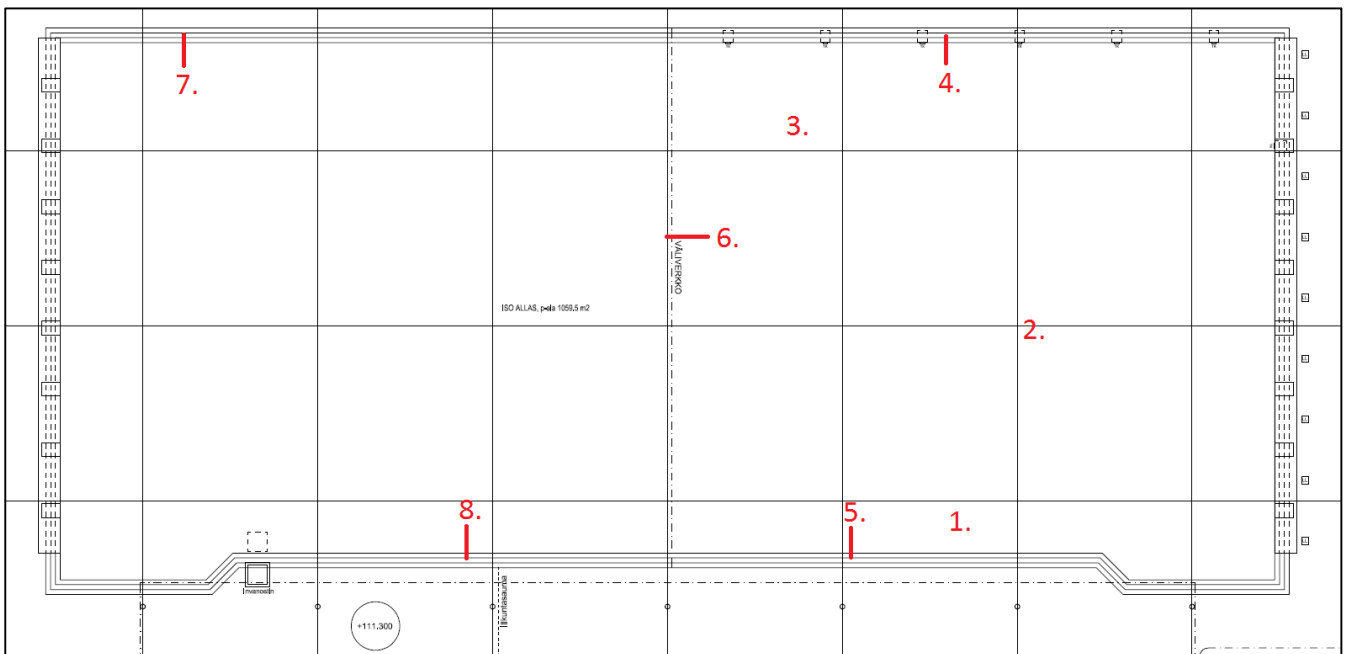
30.10.2014 – 16.12.2014



Sampo Clewer 7.4.2015

Tähän asiakirjaan on koottu Tampereen Uintikeskuksen peruskorjaustyömaalla kosteudenmittaustulokset aikavälillä 30.10. – 16.12.2014. Mittauksia on tehty kahdella eri menetelmällä, perinteisellä porareikämittausmenetelmällä ja Wiiste Oy:n SolidRH-kosteusmittausmenetelmällä. Tarkemmat tiedot mittauskohteesta, menetelmistä ja tulosten yhteenvedosta ovat Sampo Clewerin opinnäytetyössä ”Betonin kosteudenmittauksen kehittäminen” huhtikuu 2015.

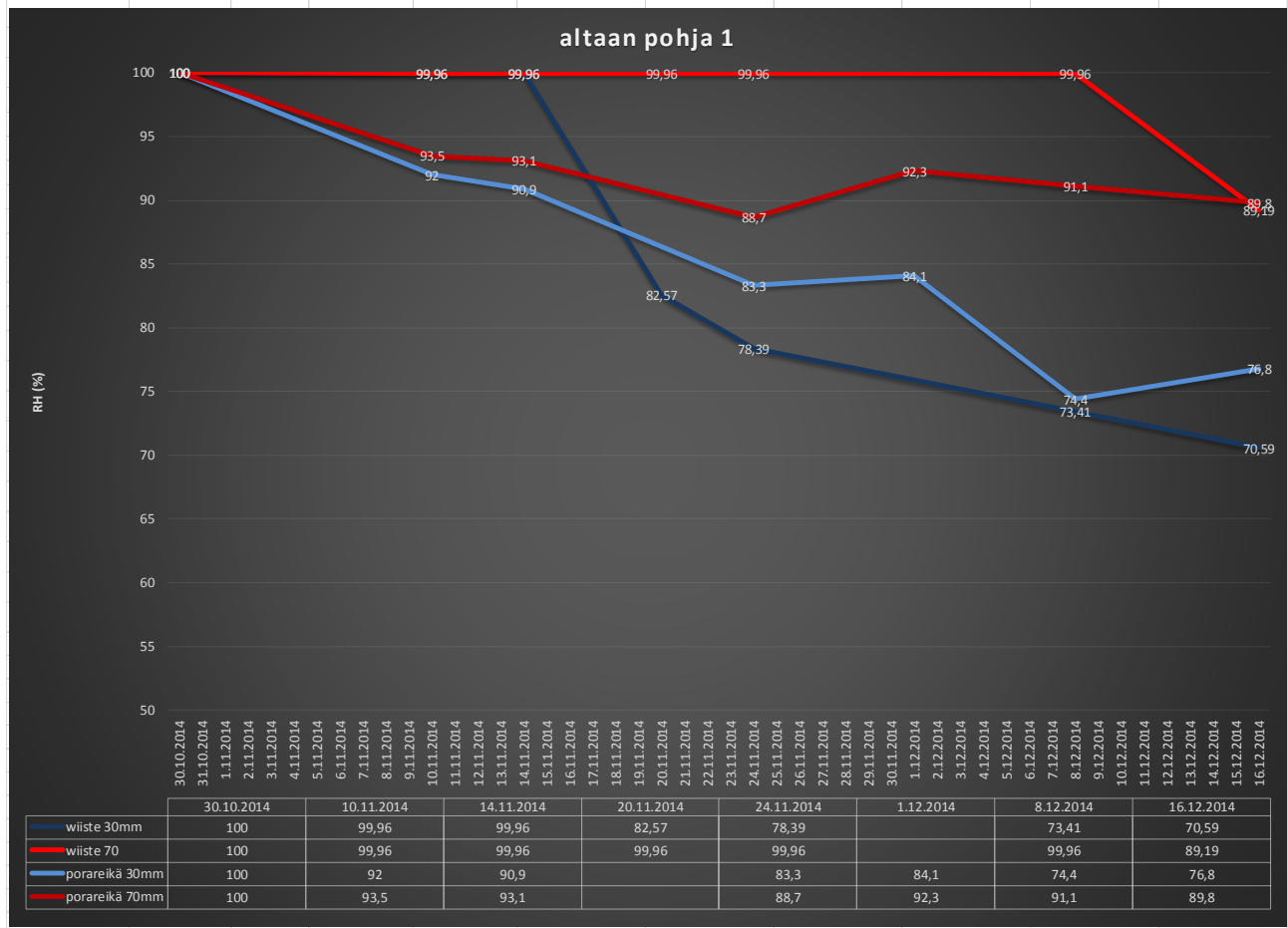
VERTAILUKELPOISTEN MITTAUSPAIKKOJEN SIJAINNIT UIMA-ALTAASSA



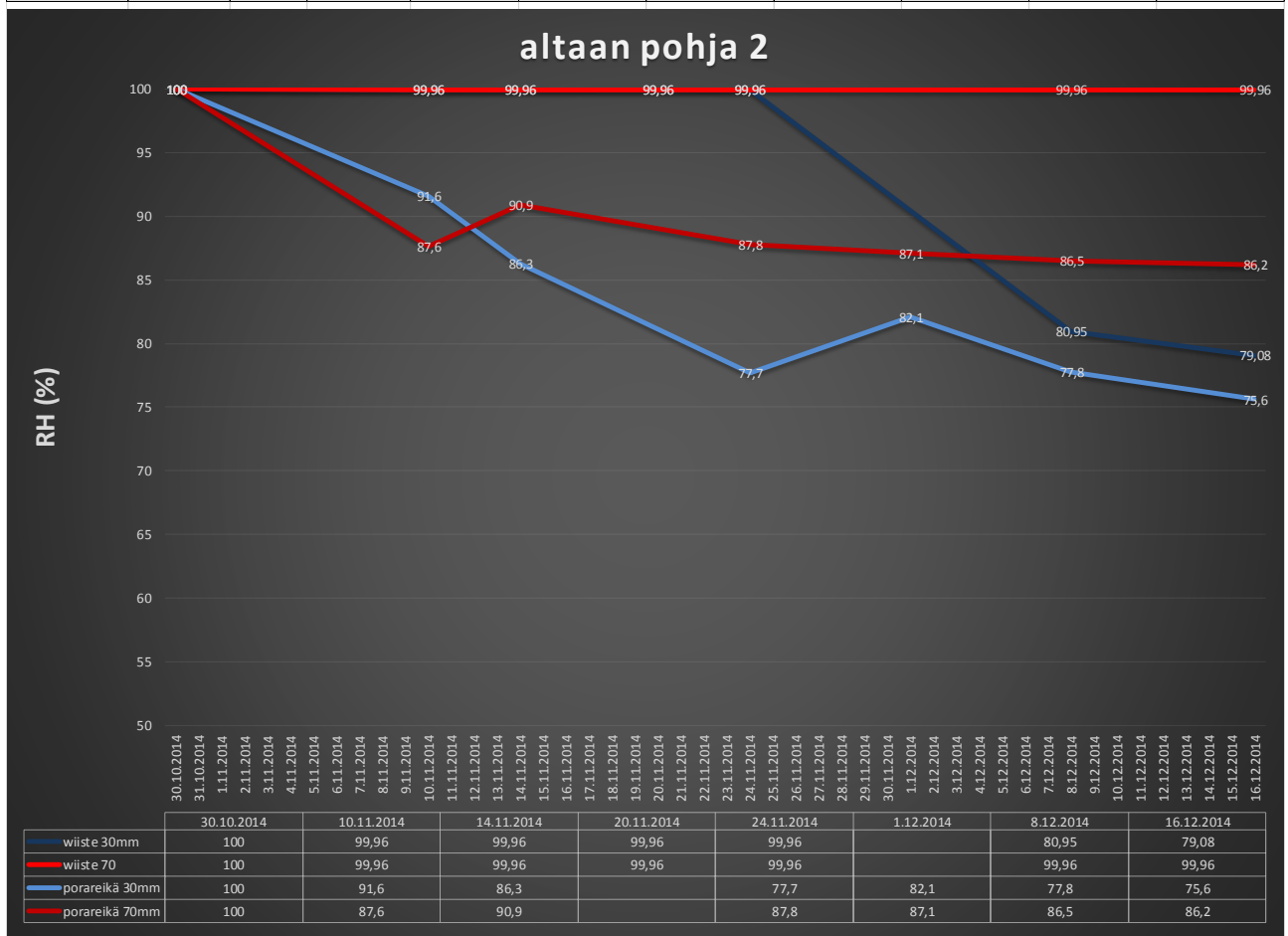
1. ALTAAN POHJA1
2. ALTAAN POHJA2
3. ALTAAN POHJA3
4. ALTAAN SEINÄ4
5. ALTAAN SEINÄ5
6. ALTAAN SEINÄ6
7. ALTAAN SEINÄ7
8. ALTAAN SEINÄ8

MITTAUSTULOKSET												
	Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	30.10.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	24.11.2014	1.12.2014	8.12.2014	16.12.2014	
				RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
				T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
ALTAAN POHJA 1	WIISTE 30mm	1817	30	100	99,96	99,96	82,57	78,39		73,41	70,59	
					21,14	21,36	22,34	21,9		20,89	19,73	
	PR 30mm		30	100	92	90,9		83,3	84,1	74,4	76,8	
					22,5	22,2		21,8	20,3	20,9	19,6	
	WIISTE 70mm	1801	70	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	89,19	
					21,22	21,42	22,27	21,92		20,96	19,8	
	PR 70mm		70	100	93,5	93,1		88,7	92,3	91,1	89,8	
						22	22,3		21,7	20,5	20,7	19,7
ALTAAN POHJA 2	WIISTE 30mm	1795	30	100	99,96	99,96	99,96	99,96		80,95	79,08	
						21,56	21,7	22,62	22,37		21,24	20,05
	PR 30mm		70	100	91,6	86,3		77,7	82,1	77,8	75,6	
					22,7	21,5		22,2	20,2	21,1	19,7	
	WIISTE 70mm	1807	70	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
					21,64	21,75	22,64	22,39		21,24	20,08	
	PR 70mm		70	100	87,6	90,9		87,8	87,1	86,5	86,2	
						23	22,2		22,1	20,6	21	19,8
ALTAAN POHJA 3	WIISTE 30mm	1815	30	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
						22,11	21,31	21,94	21,65		20,59	19,54
	PR 30mm		30	100	93,4	98,5		86,5	83,2	78,8	70,1	
					22,5	20,9		21,9	20,2	20,8	19,6	
	WIISTE 70mm	1832	70	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
					21,68	21,91	22,51	22,2		21,15	20,1	
	PR 70mm		70	100	96,3	93,3		90,8	90,6	87,6	82,2	
						22,9	21,8		21,9	20,5	20,8	19,8
ALTAAN SEINÄ 4	WIISTE 30mm	1785	30	100	99,97	99,97	99,97	99,97		99,97	99,97	
						22,57	21,72	22,48	22,11		20,88	19,58
	PR 30mm		30	100	91	93,1		79,1	81,3	76	73,8	
						23	21,8		21,8	19,3	20,8	19,1
	WIISTE 70mm	1768	70	100								
	PR 70mm		70	100	95,6	92,3		93	93	91,1	89,9	
						22,6	22		21,7	20,4	20,6	19,3
ALTAAN SEINÄ 5	WIISTE 30mm	1799	30	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
						21,51	21,37	21,86	21,57		20,73	19,58
	PR 30mm		30	100	88	91,6		80,8	85,6	82,9	82	
					22,6	20,6		21,5	20	20,7	19,5	
	WIISTE 70mm	1979	70	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
					21,44	21,28	21,79	21,5		20,63	19,49	
	PR 70mm		70	100	96,1	96,8		94,7	93,7	92,9	91,9	
						22	21,3		21,4	20,2	20,6	19,5
ALTAAN SEINÄ 6	WIISTE 30mm	1785	30	100	99,97	99,97	99,97	99,97		99,97	99,97	
						22,57	21,72	22,48	22,11		20,88	19,58
	PR 30mm		30	100	90,8	93,9		84	86,3	82,4	81	
						23	21,8		21,8	19,3	20,8	19,1
	WIISTE 70mm	1768	70	100	99,97	99,97	99,97	99,97		99,97	99,97	
						22,57	21,72	22,48	22,11		20,88	19,58
	PR 70mm		70	100	96,2	98,4		95,5	97	96,7	96,4	
						22,6	22		21,7	20,4	20,6	19,3
ALTAAN SEINÄ 7	WIISTE 30mm	1970	30	100	99,96	43,56	21,1	99,96		99,96	94,15	
						23,38	125	125	22,66		21,14	19,42
	PR 30mm		30	100	94,8	97		91	82,1	80		
						23,8	22,1		21,7	20,1	21	
	WIISTE 70mm	1809	70	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
						25,06	22,84	22,7	22,24		21,19	19,47
	PR 70mm		70	100	96,3	96,4		95,5	93,4	91,6		
						23,6	22,5		22	20,8	21	
ALTAAN SEINÄ 8	WIISTE 30mm	1822	30	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
						22,7	22,3	22,77		21,24	20,01	
	PR 30mm		30	100	91,2	91		84,3	83,9	82,5	81,7	
						23,2	22,5		22	20,3	21	19,6
	WIISTE 70mm	1842	70	100	99,96	99,96	99,96	99,96		99,96	99,96	
						22,54	22,16	22,6	22,11		22,08	19,82
	PR 70mm		70	100	97,9	98,6		97,8	97,1	95,5	94,8	
						22,9	22,2		21,8	20,7	20,8	19,7

