

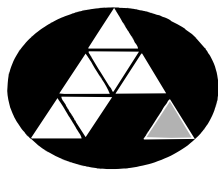
POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Harri Huohvanainen

KAHDEN ERI SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUSLAITTEISTON TUT-  
KIMINEN BETONIN KOSTEUSMITTAUSTEN YHTEYDESSÄ

Opinnäytetyö  
4/2012



POHJOIS-KARJALAN  
AMMATTIKORKEAKOULU

**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2012**  
**Rakennustekniikan koulutusoh-**  
**jelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU

**Tekijä**  
Harri Huohvanainen

**Nimeke**  
Kahden eri suhteellisen kosteus mittauslaitteiston tutkiminen betonin kosteusmittaus-  
ten yhteydessä.  
**Toimeksiantaja**  
Lujabetoni Oy

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä tutkittiin viiden eri betonilaatan kuivumista kahdella eri suhteellisen kosteuden mittauslaitteella. Tehtävänä oli vertailla Simap- ja Vaisala-mittauslaitteiden antamia tuloksia toisiinsa ja siten saada tietoa Lujabetoni Oy:lle heidän uudesta Simap- mittausjärjestelmästä, joka helpottaisi tulevaisuudessa huomattavasti betonin kuivumisen ja kosteuden seuranta.

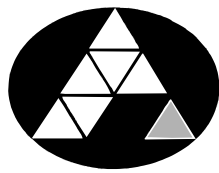
Työ aloitettiin joulukuussa 2011 betonilaattojen valamisella ja betonilaatujen laadunvarmistuksella. Tammikuussa 2012 aloitettiin suhteellisen kosteuden mittaukset molemmilla laitteilla. Mittaustuloksista tehtiin taulukot sekä kuvaajat, joiden perusteella tuloksia analysoitiin.

Tulokset antavat paljon tietoa uuden laitteen käyttäytymisestä Lujabetoni Oy:lle. Vaikka eroja laitteiston välisissä tuloksissa ilmeni, niin tärkeintä on, että molemmat laitteistot reagoivat muuttuviin olosuhteisiin samalla tavalla. Molempien laitteiden mukaan myös kuivumistrendi on samansuuntainen ja kuivuminen tapahtui samassa suhteessa, huolimatta siitä, että toisen laitteen mukaan betoni kuivuisikin hieman nopeammin.

**Kieli**  
suomi

Sivuja49  
Liitteet 6  
Liitesivumäärä 9

**Asiasanat**  
Betoni, Suhteellinen kosteus, kuivuminen



POHJOIS-KARJALAN  
AMMATIKORKEAKOULU

**THESIS**  
**April 2012**  
**Degree Programme in Civil Engineering**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU

Author

Harri Huohvanainen

Title

Research of drying concrete with two different relative humidity measurement instruments

Commissioned by

Lujabetoni Oy

Abstract

The Purpose of this study was to examine the drying of five different concrete slabs with two different relative humidity measuring devices. The task was to compare the results provided by Simap and Vaisala measuring devices with each other and in this way to obtain information for Lujabetoni Ltd about their new Simap measurement system. Simap would facilitate follow-up on the drying of the concrete.

The work was started in December 2011 with the casting of the concrete slabs and quality assurance of concrete properties. The relative humidity measurements with both devices were carried out in January 2012. Measurement results were shown in tables and graphical diagrams. The results were analyzed on the basis of tables and graphical diagrams.

In my opinion the results were good and will provide a great amount of information on the new device to Lujabetoni Ltd. Although there were differences in the results, I think the important thing is that both devices react to changing conditions in the same way. Both of the devices displayed a similar tendency during the drying process. The drying occurred in the same proportions, even though concrete dries slightly faster according to one of the devices.

Language

Finnish

Pages 49

Appendices 6

Pages of Appendices 9

Key words

Concrete, Relative humidity, Drying

## Sisältö

1 Johdanto .....	6
2 Betonin kuivumiseen liittyviä rakennusfysikaalisia käsitteitä .....	7
2.1 Kosteus .....	7
2.2 Suhteellinen kosteus (RH-%) .....	8
2.3 Ulkoilman kosteus .....	8
2.4 Sisäilman kosteus .....	9
2.5 Kosteuden siirtyminen .....	9
3 Betonin kuivuminen.....	10
4 Tutkittavat betonilaadut.....	11
4.1 Normaalisti kovettuva rakennebetoni RN C25/30 #16 S4.....	11
4.2 Nopeammin päällystettävä betoni NP C25/30 #16 S4.....	11
4.3 Erittäin nopeasti kuivuva betoni NK C32/40 #16 S4 .....	12
4.4 HT Lattiabetoni C32/40 #16.....	12
4.5 HTS Betoni C32/40 #16.....	12
5 Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen .....	13
5. 1 Mittausmenetelmät .....	14
5.1.1 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä .....	15
5.1.2 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus näytepalamenetelmällä.....	16
5.2 Mittaustarpeet ja mittaussyvytydet .....	17
5.2.1 Kahteen suuntaan kuivuva betoni .....	19
5.2.2 Kerroksellinen rakenne.....	20
5.3 Päällystysmateriaalien raja-arvoja.....	20
5.4 Mittausten raportointi .....	23
6 Tutkittaville betoneille tehtävät toimenpiteet .....	24
6.1 Tuorebetonitestit.....	24
6.1.1 Painuma ja leviäjä .....	24

6.1.2 Ilmamäärä .....	26
6.1.3 Tiheys.....	27
6.1.4 Lämpötila.....	28
6.2 Betonien puristuslujuus .....	28
6.3 Valumuottien teko.....	31
6.4 Tutkimuslaattojen valaminen .....	31
6.5 Jälkihoito ja hionta.....	32
6.6 Reikien poraaminen ja Vaisala-mittapäiden asennus.....	34
6.7 Simap-mittauslaitteiston asentaminen.....	35
6.8 Olosuhteet.....	36
7 Tulokset .....	36
7.1 Mittaustulokset .....	36
7.2 Tulosten tarkastelu .....	41
8 Pohdinta.....	47
Lähteet.....	49

Liite 1	Vesihöyrynpainetaulukko
Liite 2	Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä
Liite 3	Betonin suhteellisen kosteuden mittaus näytepalamenetelmällä
Liite 4	Kuivumiskäyriä
Liite 5	Simapin tekniset tiedot
Liite 6	Vaisalan tekniset tiedot

## 1 Johdanto

Opinnäytetyöni aihe käsittelee betonin suhteellisen kosteuden mittaamista kahdella erilaisella mittalaitteella ja näiden tuloksien vertailua keskenään, jotta nähdään onko toimeksiantajani Lujabetoni Oy:n uusi kosteusmittausjärjestelmä (Simap) toimiva ja luotettava. Simap-mittauslaitteisto helpottaa huomattavasti betonin kuivumisen seuranta työmaalla, koska asennuksen jälkeen kaikki mitaukset tapahtuvat automaattisesti ja tuloksia voi seurata tietokoneella. Tavoitteena Lujabetoni Oy:llä on ottaa tulevaisuudessa Simap työmaakäyttöön, joten tehtäväni on vertailla tuloksia yleisesti käytössä olevan Vaisala-laitteiston antamien porareikämittauksien tuloksiin ja näin saada tietoa Lujabetoni Oy:n käyttöön heidän uudesta mittausjärjestelmästä.

Opinnäytetyössäni valmistimme viidestä eri betonilaadusta betonilaattoja, jotka mallintavat kahteen suuntaan kuivuvia välipohjalaattoja ja yhtä kerroksellista rakennetta. Näistä mitataan tietyn väliajoin suhteellista kosteutta. Normaalin käytännön mukaan suoritimme laadunvarmistustestauksen kaikille betoniladuille Lujabetoni Oy:n Joensuun tehtaassa laboratorioissa, jotta saatiin selville, ovatko betonit laadultaan sellaisia, mitä halusimme. Testattavat ominaisuudet vaikuttavat betonin kuivumiseen.

Kiinnostuin aiheesta, kun otin yhteyttä Lujabetoni Oy:n kehityspäällikkö Tuomo Kovaseen ja kuulin, että heillä olisi tarvetta tällaisille RH-mittauksille ja mittausmenetelmien tutkimiselle. Rakennusfysikaalisten mittausten kurssilla olin jo ennestään tutustunut porareikämittausmenetelmään, joten minulla oli hyvät lähtötiedot lähteä tekemään opinnäytetyötäni.

Ajattelin, että opinnäytetyön aiheeni on myös hyödyllinen minulle tulevassa työelämässä. Betonin kosteusmittauksia tehdään nykyisin paljon ja ne ovat yhä tärkeämpiä, jotta välttyttäisiin päällystevaurioilta ja kosteusvaurioilta, jotka huonontavat sisäilmaa.

## 2 Betonin kuivumiseen liittyviä rakennusfysikaalisia käsitteitä

Rakennusfysiikka on oleellinen osaamisen alue rakenteiden kosteusmittaajalle. Erityisesti on osattava tulkita erilaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat rakenteen kuivumiseen ja kastumiseen, koska betoni voi myös ottaa vastaan lisäkosteutta. Tässä luvussa käydään läpi asioita, jotka kosteusmittaajan on hallittava.

### 2.1 Kosteus

Kosteus on kahden kaasun seos, jossa on kuivaa ilmaa ja vesihöyryä. Kuiva ilma sisältää typpeä 78 %, happea 21 % ja argonia yhden prosentin. Kuiva ilma on kosteaa ilmaa painavampaa. Kuivan ilman moolipaino on  $M = 28,96 \text{ kg/kmol}$  ja vesihöyryn  $M = 18,02 \text{ kg/kmol}$ . [1.]

Vesihöyryn määrä ilmassa voidaan ilmaista kahdella eri tavalla, vesihöyryn osapaineena (Pa) tai vesihöyryn pitoisuutena ( $\text{g/m}^3$ ). Molemmat ilmoittavat tietyn lämpöisen ilman sisältämän vesihöyryn maksimimäärän, joko paineena tai painona. [1.]

Vesihöyryn määrä ilmassa voi vaihdella todella paljon. Lämpimään ilmaan mahtuu vesihöyryä huomattavasti enemmän kuin kylmään (ks. liite 1). Kun ilmaan ei mahdu enää vesihöyryä, niin vesihöyry tiivistyy vedeksi. Ilmiö on havaittavissa esimerkiksi saunoessa, jolloin vesihöyryä syntyy paljon ja se tiivistyy vedeksi kylmille pinnoille.

#### Esimerkki 1

+21 °C:n lämpöiseen ilmaan mahtuu maksimissaan  $18,31 \text{ g/m}^3$  ja vastaavasti taas -20 °C:n lämpöiseen ilmaan mahtuu maksimissaan  $0,88 \text{ g/m}^3$  vesihöyryä.

## 2.2 Suhteellinen kosteus (RH-%)

Suhteellinen kosteus (RH) ilmoitetaan %-lukuna. RH- % ilmoittaa, kuinka paljon tietyn ilman sisältämä kosteuspitoisuus on sen kyllästyskosteudesta. Kyllästyskosteus ilmaisee, kuinka paljon vesihöyryä ilmassa maksimissaan voi olla tietyssä lämpötilassa ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).[1.]

Esim.

Lämpötilan  $+19\text{ }^\circ\text{C}$  vesihöyrypitoisuus  $v_k$  on maksimissaan  $16,30\text{ g}/\text{m}^3$  ja jos ilmassa on vesihöyryä  $7\text{ g}/\text{m}^3$ , niin RH- % lasketaan kaavan 1 esittämällä tavalla.

$$\text{RH}\% = v_o/v_k * 100\% \quad (1)$$

$$\text{RH}\% = 7\text{ g}/\text{m}^3 / 16,30\text{ g}/\text{m}^3 * 100 = 42\%$$

Vastaavasti jos ilman lämpötila on  $+5\text{ }^\circ\text{C}$  ja RH % 80, niin vesihöyrypitoisuus lasketaan seuraavasti.

$$v_k = 6,84\text{ g}/\text{m}^3 * \frac{80\%}{100\%} = 5,472\text{ g}/\text{m}^3$$

## 2.3 Ulkoilman kosteus

Ulkoilman kosteutta mitataan suhteellisena kosteutena RH- % tai vesihöyrypitoisuutena ( $v_k$ ). Talvella ilma voi tuntua kuivalta, vaikka RH- % olisi erittäin korkea 80–90 %. Tämä johtuu siitä, että pakkasilmalla ilmaan ei mahdu vesihöyryä kuin  $1\text{--}3\text{ g}/\text{m}^3$ . Kesällä ilma tuntuu huomattavasti kosteammalle vaikka RH- % olisi 55–80 %. Lämpimään ilmaan mahtuu vesihöyryä huomattavasti enemmän.[1.]

Ulkoilman kosteus vaikuttaa sisäilman kosteuteen erittäin paljon, sillä sisäilman kosteus muodostuu ulkoilman kosteudesta ja kosteuslisästä. Hygroskooppeiden materiaalien kosteuteen vaikuttaa ympäröivän ilman suhteellinen kosteus. Esi-



merkiksi kylmien tilojen ovet turpoavat talvella ja niitä voi olla vaikea avata, koska ne imevät itseensä kosteutta. [1.]

## 2.4 Sisäilman kosteus

Sisäilman kosteus muodostuu ulkoilman kosteudesta ja kosteuslisästä. Sisäilman kosteuteen vaikuttavat myös kosteuden tuotto, ilmanvaihto ja huoneen tilavuus. Kosteuslisä muodostuu ihmisten tekemistä toiminnoista. Näitä ovat esim. tiskaus, pyykinpesu, saunominen sekä ihmisten ja lemmikkien tuottamasta kosteudesta.[1.]

Sisäilman kosteus  $v_s$  voidaan laskea, kun tiedetään ulkoilman vesihöyrypitoisuus  $v_u$ , kosteuslisä  $G$  sekä ilmanvaihtoluku  $n$  ja huoneen tilavuus  $V$ . Kosteuslisä normaalissa asuinrakennuksessa on  $1-3 \text{ g/m}^3$ . Sisäilman kosteus lasketaan seuraavaa kaavaa käyttäen.

$$V_s = V_u + \frac{G}{(n \cdot V)} [1.]$$

## 2.5 Kosteuden siirtyminen

Kosteutta voi siirtyä rakenteessa monella eri tavalla. Näistä ehkä tunnetuimpia ovat diffuusio, konvektio ja kapillaarinen virtaus. Muita kosteuden siirtymistapoja ovat painovoimainen veden liike ja tuulenpaineen vaikutus.[1.]

Diffuusiossa kosteus siirtyy vesihöyryn osapaine-erojen vaikutuksesta alemman pitoisuuden suuntaan. Kukin materiaalikerros vastustaa vesihöyryn siirtymistä lävitseen eli materiaaleilla on niille ominainen vesihöyryn vastus.[1.]

Konvektiossa kosteus siirtyy ilmavirran mukana. Virtaus voi olla pakotettu tai luonnollinen. Pakotetun virtauksen saavat aikaan ilmanvaihto, ihmisen liikkeet ja tuuli. Luonnollista konvektiota esiintyy harvoin.[1.]

Kapillaarinen virtaus esiintyy maaperässä ja rakennusmateriaaleissa. Kapillaarisuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä imeä vettä itseensä ja kuljettaa sitä ollessaan kosketuksissa veden kanssa. Hienorakeiset materiaalit nostavat vettä korkealle, mutta siirtyvät vesimäärät eivät välttämättä ole suuria.[1.]

### 3 Betonin kuivuminen

Betonin kuivuminen on hidasta verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin ja se on samalla riippuvainen monesta eri tekijästä, kuten esimerkiksi betonin ominaisuuksista, kuivumisolosuhteista sekä rakenneratkaisusta. Yleensä betonin kuivuminen on tahdistava työvaihe työmaalla, mikä vaikuttaa myös koko työmaan aikatauluun. Tärkeimpiä betonin kuivumisominaisuuksista on vesi-sementtisuhte (v/s) ja ilmamäärä. [2, s. 432.]

Vasta valetun betonin suhteellinen kosteus (RH) on 100 %. Betonin valmistamiseen käytettävästä seosvedestä osa muodostaa sementin kanssa sementtiliiman, joka sitoo kiviainekset toisiinsa betonin kovettuessa. Tässä reaktiossa (hydrataatio) betoniin sitoutuu kemiallisesti vettä, joka ei normaaliolosuhteissa pysty poistumaan betonista. Reaktio tapahtuu pitkien aikojen kuluessa ja on alussa nopeampaa hidastuen ajan kuluessa. [2, s.432.]