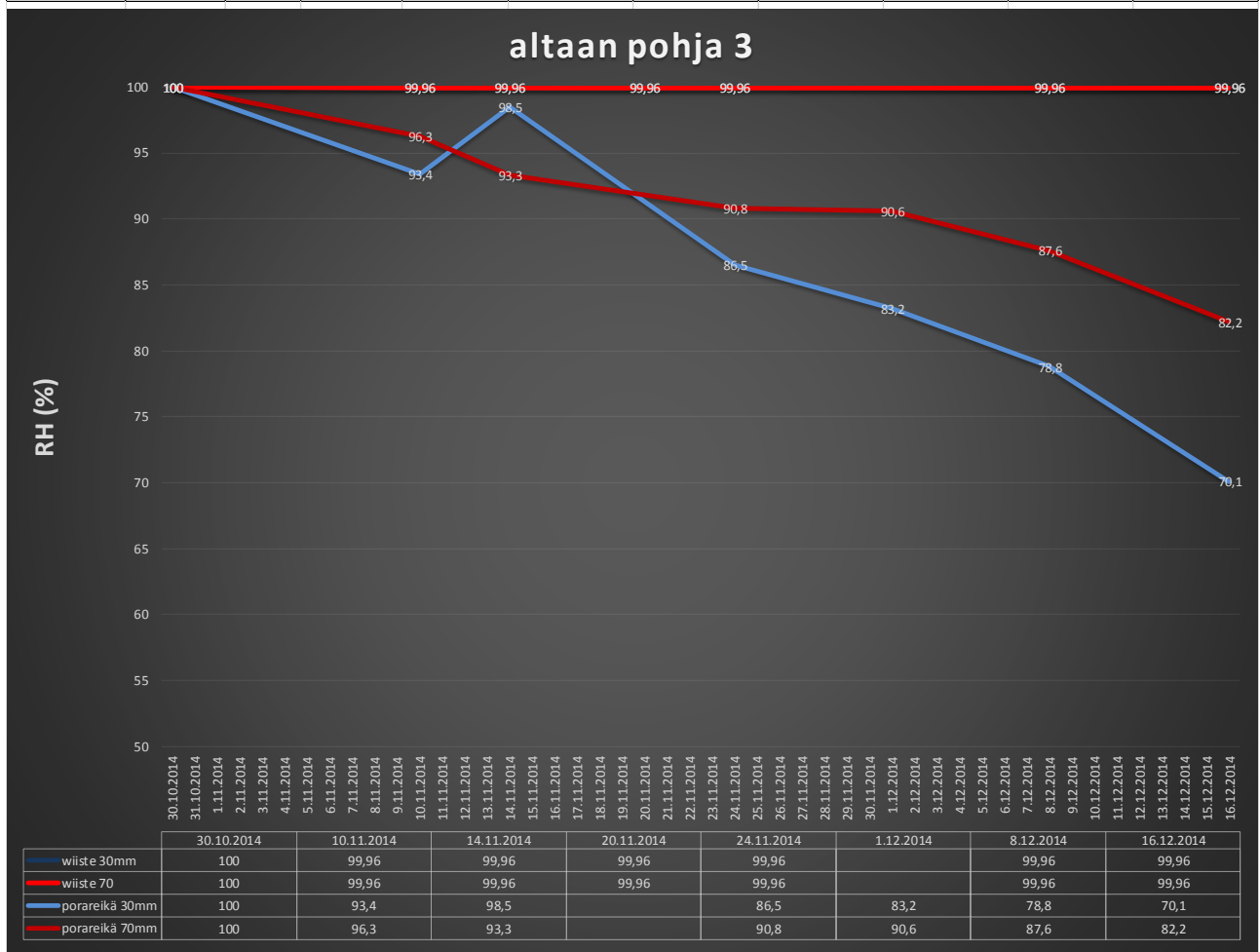
altaan pohja 1										
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	30.10.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	24.11.2014	1.12.2014	8.12.2014	16.12.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE 30mm	1817	30	100	99,96 21,14	99,96 21,36	82,57 22,34	78,39 21,9		73,41 20,89	70,59 19,73
PR 30mm		30	100	92 22,5	90,9 22,2		83,3 21,8	84,1 20,3	74,4 20,9	76,8 19,6
WIISTE 70mm	1801	70	100	99,96 21,22	99,96 21,42	99,96 22,27	99,96 21,92		99,96 20,96	89,19 19,8
PR 70mm		70	100	93,5 22	93,1 22,3		88,7 21,7	92,3 20,5	91,1 20,7	89,8 19,7



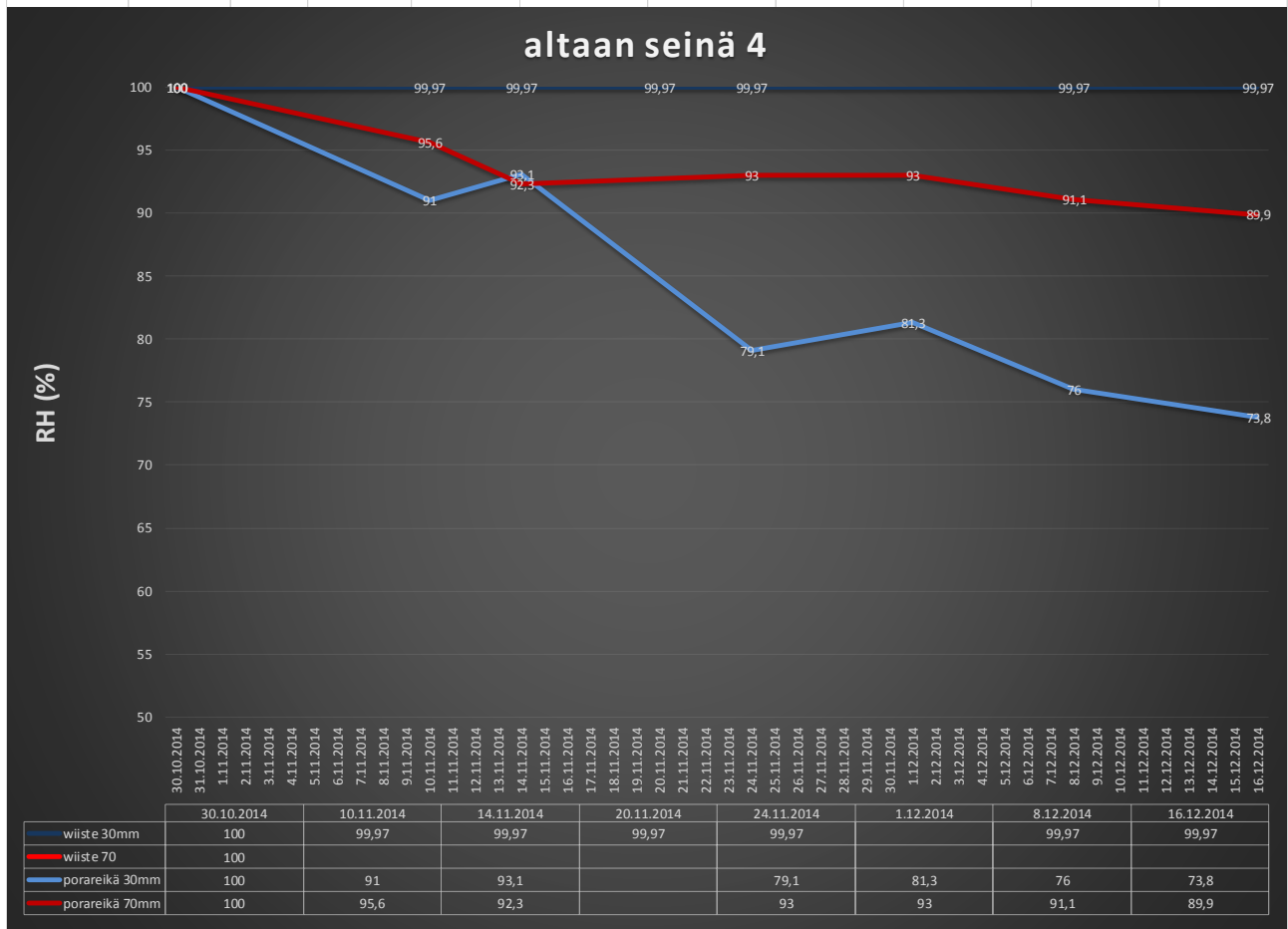
altaan pohja 2										
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	30.10.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	24.11.2014	1.12.2014	8.12.2014	16.12.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE 30mm	1795	30	100	99,96 21,56	99,96 21,7	99,96 22,62	99,96 22,37		80,95 21,24	79,08 20,05
PR 30mm		70	100	91,6 22,7	86,3 21,5		77,7 22,2	82,1 20,2	77,8 21,1	75,6 19,7
WIISTE 70mm	1807	70	100	99,96 21,64	99,96 21,75	99,96 22,64	99,96 22,39		99,96 21,24	99,96 20,08
PR 70mm		70	100	87,6 23	90,9 22,2		87,8 22,1	87,1 20,6	86,5 21	86,2 19,8



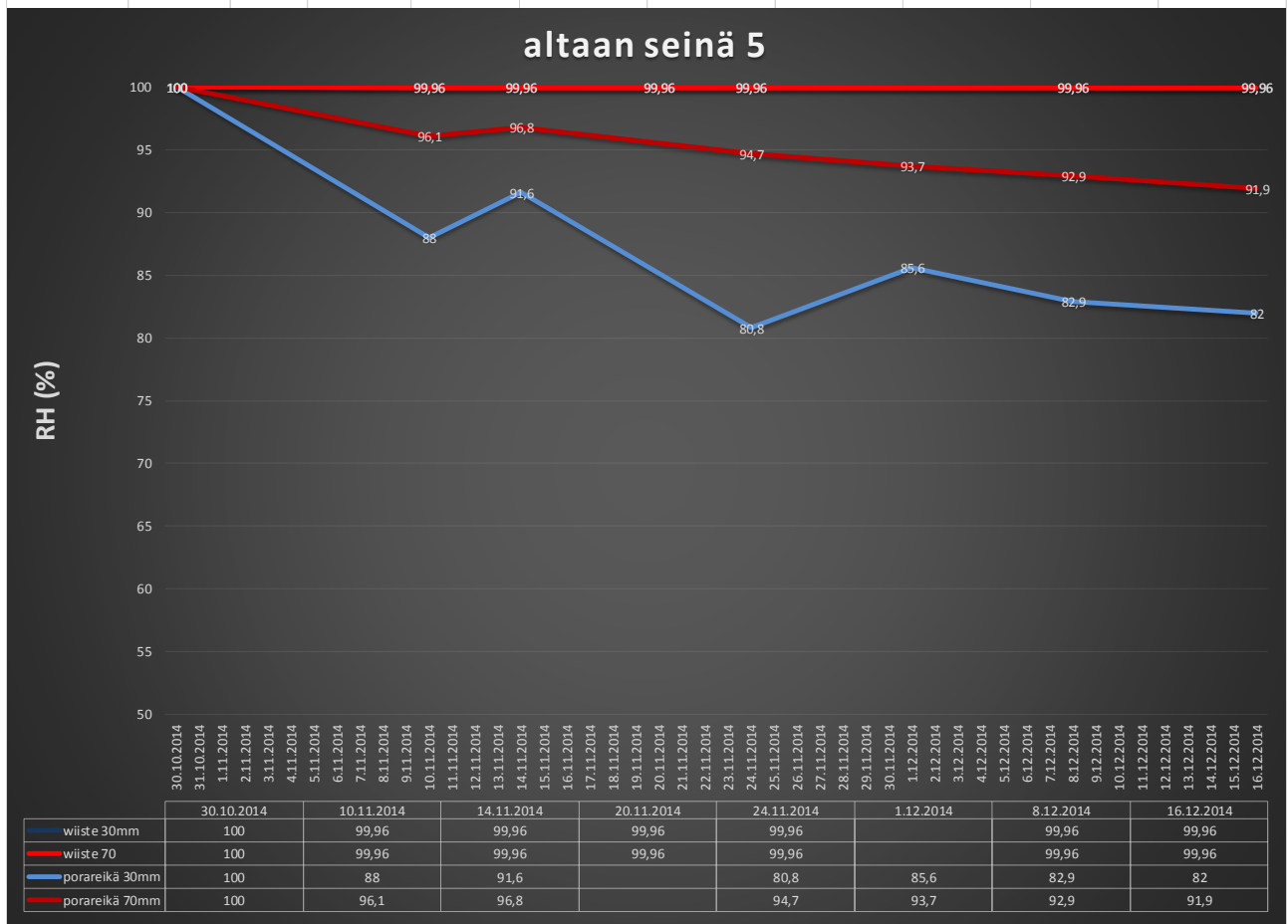
altaan pohja 3										
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	30.10.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	24.11.2014	1.12.2014	8.12.2014	16.12.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE 30mm	1815	30	100	99,96 22,11	99,96 21,31	99,96 21,94	99,96 21,65		99,96 20,59	99,96 19,54
PR 30mm		30	100	93,4 22,5	98,5 20,9		86,5 21,9	83,2 20,2	78,8 20,8	70,1 19,6
WIISTE 70mm	1832	70	100	99,96 21,68	99,96 21,91	99,96 22,51	99,96 22,2		99,96 21,15	99,96 20,1
PR 70mm		70	100	96,3 22,9	93,3 21,8		90,8 21,9	90,6 20,5	87,6 20,8	82,2 19,8



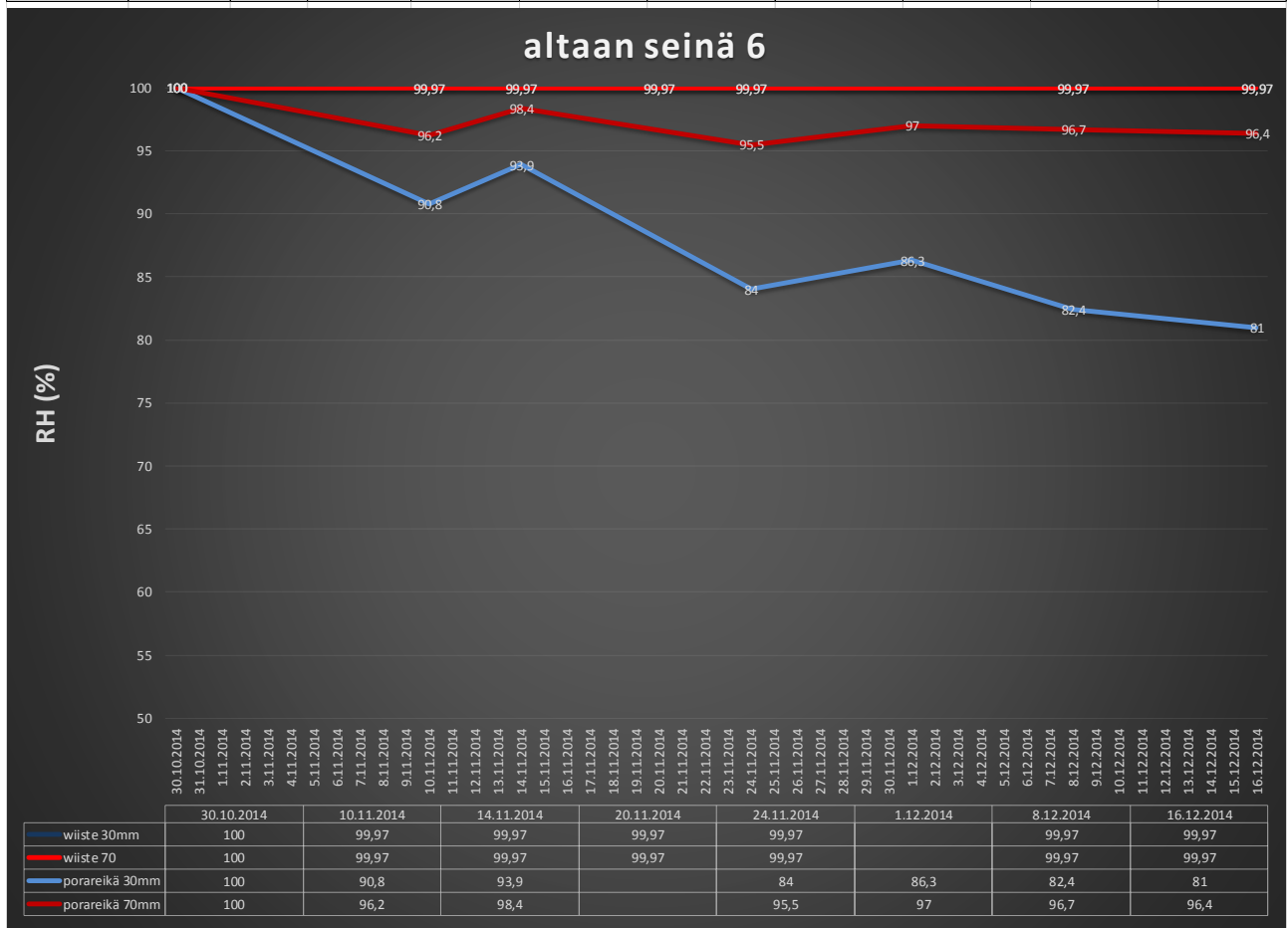
altaan seinä 4										
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	30.10.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	24.11.2014	1.12.2014	8.12.2014	16.12.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE 30mm	1785	30	100	99,97 22,57	99,97 21,72	99,97 22,48	99,97 22,11		99,97 20,88	99,97 19,58
PR 30mm		30	100	91 23	93,1 21,8		79,1 21,8	81,3 19,3	76 20,8	73,8 19,1
WIISTE 70mm	1768	70	100							
PR 70mm		70	100	95,6 22,6	92,3 22		93 21,7	93 20,4	91,1 20,6	89,9 19,3



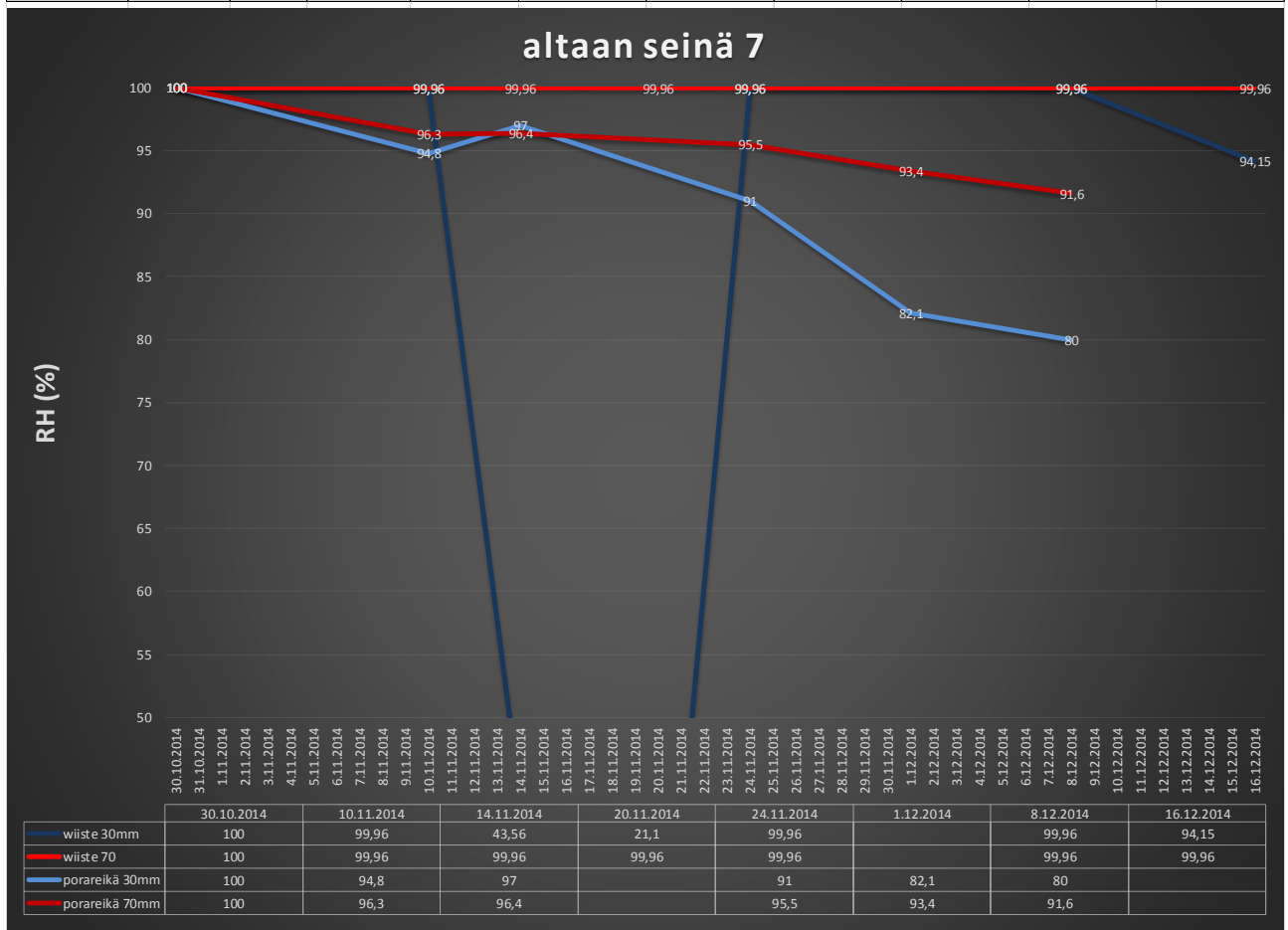
altaan seinä 5										
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	30.10.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	24.11.2014	1.12.2014	8.12.2014	16.12.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE 30mm	1799	30	100	99,96 21,51	99,96 21,37	99,96 21,86	99,96 21,57		99,96 20,73	99,96 19,58
PR 30mm		30	100	88 22,6	91,6 20,6		80,8 21,5	85,6 20	82,9 20,7	82 19,5
WIISTE 70mm	1979	70	100	99,96 21,44	99,96 21,28	99,96 21,79	99,96 21,5		99,96 20,63	99,96 19,49
PR 70mm		70	100	96,1 22	96,8 21,3		94,7 21,4	93,7 20,2	92,9 20,6	91,9 19,5



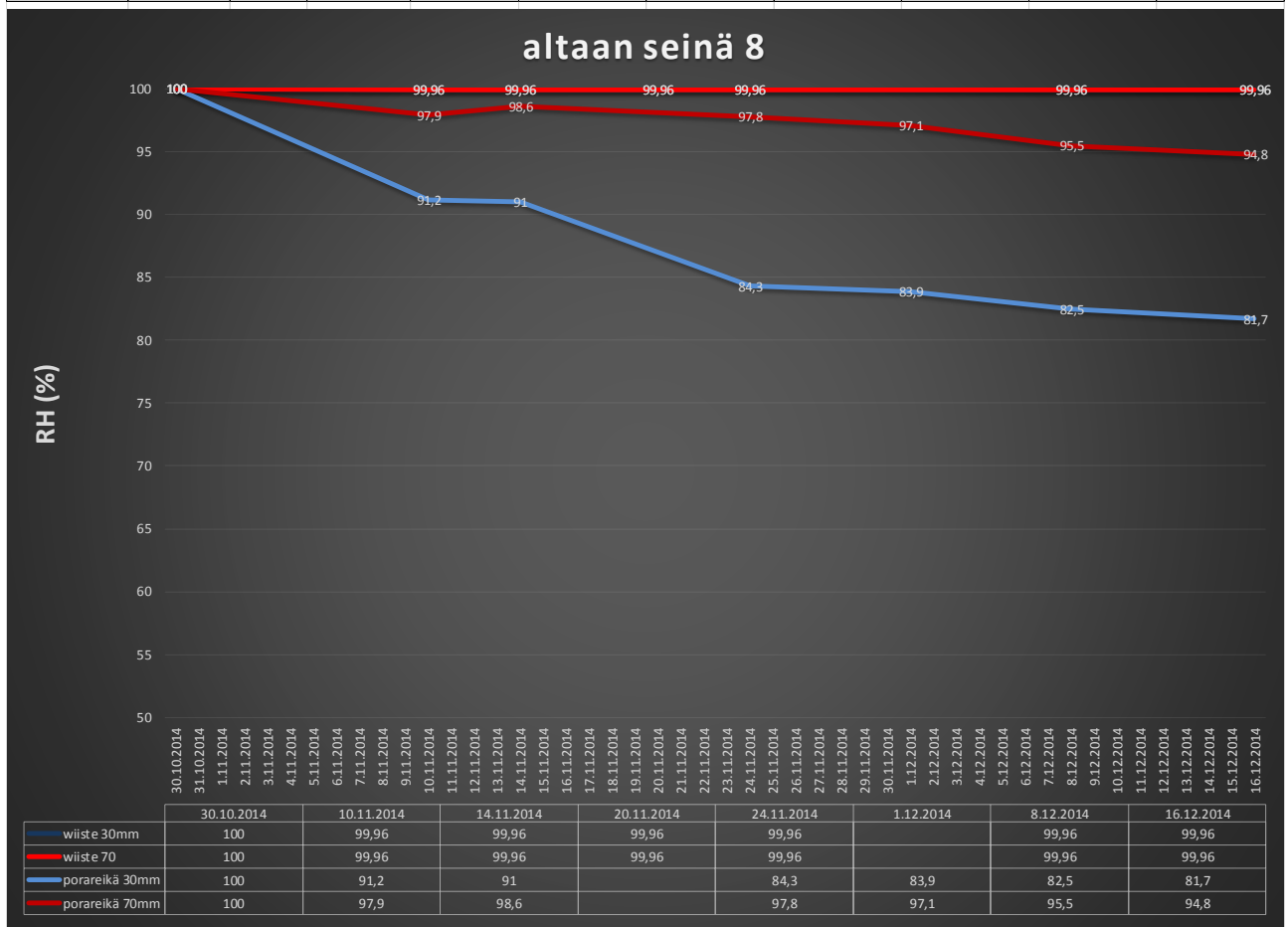
altaan seinä 6										
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	30.10.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	24.11.2014	1.12.2014	8.12.2014	16.12.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE 30mm	1785	30	100	99,97 22,57	99,97 21,72	99,97 22,48	99,97 22,11		99,97 20,88	99,97 19,58
PR 30mm		30	100	90,8 23	93,9 21,8		84 21,8	86,3 19,3	82,4 20,8	81 19,1
WIISTE 70mm	1768	70	100	99,97 22,57	99,97 21,72	99,97 22,48	99,97 22,11		99,97 20,88	99,97 19,58
PR 70mm		70	100	96,2 22,6	98,4 22		95,5 21,7	97 20,4	96,7 20,6	96,4 19,3



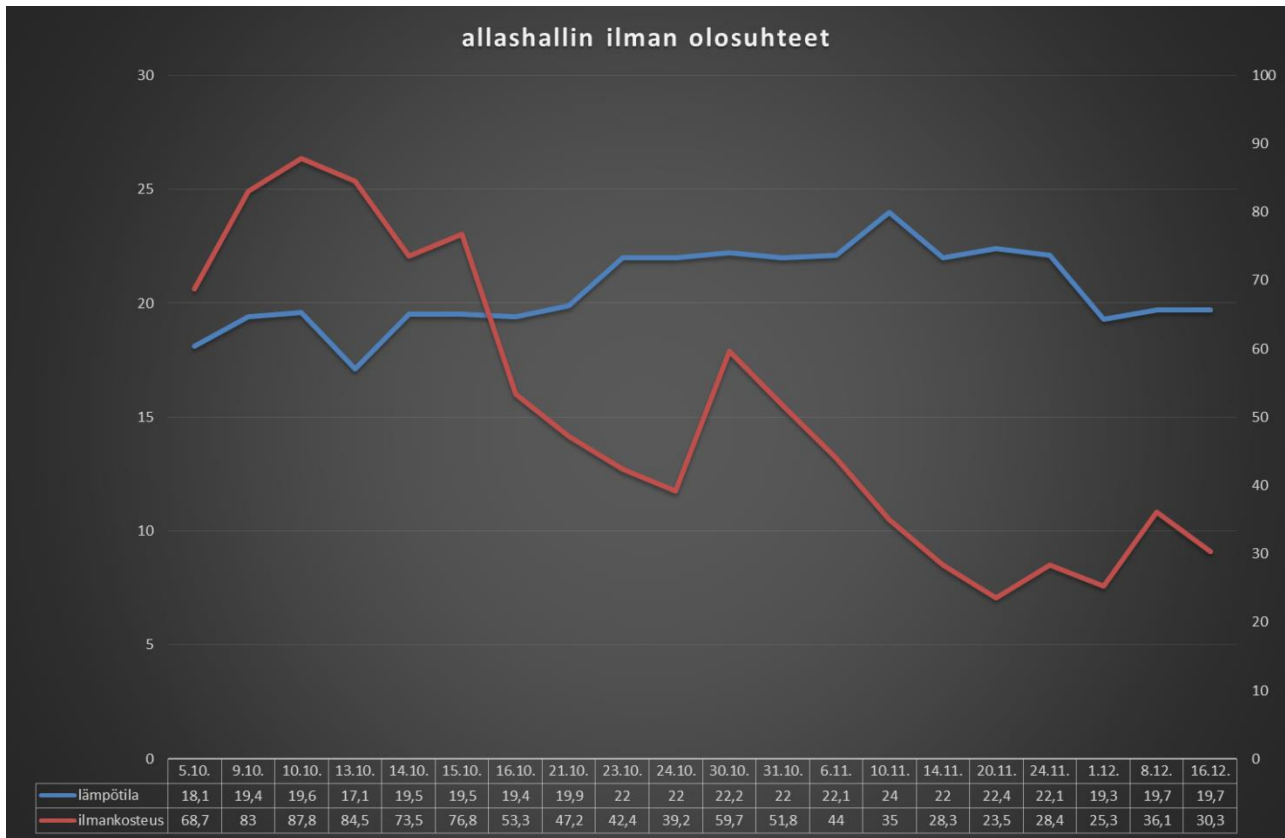
altaan seinä 7										
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	30.10.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	24.11.2014	1.12.2014	8.12.2014	16.12.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE 30mm	1970	30	100	99,96 23,38	43,56 125	21,1 125	99,96 22,66		99,96 21,14	94,15 19,42
PR 30mm		30	100	94,8 23,8	97 22,1		91 21,7	82,1 20,1	80 21	
WIISTE 70mm	1809	70	100	99,96 25,06	99,96 22,84	99,96 22,7	99,96 22,24		99,96 21,19	99,96 19,47
PR 70mm		70	100	96,3 23,6	96,4 22,5		95,5 22	93,4 20,8	91,6 21	



altaan seinä 8										
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	30.10.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	24.11.2014	1.12.2014	8.12.2014	16.12.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE 30mm	1822	30	100	99,96 22,7	99,96 22,3	99,96 22,77	99,96 22,28		99,96 21,24	99,96 20,01
PR 30mm		30	100	91,2 23,2	91 22,5		84,3 22	83,9 20,3	82,5 21	81,7 19,6
WIISTE 70mm	1842	70	100	99,96 22,54	99,96 22,16	99,96 22,6	99,96 22,11		99,96 22,08	99,96 19,82
PR 70mm		70	100	97,9 22,9	98,6 22,2		97,8 21,8	97,1 20,7	95,5 20,8	94,8 19,7