Betoniin jää paljon vapaata, haihtumiskykyistä vettä, koska vain osa seosvedestä kuluu betonin hydrataatioon. Haihtumiskykyinen vesi sitoutuu betonin huokosrakenteeseen fysikaalisesti, mikä johtaa siihen, että betonin pyrkinessä tasapainokosteuteen ympäristön kanssa osa vedestä poistuu ympäristöön. Veden poistumista tapahtuu niin kauan, kunnes betoni on saavuttanut hygroskooppisen tasapainon ympäristön kanssa. Tästä johtuen betoni voi myös huokoisena materiaalina vastaanottaa kosteutta ympäristöstä saavuttaakseen tasapainokosteuden ympäristön kanssa. Betoni kuivuminen tapahtuu pääasiassa haihtamalla, kapillaarisesti ja diffuusion avulla. [2, s. 432.]

## 4 Tutkittavat betonilaadut

Tutkittavat betonilaadut ovat kaikki Lujabetoni Oy:n myynnissä olevia tuotteita. Betonimassat eroavat toisistaan ominaisuuksiltaan ja niissä käytettävät ainesosat eroavat toisistaan. Massojen kehityksen on mahdollistanut markkinoille tulleet viimeisen sukupolven notkistimet, jotka ovat polymeeripohjaisia.

### 4.1 Normaalisti kovettuva rakennebetoni RN C25/30 #16 S4

Normaali rakennebetoni soveltuu kaikkeen rakentamiseen, mutta sillä ei ole sen kummemmin erikoisominaisuuksia.

### 4.2 Nopeammin päällystettävä betoni NP C25/30 #16 S4

Nopeammin päällystettävistä betoneista saa apua rakentamisen aikatauluongelmiin. Ne kuivuvat nopeammin kuin normaalit rakennebetonit. Nopeammin päällystettävää betonia käytettäessä, voidaan pinnoitusten aloitusta aikaistaa ja näin lyhentää rakennusaikaa. Nopeasti päällystettävät betonit jäykistyvät nopeammin ja tämä tulee ottaa huomioon mm. kuormien koossa.

#### Ominaisuudet

- 1-2 kertaa nopeampi kuivuminen kuin tavallisella rakennebetonilla
- myynnissä normaalisti
- nopeampaan kuivumiseen auttaa pienempi V/S-suhde kuin rakenne betoneilla sekä ilmamäärä
- lisäaineet: notkistin ja huokostin

### **4.3 Erittäin nopeasti kuivuva betoni NK C32/40 #16 S4**

Ensimmäiset testit NK-betonille suoritettiin 2009 vuonna. Kehitystyön tavoitteena oli nopeasti kuivuva betoni, joka soveltuisi erityisesti saneerauskohteisiin.

#### **Ominaisuudet**

- ”nopeasti kuivuva” HT-tyyppinen lattiabetoni
- pienempi V/S-suhde kuin NP:llä
- kuivuminen 2-3 kertaa nopeampaa tavan rakennebetoniin verrattuna
- lisäaineet: notkistin ja huokostin
- testikohteessa lattiat pinnoitettu 1 viikon jälkeen, (kosteusmitattu)

### **4.4 HT Lattiabetoni C32/40 #16**

Lujabetonin tuoteuutuus HT-lattiabetoni mullistaa lattiabetonoinnin. Se on helpommin tiivistyvä, tasoittuva ja työstettävä valmisbetoni. Tuotekehityksessä saavutetun suuren notkeuden ansiosta HT-lattiabetoni on helpommin pumpattava ja ilman vibrausta tiivistyvä. HT-lattiabetonin suurimmat hyödyt ovat työn helppous, nopeus ja rasituksen vähentyminen.

#### **Ominaisuudet**

- leviämä 550-650mm
- maksimi rae koko #12-18
- lujuudet c28/35- c32/40
- lisäaineet: notkistin ja huokostin
- tarkoitettu lattioihin

### **4.5 HTS Betoni C32/40 #16**

HTS-betonin kehitys alkoi 2009 alussa, jolloin haluttiin yhdistää HT-lattiabetonin ja elementtitekniikan hyvät puolet. Sen tuloksena syntyi toimiva Luja-hybridivälipohja, eli paikallavalettu elementtivälipohja.

### Ominaisuudet

- pitää tiivistää ("hevostelu")
- leviämä 600-670mm
- maksimi raekoko #8-12
- lujuudet ~c32/40
- lisäaineet: notkistin ja huokostin

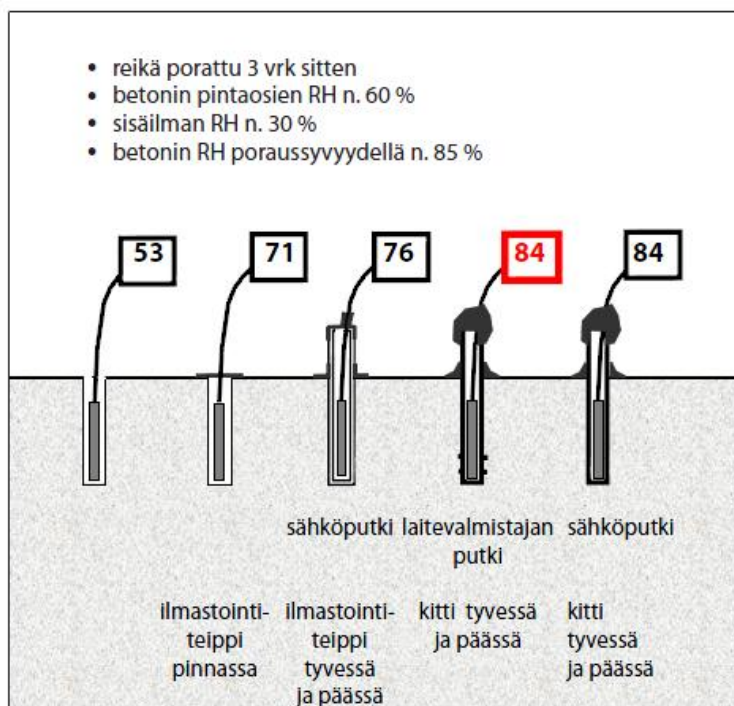
## 5 Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen

Betonirakenteille tehtävien suhteellisen kosteuden mittauksilla saadaan selvitettyä rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä sekä rakenteen kosteusjakaumaa. Mittaustulosten perusteella saadaan selville, kuinka paljon rakenteessa on vielä kosteutta ympäristöön nähden. Tulosten perusteella saadaan myös selville rakenteen pinnoitettavuus materiaalien kosteusraja-arvojen suhteen, jotta kosteusvaurioita ei syntyisi. Korjauskohteessa mittausten perusteella voidaan arvioida myös kosteusvaurion aiheuttajaa ja laajuutta. [3, s. 11.]

Betonin suhteellisen kosteuden mittaus on vaativa tehtävä, koska betonin kosteuteen vaikuttaa monia tekijöitä mm. ominaisuudet ja olosuhteet. Huolellinen mittaaminen sekä luotettavan tuloksen saaminen on tärkeää, sillä se vaikuttaa tulosten perusteella tehtäviin johtopäätöksiin. Betoni on hitaasti kuivuva rakenne, joten jo parin %-yksikön virhe voi vaikuttaa merkittävästi. Virhe voi aiheuttaa päällystystöiden viipymistä viikoilla tai vastaavasti liian aikainen päällystäminen voi aiheuttaa kosteusvaurioita tai päällysteen irtoamisen. Virhe aiheuttaa usein myös turhia lisäkustannuksia, jotka johtuvat turhasta kuivattamisesta. [3, s. 12.]

Mittaustulosten perusteella tehdään usein suuria taloudellisia päätöksiä, joten kosteusmittaajalla tulee olla hyvät tiedot mittalaitteestaan ja työn suorittamisesta. Kosteusmittaajan tulee suorittaa tehtävä riittävällä tarkkuudella ja osata tulkitella tuloksia oikein ottaen huomioon mittaukseen vaikuttavia tekijöitä. [3, s. 13.]

Mittaukseen oleellisesti vaikuttavia tekijöitä ovat mittapään kalibrointi ja mittausreiän huolellinen puhdistus, tiivistys ja tasaantuminen. Ympäristön ja betonin lämpötila ovat myös oleellisia asioita (kuva 1). [3, s.13.]



Kuva 1. Tiivistämistavan vaikutus mitattuun tulokseen. [5.]

## 5. 1 Mittausmenetelmät

Betonin suhteellista kosteutta mitataan pääasiassa sähköisillä mittalaitteilla, joissa on mittapää ja näyttölaite. Mittauslaitevalmistajia on useita, joten ne voivat hieman poiketa toisistaan. Mittapää ja näyttölaite voi olla kiinteinä toisissaan kiinni tai näyttölaitteeseen voidaan kytkeä mittauksen ajaksi erilaisia mittapäitä. Mittapäät voivat olla myös kytkettyinä loggeriin, joka tallentaa tulokset muistiin tietyn väliajoin. [3, s. 8.]

Mittapää koostuu kosteusanturista ja lämpöanturista. Kosteusanturityyppejä on useita mm. kapasitiiviset mittausanturit, elektrolyytin sähkönjohtavuuteen perustuvat anturit sekä kastepisteanturit. Betonin kosteusmittauksissa yleisimmin käytettyjä ovat kapasitiiviset kosteusanturit. Kapasitiivisen kosteusanturin toiminta perustuu vesimolekyylien vastaanottamiseen ja luovuttamiseen, mikä aiheuttaa kapasitanssin muutoksen. Näyttölaite muuttaa tiedon numeroarvoiksi.[3, s. 8.]

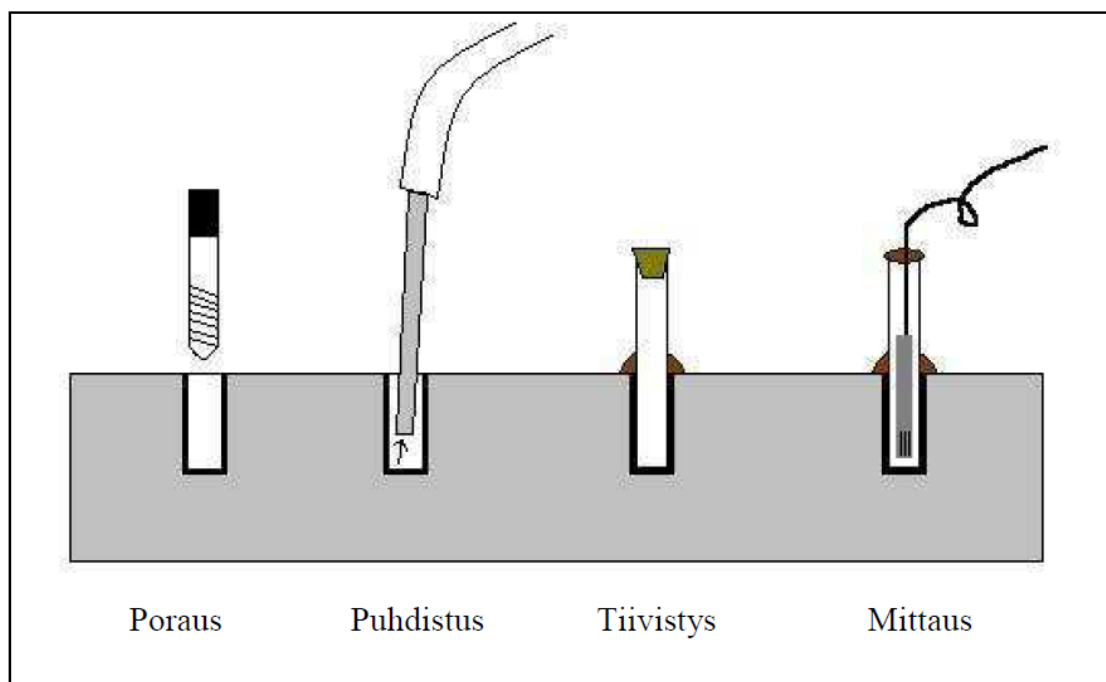
Betonirakenteen suhteellinen kosteus voidaan mitata kahdella tavalla. Rakenteeseen voidaan porata reikä josta mittausantureilla mitataan suhteellista kosteutta tai otetaan betonista näytepala, jos tulos halutaan nopeammin. [3, s. 9]

### **5.1.1 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä**

Betonin suhteellisen kosteuden mittaus voidaan tehdä betoniin poratusta reiästä [3, s. 13.]. Betonin lämpötilan mittaushetkellä tulisi olla +15– +25°C [4, s. 7.]. Kosteuden annetaan tasaantua reiässä ympäröivän materiaalin kanssa tietyn ajan. Mittausreiät porataan sille syvyydelle, josta tulos halutaan saada. Reikien syvyydet vaihtelevat riippuen siitä millaisesta rakenteesta on kysymys. Kosteusvauriokohteissa olisi suositeltavaa tehdä mittauksia useilta eri syvyyksiltä, koska on tärkeä tietää kuinka syväälle kosteus vaurio ulottuu (kosteusjakauma). Vauriokohteissa on kuitenkin mittauspisteet aina katsottava tapauskohtaisesti. Päälystettävyyssmittauksissa mittaussyvyydet on määritelty erikseen rakenteen paksuuden ja kerroksellisuuden mukaan. [3, s. 13.]

Reiät porataan kuivamenetelmällä, ettei reikään pääse ylimääräistä kosteutta porauksen yhteydessä. Reiän tulisi olla noin pari millia suurempi kuin mittapään halkaisijan. Useimmat mittapäät edellyttävät Ø 16 mm:n reikää. On olemassa myös mittapäitä, jotka mahtuvat Ø 4-6 mm:n reikään. Pienemmät mittapäät soveltuvat hyvin esimerkiksi kaakelien saumoista tehtäviin mittauksiin. Pienillä mittapäillä ei päästä aivan yhtä tarkkaan mittaustulokseen, koska pienen reiän tiivistämistä luotettavasti on vaikea suorittaa ja lisäksi pienen reiän vaippapinnan kautta tapahtuvan kosteuden tasaantuminen on hidasta. [3, s. 13.]

Reikiä porattaessa tulee olla huolellinen, ettei poraa sähkö- tai vesiputkiin. Rakenteen rikkomista tulee myös varoa, sillä rakenne voi myöhemmin vaurioitua. Reiän huolellinen paikkaus on myös erittäin tärkeää, jos porataan höyrynsulun tai vedeneristyksen läpi, muuten rakenteelle voi aiheutua huomattavia vaurioita. [3, s. 13.]



Kuva 2. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen rakenteeseen poratusta reiästä. [4, s. 8]

### 5.1.2 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus näytepalamenetelmällä

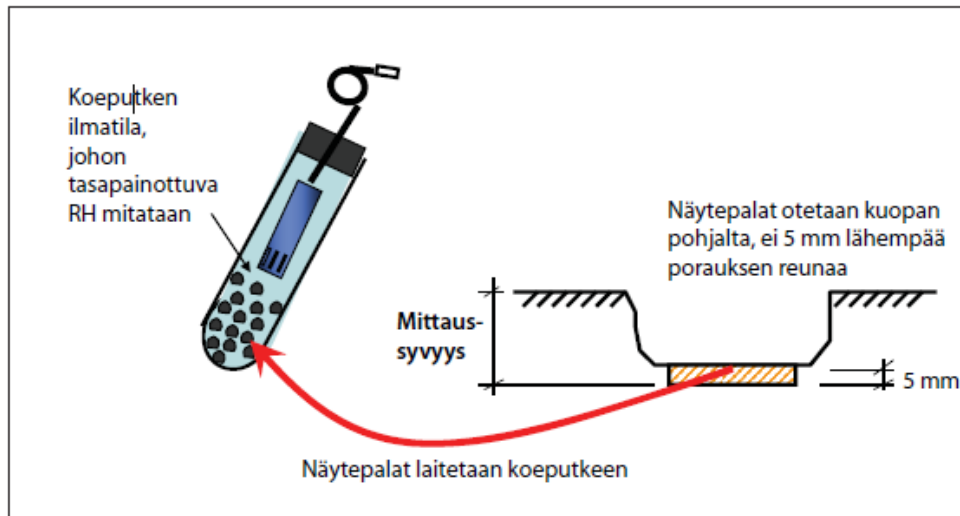
Betonin suhteellista kosteutta mitattaessa näytepalamenetelmä on nopeampi ja luotettavampi kuin porareikämenetelmä. Menetelmä on hyväksi havaittu tilanteissa, joissa halutaan tuloksia nopeasti tai olosuhteet ovat epävakaat tai lämpötila on liian korkea tai matala porareikämittauksille.[3, s. 17.]