YMPÄRISTÖN OLOSUHTEET



KOKO MITTAUSAIKA			
ka °C	20,60	ka RH	50,94
max °C	24,00	max RH	87,80
min °C	17,10	min RH	23,50
KOE TÄYTÖN AIKANA			
ka °C	19,88	ka RH	65,10
max °C	22,20	max RH	87,80
min °C	17,10	min RH	39,20
KUIVUMISEN SEURANNAN AIKANA			
ka °C	21,55	ka RH	36,24
max °C	24,00	max RH	59,70
min °C	19,30	min RH	23,50

Liite 2. TAMK:n testilaattojen mittaustulokset

MITTAUSTULOKSET

TAMK TESTILAATAT
4.9.2014 – 23.1.2015

Sampo Clewer

mittausmenetelmän mittaustulosten vertailu														
		pvm	RH [%]	RH erotus	T [°C]	T erotus			pvm	RH [%]	RH erotus	T [°C]	T erotus	
laatta 1	16mm	9.loka	78,82	-0,88	21,06	0,16	laatta 4	16mm	10.marras	80,05	6,30	20,81	-0,14	
		16.loka	75,75	4,25	21,27	-0,04			2.joulu	69,48	9,18	21,53	-0,22	
		10.marras	68,68	11,73	21,48	0,03			10.marras	88,64	1,74	20,83	-0,17	
	32mm	9.loka	88,7	1,80	21,34	0,34		32mm	20.marras	85,13	4,88	21,23	0,18	
		16.loka	87,01	6,76	21,28	0,23			2.joulu	81,85	3,70	21,52	0,07	
		10.marras	82,5	6,65	21,51	0,15			10.marras	80,7	4,30	20,43	-0,22	
laatta 2	48mm	9.loka	97,96	7,05	21,59	0,14	laatta 5	16mm	2.joulu	70,78	7,18	21,16	-0,29	
		16.loka	97,63	9,03	22,11	0,21			10.marras	90,58	5,53	20,39	-0,06	
		10.marras	94,2	11,65	22,55	0,05			2.joulu	84,6	7,00	21,10	-0,05	
	70mm	9.loka	98,54	6,84	21,60	0,15		laatta 6	16mm	19.joulu	66	3,40	21,98	0,13
		16.loka	98,38	7,23	22,33	0,18				23.tammi	42,5	-1,20	22,42	0,17
		10.marras	97,56	10,41	22,87	0,32				19.joulu	81,92	2,27	22,01	0,26
laatta 3	48mm	9.loka	97,65	7,30	21,11	0,26	laatta 7		32mm	23.tammi	69,07	2,57	22,39	0,24
		16.loka	97,05	9,85	21,48	0,18				19.joulu	86,86	-1,54	22,02	0,32
		10.marras	91,83	8,43	21,45	0,10				23.tammi	77,1	-3,50	22,32	0,22
	70mm	9.loka	98,28	7,58	21,03	0,18		70mm	19.joulu	89,26	-1,79	22,03	0,28	
		16.loka	97,92	6,72	21,32	0,12			23.tammi	83,68	-1,12	22,34	0,29	
		10.marras	93,89	7,89	21,65	0,10								
pvm		mittaus päivämäärä												
RH [%]		SH1-antureiden suhteellisen kosteuden keskiarvotulos												
RH erotus		SH1-antureiden suhteellisen kosteuden keskiarvon erotus porareikämittausten keskiarvosta												
T [°C]		SH1-antureiden lämpötilojen keskiarvotulos												
T erotus		SH1-antureiden lämpötilojen keskiarvon erotus porareikämittausten keskiarvosta												

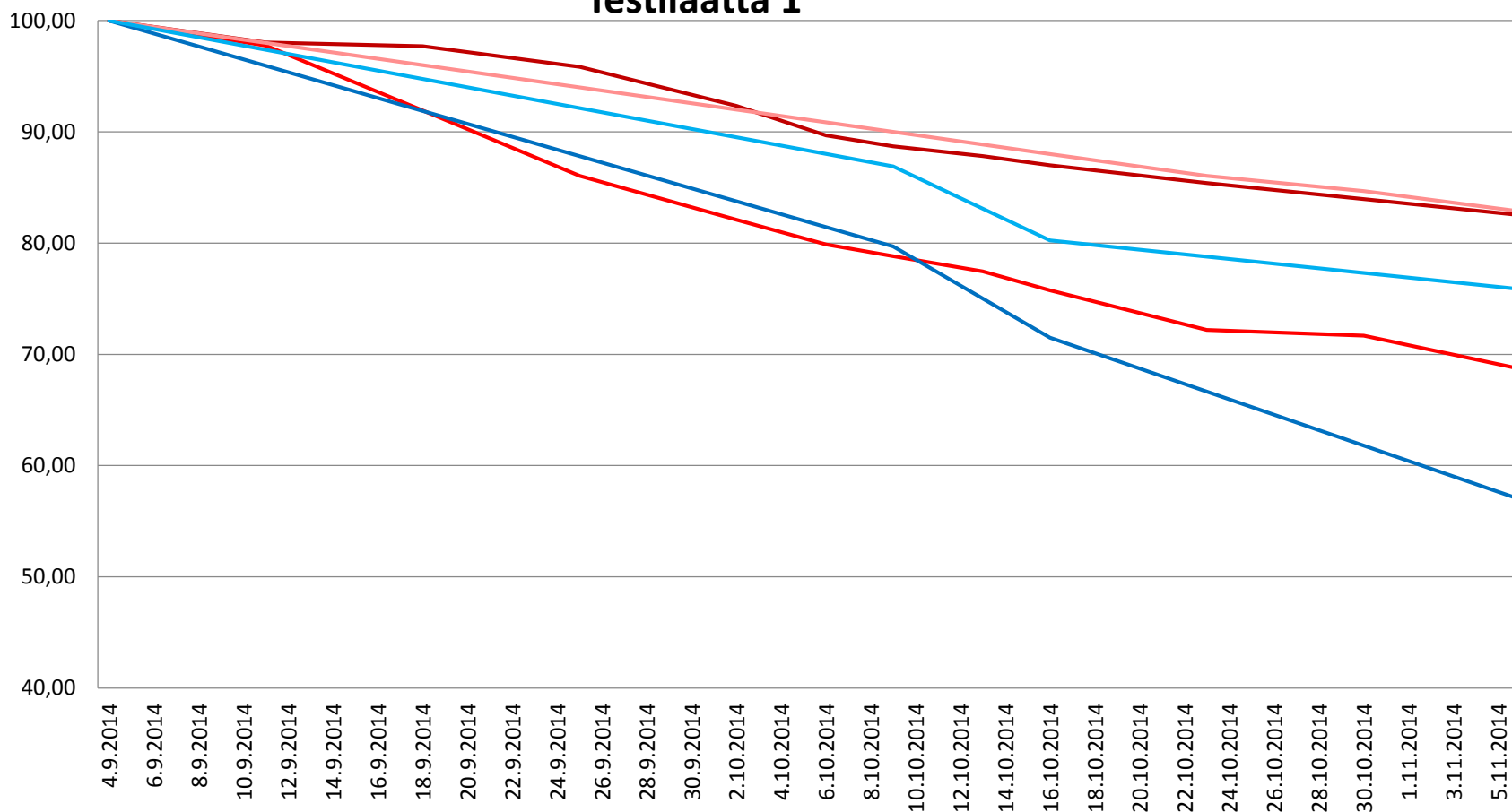
MITTAUSTULOSTEN KESKIHAJONTA ERI MENETELMILLÄ									
			RH [%]	T [°C]				RH [%]	T [°C]
laatta 1	16mm	SH1	2,64	0,07	laatta 5	16mm	SH1	2,31	0,17
		PORAREIKÄ	6,82	0,07			PORAREIKÄ	1,70	0,14
	32mm	SH1	1,78	0,09		32mm	SH1	1,17	0,14
		SH2	0,37	0,02			PORAREIKÄ	0,60	0,14
		PORAREIKÄ	1,37	0,05			laatta 6	16mm	SH1
48mm	SH1	0,91	0,10	PORAREIKÄ	2,33	0,14			
	70mm	PORAREIKÄ	0,67	0,04	32mm	SH1		0,83	0,06
SH1		0,23	0,08	PORAREIKÄ		2,79		0,14	
laatta 2	48mm	SH1	0,84	0,15	laatta 7	48mm	SH1	1,97	0,08
		PORAREIKÄ	1,17	0,07			PORAREIKÄ	0,64	0,07
70mm	SH1	1,33	0,13	70mm		SH1	2,70	0,07	
	PORAREIKÄ	2,05	0,14			PORAREIKÄ	1,10	0,07	
PORAREIKÄMITTAUKSEN KESKIHAJONTA MITTAUSSYVYYSITTÄIN									
laatta 4	16mm	SH1	1,61	0,09	16mm	2,93 %	0,10 °C		
		PORAREIKÄ	0,88	0,07	32mm	1,44 %	0,08 °C		
	32mm	SH1	0,73	0,09	48mm	0,83 %	0,06 °C		
		PORAREIKÄ	0,99	0,05	70mm	1,13 %	0,11 °C		

LAATTA1 MITTAUSSYVYYS			Yleistittoa											
16mm			betoni: K30, S2, max. rae16mm											
			laatta: Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)											
			koko: 900x350x60											
			valu pvm 4.9.2014											
Mittapiste	Anturi nro	Mittaus syvyys [mm]	4.9.2014	11.9.2014	18.9.2014	25.9.2014	2.10.2014	6.10.2014	9.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE SH1 16mm	2792	16	100	97,15 20,92	87,06 21,48	81,27 21,48	76,8 21,85	74,74 21,02	73,5 21,13	72,53 21,05	78,05 21,26	72,83 21,74	72,36 21,12	62,9 21,44
	2766	16		97,97 20,8	92,96 21,38	86,86 21,43	82,82 21,78	80,52 21,05	79,47 21	77,93 21,06	70,24 21,21	75,13 21,76	74,31 21,13	68,77 21,44
	2809	16		98,24 20,77	92,53 21,51	86,02 21,55	81,71 21,89	79,16 21,3	78,31 21,08	76,89 21,15	76,23 21,23	74,89 21,7	73,96 21,14	68,15 21,48
	2830	16		98,12 20,91	95,33 21,43	88,31 21,47	84,79 21,82	82,62 21,5	81,41 21,13	80,02 21,13	75,1 21,29	65,87 21,48	66,61 21,14	71,5 21,52
	2781	16		97,5 20,94	92,59 21,43	87,38 21,45	84 21,82	81,96 21,06	80,84 21,03	79,37 21,07	76,31 21,31	72,03 21,32	71,04 21,17	71,37 21,49
	2817	16		97,48 20,84	91,07 21,39	86,35 21,46	82,51 21,84	80,33 21,12	79,38 21,01	77,92 21,19	78,54 21,29	72,47 21,57	71,86 21,09	69,37 21,53
	KESKIARVO			100,00	97,74 20,86	91,92 21,44	86,03 21,47	82,11 21,83	79,89 21,18	78,82 21,06	77,44 21,11	75,75 21,27	72,20 21,60	71,69 21,13
KESKIHAJONTA				0,43 0,07	2,75 0,05	2,47 0,04	2,82 0,04	2,81 0,19	2,83 0,06	2,66 0,06	2,98 0,04	3,36 0,17	2,78 0,03	3,14 0,04
MAKSIMI				98,24 20,94	95,33 21,51	88,31 21,55	84,79 21,89	82,62 21,50	81,41 21,13	80,02 21,19	78,54 21,31	75,13 21,76	74,31 21,17	71,50 21,53
MINIMI				97,15 20,77	87,06 21,38	81,27 21,43	76,80 21,78	74,74 21,02	73,50 21,00	72,53 21,05	70,24 21,21	65,87 21,32	66,61 21,09	62,90 21,44
PORAREIKÄ 16mm	16	100							75,5 20,9		71,5 21,3			51,5 21,4
	16	100							83,9 21					62,4 21,5
KESKIARVO			100,00						79,70 20,95		71,50 21,30			56,95 21,45
KESKIHAJONTA									5,94 0,07					7,71 0,07
								RH [%]		T [°C]				
Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana								2,64		0,07				
porareiän keskihajonta mittausaikana								6,82		0,07				

LAATTA1 MITTAUSSYVYYS			Yleistitoa											
			betoni: K30, S2, max. rae16mm											
			laatta: Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)											
			koko: 900x350x60											
			valu pvm: 4.9.2014											
Mittapist	Anturi nro	Mittaus syvyys [mm]	4.9.2014	11.9.2014	18.9.2014	25.9.2014	2.10.2014	6.10.2014	9.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE SH1 32mm			100	98,16	97,94	97,3	94,89	91,48	90,53	89,83	88,91	87,38	86,13	84,93
	2776	32		21,07	21,45	21,45	21,73	21,19	21,16	20,76	21,29	21,69	21,15	21,49
				97,9	97,2	92,72	88,93	87,33	86,01	85,44	84,98	83	81,47	79,92
	2826	32		20,95	21,57	21,56	21,94	21,22	21,71	21,17	21,31	21,71	21,21	21,51
				98,4	98,22	97,44	95,44	92,3	91,01	90,03	87,14	87,45	86,16	84,86
	2761	32		21,09	21,38	21,53	21,8	21,15	21,24	20,77	21,23	21,71	21,15	21,54
				97,71	97,28	93,71	89,33	87,54	86,9	85,7	88,74	83,01	81,46	79,72
	2747	32		21,1	21,55	21,53	21,89	21,25	21,24	21,18	21,27	21,73	21,18	21,53
			97,88	97,79	97,05	93,13	89,91	89,27	88,17	84,77	85,96	84,45	82,95	
2795	32		21,37	21,49	21,56	21,81	21,19	21,14	21,1	21,3	21,71	21,19	21,51	
			98,11	97,71	96,77	92,28	89,5	88,45	87,82	87,5	85,64	84,13	82,62	
2803	32		20,96	21,45	21,45	21,86	21,19	21,54	21,23	21,29	21,65	21,13	21,45	
KESKIARVO			100,00	98,03	97,69	95,83	92,33	89,68	88,70	87,83	87,01	85,41	83,97	82,50
KESKIHAJONTA				0,25	0,39	2,06	2,74	2,01	1,98	1,96	1,79	2,00	2,11	2,28
				0,15	0,07	0,05	0,07	0,03	0,23	0,21	0,03	0,03	0,03	0,03
MAKSIMI				98,40	98,22	97,44	95,44	92,30	91,01	90,03	88,91	87,45	86,16	84,93
				21,37	21,57	21,56	21,94	21,25	21,71	21,23	21,31	21,73	21,21	21,54
MINIMI				97,71	97,20	92,72	88,93	87,33	86,01	85,44	84,77	83,00	81,46	79,72
				20,95	21,38	21,45	21,73	21,15	21,14	20,76	21,23	21,65	21,13	21,45
WIISTE SH2 32mm	268438611	32	100								88,05	86,05	84,42	82,35
										ANTUREIDEN	21,3	21,63	21,16	21,46
	268438613	32								AASENNUS	87,96	84,92	83,33	
KESKIARVO			100,00								88,01	86,05	84,67	82,84
KESKIHAJONTA											0,06	0,35	0,69	0,02
											0,01	0,03	0,03	0,02
PR 32mm	16	100							85,4		79,7			75
									21		21			21,3
	16								88,4		80,8			76,7
									21		21,1			21,4
KESKIARVO			100,00						86,90		80,25			75,85
									21,00		21,05			21,35
KESKIHAJONTA									2,12		0,78			1,20
									0,00		0,07			0,07
									RH [%]	T [°C]				
Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana									1,78	0,09				
Wiisteen SH2-anturin keskihajonta mittausaikana									0,37	0,02				
porareian keskihajonta mittausaikana									1,37	0,05				

Testilaatta 1

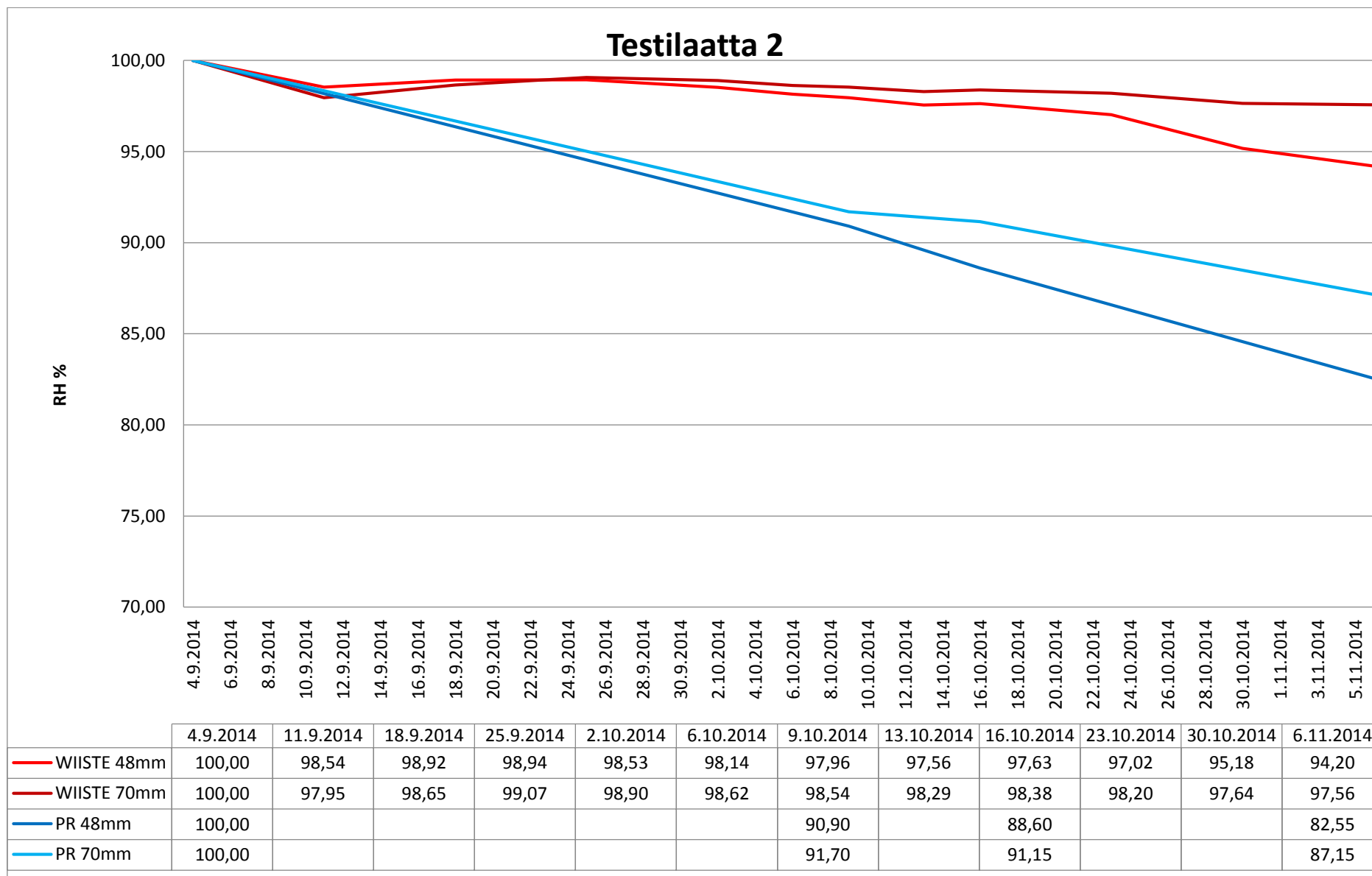
RH %



	4.9.2014	11.9.2014	18.9.2014	25.9.2014	2.10.2014	6.10.2014	9.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014
WIISTE 16mm	100,00	97,74	91,92	86,03	82,11	79,89	78,82	77,44	75,75	72,20	71,69	68,68
WIISTE 32mm	100,00	98,03	97,69	95,83	92,33	89,68	88,70	87,83	87,01	85,41	83,97	82,50
WIISTE JA 32mm	100,00								88,01	86,05	84,67	82,84
PR 16mm	100,00						79,70		71,50			56,95
PR 32mm	100,00						86,90		80,25			75,85

LAATTA2												Yleistittoa			
MITTAUSSYVYYS 48mm												betoni: K30, S2, max. rae16mm			
												laatta: Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)			
												koko: 900x350x100			
												valu pvm: 4.9.2014			
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	4.9.2014	11.9.2014	18.9.2014	25.9.2014	2.10.2014	6.10.2014	9.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014	
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	
WIISTE SH1 48mm	2748	48	100	98,53	98,82	98,83	98,38	97,99	97,82	97,43	96,77	97,06	93,79	92,45	
				21,23	21,58	21,88	22,45	21,57	21,46	21,58	22,16	22,88	21,62	22,51	
	2759	48		98,35	98,63	98,69	98,32	97,97	97,85	97,44	97,97	97,22	95,2	93,98	
				21,06	21,53	21,85	22,44	21,52	21,46	21,72	22,1	22,93	21,64	22,49	
	2820	48		98,56	98,93	98,9	98,52	98,04	97,94	97,67	97,7	97,7	97,4	96,22	94,78
				20,89	21,54	21,85	22,41	21,74	21,63	21,55	22,07	22,84	21,66	22,56	
	2782	48		98,12	98,39	98,3	97,85	97,47	97,18	96,46	97,43	94,74	91,25	90,31	
			21,29	21,65	21,95	22,61	21,7	21,74	21,74	22,09	22,98	21,8	22,63		
2811	48		99,15	99,55	99,67	99,26	98,9	98,65	98,39	97,52	98,04	97,51	97,3		
			21,02	21,58	21,92	22,53	21,63	21,67	21,72	22,1	22,94	21,65	22,55		
2831	48		98,5	99,2	99,24	98,84	98,48	98,29	97,94	98,38	97,65	97,09	96,38		
			22,1	21,56	21,88	22,53	21,66	21,57	21,88	22,13	22,93	21,65	22,56		
KESKIARVO			100,00	98,54	98,92	98,94	98,53	98,14	97,96	97,56	97,63	97,02	95,18	94,20	
KESKIHAJONTA				0,34	0,41	0,47	0,48	0,49	0,50	0,65	0,54	1,17	2,35	2,57	
				0,43	0,04	0,04	0,07	0,08	0,11	0,12	0,03	0,05	0,07	0,05	
MAKSIMI				99,15	99,55	99,67	99,26	98,90	98,65	98,39	98,38	98,04	97,51	97,30	
				22,10	21,65	21,95	22,61	21,74	21,74	21,88	22,16	22,98	21,80	22,63	
MINIMI				98,12	98,39	98,30	97,85	97,47	97,18	96,46	96,77	94,74	91,25	90,31	
				20,89	21,53	21,85	22,41	21,52	21,46	21,55	22,07	22,84	21,62	22,49	
PORAREIKÄ 48mm	48	100							91,7		88,6			82,7	
									21,5		21,9			22,5	
	48	100							90,1					82,4	
										21,4					22,5
KESKIARVO			100,00						90,90		88,60			82,55	
									21,45		21,90			22,50	
KESKIHAJONTA									1,13					0,21	
									0,07					0,00	
									RH [%]		T [°C]				
Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana									0,91		0,10				
porareikä keskihajonta mittausaikana									0,67		0,04				

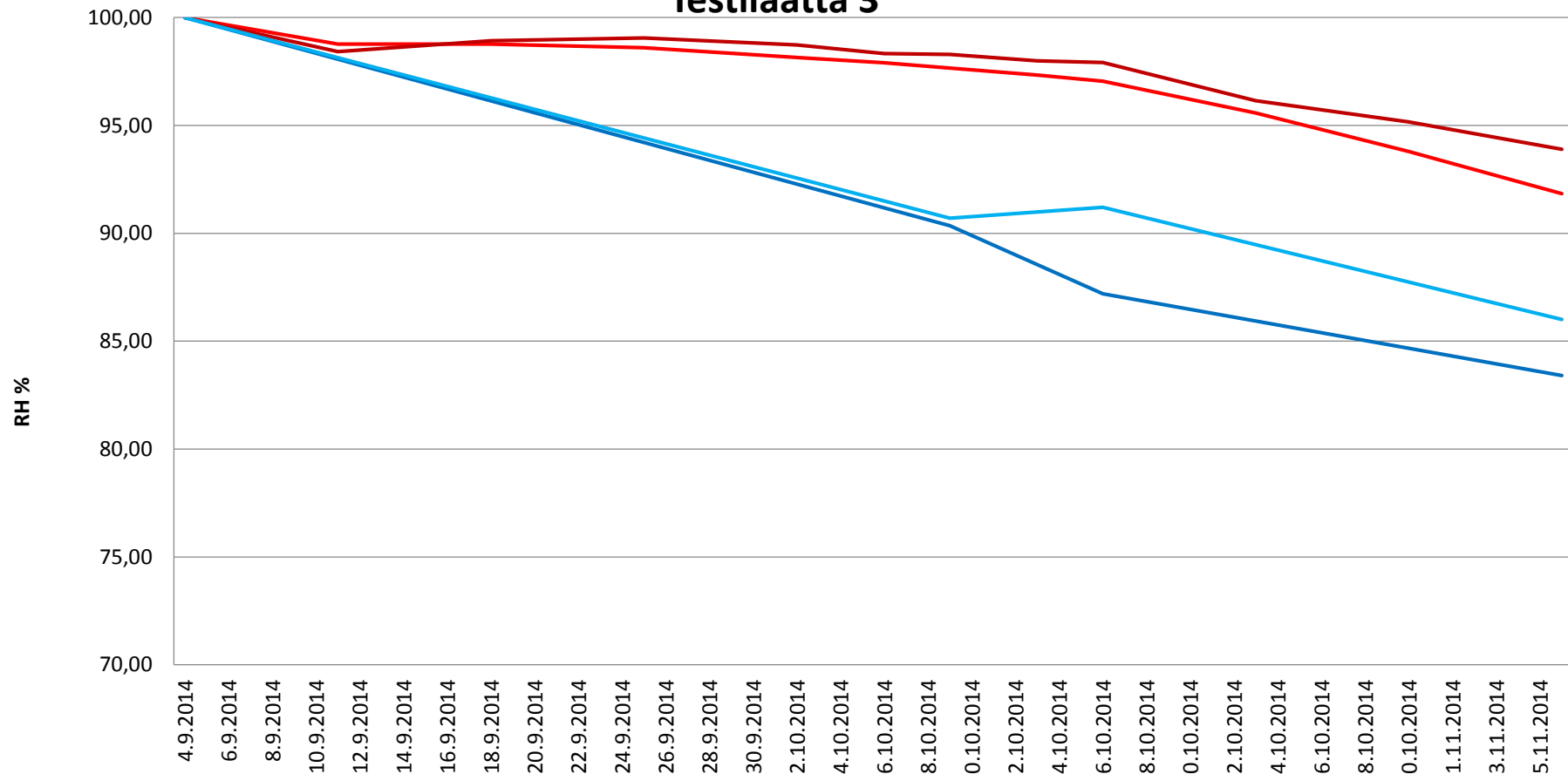
LAATTA2													Yleistittoa	
MITTAUSSYVYYS 70mm													betoni: K30, S2, max. rae16mm	
													laatta: Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)	
													koko: 900x350x100	
													valu pvm: 4.9.2014	
Mittapiste	Anturi nro	Mittaus syvyys [mm]	4.9.2014	11.9.2014	18.9.2014	25.9.2014	2.10.2014	6.10.2014	9.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE SH1 70mm			100	97,69	98,38	98,8	98,66	98,37	98,28	98,03	98,08	97,96	97,38	97,29
	2799	70		21	21,61	21,99	22,72	21,7	21,62	21,73	22,27	23,33	21,8	22,93
	2798	70		98,01	98,71	99,19	99,1	98,85	98,8	98,59	98,5	98,58	98,05	97,99
				20,92	21,62	21,06	22,67	21,68	21,62	21,7	22,35	23,3	21,84	22,92
	2771	70		97,82	98,46	98,77	98,56	98,3	98,21	97,96	98,45	97,89	97,34	97,28
				21,09	21,63	22	22,71	21,76	21,57	21,71	22,28	23,2	21,8	22,84
	2810	70		98,01	98,84	99,23	99,05	98,74	98,65	98,37	98,13	98,21	97,65	97,5
			20,86	21,56	22,01	22,57	21,62	21,52	21,62	22,42	23,17	21,77	22,81	
	2807	70		98	98,74	99,21	99,01	98,71	98,6	98,35	98,45	98,24	97,67	97,62
				20,98	21,62	22,01	22,7	21,77	21,62	21,74	22,29	23,24	21,8	22,85
	2816	70		98,19	98,79	99,22	99,04	98,77	98,68	98,43	98,69	98,31	97,77	97,68
				20,98	21,64	22,06	22,71	21,77	21,64	21,73	22,39	23,3	21,84	22,86
KESKIARVO			100,00	97,95	98,65	99,07	98,90	98,62	98,54	98,29	98,38	98,20	97,64	97,56
KESKIHAJONTA				0,17	0,19	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,23	0,25	0,26	0,27
				0,08	0,03	0,39	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03	0,05
MAKSIMI				98,19	98,84	99,23	99,10	98,85	98,80	98,59	98,69	98,58	98,05	97,99
				21,09	21,64	22,06	22,72	21,77	21,64	21,74	22,42	23,33	21,84	22,93
MINIMI				97,69	98,38	98,77	98,56	98,30	98,21	97,96	98,08	97,89	97,34	97,28
				20,86	21,56	21,06	22,57	21,62	21,52	21,62	22,27	23,17	21,77	22,81
PORAREIKÄ 70mm	70	100							91,7		90,8			87
									21,5		22			22,5
	70								91,7		91,5			87,3
									21,4		22,3			22,6
KESKIARVO			100,00						91,70		91,15			87,15
									21,45		22,15			22,55
KESKIHAJONTA									0,00		0,49			0,21
									0,07		0,21			0,07
								RH [%]		T [°C]				
Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana								0,23		0,08				
porareiän keskihajonta mittausaikana								0,24		0,12				