Halutusta mittauspaikasta porataan 10 mm terällä piiri halkaisijaltaan noin 150 mm. Reiät porataan mittaussyvyyteen asti. Reikien sisään jäänyt alue piikataan irti, jolloin alta paljastuu näytteenotto pinta, minkä tulisi olla 5mm ylempänä kuin haluttu mittaussyvyys. Pinnasta irroitetaan murusia, jotka suljetaan koeputkeen mitta-anturin kanssa. Putki tulee tiivistää huolellisesti ja mittauksissa käytettävän mittapään kosteuskapasiteetin tulee olla alhainen.[3, s. 17]

Näytteenoton jälkeen koeputket, siirretään +20 °C asteen vakiolämpötilaan. Koeputkien kuljetuksen aikana lämpötilavaihtelut on minimoitava. Esimerkiksi talvella koeputket voidaan laittaa eristettyyn kuljetusastiaan. Näytepalojen anne-



taan tasaantua vakiolämpötilassa (+20 C) halutusta mittauksen tarkkuudesta riippuen 2-12 tuntia.[3, s. 17]



Kuva 3. Näytepalamenetelmä [5.]

Näytteenotto oikealta syvyydeltä riittävän kaukaa kuopan reunasta varmistaa mittauksen hyvän laadun. Näytemäärän tulee olla vähintään kolmasosa putken tilavuudesta (kuva 3.).[5.]

## 5.2 Mittaustarpeet ja mitaussyvyudet

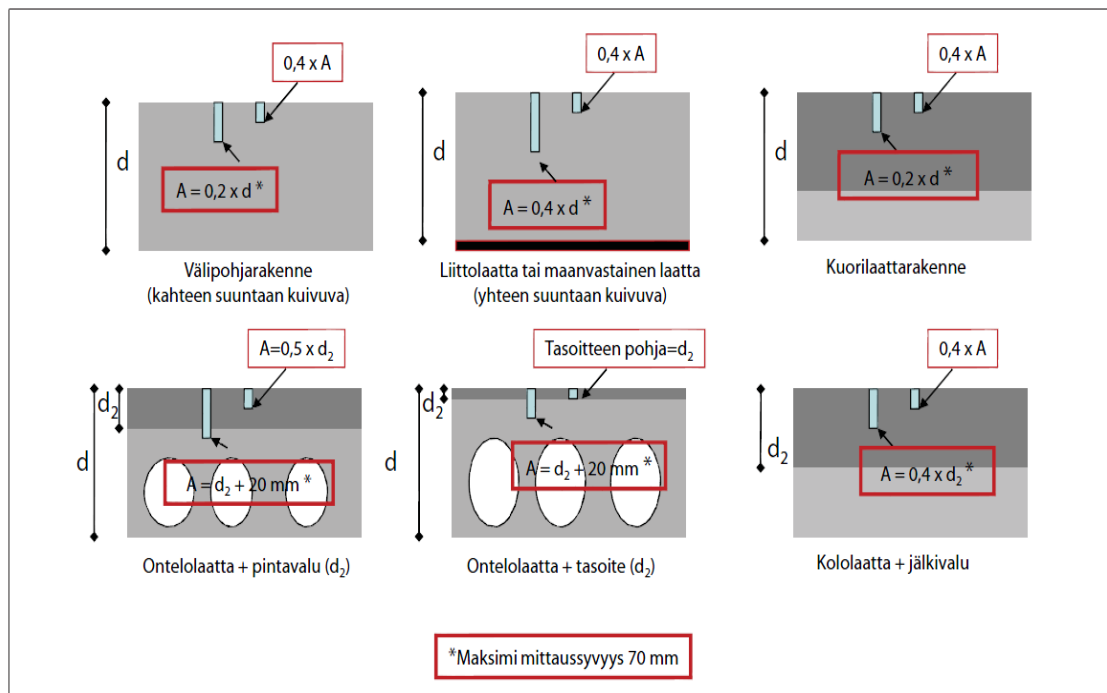
Kosteusmittaukset voidaan jakaa kolmeen osaan, lähtötasomittauksiin, seurantamittauksiin ja päällysteiden asennettavuusmittauksiin. Lisäksi yleensä suoritetaan sisäilman mittauksia, jotta saadaan selville, että olosuhteet ovat hyvät kuivumisen edistymiselle.[4, s. 5.]

Mittaussyvyudet valitaan tapauskohtaisesti riippuen mittausten tavoitteesta.[5.] Betonirakenteen kosteuden selvittämiseen vaaditaan yleensä useampia reikiä. Eri syvyydelle poratuista rei'istä voidaan selvittää betonin kosteusjakauma, mikä on todella tärkeää esim. kosteusvauriotutkimuksissa. [3, s. 19]

Vesivahinkokohteissa kosteusmittauksilla pyritään selvittämään vahingon laajuutta ja kuivattamisen tarvetta. Mittauksiin olisi syytä ryhtyä mahdollisimman

nopeasti vahingon ilmettyä, jotta vaurioalueet saadaan paikannettua ja kuiva-  
tukset voidaan aloittaa. Vauriotutkimuksissa mittausreikien syvyydet eivät ole  
niin tarkkoja. Suositeltavaa on, että kosteus ja lämpötila mitataan vähintään  
kolmesta eri syvyydestä poikkileikkauksen osalta.[3, s. 19]

Ennen kuin betonirakenne voidaan päällystää tai pinnoittaa tulee suorittaa ra-  
kenteen kosteusmittaus. Näin voidaan varmistaa, että rakenteen kosteuspi-  
toisuus on päällysmateriaalin edellyttämän suurimman sallitun arvon alapuolella.  
Päällysmateriaalien kosteusraja-arvot annetaan yleensä suhteellisena kosteus-  
pitoisuutena (RH %). Yleisimpien materiaalien raja-arvot ovat välillä 80–90 %.[3,  
s. 20]



Kuva 4. Mittausvyvydet eri rakenneratkaisuilla rakennepaksuuksista riippu-  
en.[5.]

Päällystettävyyssmittauksissa jokaisella arvostelussyvyydellä tulee olla vähintään  
kaksi saman syvistä rinnakkaista reikää. Niiden etäisyyden toisistaan täytyy  
olla 100-300 mm. Arvostelussyvyys on se kohta rakenteessa, jossa kosteusraja-  
arvo on alitettava ennen päällystystöitä. Arvostelussyvyyteen vaikuttaa pääosin  
rakenteen paksuus ja rakenneratkaisu (kuva 4). Arvostelussyvydet perustuvat

olettamukseen, että päällystämisen jälkeen kosteus nousee tiiviin pinnan alla enimmillään arvostelusyvyuden kosteusarvoon.[3, s. 20]

Arvostelusyvyuden lisäksi tulisi mitata suhteellista kosteutta myös arvostelusyvyuden molemmin puolin. Nämä lisämittaussyvyudet helpottavat tulosten tulkintaa.[3, s. 20]

Mittausten tarvetta esiintyy myös lähes poikkeuksetta rakenteiden kuntotutkimuksien yhteydessä. Mittauksilla saadaan selville rakenteen kosteusjakauma ja kosteusteknisiä ominaisuuksia. Koska betonirakenteen RH- mittaukset ovat rakennetta rikkovia sekä vaativia, on mittauspisteiden lukumäärä rajallinen. Mittauspisteiden valinnassa tulee ottaa huomioon siisti paikkausmahdollisuus.[3, s. 19.]

Kosteusteknisesti kriittisiä rakenteita voidaan tutkia pitkäaikaisella kosteuden seurannalla. Betonirakenteisiin asennetaan jo rakennusaikana mittauspisteet, joista voidaan seurata rakenteen käyttäytymistä rakenteita rikkomatta rakennuksen ollessa jo käytössä.[3, s. 21]

### **5.2.1 Kahteen suuntaan kuivuva betoni**

Kahteen suuntaan kuivuvan välipohjalaatan arviointisyvyys  $A$  on 20 % rakenteen paksuudesta. Maksimi mittasyvyys on 70mm. Maksimi mittasyvyyttä voidaan käyttää vain jos rakenteen molemmin puolin vallitsee normaalit olosuhteet. Jos laatan paksuus ( $d$ ) on 200 mm, niin  $A = d \cdot 0,2 = 40$  mm. Tällöin mittaukset tulee suorittaa 40mm syvyydeltä. Tämän lisäksi tulee suorittaa mittaus myös rakenteen pintaosasta jossa arviointisyvyys on edellisestä arviointi syvyydestä 40 %. Lasketaan  $40 \text{ mm} \cdot 0,4 = 16$  mm, tällä syvyydellä RH:n tulee olla alle 75 %.[4, s. 6.]

### 5.2.2 Kerroksellinen rakenne

Kerroksellisissa rakenteissa arvostelumittaus tehdään sekä pintavalusta että ontelolaattabetonista. Pintavalussa arvostelusyvyys on 50 % pintavalun paksuudesta ja ontelolaattabetonissa 20 mm pintavalun alapuolelta. Esim. jos pintavalu on 65 mm, niin arvostelusyvyys  $A=0,5*d= 32,5$  mm ja toinen arvostelusyvyys on  $65 \text{ mm}+20 \text{ mm}= 75$  mm. Tämä ylittää kuitenkin maksimisyvyyden, joten arvostelu syvyys on 70 mm. Kololaattarakenteissa arviointi syvyys on 40 % jälkivalun paksuudesta. Kelluvissa lattiarakenteissa arviointisyvyys on 40 % pintalaatan paksuudesta. Lisäksi tulee mitata eristetilan kosteus.[4, s. 6.]

### 5.3 Päällystysmateriaalien raja-arvoja

Taulukossa 1 esitetään erilaisten parkettien ja laminaattien raja-arvoja. Tiettyjä erikoisbetoneita käyttämällä voidaan laittaa parketti RH:n ollessa 90 %.

[4, s. 19-29.]

Taulukko 1. Parketit ja laminaatit. [4, s. 19-29.]

Materiaali	Betonin RH [%] arviointisyvyydellä A	Betonin ja/tai tasoitteen RH[%]pinnassa ja 1-3cm syvyydellä $[0,4*A]$
Kelluva lautaparketti ja alusmat.	85	75
Alustaan liimattava lautaparketti	85	75
Laminaatti+ Vesihöyryntiivis alusmat.	85	75
Mosaiikkiparketti	85	75

Alustaan liimattavien materiaalien raja-arvoja. [4, s. 31-34.]

Taulukossa 2 esitetään Muovi-, linoleum-, tekstiili- sekä kumimattojen ja laattojen päällystettävyyden raja-arvoja. [4, s. 31-34.]

Materiaali	Betonin RH [%] arviointisyvyydellä A	Betonin ja/tai tasoitteen RH[%]pinnassa ja 1-3cm syvyydellä $[0,4 \cdot A]$
Muovimatot	85	75
Linoleum	85	75
Kumimatot	85	75
Tekstiilimatto, tiivis alusta tai luonnon- materiaalista tehty	85	75
Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta	90	75
muovi-, kumi-, lino- leumilaatat	90	75

Kuivien tilojen keraamisia laattoja laittaessa tulee ottaa huomioon, että rakenne on myös kutistunut riittävästi käytettävien materiaalien muodonmuutoskykyyn nähden (taulukko 3). Kiinnityslaastin tulee olla sitä muodonmuutoskykyisempi (S-luokius), mitä korkeampi betonirakenteen suhteellinen kosteus on (Taulukko 4). [4, s. 37.]

Taulukko 3. Laatoituksen jälkeen tapahtuva kutistuminen eri lähtökosteuksilla rakenteen kuivuessa RH50 %:iin.[4, s. 37.]

keraamiset laatat, kuivat tilat	Betonin RH [%] arviointisyvydel- lä A
Mahdollinen oletettu kutistuma laatoituksen jälkeen (mm/m)	
0,45-0,65	95
0,35-0,55	90
0,3-0,4	85
0,2-0,3	80

Taulukko 4. Pintarakennejärjestelmiltä ja päällysteiltä edellytetty muodonmuutoskyky.[4, s. 40.]

Laatoituksen ja betonin välisen kiinnitysaineen muodonmuutoskyky	Oletettavissa oleva kutistuminen päällystämisen jälkeen vähintään (mm/m)
1. Erittäin hyvä	0,5
2. Hyvä	0,4
3. Keskinkertainen	0,3
4. Pieni	0,2

Alustabetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvojen on oltava päällystys hetkellä seuraavan taulukon 5 mukaiset.[4, s. 45.]

Taulukko 5. Keraamiset laatat märkätiloissa. [4, s. 45.]

Materiaali	Betonin RH [%] arviointisyvyydellä A	Betonin ja/tai tasoitteen RH[%]pinnassa ja 1-3cm syvyydellä [0,4*A]
vedeneriste	85-95	75

## 5.4 Mittausten raportointi

Mittaustulokset tulee esittää siten, että raportin lukija ymmärtää, millä menetelmällä, millaisesta rakenteesta tai miten syvältä ja milloin mittaus on suoritettu. Ulkoilman ja sisäilman olosuhdemittaustulokset on liitettävä mukaan, koska ne muodostavat reunaehdot rakenteiden toiminnan analysoimiselle sekä mittaus-tarkkuustarkastelulle. Mittaus on vain apuväline, jonka avulla saaduista tuloksista pyritään tekemään lopulliset johtopäätökset. [4, s. 14.]

Mittausraportin sisältö[5.]:

- mittauskohdetiedot (osoite, yhteyshenkilö yhteystietoineen)
- mittaajan yhteystiedot
- mittauksen tarkoitus
- kohteen kuvaus (huoneisto/tila, rakenneratkaisu, betonilaatu, valupäivä jne.)
- piirros tai valokuvia mittauskohdasta (mittauspisteiden sijainti pohjakuviin)
- käytetyt mittalaitteet (mittalaitetyyppi, mittapään numero, kalibrointiajankohta)
- mittausmenetelmän kuvaus
  - porareikämittauksista kuvataan tarkoin reikien puhdistus, putkitus ja tiivistystoimenpiteet
  - näytepalamittauksista esitetään näytteenottoajankohta, lukemienottoajankohta ja olosuhteet lukemienottohetkellä
- sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mittauskohdassa ja tarvittaessa ulkoilman olosuhteet
- mittaussyvytydet
- mittaustulokset (suhteellinen kosteus ja lämpötila ja tarvittaessa niiden perusteella laskettava vesihöyrösisältö). Näytepalamittauksen vesihöyrösisältöä ei tarvitse laskea, koska kaikki kosteusarvot luetaan samassa lämpötilassa.
- mittaustarkkuustarkastelu (mittaukseen liittyvät virhe/epävarmuustekijät)
- tulosten tulkinta
- johtopäätökset.

## **6 Tutkittaville betoneille tehtävät toimenpiteet**

Tässä luvussa esitetään toimenpiteet ja valupäivien 12-13.12.2011 työt. Kaikki tehtävät tehtiin Lujabetoni Oy:n tiloissa Lehmon tehtaalla. Apuna minulla oli Lujabetoni Oy:stä kehityspäällikkö Tuomo Kovanen ja kehityslaborantti Perttu Ruuska. Kaikki tutkittavat betonit ovat Lujabetoni Oy:n jo myynnissä olevia betoneita, joten toimenpiteet ovat lähinnä laadunvarmistusta.

### **6.1 Tuorebetonitestit**

Tuorebetonitestit suoritettiin heti massan valmistuksen jälkeen tehtaan laboratoriossa. Testeillä haluttiin saada selville betonilaatujen ominaisuuksia, joista saadun tiedon voi hyödyntää itse varsinaisessa tutkimustyössä. Suurin vaikutus betonin kuivumiseen on ilmamäärällä sekä vesi-sementtisuhteella.

#### **6.1.1 Painuma ja leviäminen**

Betonimassan tärkein ominaisuus on massan työstettävyys, jota arvioidaan massan notkeudella. Notkeus määritetään yleensä kuvan 5 mukaisella painuma- tai leviämäkokeella[2, s. 72.]. Painuma ja leviäminen mitattiin heti tuoreesta massasta, 60 minuutin jälkeen ja 90 minuutin jälkeen. HTS betonin 60min:n leviämässä on virhe, koska betoni otettiin kokeeseen betoniauton säiliön pohjalta. Rakennebetonin 60 minuutin painuma puolestaan jäi ottamatta kiireiden takia. (kuvio 1 ja 2)



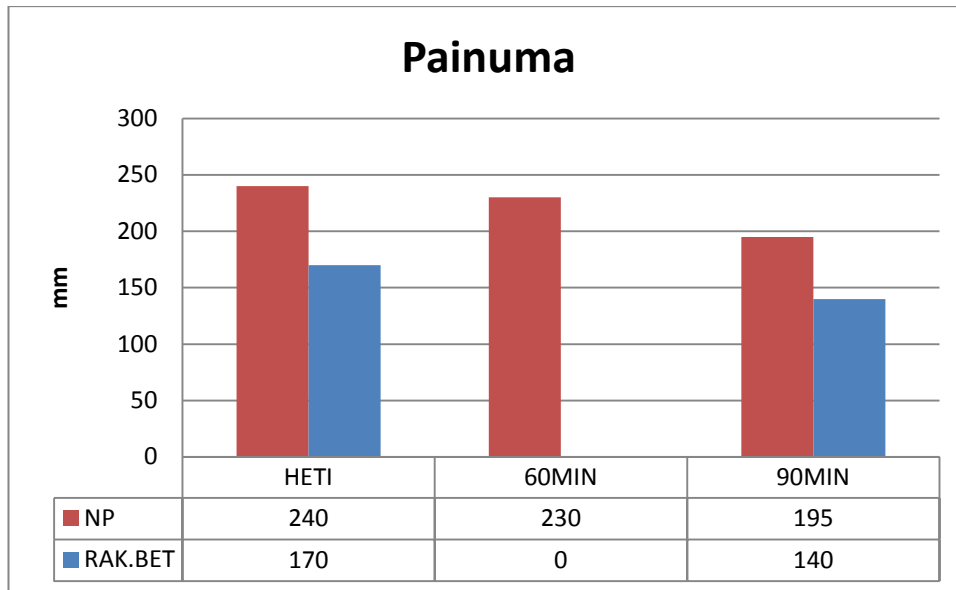


Kuva 5. Betonin painuman/leviämän mittauslaite.