LAATTA3											Yleistittoa			
MITTAUSSYVYYS 48mm											betoni: K30, S2, max. rae16mm			
											laatta: Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)			
											koko: 600x350x100			
											valu pvm: 4.9.2014			
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	4.9.2014	11.9.2014	18.9.2014	25.9.2014	2.10.2014	6.10.2014	9.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE SH1 48mm	2834	48	100	98,79	98,75	98,59	98,12	97,76	97,62	97,32	96,58	95,73	93,4	91,37
				20,37	21,13	21,28	21,6	20,86	20,87	20,87	22,1	21,71	20,97	21,37
	2842	48		98,46	98,41	98,25	97,83		97,36	97,05	97,18	94,62	92,46	90,69
				20,38	21,16	21,33	21,66		20,93	20,92	21,16	21,85	21	21,48
	2835	48		99,32	99,39	99,23	98,77	98,41	98,21	97,9	96,61	97,44	97,02	95
			20,33	21,18	21,38	21,78	20,99	21,8	21,08	21,28	21,99	21,06	21,67	
	2838	48		98,52	98,52	98,33	97,89	97,52	97,41	97,07	97,82	94,5	92,3	90,27
				20,38	21,11	21,23	21,55	20,86	20,83	20,82	21,37	21,59	20,9	21,28
KESKIARVO			100,00	98,77	98,77	98,60	98,15	97,90	97,65	97,34	97,05	95,57	93,80	91,83
				20,37	21,15	21,31	21,65	20,90	21,11	20,92	21,48	21,79	20,98	21,45
KESKIHAJONTA				0,39	0,44	0,44	0,43	0,46	0,39	0,40	0,58	1,36	2,20	2,16
				0,02	0,03	0,06	0,10	0,08	0,46	0,11	0,42	0,17	0,07	0,17
MAKSIMI				99,32	99,39	99,23	98,77	98,41	98,21	97,90	97,82	97,44	97,02	95,00
				20,38	21,18	21,38	21,78	20,99	21,80	21,08	22,10	21,99	21,06	21,67
MINIMI				98,46	98,41	98,25	97,83	97,52	97,36	97,05	96,58	94,50	92,30	90,27
				20,33	21,11	21,23	21,55	20,86	20,83	20,82	21,16	21,59	20,90	21,28
PORAREIKÄ 48mm	48	100							89,9		87,2			82,2
									20,9		21,3			21,4
	48	100							90,8					84,6
									20,8					21,3
KESKIARVO			100,00						90,35		87,20			83,40
									20,85		21,30			21,35
KESKIHAJONTA									0,64					1,70
									0,07					0,07
									RH [%]	T [°C]				
Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana									0,84	0,15				
porareiän keskihajonta mittausaikana									1,17	0,07				

LAATTA3													Yleistitoa	
MITTAUSSYVYYS 70mm													betoni: K30, S2, max. rae16mm	
													laatta: Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)	
													koko: 600x350x100	
													valu pvm: 4.9.2014	
Mittapiste	Anturi nro	Mittaus syvyys [mm]	4.9.2014	11.9.2014	18.9.2014	25.9.2014	2.10.2014	6.10.2014	9.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE SH1 70mm	2839	70	100	98,26	98,66	98,68	98,32	97,92	97,87	97,6	97,54	97,11	95,79	93,83
			20,72	21,28	21,44	21,87	21,22	21,1	21,09	21,43	21,97	21,15	21,74	
	2836	70	98,11	98,82	99,05	98,81	98,52	98,45	98,19	97,36	97,75	97,38	97,03	97,03
			20,8	21,19	21,31	21,62	20,92	20,88	20,89	21,55	21,69	20,96	21,39	
	2840	70	97,93	98,29	98,36	98,04	97,77	97,66	97,39	98,08	97,03	95,34	93,57	93,57
			20,35	21,18	21,46	21,91	21,07	21,08	21,12	21,15	22,14	21,17	21,94	
	2833	70	98,75	99,31	99,54	99,23	98,91	98,8	98,48	98,39	98,04	97,62	97,25	97,25
20,54			21,19	21,31	21,66	20,94	20,94	20,91	21,19	21,74	20,98	21,44		
2841	70	98,66	99,13	99,27	98,9	98,51	98,41	98,08	97,98	97,6	97,14	95,61	95,61	
		20,51	21,19	21,33	21,68	21,01	20,96	20,92	21,26	21,8	21,01	21,51		
2837	70	98,8	99,35	99,43	99,06	98,51	98,23	98,16	89,32	87,7	86,03	86,03	86,03	
		20,59	21,23	21,41	21,78	21,19	21,03	21,35	22,21	21,26	21,85			
KESKIARVO			100,00	98,42	98,93	99,06	98,73	98,33	98,28	98,00	97,92	96,14	95,16	93,89
KESKIHAJONTA				0,37	0,41	0,46	0,46	0,47	0,43	0,41	0,39	3,36	3,77	4,15
MAKSIMI				98,80	99,35	99,54	99,23	98,91	98,80	98,48	98,39	98,04	97,62	97,25
MINIMI				20,80	21,28	21,46	21,91	21,22	21,19	21,12	21,55	22,21	21,26	21,94
PORAREIKÄ 70mm	70	100							89,1		91,2			84,7
									20,9		21,2			21,7
KESKIARVO	70	100,00							92,3					87,3
									20,8					21,4
KESKIARVO			100,00						90,70		91,20			86,00
KESKIHAJONTA									20,85		21,20			21,55
KESKIHAJONTA									2,26					1,84
									0,07					0,21
									RH [%]		T [°C]			
Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana									1,33		0,13			
porareiän keskihajonta mittausaikana									2,05		0,14			

Testilaatta 3

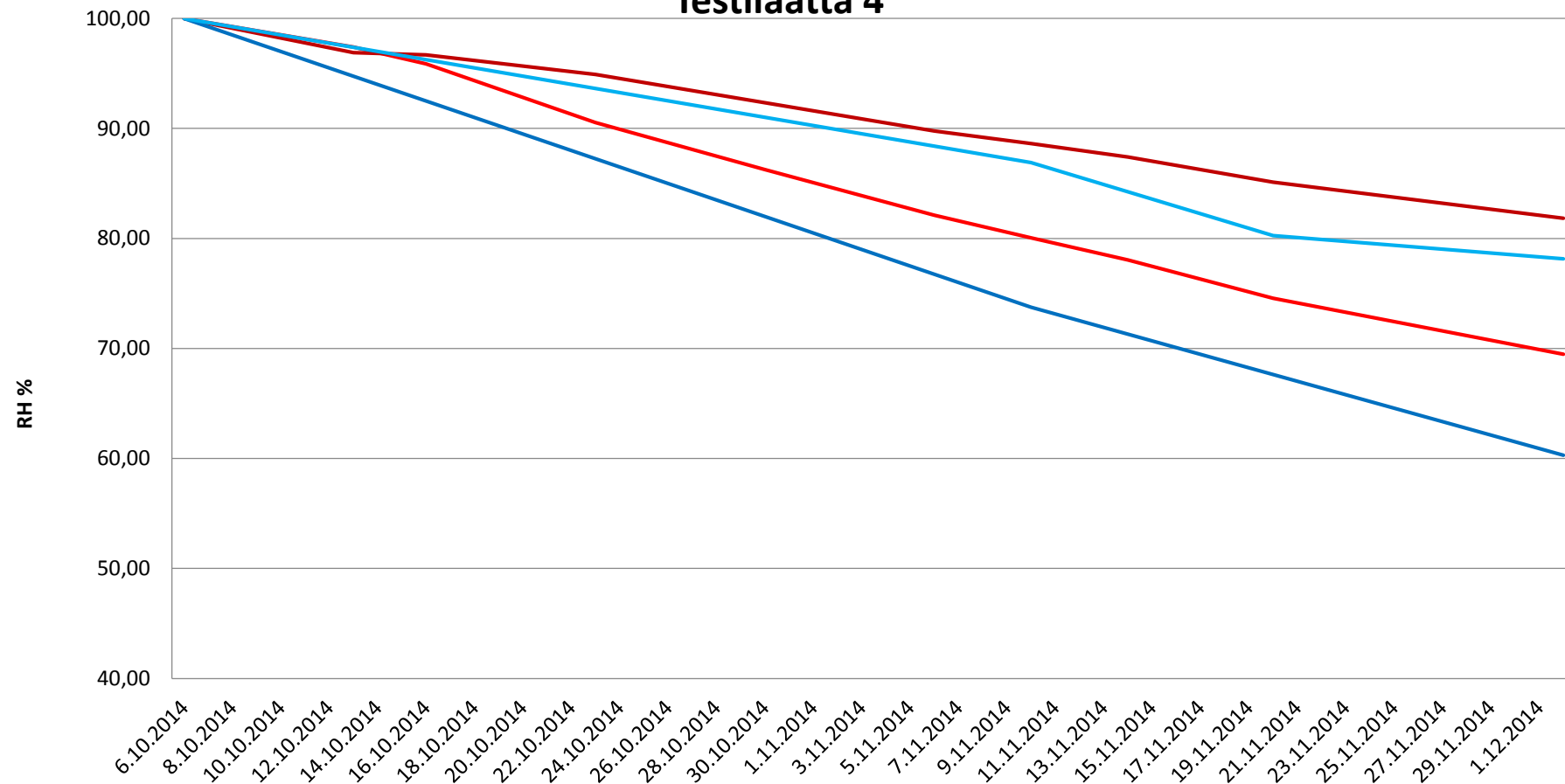


	4.9.2014	11.9.2014	18.9.2014	25.9.2014	2.10.2014	6.10.2014	9.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014
WIISTE 48mm	100,00	98,77	98,77	98,60	98,15	97,90	97,65	97,34	97,05	95,57	93,80	91,83
WIISTE 70mm	100,00	98,42	98,93	99,06	98,73	98,33	98,28	98,00	97,92	96,14	95,16	93,89
PR 48mm	100,00						90,35		87,20			83,40
PR 70mm	100,00						90,70		91,20			86,00

LAATTA4												Yleistittoa		
MITTAUSSYVYYS 16mm												betoni: fescon S100		
												laatta: Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)		
												koko: 900x350x60		
												valu pvm: 6.10.2014		
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	6.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	2.12.2014		
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]		
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]		
WIISTE SH1 16mm	3119	16	100	97,27	95,72	90,53	86,33	82,21	80,18	78,19	74,75	69,77		
			20,25	20,58	20,99	20,6	21,09	20,79	20,86	21,24	21,53			
	3120	16		96,52	94,08	88,33	84,09	79,96	77,86	75,87	72,31	67,27		
			20,38	20,62	20,94	20,61	21,02	20,88	20,81	21,27	21,58			
	3121	16		97,58	96,33	90,5	85,96	81,63	79,38	77,25	73,54	68,15		
			20,4	20,73	21,08	20,7	21,12	20,91	20,94	21,46	21,65			
	3122	16		97,07	94,5	89,26	84,96	80,9	78,8	76,82	73,33	68,21		
			20,24	20,54	20,87	20,57	21	20,78	20,78	21,17	21,52			
3123	16		98,02	97,24	93,15	89,23	85,41	83,54	81,63	78,48	73,68			
		19,99	20,47	20,83	20,55	21,01	20,72	20,75	21,06	21,43				
3124	16		97,43	96,05	90,31	85,88	81,68	79,6	77,64	74,1	69,05			
		20,33	20,59	20,98	20,62	21,07	20,86	20,86	21,27	21,53				
3125	16		97,88	97,13	91,71	87,32	83,06	81,02	78,94	75,42	70,25			
		20,22	20,47	20,89	20,53	20,96	20,75	20,77	21,12	21,44				
KESKIARVO			100,00	97,40	95,86	90,54	86,25	82,12	80,05	78,05	74,56	69,48		
				20,26	20,57	20,94	20,60	21,04	20,81	20,82	21,23	21,53		
KESKIHAJONTA				0,51	1,21	1,57	1,66	1,75	1,83	1,86	2,00	2,11		
				0,14	0,09	0,08	0,06	0,06	0,07	0,07	0,13	0,08		
MAKSIMI				98,02	97,24	93,15	89,23	85,41	83,54	81,63	78,48	73,68		
				20,40	20,73	21,08	20,70	21,12	20,91	20,94	21,46	21,65		
MINIMI				96,52	94,08	88,33	84,09	79,96	77,86	75,87	72,31	67,27		
				19,99	20,47	20,83	20,53	20,96	20,72	20,75	21,06	21,43		
PORAREIKÄ 16mm	16	100							73,8			59,1		
									21			21,8		
	16	100							73,7			61,5		
									20,9			21,7		
KESKIARVO			100,00						73,75			60,30		
									20,95			21,75		
KESKIHAJONTA									0,07			1,70		
									0,07			0,07		
								RH [%]		T [°C]				
Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana								1,61		0,09				
porareiän keskihajonta mittausaikana								0,88		0,07				

LAATTA4												Yleistitoa			
MITTAUSSYVYYS 32mm												betoni: fescon S100			
												laatta: Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)			
												koko: 900x350x60			
												valu pvmm: 6.10.2014			
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	6.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	2.12.2014			
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]			
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]			
WIISTE SH1 32mm	3126	32	100	96,2	96,14	94,4	92,21	89,86	88,83	87,67	85,68	82,75			
					20,18	20,51	20,93	20,55	21,05	20,77	20,81	21,19	21,52		
	3127	32		96,78	96,06	94,07	91,74	89,43	88,5	87,3	85,15	81,94			
					20,01	20,46	20,85	20,57	21,01	20,76	20,78	21,15	21,45		
	3128	32		96,27	96,11	94,29	91,9	89,37	88,33	87,12	84,94	81,76			
					20,29	20,62	20,99	20,62	21,08	20,84	20,88	21,32	21,55		
	3129	32		97,81	97,58	96,3	93,4	90,63	89,29	88,07	85,63	82,15			
					20,37	20,55	20,92	20,63	21,02	20,98	20,86	21,28	21,58		
3130	32		97,21	97,17	95,33	92,59	89,81	88,59	87,27	84,81	81,34				
				20,25	20,43	20,85	20,56	20,96	20,78	20,75	21,18	21,49			
3132	32		97,58	97,46	96,47	93,99	91,33	90,2	88,93	86,57	83,25				
				20,15	20,43	20,81	20,52	20,97	20,74	20,71	21,06	21,4			
3133	32		97,11	97,07	95	92,23	89,53	88,29	86,97	84,56	81,13				
				20,39	20,6	21,02	20,7	21,12	20,92	20,91	21,41	21,66			
KESKIARVO			100,00	96,90	96,69	94,90	92,35	89,77	88,64	87,40	85,13	81,85			
KESKIHAJONTA				0,62	0,67	0,96	0,83	0,73	0,68	0,69	0,68	0,75			
				0,13	0,08	0,08	0,06	0,06	0,09	0,07	0,12	0,09			
MAKSIMI				97,81	97,58	96,47	93,99	91,33	90,20	88,93	86,57	83,25			
				20,39	20,62	21,02	20,70	21,12	20,98	20,91	21,41	21,66			
MINIMI				96,20	96,06	94,07	91,74	89,37	88,29	86,97	84,56	81,13			
				20,01	20,43	20,81	20,52	20,96	20,74	20,71	21,06	21,40			
PORAREIKÄ 32mm	32	100							85,4		79,7	78,1			
									21		21	21,4			
	32								88,4		80,8	78,2			
									21		21,1	21,5			
KESKIARVO			100,00						86,90		80,25	78,15			
									21,00		21,05	21,45			
KESKIHAJONTA									2,12		0,78	0,07			
									0,00		0,07	0,07			
								RH [%]		T [°C]					
								Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana		0,73		0,09			
								porareikä keskihajonta mittausaikana		0,99		0,05			

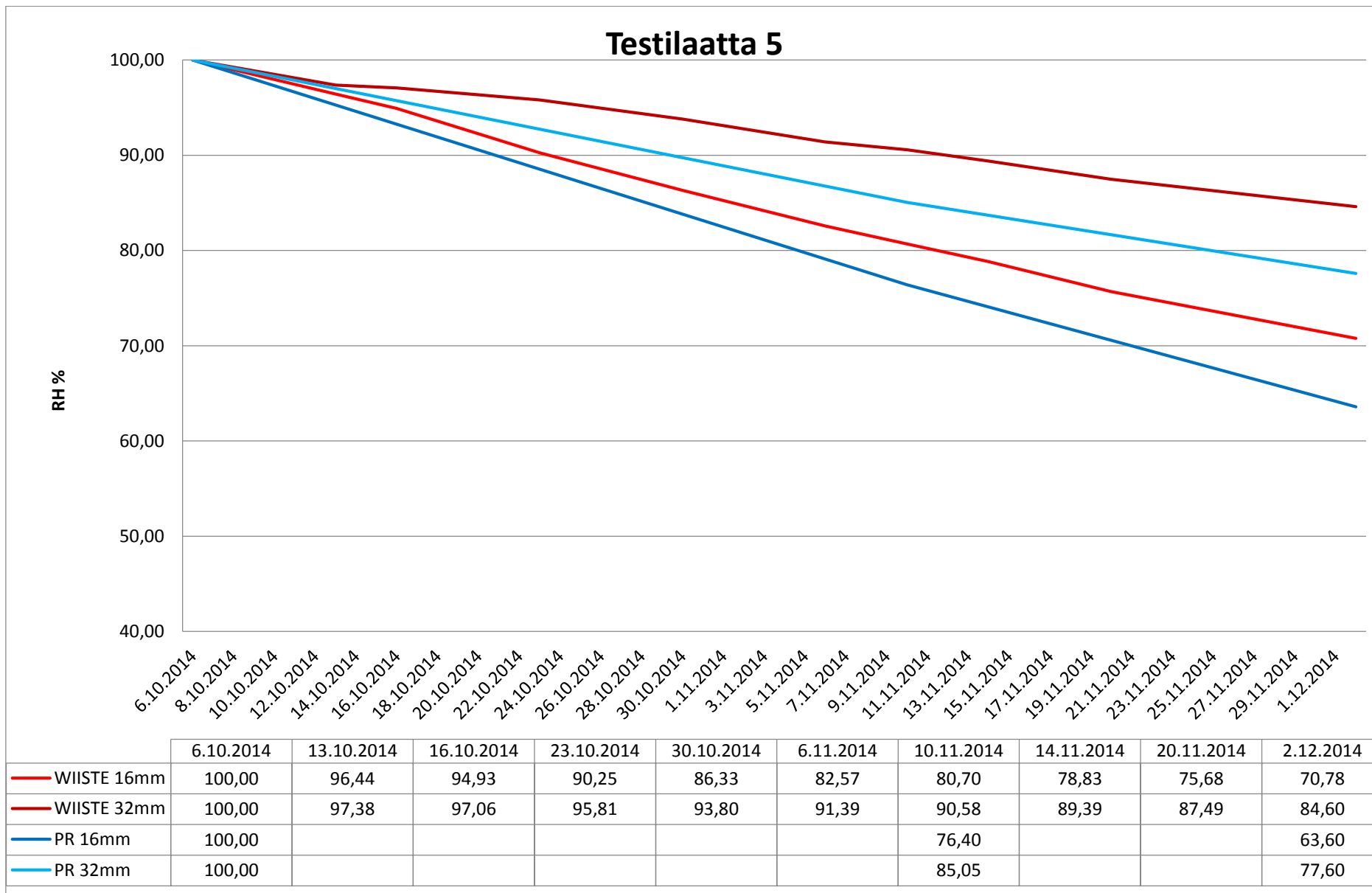
Testilaatta 4



	6.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	2.12.2014
WIISTE 16mm	100,00	97,40	95,86	90,54	86,25	82,12	80,05	78,05	74,56	69,48
WIISTE 32mm	100,00	96,90	96,69	94,90	92,35	89,77	88,64	87,40	85,13	81,85
PR 16mm	100,00						73,75			60,30
PR 32mm	100,00						86,90		80,25	78,15

LAATTA5												Yleistittoa		
MITTAUSSYVYYS 16mm												betoni: fescon S100		
												laatta: Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)		
												koko: 900x350x60		
												valu pvmm: 6.10.2014		
Mittapiste	Anturi	Mittaus syvyys [mm]	6.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	2.12.2014		
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]		
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]		
WIISTE SH1 16mm			100	97,86	97,11	92,66	88,84	85,25	83,47	81,71	78,71	74,27		
	3134	16		19,98	20,51	20,98	20,4	21,01	20,6	20,7	21,02	21,48		
				93,92	91,88	87,04	83,27	79,49	77,67	75,86	72,8	68,04		
	3135	16		20,2	20,32	20,56	20,31	20,8	20,47	20,49	20,76	21,09		
				97,03	95,45	90,86	87,03	83,23	81,41	79,54	76,33	71,39		
	3136	16		20,17	20,2	20,49	20,2	20,78	20,37	20,35	20,62	20,99		
				93,58	91,95	87	83,06	79,14	77,13	75,15	71,79	66,72		
	3137	16		20,13	20,14	20,4	20,06	20,72	20,27	20,17	20,45	20,87		
			98,15	97,29	92,46	88,09	84,09	82,07	80,1	76,75	71,72			
3138	16		19,96	20,26	20,6	20,22	20,83	20,43	20,43	20,75	21,13			
			97,4	95,75	91,17	87,34	83,78	81,94	80,01	76,96	71,65			
3139	16		19,69	20,3	20,66	20,2	20,79	20,56	20,57	20,86	21,67			
			97,14	95,06	90,53	86,66	82,99	81,22	79,42	76,39	71,7			
3140	16		19,74	20,24	20,43	20,17	20,63	20,32	20,31	20,54	20,88			
KESKJARVO			100,00	96,44	94,93	90,25	86,33	82,57	80,70	78,83	75,68	70,78		
KESKIHAJONTA				1,88	2,22	2,34	2,28	2,34	2,37	2,40	2,46	2,55		
				0,20	0,12	0,20	0,11	0,12	0,12	0,18	0,19	0,31		
MAKSIMI				98,15	97,29	92,66	88,84	85,25	83,47	81,71	78,71	74,27		
				20,20	20,51	20,98	20,40	21,01	20,60	20,70	21,02	21,67		
MINIMI				93,58	91,88	87,00	83,06	79,14	77,13	75,15	71,79	66,72		
				19,69	20,14	20,40	20,06	20,63	20,27	20,17	20,45	20,87		
PORAREIKÄ 16mm	16	100							75,8			65,4		
									20,6			21,6		
	16	100							77			61,8		
									20,7			21,3		
KESKJARVO			100,00						76,40			63,60		
									20,65			21,45		
KESKIHAJONTA									0,85			2,55		
									0,07			0,21		
								RH [%]	T [°C]					
Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana								2,31	0,17					
porareiän keskihajonta mittausaikana								1,70	0,14					

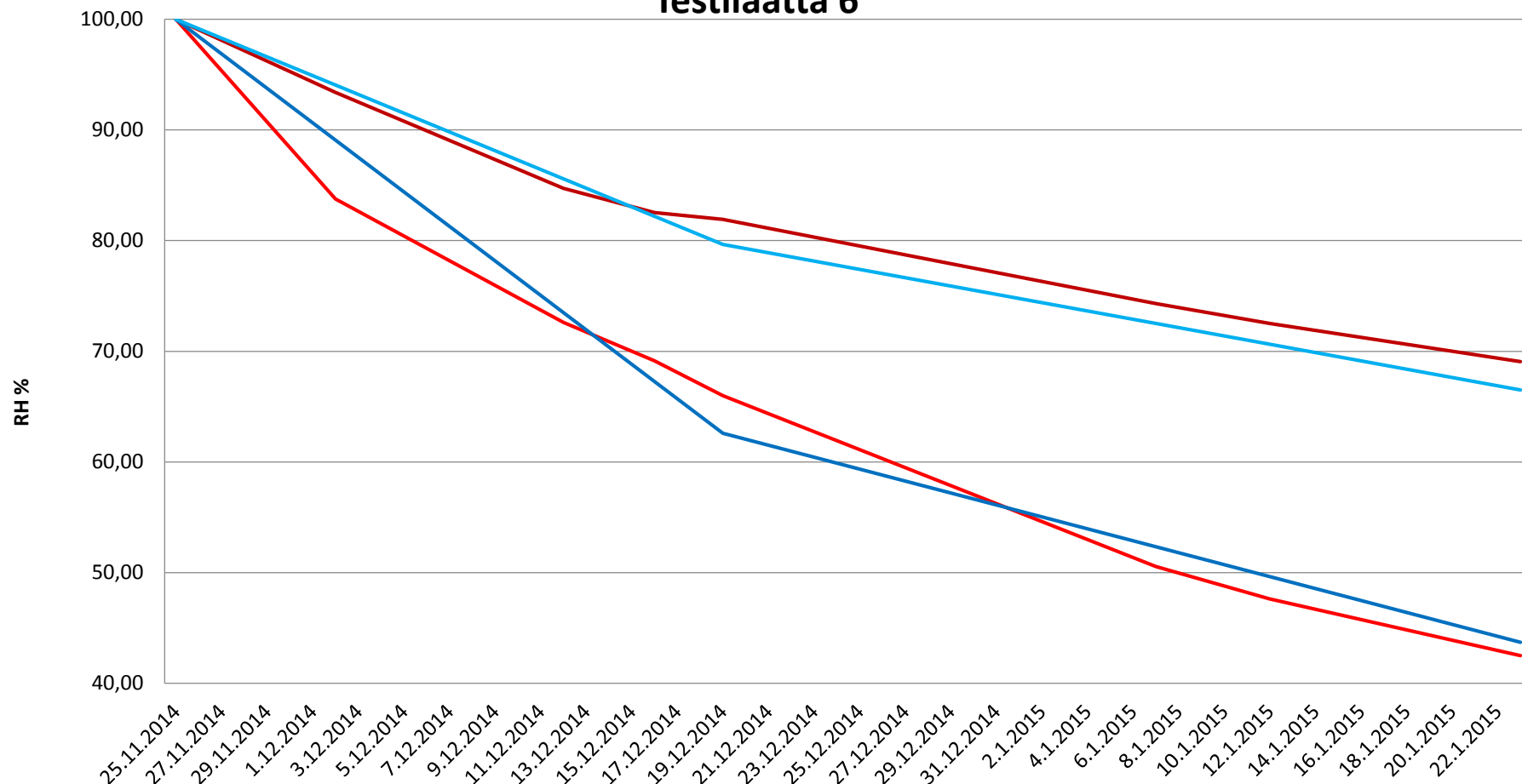
LAATTA5												Yleistitoa		
MITTAUSSYVYYS 32mm												betoni: fescon S100		
												laatta: Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)		
												koko: 900x350x60		
												valu pvm: 6.10.2014		
Mittapiste	Anturi	Mittaus syvyys [mm]	6.10.2014	13.10.2014	16.10.2014	23.10.2014	30.10.2014	6.11.2014	10.11.2014	14.11.2014	20.11.2014	2.12.2014		
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]		
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]		
WIISTE SH1 32mm	3141	32	100	97,57	97,31	96,13	93,96	91,49	90,74	89,48	87,56	84,64		
				19,45	20,36	20,65	20,19	20,91	20,39	20,36	20,67	21,2		
	3142	32		96,78	96,3	94,48	92,09	89,53	88,64	87,43	85,52	82,5		
				20,08	20,29	20,61	20,3	20,89	20,48	20,52	20,8	21,12		
	3143	32		98,03	97,8	97,33	96,11	93,79	93,03	91,86	89,93	87,03		
				19,58	20,22	20,49	20,12	20,86	20,27	20,22	20,49	20,99		
	3144	32		97,57	97,38	96,61	94,73	92,51	91,71	90,63	88,75	85,98		
				19,71	20,44	20,8	20,32	20,98	20,51	20,57	20,87	21,38		
	3145	32		97,57	97,36	96,56	94,41	91,91	91,09	89,88	87,95	84,97		
			19,86	20,25	20,47	20,19	20,67	20,34	20,36	20,6	20,94			
3146	32		97,27	97,17	95,8	93,81	91,54	90,71	89,5	87,65	84,78			
			19,95	20,16	20,43	20,12	20,66	20,28	20,23	20,47	20,84			
3147	32		97,16	96,59	94,72	92,5	90,03	89,18	87,98	86	83,11			
			19,84	20,21	20,51	20,14	20,8	20,32	20,32	20,57	20,99			
3148	32		97,05	96,6	94,85	92,78	90,28	89,53	88,37	86,52	83,77			
			19,88	20,36	20,72	20,32	21,03	20,55	20,59	20,9	21,31			
KESKIARVO			100,00	97,38	97,06	95,81	93,80	91,39	90,58	89,39	87,49	84,60		
KESKIHAJONTA				0,39	0,51	1,03	1,32	1,41	1,43	1,45	1,46	1,48		
				0,20	0,09	0,13	0,09	0,13	0,11	0,15	0,17	0,19		
MAKSIMI				98,03	97,80	97,33	96,11	93,79	93,03	91,86	89,93	87,03		
				20,08	20,44	20,80	20,32	21,03	20,55	20,59	20,90	21,38		
MINIMI				96,78	96,30	94,48	92,09	89,53	88,64	87,43	85,52	82,50		
				19,45	20,16	20,43	20,12	20,66	20,27	20,22	20,47	20,84		
PORAREIKÄ 32mm	32	100							85,5			78		
									20,5			21,3		
	32								84,6			77,2		
									20,4			21		
KESKIARVO			100,00						85,05			77,60		
									20,45			21,15		
KESKIHAJONTA									0,64			0,57		
									0,07			0,21		
								RH [%]		T [°C]				
								Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana		1,17		0,14		
								porareiän keskihajonta mittausaikana		0,60		0,14		