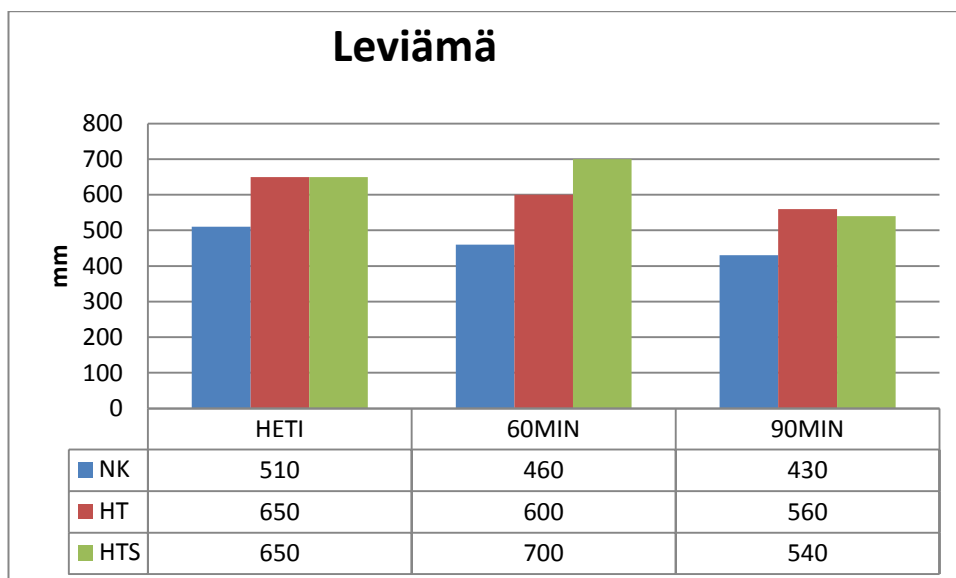
Taulukko 6. Betonimassojen notkeusluokat. [2, s. 72.]

Painumaluokat		Leviämäluokat	
Luokka	Painuma [mm]	Luokka	Leviämän halkaisija [mm]
S1	10...40	F1	<340
S2	50...90	F2	350...410
S3	100...150	F3	420...480
S4	160...210	F4	490...550
S5	>220	F5	560...620
		F6	>630

Betonimassat jaetaan painuma- ja leviämäluokkiin taulukon 6 mukaan. Yleensä massan notkeus on vetelä tai nestemäinen. S2 ja F2 ovat notkeita massoja ja S3 sekä F3 ovat veteliä massoja.



Kuvio 1. Painumakokeiden tulokset



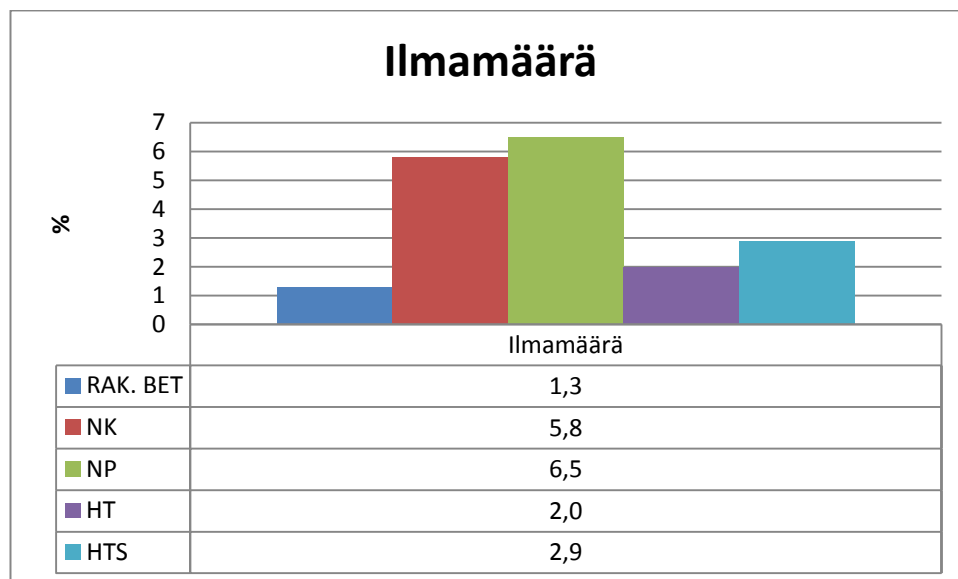
Kuvio 2. Leviämäkokeiden tulokset.(virheellinen tulos HTS 60min)

## 6.1.2 Ilmamäärä

Betonin ilmamäärä vaikuttaa betonin pakkasenkestävyyteen sekä kuivumiseen. Pakkaskestävyys paranee ilmamäärän suurentuessa. Ilmamäärää saadaan lisättyä huokostavan lisäaineen avulla. Huokostimet muodostavat pieniä ilmakuplia muodostaen suojahuokosia. Näiden huokosten tehtävänä on vastaanottaa betonissa olevan veden jäätyessään aiheuttama paine, jotta betoni ei hajoa[2, s. 66.]. Ilmamäärä mitattiin kuvassa 6 näkyvällä laitteella. Suurimmat ilmamäärät mitattiin NK- ja NP-betonimassoista (kuvio 3).



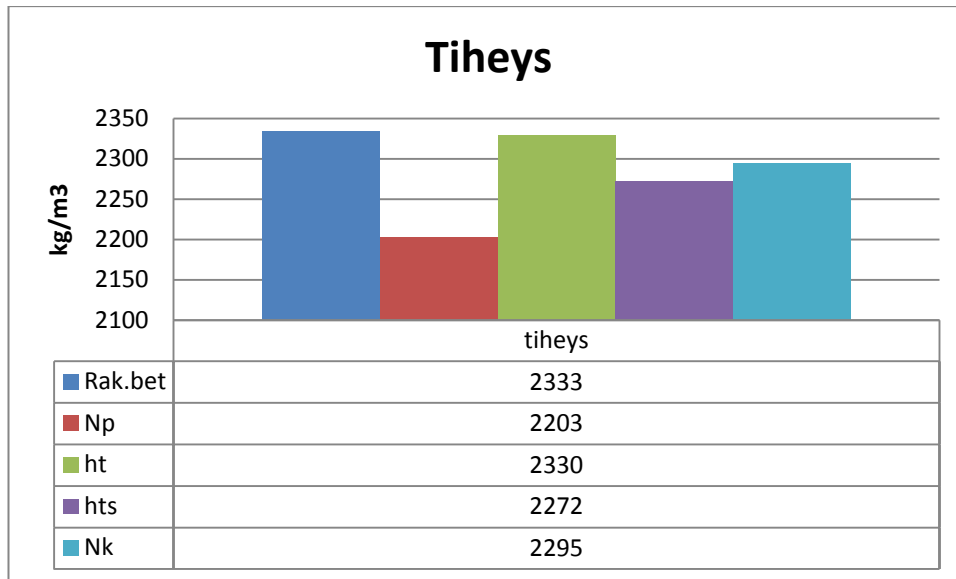
Kuva 6. Betonin ilmamäärän mittauslaite



Kuvio 3. Betonimassojen ilmamäärät.

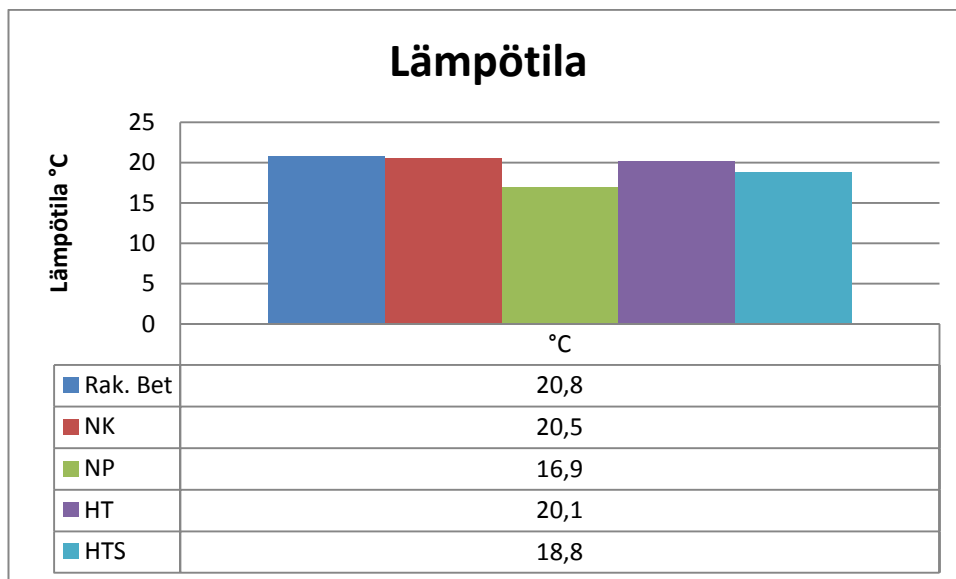
### 6.1.3 Tiheys

Betonin tiheyden vaikuttaa siinä käytettyjen osa-aineiden määrät. Esimerkiksi huokoinen betoni on hieman kevyempää. Huolellinen tiivistäminen vaikuttaa myös tiheyden kasvamiseen. Tiheys määritettiin tuoreesta betonista sekä kovettuneesta betonista. Massojen välisiä tiheyden vaihteluita oli vähän(kuvio 4).



Kuvio 4. Betonimassojen tiheys.

#### 6.1.4 Lämpötila



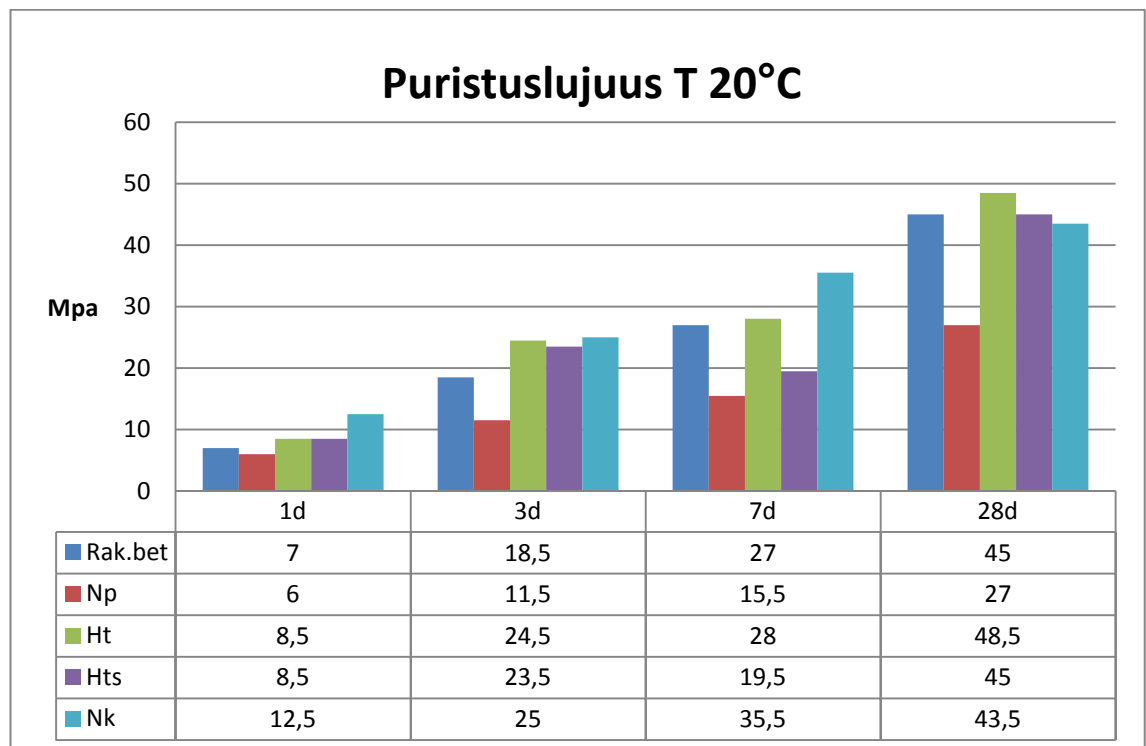
Kuvio 5. Betonimassojen lämpötilat heti massan valmistuksen jälkeen.

#### 6.2 Betonien puristuslujuus

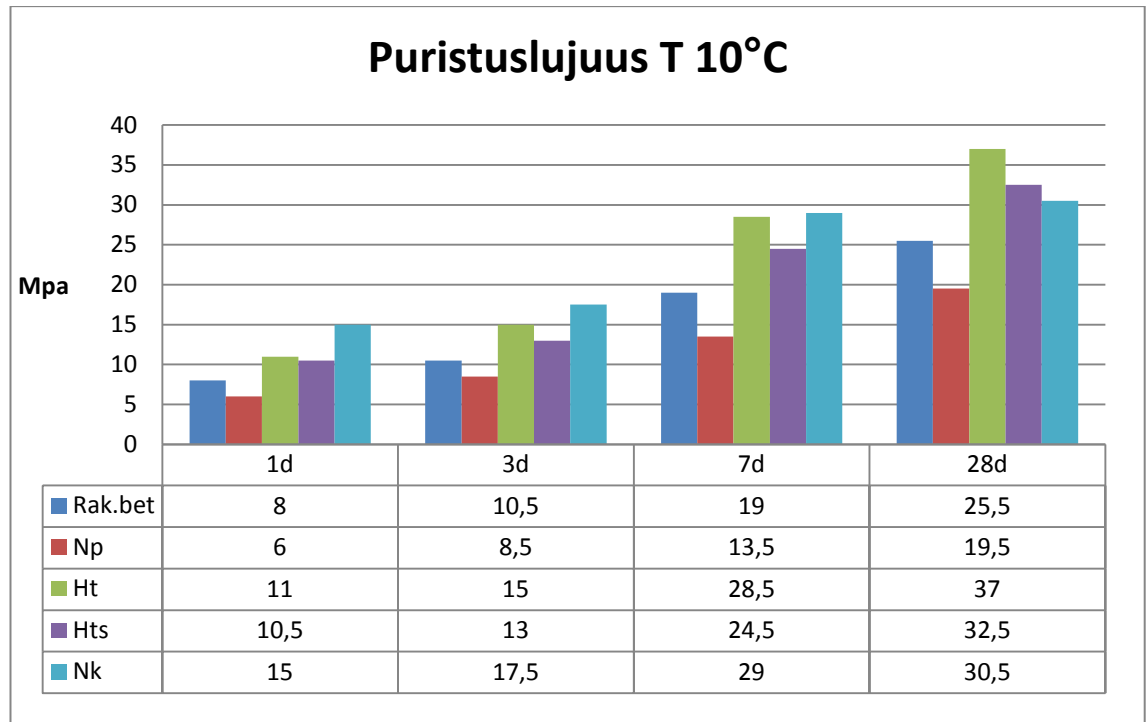
Puristuslujuus on betonin tärkein ominaisuus. Betonin puristuslujuus on noin 10 kertaa parempi kuin sen vetolujuus. Määritimme jokaiselle betonilaadulle puristuslujuuden 1, 3, 7 ja 28 vuorokauden ikäisinä. Jokaisesta betonilaadusta teim-

me vähintään kaksi koekappaletta, joista toinen kovettui 20 °C:n ja toinen 10 °C:n lämpötilassa. Käytimme muotteina 150 mm ja 100 mm sivumitoiltaan olevia kuutioita sekä lieriömuottia, joka oli kooltaan 150 mm \* 300 mm. Kuvioissa 6 ja 7 on esitetty saadut tulokset (MPa).