LAATTA6							Yleistittoa			
MITTAUSSYVYYS 16mm							betoni:	K30, S2, max. rae16mm		
							laatta:	Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)		
							koko:	900x350x60		
							valu pvm	25.11.2014		
Mittapiste	Anturi nro	Mittaus syvyys [mm]	25.11.2014	2.12.2014	12.12.2014	16.12.2014	19.12.2014	7.1.2015	12.1.2015	23.1.2015
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE SH1 16mm			100	78,36	72,44	70,2	67,88	52,19	49,24	44,07
	3228	16		22,06	21,52	21,79	21,9	21,91	22,22	22,29
				86,18	72,42	68,64	65,3	49,86	46,93	41,79
	3235	16		22,07	21,49	21,73	22,08	22,11	22,51	22,54
				86,29	72,09	68,28	65,91	50,66	47,68	42,71
	3244	16		22,04	21,52	21,78	22,08	22,14	22,57	22,55
			81,92	73,85	70,06	65,83	50,39	47,49	42,32	
3246	16		22,2	21,49	21,72	21,94	21,97	22,35	22,4	
			86,15	72,27	68,52	65,07	49,63	46,74	41,61	
3248	16		21,86	21,44	21,66	21,89	21,92	22,3	22,34	
KESKIARVO			100,00	83,78	72,61	69,14	66,00	50,55	47,62	42,50
				22,05	21,49	21,74	21,98	22,01	22,39	22,42
KESKIHAJONTA				3,55	0,71	0,91	1,11	1,01	0,99	0,98
				0,12	0,03	0,05	0,09	0,11	0,15	0,12
MAKSIMI				86,29	73,85	70,20	67,88	52,19	49,24	44,07
				22,20	21,52	21,79	22,08	22,14	22,57	22,55
MINIMI				78,36	72,09	68,28	65,07	49,63	46,74	41,61
				21,86	21,44	21,66	21,89	21,91	22,22	22,29
PORAREIKÄ 16mm	16	100					65,3			43,1
							22			22,2
	16	100					59,9			44,3
						21,7				22,3
KESKIARVO			100,00				62,60			43,70
							21,85			22,25
KESKIHAJONTA							3,82			0,85
							0,21			0,07
							RH [%]	T [°C]		
Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana							1,32	0,10		
porareiän keskihajonta mittausaikana							2,33	0,14		

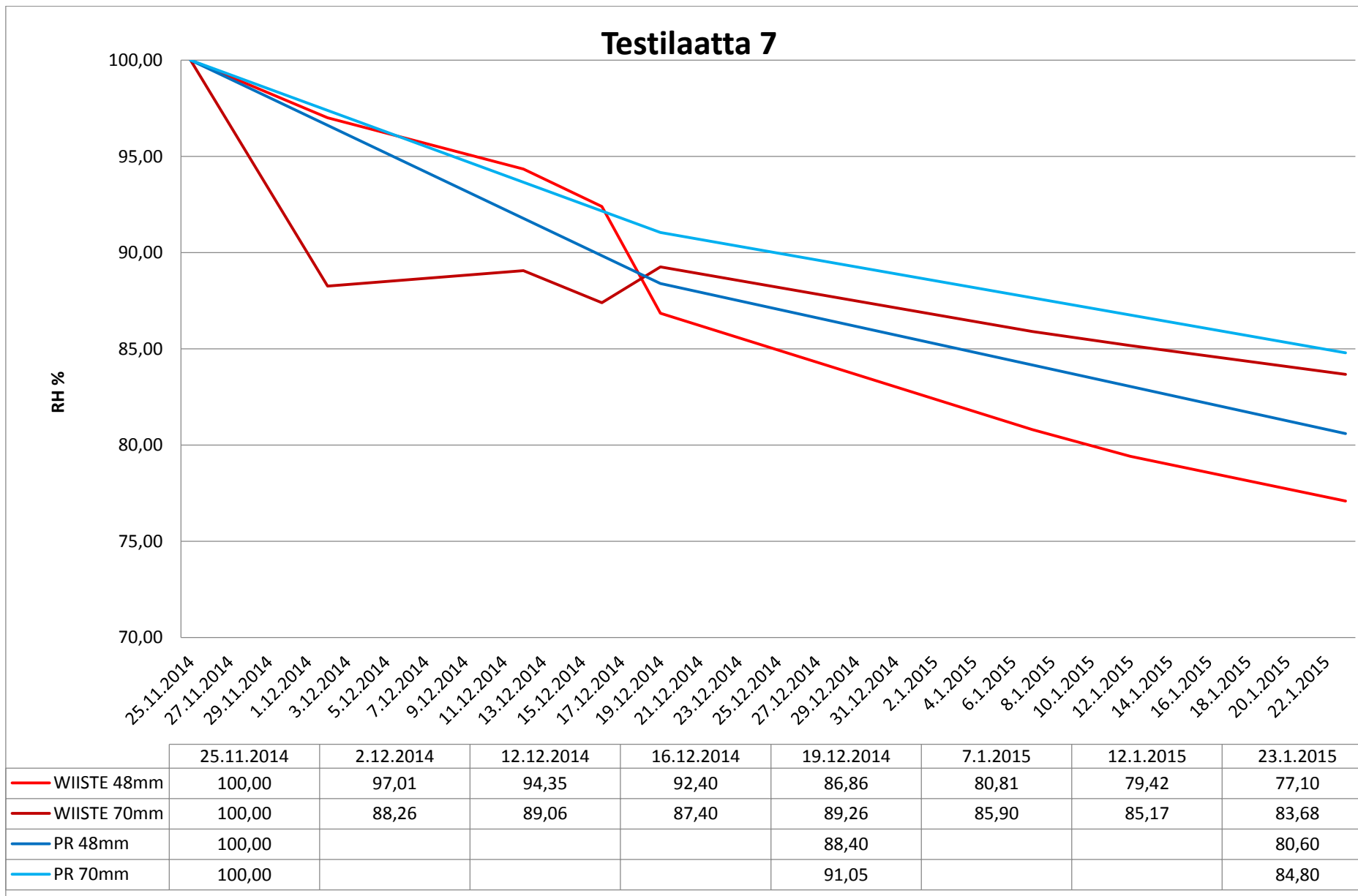
LAATTA6							Yleistittoa			
MITTAUSSYVYYS 32mm							betoni:	K30, S2, max. rae16mm		
							laatta:	Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)		
							koko:	900x350x60		
							valu pvm	25.11.2014		
Mittapist	Anturi nro	Mittaus syvyys [mm]	25.11.2014	2.12.2014	12.12.2014	16.12.2014	19.12.2014	7.1.2015	12.1.2015	23.1.2015
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
WIISTE SH1 32mm			100	94,15	84,94	82,68	81,5	73,79	71,98	68,44
	3225	32		22,07	21,52	21,74	22,06	22,07	22,5	22,52
	3232	32		92,22	84,28	82,26	81,63	74,72	73,02	69,59
				21,86	21,51	21,75	21,98	21,98	22,33	22,33
	3233	32		92,04	84,15	82,01	81,94	74,68	72,93	69,64
				21,99	21,57	21,78	22,04	22,02	22,42	22,26
			96,06	86,03	83,73	83,09	74,85	72,97	69,38	69,38
			21,85	21,47	21,74	22	21,95	22,35	22,43	22,43
			92,5	84,21	82,02	81,43	73,49	71,7	68,28	68,28
			22,13	21,5	21,76	21,99	21,98	22,37	22,42	22,42
KESKIARVO			100,00	93,39	84,72	82,54	81,92	74,31	72,52	69,07
				21,98	21,51	21,75	22,01	22,00	22,39	22,39
KESKIHAJONTA				1,71	0,80	0,72	0,68	0,62	0,63	0,65
				0,12	0,04	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10
MAKSIMI				96,06	86,03	83,73	83,09	74,85	73,02	69,64
				22,13	21,57	21,78	22,06	22,07	22,50	22,52
MINIMI				92,04	84,15	82,01	81,43	73,49	71,70	68,28
				21,85	21,47	21,74	21,98	21,95	22,33	22,26
PR 32mm	32	100					79,9			62,8
							21,9			22,2
	32						79,4			70,2
							21,6			22,1
KESKIARVO			100,00				79,65			66,50
							21,75			22,15
KESKIHAJONTA							0,35			5,23
							0,21			0,07
						RH [%]	T [°C]			
Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana						0,83	0,06			
porareiän keskihajonta mittausaikana						2,79	0,14			

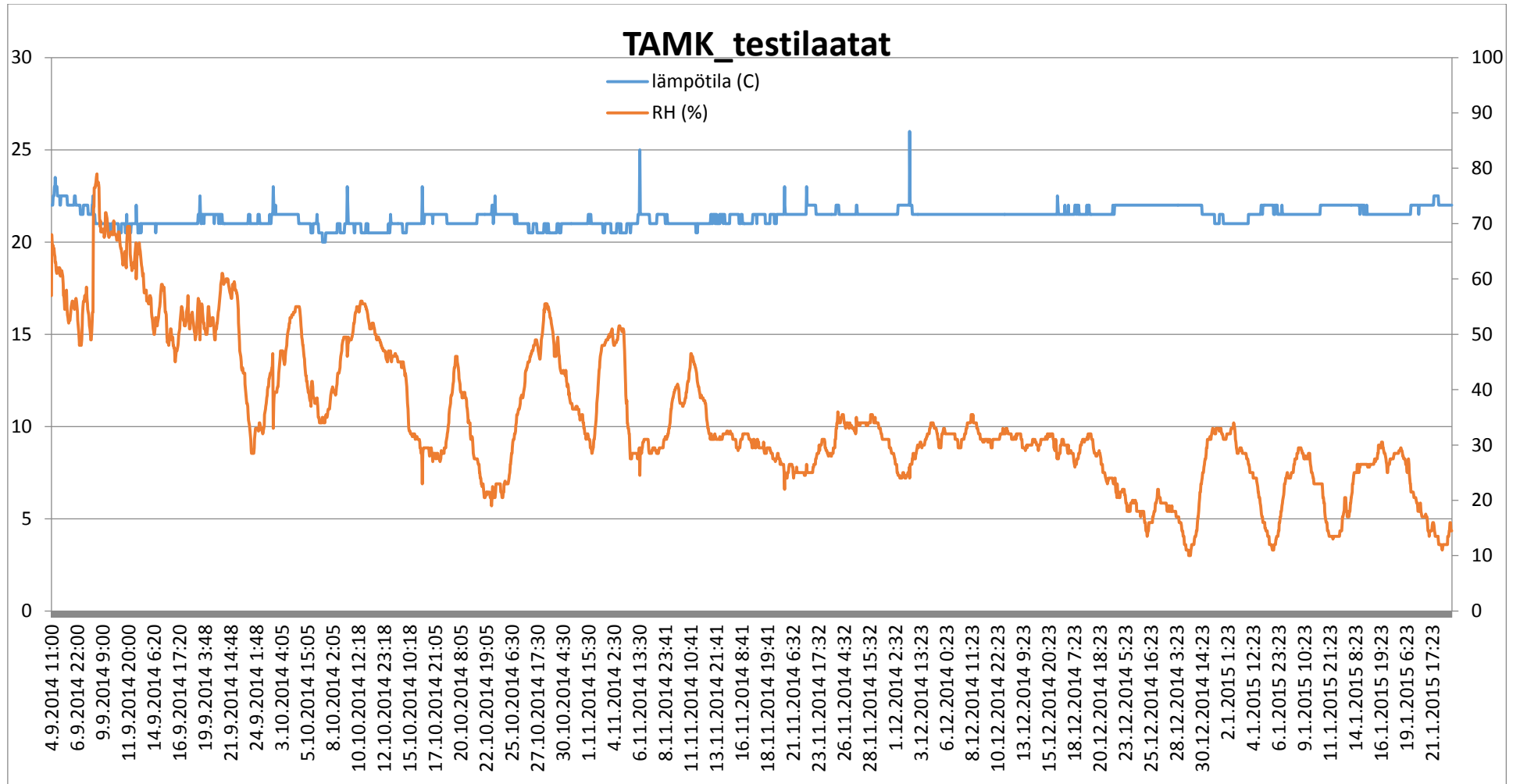
Testilaatta 6



	25.11.2014	2.12.2014	12.12.2014	16.12.2014	19.12.2014	7.1.2015	12.1.2015	23.1.2015
WIISTE 16mm	100,00	83,78	72,61	69,14	66,00	50,55	47,62	42,50
WIISTE 32mm	100,00	93,39	84,72	82,54	81,92	74,31	72,52	69,07
PR 16mm	100,00				62,60			43,70
PR 32mm	100,00				79,65			66,50

		Yleistitoa									
		betoni: K30, S2, max. rae16mm									
		laatta: Yhteen suuntaa kuivuva (ylös)									
		koko: 900x350x100									
		valu pvm 25.11.2014									
		LAATTA7									
		MITTAUSSYVYYS 48mm									
Mittapiste	Anturi #	Mittaus syvyys [mm]	25.11.2014	2.12.2014	12.12.2014	16.12.2014	19.12.2014	7.1.2015	12.1.2015	23.1.2015	
			RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	RH [%]	
			T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	
WIISTE SH1 48mm	3226	48	100	96,22	92,94	89,3	86,19	80,38	79,22	76,97	
				22,18	21,65	22,91	22	21,9	22,26	22,32	
	3229	48		96,36	92,93		86,07	81,21	80,19	78,17	
				22,21	21,57		22,17	21,89	22,24	22,3	
	3238	48		98,02	96,75	95,45	85,22	78,44	77,21	74,79	
				21,96	21,52	22,43	21,99	21,87	22,25	22,34	
	3239	48		97,39	96,44	94,44	86,45	79,52	78,28	75,85	
				22,18	21,59	22,95	22,02	21,9	22,25	22,33	
	3240	48		98,28			96,15	86,77	78,67	77,26	74,54
				22,18			22,41	21,99	21,87	22,21	22,29
3241	48		98,77	97,54	96,61	87,43			77,87	75,41	
			22,18	21,58	22,27	21,93			22,18	22,31	
3245	48		95,61	91,22	87,87	87,32	82,92	81,67	79,25		
			22,29	21,63	22,71	21,99	21,93	22,26	22,35		
3247	48		96,19	93,43	89,41	87,73	83,1	82,14	80,38		
			22,2	21,63	22,69	22,12	21,96	22,32	22,38		
3251	48		96,28	93,55	89,98	88,53	82,2	80,96	78,5		
			22,26	21,64	22,58	21,94	21,9	22,21	22,29		
KESKIARVO			100,00	97,01	94,35	92,40	86,86	80,81	79,42	77,10	
				22,18	21,60	22,62	22,02	21,90	22,24	22,32	
KESKIHAJONTA				1,12	2,25	3,59	1,00	1,85	1,89	2,09	
				0,09	0,04	0,24	0,08	0,03	0,04	0,03	
MAKSIMI				98,77	97,54	96,61	88,53	83,10	82,14	80,38	
				22,29	21,65	22,95	22,17	21,96	22,32	22,38	
MINIMI				95,61	91,22	87,87	85,22	78,44	77,21	74,54	
				21,96	21,52	22,27	21,93	21,87	22,18	22,29	
PORAREIKÄ 48mm	48	100					87,5			80,6	
							21,8			22,1	
	48	100					89,3			80,6	
							21,6			22,1	
KESKIARVO			100,00				88,40			80,60	
							21,70			22,10	
KESKIHAJONTA							1,27			0,00	
							0,14			0,00	
						RH [%]		T [°C]			
Wiisteen SH1-anturin keskihajonta mittausaikana						1,97		0,08			
porareikä keskihajonta mittausaikana						0,64		0,07			





ILMAN OLOSUHTEET			
KOKO MITTAUSAIKA			
ka °C	21,38	ka RH	34,76
max °C	26,00	max RH	79,00
min °C	20,00	min RH	10,00
SYYSKUU			
ka °C	21,26	ka RH	54,85
max °C	23,50	max RH	79,00
min °C	20,50	min RH	28,50
LOKAKUU			
ka °C	21,02	ka RH	39,81
max °C	23,00	max RH	56,00
min °C	20,00	min RH	19,00
MARRASKUU			
ka °C	21,29	ka RH	33,08
max °C	25,00	max RH	51,50
min °C	20,50	min RH	22,00
JOULUKUU			
ka °C	21,67	ka RH	26,63
max °C	26,00	max RH	35,50
min °C	21,00	min RH	10,00
TAMMIKUU			
ka °C	21,66	ka RH	22,60
max °C	22,50	max RH	34,00
min °C	21,00	min RH	11,00