Betonin puristuslujuus luokitus testataan käyttäen 150 mm sivumitaltaan olevaa kuutiota. Puristuslujuuden voi määrittää myös käyttämällä 100 mm:n kuutiota tai 150 \* 300 mm:n lieriötä. Näitä koekappaleita käytettäessä tulokset eivät ole vertailtavissa suoraan 150 mm kuution tuloksiin. Kuvioissa esitetyt tulokset on muutettu vastaamaan 150 mm tuloksia. [2. s.79.]



Kuvio 6. Puristuslujuustulokset betonin kovettuessa 20 °C lämpötilassa.



Kuvio 7. Puristuslujuus tulokset betonin kovettuessa 10 °C lämpötilassa.

Taulukko 7. Betonilaatujen nimellis- ja tavoitelujuudet

BETONI	Nimellislujuus	Tavoitelujuus
Rak.Bet	30	35
Np	30	35
HT	40	45
HTS	40	45
NK	40	45

Betonin nimellislujuus on se lujuusluokka, jonka mukaan betoni on suunniteltu. Betonin lujuuskehitys jatkuu käytännössä koko sen käyttöajan ajan. Kuvioista 6 ja 7 voidaan huomata, kuinka kovettumislämpötila vaikuttaa lujuuden kehitykseen. 20 °C:n lämpötilassa kaikki betonilaadut olivat saavuttaneet nimellislujuuden 28 vuorokauden aikana, kun taas 10 °C:n lämpötilassa kovettuneista betoneista yksikään ei ollut saavuttanut nimellislujuutta.

### 6.3 Valumuottien teko

Valumuotit tehtiin puisiin muotteihin xps-levyjen päälle siten, että muottien reunit tiivistettiin bitumikermillä sivuille kuivumisen estämiseksi (kuva7). Valun jälkeen muotit nostettiin tukien päälle, jotta ne mallintaisivat hyvin kahteen suuntaan kuivuvaa välipohjalaattaa.



Kuva 7. Valumuottien valmistus.

### 6.4 Tutkimuslaattojen valaminen

Tutkimuslaatat valettiin kahtena päivänä Lujabetoni Oy:n Lehmon tehtaalla. Betonit valmistettiin tehtaalla myllyssä, josta betoni siirrettiin betoniautolla alakertaan, missä muotit sijaitsivat. Valu suoritettiin nostoastiaa käyttäen (kuva 8).



Kuva 8. Tutkimuslaattojen valu nostoastialla.

### 6.5 Jälkihoito ja hionta

Riittävä betonin jälkihoito kovettumisvaiheessa takaa hyvälaatuisen betonipinnan saamisen. Jälkihoidon tarkoitus on varmistaa suotuisat olosuhteet betonin sitoutumiselle ja kovettumiselle. Lähinnä tämä tarkoittaa sitä, että taataan betonille oikea kovettumislämpötila sekä estetään liiallinen ja liian nopea veden haihtuminen. [6. s. 11.]

Jälkihoito aloitetaan betonin hiertämisen jälkeen joko sumuttamalla betonin pinnalle jälkihoitoainetta tai peittämällä se muovilla (kuva 9). Betonin vesisementtisuhteen ollessa alhainen (alle 0,5) voidaan jälkihoitoa suorittaa sumuttamalla vettä betonin pinnalle. Vesi ei sovellu talviolosuhteisiin. Betonin jälkihoitoaika on yleensä noin viikko. [6. s. 11.]





Kuva 9. Betonin jälkihoito suojaamalla.

Hionnasta käytetään kolmea nimitystä niiden hionta-asteen perusteella: kevythionta, pintahionta ja syvähionta. Hionta kannattaa suorittaa heti, kun rakenne kestää sen. Hionnan määrään vaikuttaa ratkaisevasti hierron laatu ja löysän pintakerroksen paksuus. Hiontapöly tulee poistaa mahdollisimman nopeasti, sillä pöly hidastaa betonin kuivumista [6. s. 12.]



Kuva 10. Betonilaattojen pinnat hionnan jälkeen.

Kevythionnassa poistetaan rysteet, vähäiset epätasaisuudet ja osittain sementtiliimakerros. Kevythiontaa käytetään vähän rasitetuissa lattioissa. Pintahionnassa rakenteen pinnasta poistetaan hieno sementtiliima tai muuten heikkolujuuksinen kerros kauttaaltaan. Pintahiontaa käytetään yleisimmin lakattavissa ja maalattavissa teollisuuslattioissa, mutta se on suositeltavaa tehdä kaikille päällystettäville betonilattioille. Syvähionnassa poistetaan pintakerros siihen saakka kunnes karkea runkoaines tulee näkyviin. Syvähionnalla saavutetaan hyvä kulumkestävyys ja myös persoonallinen ulkonäkö.

### 6.6 Reikien poraaminen ja Vaisala-mittapäiden asennus

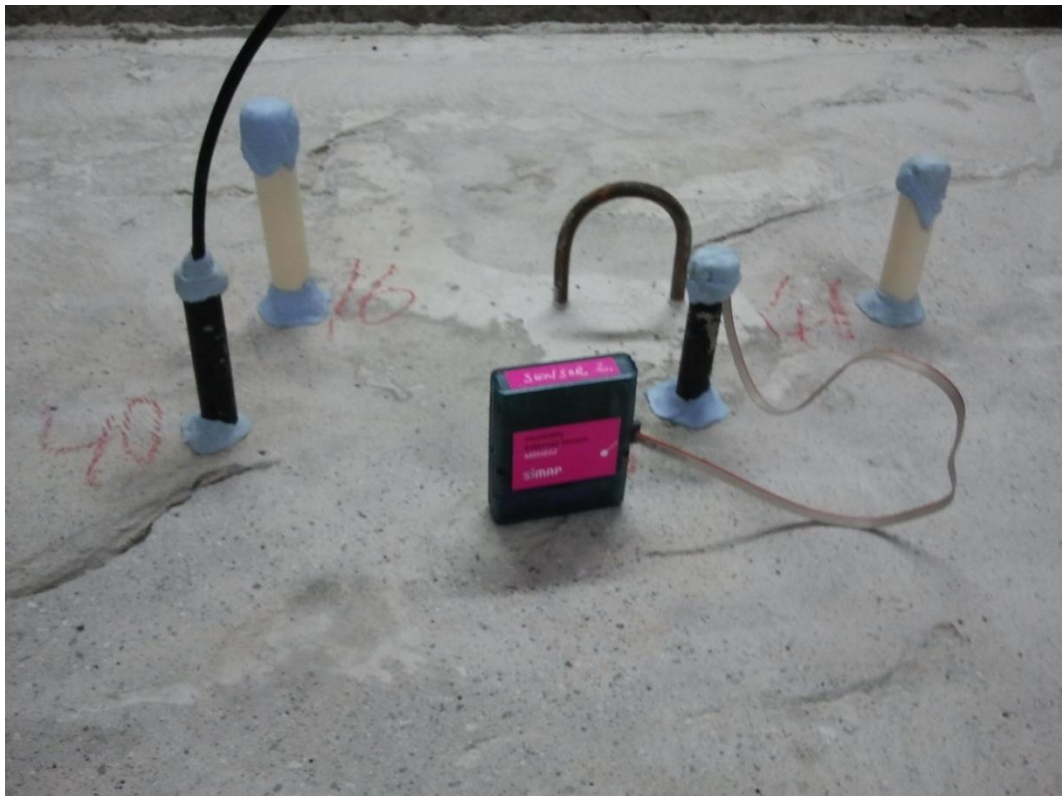
Vaisala mittapäille porattiin  $\varnothing$  16mm reiät. Reikien poraus suoritettiin 21.12.2011. Reikien poraus tapahtui kuvan 2 mukaan. Vaisala-mittapäät asennettiin samana päivänä. Jokaiseen laattaan asennettiin yksi Vaisala-mittapää. Myöhemmin 2.1.2012, asennettiin NP- ja Rak-betoneihin toiset mittapäät, koska mittaustulokset poikkesivat reilusti muista. Näin haluttiin minimoida mahdollinen virhe.



Kuva 11. Vaisala-mittapää asennettuna.

## 6.7 Simap-mittauslaitteiston asentaminen

Simap-mittausjärjestelmä koostuu salkusta, joka kytkettiin verkkovirtaan ja ulkoisista mittapäistä, jotka kytkettiin antureihin. Mittapäiden asennus suoritettiin RT 14-10984 ohjeiden mukaisesti. Ohjeet löytyvät myös tästä opinnäytetyöstä. Tämän jälkeen kaikki tapahtuu automaattisesti. Anturit lähettävät tietoa valvoon, josta tulokset voidaan lukea tietokoneelta käsin. Tietokoneessa ei tarvitse olla kuin nettiyhteys. Anturit toimivat käytännössä aivan kuin muutkin dataloggerit, mutta etuna on se, että niitä ei tarvitse fyysisesti purkaa vaan tieto kulkee langattomasti. Laitteen ehdottomiin etuihin lukeutuu pitkään kestävässä mittauksissa tai kosteuden seurannassa, reaaliaikainen jatkuva mittaus, graafiset selkeät mittaustulokset (ajanjakson voi itse määrittää) ja pitkään jatkuvissa mittauksissa tai kosteuden seurannassa etäkäyttö vähentää mittauspaikalla käyntejä.



Kuva 12. Simap-mittauslaitteisto asennettuna.

## 6.8 Olosuhteet

Tutkittavat betonilaatat ovat Lujabetoni Oy:n Lehmon tehtaalla. Betonilaattojen olinpaikka ei ollut aivan optimaalinen porareikämittauksia tehtäessä, koska tilan lämpötila oli melko alhainen ensimmäiset viisi viikkoa (noin 10 °C). Tämän jälkeen teimme laatoille teltan jonka sisälle laitettiin patterit, joten lämpötila saatiin nousemaan yli 15 °C:seen. Porareikämittauksia tehtäessä lämpötilan tulisi olla +15 ja +25 °C:n välissä.

## 7 Tulokset

### 7.1 Mittaustulokset

Taulukoissa 8-14 on esitetty viiden ominaisuuksiltaan erilaisen betonilaadun suhteellisen kosteuden mittaustulokset kahdella eri mittauslaitteella. Käytössäni oli Vaisala Oy:n HMP44 mittapääät sekä HMI41 näyttölaite sekä Simap langattomat kosteusmittaus anturit, jotka lähettävät dataa langattomasti palvelimelle. Tuloksissa on myös esitetty hallin olosuhteet mittaushetkiltä, koska olosuhteiden vaikutus betonin suhteellisen kosteuden mittauksissa on oleellinen ja huomioitava asia. Vaisala mittapäiden mittaustarkkuus on  $\pm 3$  % ja simap antureiden mittaustarkkuus on  $\pm 5$  %. Vaisala mittapääät on kalibroitu kesällä 2011 ja Simap mittapääät juuri ennen asentamista.

Tuloksissa on ilmoitettu mittauspäivä, viikot valupäivästä sekä RH % ja lämpötila molempien laitteiden osalta. Taulukoissa on esitetty myös betonissa vallitsevien olosuhteiden vesihöyrypitoisuudet molempien mittalaitteiden osalta. Tuloksissa punaisella merkitty kenttä tarkoittaa  $\pm 3$  %-yksikön poikkeamaa mittalaitteiden välillä. Np- sekä Rakennebetonissa minulla oli kaksi Vaisala mittapääätä, joten näissä RH % ja lämpötila ovat keskiarvoja.

Hallin olosuhteissa huomioitavaa on rajut muutokset lämpötilassa sekä RH %:ssa. Olosuhteiden vaikutus tässä tutkimuksessa on todella oleellinen ja voi vai-

kuttaa virheellisesti mittalaitteiden antamiin tuloksiin, koska mittausjakson aikana alussa lämpötila oli joko liian korkea tai matala porareikämittauksen asettamalla vaatimukselle  $+15 - (+25)^{\circ}\text{C}$ . Kolme viimeistä mittausta saatiin suorittaa hyvissä olosuhteissa. Toisaalta työssä tutkittiin Simap-laitteen toimivuutta ja olosuhteet olivat molemmille mittauslaitteille samat.

Vesihöyrypitoisuuksia tarkastellessa tulee huomata, että betonissa olevaa vesihöyryn määrää tulee verrata hallin ilmassa olevaan vesihöyryn määrään. Kuivumista tapahtuu vain jos betonissa oleva vesihöyryn määrä on suurempi kuin hallin ilmassa oleva vesihöyryn määrä. Haihtumiskuivuminen tapahtuu aina suuremmasta pitoisuudesta pienempään.

Kahdeksan viikkoa mittausten aloituksen jälkeen tutkimuslaatat siirrettiin olosuhteiden pakosta toiseen paikkaan, jossa oli huomattavasti lämpimämpää kuin edellisessä hallin osassa. Viikolla yhdeksän mittaustuloksissa oli jotain outoa kaikkien laattojen kuivumisen osalta, sillä mikään betoni ei tuloksien perusteella ollut kuivunut yhtään. Tutkin asiaa ja Simapin tulos tietokannasta paljastui, että jokin selittämätön asia oli saanut tulokset nousuun muutamaa tuntia aiemmin kun menin mittauspaikalle. Tuloksista huomasin, että betoni oli kuitenkin jatkanut kuivumista normaalisti viikon kahdeksan jälkeen, mutta juuri tulosten kirjaimisaikana tulokset olivat korkeat. Ainoa mieleen tuleva asia voisi olla että mittausputkiin olisi päässyt tiivistymään kosteutta, koska betonin lämpötilassa muutoksia ei näkynyt. Kun tuloksien tarkastelussa puhutaan viikoista, niin kyse on kuluneista viikoista valupäivästä lukien eikä kalenteriviikoista.

Taulukko 8. Erittäin nopeasti kuivuvan betonin NK C32/40 #16 S4 tulokset.

NK -laatta Valupäivä 13.12.2011 Mittaussyvyys 40mm					
Vaisala HMP44				Simap kosteusmittaus laitteisto	
Mittauspäi-vämäärä	viikkoa valusta	RH%	Lämpötila T	RH%	Lämpötila T
2.1.2012	3	95,7	9,2		
9.1.2012	4	94	9,4	92,5	9,3
23.1.2012	6	89,5	12,8	90,3	13,7
2.2.2012	8	87,2	11,3	88,2	13,3
13.2.2012	9	87	20,9	89,5	18,8
20.2.2012	10	79,5	19,6	84,9	17,7
5.3.2012	12	77,8	20,7	84,9	19,7

Taulukko 9. Normaalisti kovettuvan rakennebetonin RN C25/30 #16 S4 tulokset.

Rak. Bet -laatta Valupäivä 13.12.2011 Mittaussyvyys 40mm					
Vaisala HMP44				Simap kosteusmittaus laitteisto	
Mittauspäi-vämäärä	viikkoa valusta	RH%	Lämpötila T	RH%	Lämpötila T
2.1.2012	3	98,25	9,7		
9.1.2012	4	97,7	9,8	96,6	9,4
23.1.2012	6	94,5	14,5	96,0	12,9
2.2.2012	8	92	14,9	95,4	12,6
13.2.2012	9	92,2	20	94,3	18,1
20.2.2012	10	85,9	19	90	20
5.3.2012	12	87,6	19,7	91,3	20,7

Taulukko 10. HT Lattiabetonin C32/40 #16 Tulokset.

HT -laatta						Valupäivä 12.12.2011		Mittaussyvyys 40mm		
Vaisala HMP44					Simap kosteusmittaus laitteisto					
Mittauspäivämäärä	viikkoa valusta	RH%	Lämpötila T	RH%	Lämpötila T					
2.1.2012	3	95,9	9,4							
9.1.2012	4	94,4	9,7	93,5	9,6					
23.1.2012	6	90,6	13,3	91,9	13,3					
2.2.2012	8	87,7	13	90,6	12,8					
13.12.2012	9	87,6	17,4	89,4	17,5					
20.2.2012	10	83,6	17,6	84,8	17,6					
5.3.2012	12	80,2	19,3	84,5	19,4					

Taulukko 11. HTS Betonin C32/40 #16 tulokset.

HTS -laatta						Valupäivä 1.12.2011		Mittaussyvyys 70mm		
Vaisala HMP44					Simap kosteusmittaus laitteisto					
Mittauspäivämäärä	viikkoa valusta	RH%	Lämpötila T	RH%	Lämpötila T					
2.1.2012	5	93,8	8,7							
9.1.2012	6	91,9	8,8	88,6	8,6					
23.1.2012	8	86,9	11,6	86,1	12					
2.2.2012	10	83,4	10,9	83,3	11,8					
13.12.2012	11	82,3	14,8	83,1	15,3					
20.2.2012	12	78,8	14,3	79,5	15,4					
5.3.2012	14	75,9	16	77,3	17					

Taulukko 12. Nopeammin päällystettävän betonin NP C25/30 #16 S4 tulokset.

NP -laatta						Valupäivä 12.12.2011		Mittaussyvyys 40mm		
Vaisala HMP44					Simap kosteusmittaus laitteisto					
Mittauspäivämäärä	viikkoa valusta	RH%	Lämpötila T	RH%	Lämpötila T					
2.1.2012	3	96,2	8,8							
9.1.2012	4	95,9	9,1	94,2	9,2					
23.1.2012	6	92,9	14,4	92,9	13					
2.2.2012	8	89,9	13,8	91,4	11,2					
13.2.2012	9	89,3	19	90,1	20,3					
20.2.2012	10	81	18,6	84,6	20					
5.3.2012	12	79,1	20,5	82,6	20,9					

Taulukko 13. Hallin olosuhteet.

Hallin olosuhteet			
Vaisala HMP44			
Mittauspäivämäärä	viikkoa valusta	RH%	Lämpötila T
2.1.2012	3	67,8	9,3
9.1.2012	4	61,3	9,5
23.1.2012	6	56	14,7
2.2.2012	8	47,5	13,4
13.2.2012	9	17,4	17
20.2.2012	10	29,3	18
5.3.2012	12	25,7	18,5



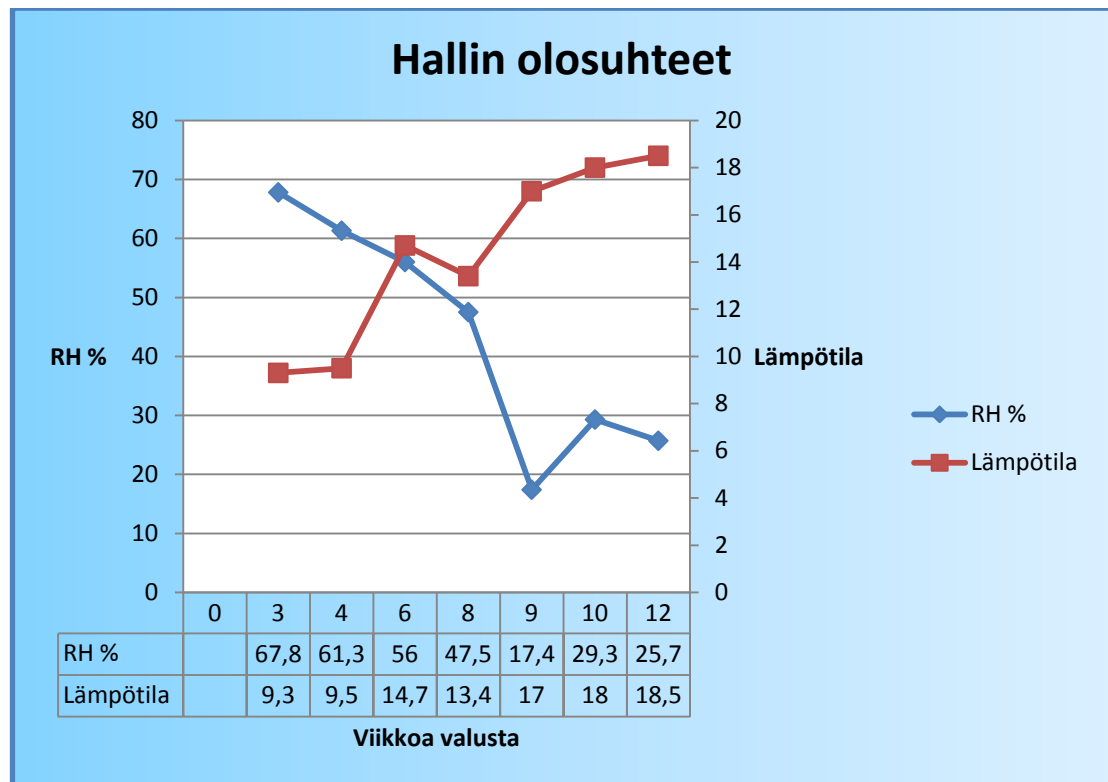
Taulukko 14. Vesihöyrypitoisuudet

		Vesihöyrypitoisuus											
		NP [g/m <sup>3</sup> ]		NK [g/m <sup>3</sup> ]		HT [g/m <sup>3</sup> ]		HTS [g/m <sup>3</sup> ]		Rak.Bet [g/m <sup>3</sup> ]		Halli [g/m <sup>3</sup> ]	
Mittausp äi- vämmäärä	viikkoa valusta	Vaisala	Simap	Vaisala	Simap	Vaisala	Simap	Vaisala	Simap	Vaisala	Simap	Vaisala	
2.1.2012	3 (5)	8,4		8,5		8,7		8,2		8,8		6,1	
9.1.2012	4 (6)	8,5	8,4	8,5	8,5	8,8	8,6	8,1	7,7	8,8	8,7	5,6	
23.1.2012	6 (8)	11,5	10,5	10,0	10,8	10,5	10,3	9,0	9,1	11,8	10,6	7,1	
2.2.2012	8 (10)	10,8	9,4	8,9	10,2	10,0	10,1	8,3	8,7	11,7	10,5	5,6	
13.2.2012	9 (11)	14,6	15,5	15,9	14,4	13,0	12,9	10,4	10,9	15,9	15,4	2,5	
20.2.2012	10 (12)	12,9	14,6	13,4	12,8	12,6	12,9	9,7	10,4	14,0	14,1	4,5	
5.3.2012	12 (14)	14,0	15,5	13,9	14,9	13,3	14,6	10,4	11,5	14,9	16,8	4,1	

## 7.2 Tulosten tarkastelu

### Hallin olosuhteet

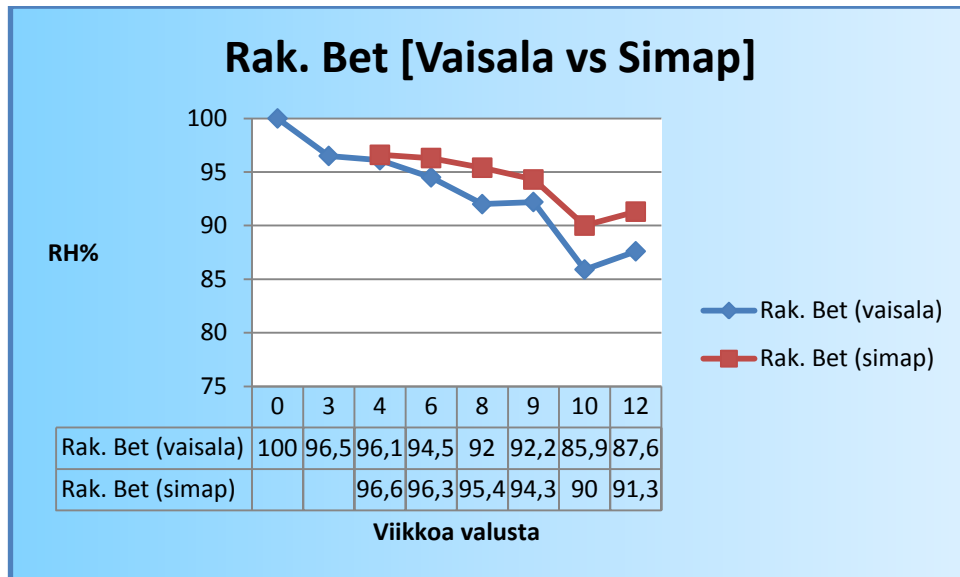
Hallin olosuhteet olivat haastavat ja itsestäni riippumattomat. Laattojen paikat vaihtelivat kesken mittausjakson, koska tehtaan työntekijät oli otettava huomioon. Tuloksista on kuitenkin huomattavissa, että mittauksen alussa viikolla 3 lämpötila oli alhaalla ja siitä johtuen ilman suhteellinen kosteus korkea, joten betonin kuivuminen on hidasta, kuten tuloksista voi huomata. Viikolle 6 mentäessä voi huomata pienen lämpötilan nousun, joka johtuu siitä, että laatat laitettiin teltan sisään lämpöpatterin viereen. Viikon 9 alussa laatat siirrettiin hallin lämpimälle puolelle, joten lämpötila nousi ja vastoin RH % laski alle 20 %. Vaikka lämpötila pysyi hallissa samana viikolla 10, niin RH % nousi, koska ulkolämpötila laski viikossa -18,4 °C:sta -2 °C:een. Betonin kuivuminen on nopeampaa, mikäli lämpötila on korkea ja RH % sitä vastoin matala. Tämä on huomattavissa betonien kuivumistuloksissa. Olosuhteet jatkuivat mittauksen loppuun saakka lähes samanlaisina.



Kuvio 8. Hallin olosuhdekäyrät.

#### Normaalisti kovettuvan rakennebetonin RN C25/30 #16 S4

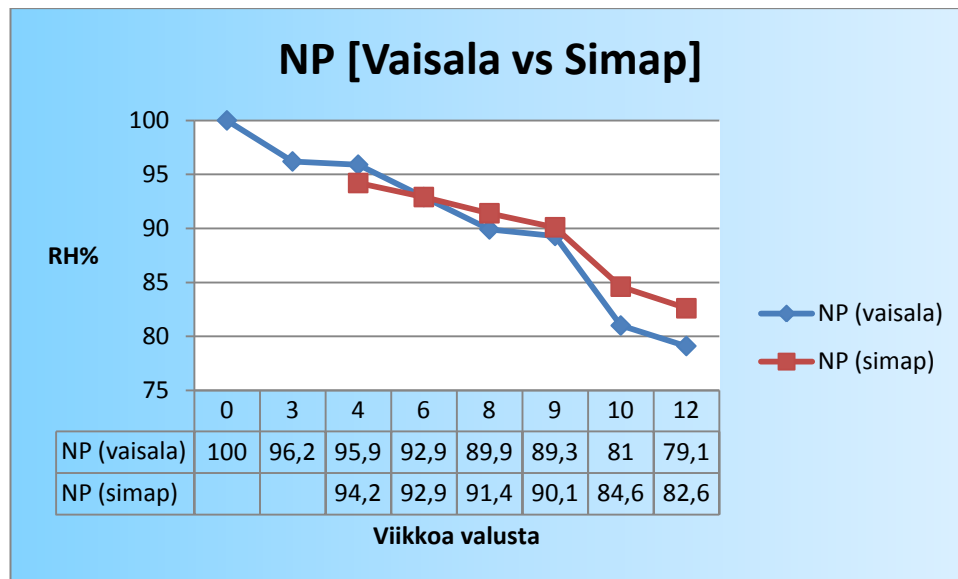
Rakennebetonin kuivuminen oli hitainta kaikista tutkittavista betonilaaduista, mikä voi johtua suurimmasta vesi-sementtisuhteesta ja pienimmästä ilmamäärästä (1,3 %). Vaisala-mittauksen tuloksissa viikon 3 ja 4 välillä ei tapahtunut juurikaan merkittävää kuivumista, mitä selittää hallin matala lämpötila sekä korkea RH %. Viikolla 4 sain ensimmäiset vertailutulokset Simapin ja Vaisalan mittapäiden välillä. Simapin antama tulos oli 1 %-yksikön suurempi kuin Vaisalan tulos. Seuraavan neljän viikon jakson aikana tein kaksi (viikon 6 ja 8) mittausta. Kahden viikon jakson aikana Vaisala tuloksissa RH % tippui noin 1,5 %-yksikköä viikkoa kohden kun taas simapin tuloksissa kuivumista oli tapahtunut vain vajaa 1 %-yksikkö kahta viikkoa kohden. Edellä mainitun viikon yhdeksän mittausaikana vuoksi kuvaajasta on huomattavissa raju betonin kuivuminen viikolle 10 mentäessä. Betoni kuivui noin 3 %-yksikköä viikossa. Viikon 10 mittauksessa laitteistojen välinen ero oli 4 %-yksikön luokkaa. Viikon 12 mittaustulosten perusteella betonin kuivuminen on pysähtynyt ja betoni on ottanut itseensä lisää kosteutta. Molempien mittaustulosten mukaan nousua on tapahtunut noin 1,5 %-yksikköä.



Kuvio 9. Rakennebetonin kuivumiskäyrät.

### Nopeammin päällystettävän betonin NP C25/30 #16 S4

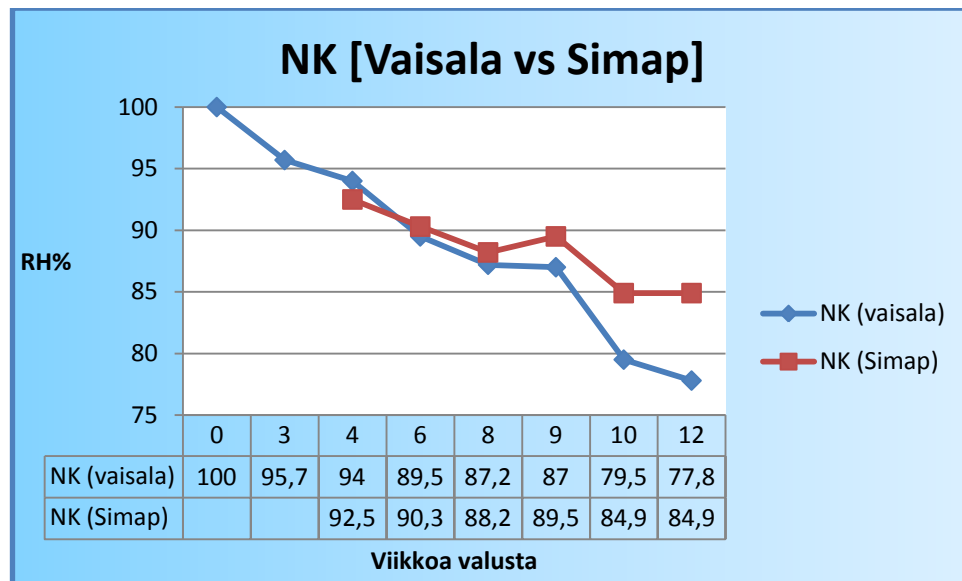
Np-Betonin kuivuminen oli toiseksi nopeinta mikä johtunee korkeasta ilmamäärästä (6,5 %) ja pienemmästä vesi-sementtisuhteesta kuin normaaleilla rakennebetoneilla. Kuten rakennebetonin niin myös Np-betonin kuivuminen tapahtui ensimmäisten viikkojen aikana hitaasti huonojen olosuhteiden takia. Viikon 4 ensimmäiset vertailutulokset poikkesivat noin 1,5 %-yksikköä toisistaan, mutta siitä eteenpäin viikolle 10 saakka tulokset kulkivat parhaiten käsi kädessä toisiinsa nähden pois lukien HTS hybridivälipohja, jonka kuivuminen tapahtuu hieman erilailla kerroksellisuuden takia. Viikon 6 mittausulos on täysin sama molemmissa mittalaitteissa. Vaisala mittaus tuloksissa kuivumista tapahtuu noin 1,5 %-yksikköä viikossa kun taas Simapin mittauksissa kuivumista tapahtuu saman verran kahdessa viikossa. Viikon yhdeksän tulos on samansuuntainen kuin muissakin betonilaaduissa, eli kuivumista ei juuri tulosten perusteella tapahtunut. Viikolle 10 mentäessä kun kuivumisolosuhteet paranivat niin, kuivumista oli tapahtunut molempien mittareiden mukaan enemmän kuin aikaisemilla viikoilla, mikä johtunee korkeammasta hallin lämpötilasta sekä alemmasta RH %. Viikon kymmenen mittauksessa laitteistojen välinen ero oli kuitenkin reilut 3 %-yksikköä. Viikon 12 mittauksen perusteella kuivuminen jatkuu samaa rataa molempien laitteiden osalta ja tulosten välinen ero pysyy kutakuinkin samana.



Kuvio 10. Np-betonin kuivumiskäyrät.

#### **Erittäin nopeasti kuivuvan betonin NK C32/40 #16 S4**

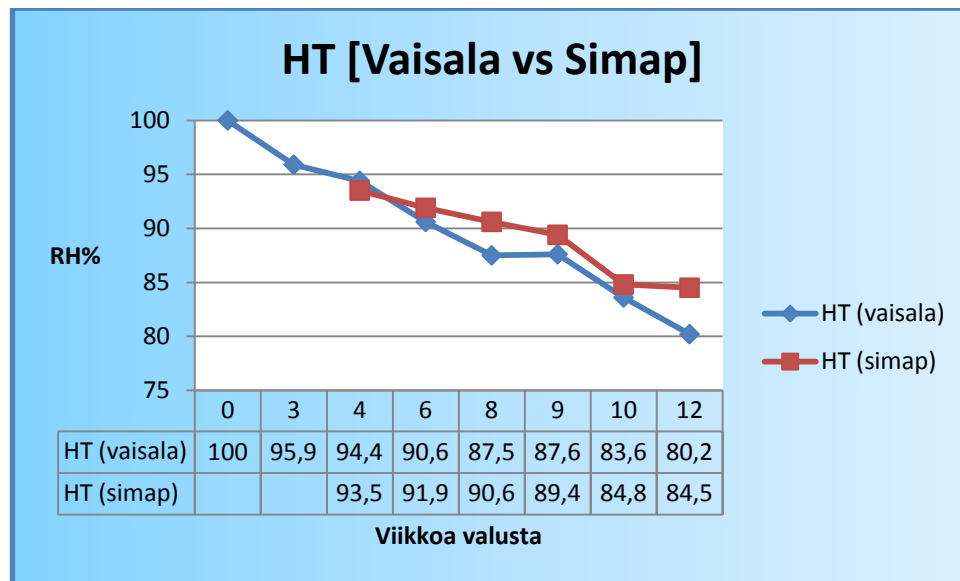
Nk-betoni on ominaisuuksiltaan sellainen, että sillä on kuivumiselle parhaat edellytykset. Nk-betonin vesi-sementtisuhde on pienin ja ilmamäärä toiseksi suurin (5,8 %). Ensimmäisten viikkojen kuivuminen oli, kuten arvata saattaa, hidasta myös erittäin nopeasti kuivuvan betonin osalta, mutta kuitenkin kuivuminen oli hieman nopeampaa verrattuna muihin betonilaatuihin. Viikon 4 ensimmäinen vertailu tulosten ero oli 1,5 %-yksikköä. Viikosta neljä eteenpäin tulokset olivat toiseksi lähimpänä toisiaan. Viikkojen 4–6 aikana, Vaisala tulosten perusteella Nk-betoni kuivui reilut 2 %-yksikköä viikossa kun taas Simap-laitteella mitattuna kuivumista tapahtui reilut 2 %-yksikköä kahdessa viikossa. Viikkojen 6–8 aikana, kuivumista tapahtui molempien mittaustulosten perusteella noin 2%-yksikköä. Viikon yhdeksän tulos on samansuuntainen kuin muissakin betonilaaduissa, eli kuivumista ei juuri tulosten perusteella tapahtunut. Viikolle 10 mentäessä Vaisala-mittarin mukaan betoni oli kuivunut 4 %-yksikköä viikossa kun taas Simapin mukaan 2 %-yksikköä viikko. Viikon 12 tulosista voidaan huomata, että Vaisala mittarin mukaan kuivumista on tapahtunut 2 %-yksikköä kahden viikon aikana ja puolestaan Simap mittarin perusteella kuivuminen on pysähtynyt.



Kuvio 11. Nk-betonin kuivumiskäyrät.

### HT Lattiabetonin C32/40 #16

HT-betonin vesi-sementtisuhde on toiseksi pienin, kuten myös ilmamäärä oli toiseksi pienin (2 %). Betoni kuivui toiseksi hitaimmin. Kuten muiden niin myös HT-betonin kuivuminen tapahtui ensimmäisten viikkojen aikana hitaasti huonojen olosuhteiden takia. Kuten aiemmissakin betoneissa ensimmäinen vertailu tulokset viikolta 4 poikkesivat toisistaan vähän yli 1 %-yksikköä, kuten myös viikolla 6. Kuten muissakin betonilaaduissa niin myös HT-betonin tulokset olivat sen suuntaisia, että Vaisala tulosten perusteella kuivumista tapahtui kahden viikon jaksoissa noin kaksi kertaa nopeammin. Viikon yhdeksän tulos on samansuuntainen kuin muissakin betonilaaduissa, eli kuivumista ei juuri tulosten perusteella tapahtunut. Viikolle 10 mentäessä Vaisala mittarin mukaan betoni oli kuivunut 2 %-yksikköä viikossa kun taas Simapin mukaan 3 %-yksikköä viikossa. Tämä oli hieman poikkeava tulos verrattuna muihin betoneihin, joissa viikolla 10 kuivuminen oli nopeampaa Vaisala mittarin mukaan. HT-betonilla kuten myös Nk-betonilla Vaisala mittarin mukaan kuivuminen on jatkunut, kun taas Simapin mukaan kuivumista ei ole tapahtunut.

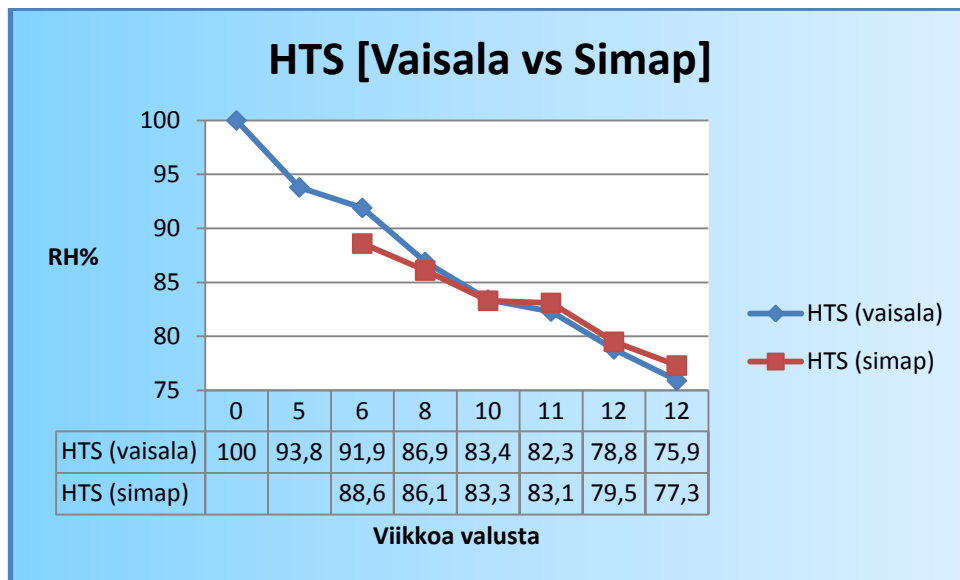


Kuvio 12. HT- betonin kuivumiskäyrät

### HTS Betonin C32/40 #16

HTS betoni laatussa minulla oli mittausanturit 70 mm syvyydessä, näiden lisäksi minulla oli yksi Vaisala mittapää myös 35 mm syvyydessä pintabetonissa. HTS-lattiabetoni ei reagoi niin nopeasti hallin olosuhteiden muutoksiin kuin muut betonit kerroksellisen rakenteensa ansiosta. HTS- betoni koostuu ontelolaatasta sekä 60mm pintavalusta. HTS- betonin ilmamäärä oli 2,9 % ja vesi-sementtisuhde sama kuin HT-betonilla. Tässä tapauksessa vertaan vain 70 mm tuloksia. Huomioitavaa on, että laatta on valettu kaksi viikkoa aiemmin kuin muut tutkimuslaatat, joten esim. 6 viikon tulos vastaa muissa laatoissa 4 viikon tulosta. Ensimmäisen viiden viikon aikana betoni on kuivunut noin 1,5 %-yksikön vauhdilla, joista kaksi ensimmäistä viikkoa se on kuivanut eri olosuhteissa kuin varsinaisessa tutkimuksessa ja ilman pintabetonia, joten kuivuminen on voinut olla nopeampaa alussa kuin 1,5 %-yksikköä viikossa. Ensimmäinen vertailutulos saatiin viikon 6 mittauksissa, jossa Simap antoi tulokseksi reilut 3 %-yksikköä alhaisemman tuloksen. Viikolle kahdeksan mennessä tulokset olivat lähes samat. Vaisalan mukaan laatta oli kuivunut 2,5 %-yksikköä viikkovauhtia ja Simapin mukaan vain reilut 1,5 %-yksikköä viikossa. Viikolla kymmenen tulokset täsmäsivät jälleen ja kuivuminen oli yhden mukaista. Viikon 11 (9) tulos on samansuuntainen kuin muissakin betonilaaduissa, eli kuivumista ei juuri tulosten perusteella tapahtunut. Seuraavan kahden viikon jakson aikana laatta kuivui Vaisalan mukaan 4,6 %-yksikköä ja Simapin mukaan 3,6 %-yksikköä.

Tässä laatussa oli huomattavasti vähemmän laitteiden antamien tulosten välisiä eroja. HTS-betonin kuivuminen jatkui mittausten loppuun saakka yhtäläisenä molempien mittauslaitteiden osalta ja kuivumista tapahtui Vaisalan mukaan noin 3 %-yksikköä ja Simapin mukaan 2 %-yksikköä kahdessa viikossa.



Kuvio 13. HTS- betonin kuivumiskäyrät.

## 8 Pohdinta

Opinnäytetyö tavoitteena oli vertailla Lujabetoni Oy:n uuden Simap kosteusmittausjärjestelmän antamia betonin suhteellisen kosteuden arvoja yleisimmin käytössä olleiden Vaisala mittareiden tuloksiin.

Betonien kuivumisolosuhteiden ja mittauksessa tapahtuneiden mahdollisten virheiden takia, mittauslaitteiden välisiä eroja tuloksissa ilmeni vaihtelevasti. Mielestäni erot laitteiden välillä eivät olleet mahdottoman suuria missään betoni-laadussa. Pahimmillaankin eroa laitteiden välillä syntyi Erittäin nopeasti kuivuvan betonin viikon 10 mittauksessa (5,4 %-yksikköä). Tulokset olivat muuten mielestäni hyviä ja antavat paljon tietoa uuden laitteen käyttäytymisestä Lujabetoni Oy:lle. Vaikka eroja laitteiston välisissä tuloksissa ilmeni, niin mielestäni tärkeintä on, että molemmat laitteistot reagoivat muuttuviin olosuhteisiin samalla

tavalla. Molempien laitteiden osalta myös kuivumistrendi on samansuuntainen ja kuivuminen tapahtui samassa suhteessa, huolimatta siitä, että toisen laitteen mukaan betoni kuivuisikin hieman nopeammin.

Simap-kosteusmittausjärjestelmä on erittäin hyvä ja helpottaa huomattavasti kosteusmittaajan arkea. Simap-mittausjärjestelmän asentaminen onnistuu normaalin porareikämittausmenetelmän mukaan ja kun muistaa olla asentaessa huolellinen, niin mittausjärjestelmä hoitaa sen jälkeen kaiken. Tuloksia on helppo seurata tietokoneelta missä ja milloin vain Simap-valvomon kautta. Mielestäni kuitenkin olisi syytä tutkia Simap-laitteistoa vielä työmaa olosuhteissa tai olosuhteissa, joissa lämpötila pysyisi porareikämenetelmän asettamien vaatimusten sisällä. Olisin toivonut, että Simap-kosteudenmittaus anturille olisi ollut omat suojausputket, jotta olisin voinut varmistua siitä, että ne ovat juuri oikealla syvyydellä, ei kiinni betonissa eikä liikaa myöskään irti.

Opinnäytetyön tekeminen oli kiinnostavaa ja toimeksiantajan puolesta erittäin hyvin järjestetty. Kiitokset kuuluvat koko Lehmon tehtaan henkilökunnalle ja opinnäytetyön ohjaajani Perttu Ruuskalle, joka oli aktiivinen ja auttoi minua paljon työn alkuvaiheessa. Haluan kiittää myös Lujabetoni Oy:n kehityspäällikkö Tuomo Kovasta, joka oli mukana myös työn alkuvaiheissa.



## Lähteet

1. Korkeamäki, Tapio. Rakennusfysiikka lämpökuvaajalle. Kosteus. Hämeen ammattikorkeakoulu. Rakennuslaboratorio.  
<http://www.kuntoarviot.net/files/8047.pdf> 19.12.2011.
2. Betonitekniikan oppikirja BY 201. Viides, uudistettu painos. Suomen Betonitieto Oy. Helsinki. 2005.
3. Merikallio, Tarja. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Suomen Betonitieto Oy. Helsinki. 2002.
4. Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. Suomen betonitieto Oy. Helsinki. 2007.
5. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. RT 14-10675 ohjekortisto. Rakennustieto Oy. 1998.
6. Merikallio, T., Niemi, S. & Komonen, J. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteuden hallinta ja päällystäminen. Suomen Betonitieto Oy. Helsinki.

Taulukko 15. Vesihöyrinpainetaulukko.

<b>KOSTEUS</b>							
<b>Lämpö-tila</b>	<b>Suht.ko st.</b>	<b>ve-sih.pit vk</b>	<b>vesihöyrin paine</b>	<b>Lämpö-tila</b>	<b>Suht.k ost.</b>	<b>ve-sih.pit vk</b>	<b>vesihöyrin paine</b>
<b>t</b>	<b>RH-%</b>	<b>[g/m3]</b>	<b>pk [Pa]</b>	<b>t</b>	<b>RH-%</b>	<b>[g/m3]</b>	<b>pk [Pa]</b>
-20	100	0,88	102	6	100	7,31	941
-19	100	0,95	111	7	100	7,80	1008
-18	100	1,04	122	8	100	8,32	1079
-17	100	1,14	135	9	100	8,87	1154
-16	100	1,25	149	10	100	9,45	1234
-15	100	1,38	164	11	100	10,06	1318
-14	100	1,52	181	12	100	10,71	1408
-13	100	1,67	200	13	100	11,39	1502
-12	100	1,83	221	14	100	12,10	1603
-11	100	2,01	243	15	100	12,86	1708
-10	100	2,20	266	16	100	13,65	1820
-9	100	2,40	292	17	100	14,49	1939
-8	100	2,61	319	18	100	15,37	2064
-7	100	2,84	348	19	100	16,30	2197
-6	100	3,08	379	20	100	17,28	2337
-5	100	3,33	412	21	100	18,31	2484
-4	100	3,60	447	22	100	19,40	2640
-3	100	3,89	485	23	100	20,54	2805
-2	100	4,19	524	24	100	21,74	2979
-1	100	4,51	566	25	100	23,00	3162
0	100	4,85	611	26	100	24,32	3355
1	100	5,21	658	27	100	25,71	3559
2	100	5,58	708	28	100	27,17	3773
3	100	5,98	762	29	100	28,70	3999
4	100	6,40	818	30	100	30,31	4237
5	100	6,84	878	31	100	31,99	4487
				80	100	289,08	47084

**Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä (betonin****T: +15 – +20****°C) :[4.]**

1. Mittauspiste valitaan ottaen huomioon rakenneratkaisu, betonilaatu, päällystämateriaali ja olosuhteet.
2. Tarkistetaan betonin ja huonetilan lämpötila. Porareikämittauksessa betonin lämpötila tulisi olla lähellä rakenteen käyttölämpötilaa (yleensä noin +20 °C). Jos lämpötila poikkeaa edellä mainitusta yli 5 °C, mittaus tulee tehdä näytepalamenetelmällä.
3. Varmistetaan, että olosuhteet mittauspisteen ympärillä pysyvät mittauksen aikana vakiona (porauksesta lukemienottoon). Yläpuolisen ilman ja rakenteessa olevan mittapään lämpötilaero ei saa olla yli 2 °C.
4. Varmistetaan, ettei mittauspisteen kohdalla ole sähkö- tai vesiputkia (esim. lattialämmityskaapeleita).
5. Selvitetään rakenneratkaisu (paksuus, kerroksellisuus) ja määritetään mittaussyvytykset. Muistettava maksimi mittaussyvyys, josta päällystettävyyssarvio tehdään (70mm).
6. Porataan reiät kuivamenetelmällä: kaksi rinnakkaista reikää arviointisyvyydelle ja lisäksi yksi lähemmäs pintaan 1-3cm:n syvyydelle.
7. Puhdistetaan reiät huolellisesti porauspölystä imurilla reikään mahtuvalla suuttimella.
8. Tiivistetään reiät sivuilta reiän pohjaan ulottuvalla putkella, joka on sivuiltaan umpinainen. Puhdistetaan putki imuroimalla se putkeen mahtuvalla suuttimella. Tiivistetään putken ja betonin rajakohta kitillä ja putken yläpää kitillä tai tulpalla.
9. Suojataan mittauspiste lämpötilavaihteluilta ja muilta häiriöiltä.
10. Annetaan reikien tasaantua vähintään 3 vuorokautta.
11. Varmistetaan, että mittapäät ovat kunnossa ja kalibroitu.
12. Annetaan mittapäiden tasaantua mittauspistettä ympäröiviin olosuhteisiin ennen reikään asennusta.
13. Asennetaan mittapäät reikiin nopeasti ja tiivistetään mittapään ja putken väli huolellisesti. Vaihtoehtoisesti mittapäät on voitu asentaa jo porausten yhteydessä, jolloin niiden tasaantumisaika on 3 vrk.
14. Annetaan mittapään tasaantua mittausreiässä riittävän pitkä aika. Tasaantumisaika riippuu mm. mittapäätyyppistä ja betonilaadusta. Betonimittauksissa

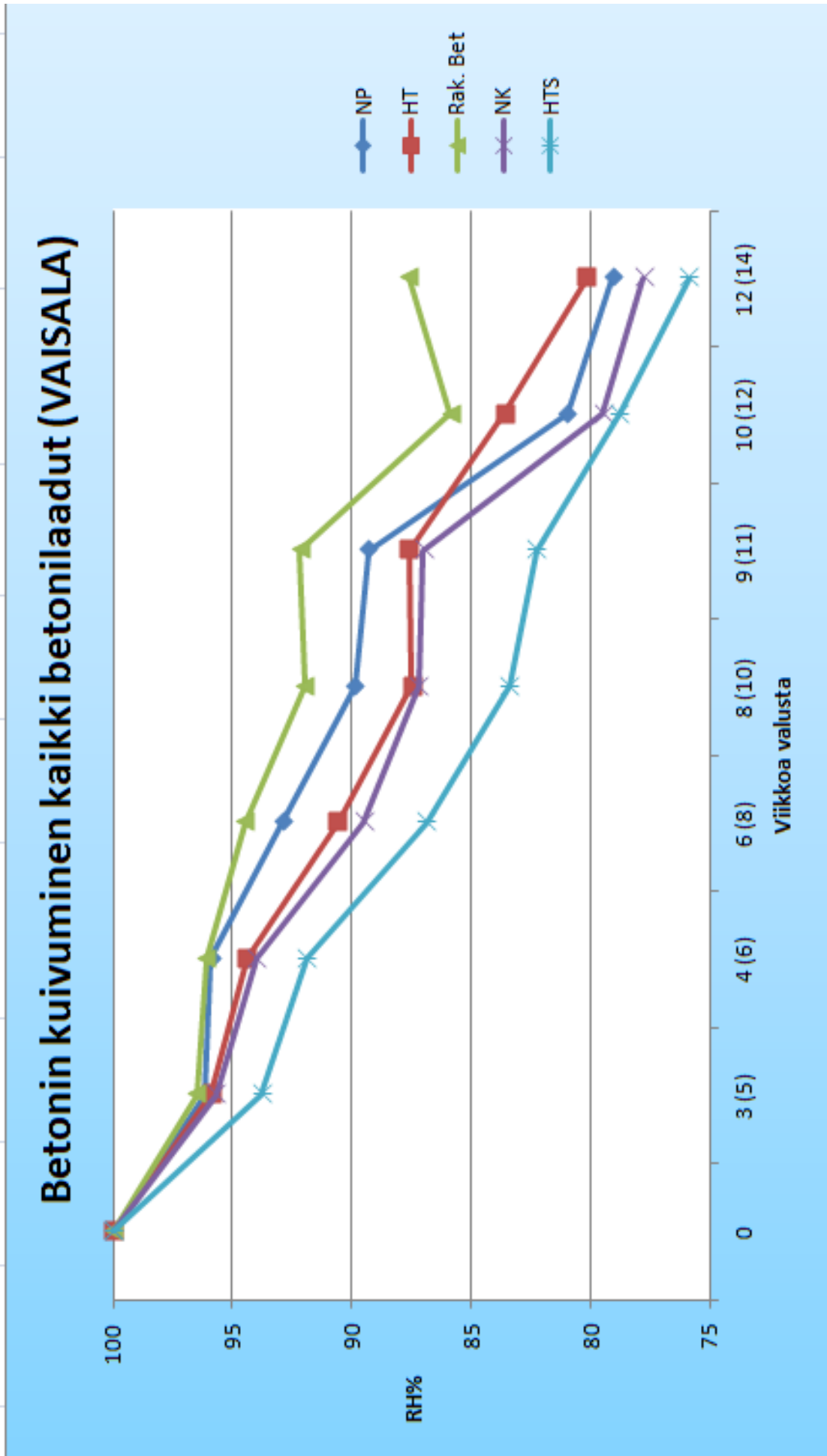
nopeimmatkin mittapäät vaativat vähintään tunnin tasaantumisaajan. Esim. Vaisala HMP44 vaatii tunnin tasaantumisaajan ja Vaisala HMP36, HMP46 neljän (4) tunnin tasaantumisaajan. Betonimittauksessa alle tunnin tasaantumisaika ei ole riittävä millään mittapäällä, koska vaadittava lisäys kosteusarvoon ei ole vakio 15. Kiinnitetään mittapää näyttölaitteeseen, luetaan suhteellinen kosteus RH ja lämpötila T sekä kirjataan arvot, mittapään numero, mittauspisteen sijainti ja mittausvyvyys. Mitataan myös huoneilman lämpötila ja suhteellinen kosteus ja kirjataan myös nämä arvot.

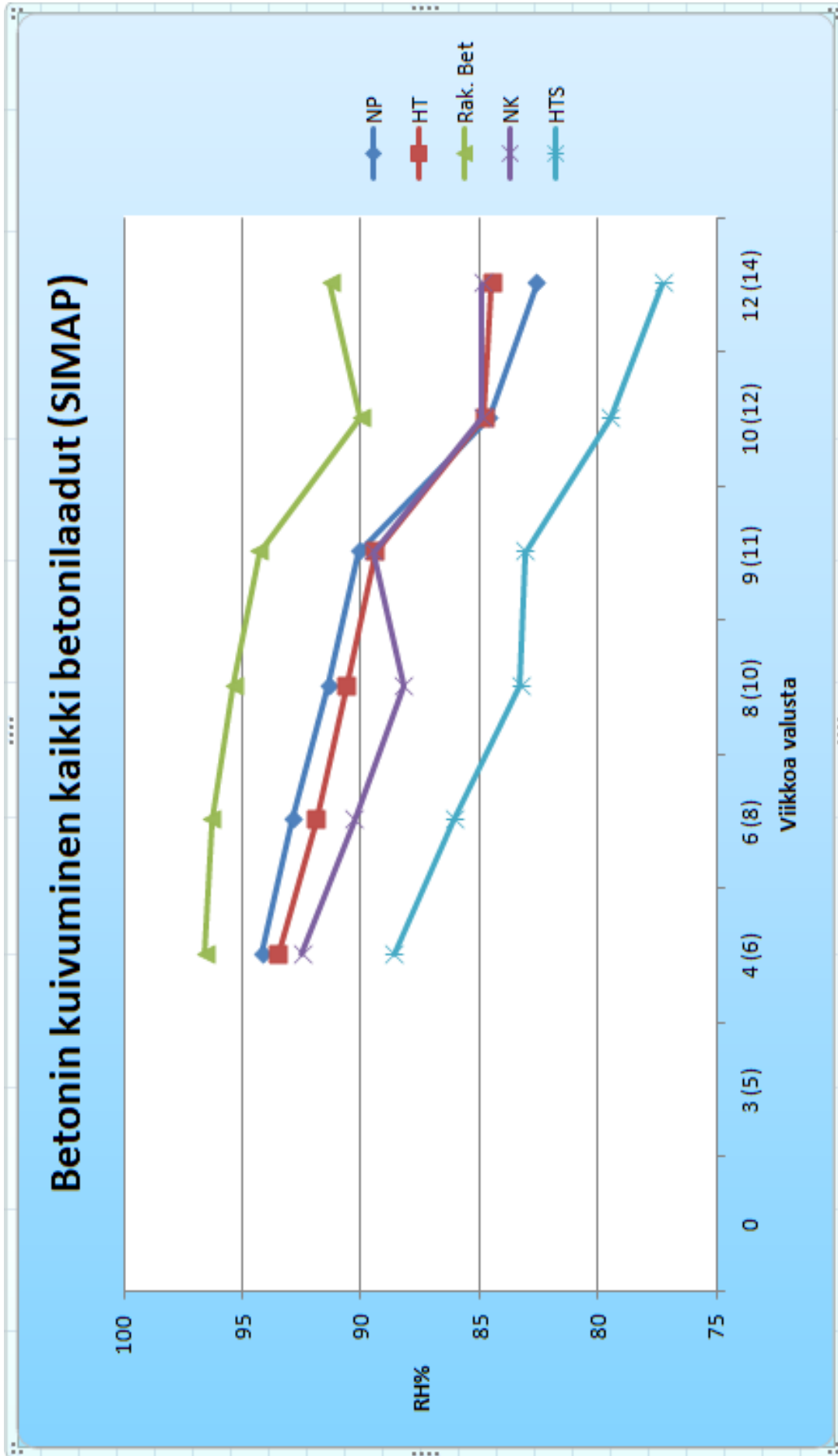
16. Mittauksesta tehdään raportti, josta ilmenevät tulosten ja johtopäätösten lisäksi, kuka mittauksen on tehnyt sekä milloin ja miten mittaus on tehty (tarkka menetelmäkuvaus mittauksesta, kuten porausajankohta, mittapään asennusajankohta, lukemienottoajankohta sekä mittapään kalibrointiajankohta).

**Betonin suhteellisen kosteuden mittaus näytepalamenetelmällä (betonin****T: -20 – +80****°C) :[4.]**

1. Mittauspiste valitaan ottaen huomioon rakenneratkaisu, betonilaatu, päällystemateriaali ja olosuhteet.
2. Varmistetaan, ettei mittauspisteen kohdalla ole sähkö- tai vesiputkia (esim. lattialämmityskaapeleita).
3. Selvitetään rakenneratkaisu (paksuus, kerroksellisuus) ja määritetään mittaussyvydet.
4. Tehdään betoniin kuivamenetelmällä (poraamalla ringi, piikkaamalla tai kuivaporauskuunulla) halkaisijaltaan 50–100 mm:n monttu, jonka suora pohja on noin 5 mm mittaussyvyttä ylempänä. Tällöin montun pohjalta irrotettavat muruset koostuvat betonista, joka on mittaussyvydellä ja siitä 5mm ylöspäin.
5. Montun pohjalta piikataan betoninäytteitä ja toteutunut mittaussyvyys tarkistetaan mittaamalla. Näytteet otetaan esimerkiksi lyöntimeisselillä tai taltalla. Näytemurusia ei oteta 5 mm:ä lähempää ringin porauksen/työstön sisäreunaa.
6. Imuroidaan koeputket putkeen mahtuvalla suuttimella. Laitetaan irrotetut betonikappaleet (ei porauspölyä eikä suuria runkoainerakeita) välittömästi koeputkeen, jonka halkaisija on yleensä n. 20 mm yhdessä suhteellisen kosteuden mittapään (esim. Vaisala HMP44) kanssa ja suljetaan putken suu tiiviisti kitillä. Murusten koko tulisi olla mahdollisimman suuri koeputken kokoon nähden varsinkin kuumalla betonilla. Näytteitä otetaan samasta mittaussyvydestä vähintään kaksi koeputkellista. Näytemäärä putkessa tulee olla vähintään kolmasosa putken vapaasta tilavuudesta, jotta betonipalojen sisällä oleva kosteus (RH) varmuudella tasapainottuu putken ilmatilaan. Mittaus voidaan tehdä minkä lämpöisestä betonista tahansa missä tahansa ilmankosteudessa. Putkien ja mittapäiden tulee tasaantua mittauskohdassa vallitseviin olosuhteisiin ennen mittauksen aloitusta.
7. Koeputket siirretään vakiolämpötilaan (yleensä +20 °C) tasaantumaan mittapään tasaantumisajasta riippuen 5-10 tunniksi. Kuljetuksen aikana koeputkien tulee olla suojattuja lämpötilamuutoksilta (kuljetus esimerkiksi lämpölaukussa). Mikäli betonin näytteenottohetkiset lämpötilat poikkeavat oleellisesti normaalista, tulee tasaantumisaikaa pidentää. Myös lujemmilla betoneilla tulee käyttää pidempää tasaantumisaikaa.

8. Tasaantumisen jälkeen kirjataan ylös mittapään tiedot, kosteus (RH %) ja lämpötila (T). Aina kirjataan myös mittaussyvyydet ja mittauskohta.
9. Mittauksesta tehdään raportti, josta ilmenevät tulosten ja johtopäätösten lisäksi, kuka mittauksen on tehnyt sekä milloin ja miten mittaus on tehty (tarkka menetelmäkuvaus mittauksesta, kuten porausajankohta, mittapään asennusajankohta, lukemienottoajankohta sekä mittapään kalibrointiajankohta).









## SiMAP® Tech

### SiMAP-lämpötila- ja kosteusantureiden tekniset tiedot

#### Yleiset

✓ Aseteltava mittaus-/lähetysaikaavali	Off, 60...65 000 s
✓ Lähettimen RF-taajuusalue	433 MHz
✓ Pariston kesto 10 min mittausväliillä	10 vuotta
✓ Pariston tyyppi	AA 3,6V 2,4Ah
✓ Paino pariston kanssa	60 g
✓ Mitat	56 x 18 x 71 mm
✓ Datan tallennus anturin muistiin, 10 min mittaus	8 viikkoa
✓ Kotelon materiaali	Muovi ABS
✓ Kotelointiluokka	IP20

#### Tyypikohtaiset:

##### Temp - lämpötila-anturi

✓ Mittaus-/toimintalämpötila-alue	0...+60 °C
✓ Mittaustarkkuus	± 0,3 °C

##### ExtTemp - ulkoinen lämpötila-anturi

✓ Ulkoinen anturielementti	2 x PT1000
✓ Ulkoisen anturielementin liitäntä-johdon pituus	2 x 1,5 m
✓ Ulkoisen anturielementin liitin	3,5 mm stereoplugi
✓ Lämpötila-alue, ulkoinen anturielementti	- 40...+130 °C
✓ Lämpötila-alue, anturimoduuli	0...+60 °C
✓ Mittaustarkkuus	± 0,5 °C

##### Hum - kosteusanturi

✓ Mittausalue, suhteellinen kosteus	0...100 %RH	20...80 %RH
✓ Mittaustarkkuus, suhteellinen kosteus	± 5 %	± 3 %
✓ Mittaus-/toimintalämpötila-alue	0...+60 °C	
✓ Mittaustarkkuus, lämpötila	± 1,0 °C	

##### ExtHum - rakennekosteusanturi

✓ Ulkoinen anturielementti, mitat	5,5 x 35 mm	
✓ Ulkoisen anturielementin liitäntä-johdon pituus	0,4 m	
✓ Mittausalue, suhteellinen kosteus	0...100 %RH	20...80 %RH
✓ Mittaustarkkuus, suhteellinen kosteus	± 5 %	± 3 %
✓ Lämpötila-alue, ulkoinen anturielementti	- 30...+90 °C	
✓ Lämpötila-alue, anturimoduuli	0...+60 °C	
✓ Mittaustarkkuus, lämpötila	± 2,0 °C	

## TEKNISET TIEDOT

### HMP44-MITTAPÄÄ

#### SUHTEELLINEN KOSTEUS

Mittausalue	0...100 %RH
Tarkkuus	
0...90 %RH	±2 %RH
90...100 %RH	±3 %RH
Tyypillinen pitkäajan stabiilius ilmassa	< 1 %RH/vuosi
Vasteaika (90%)+20°C:ssa liikkumattomassa ilmassa	15 s
Kosteusanturi	HUMICAP® 180

#### LÄMPÖTILA

Mittausalue	-20...+60 °C
Tarkkuus +20 °C:ssa	±0,4 °C
Lämpötila-anturi	Pt 1000 IEC 751 1/3 Class B

#### YLEISTÄ

Elektroniikan käyttölämpötila-alue	-40...+60 °C
Mittapään halkaisija	12 mm
Mittapään pituus	69 mm
Kaupelin pituus	300 mm
Anturin suojaus	kalvosuojin 17039HM
Porareian halkaisija	16 mm
Mittausryvyys	min. 30 mm max. 90 mm

### HMI41-NÄYTTÖLAITE

Näyttölaitteen aiheuttama enimmäisvirhe +20 °C:ssa	
kosteus	±0,1 %RH
lämpötila	±0,1 °C
Mittaustulosten tallentaminen	
Laskennallisuuat	kastepisteliämpötila, absoluuttinen kosteus, märkälämpötila, sekoitusuhde
Erätelukyky	0,1 %RH; 0,1 °C
Tehonlähde	4 paristoa, tyyppi IEC LR 6
Paristojen käyttöaika (alkaliparistoille)	72 h jatkuvassa käytössä
Käyttölämpötila-alue	-20...+60 °C
Käyttökoosteusalue	0...100 %RH kasteeton
Varastointilämpötila-alue	-40...+70 °C
Näyttö	kahden rivin nesteikidenäyttö
Kotelon materiaali	ABS muovi
Kotelon luokitus	IP 53 (liittimet suojattuna)
Paino (sis. paristot)	300 g

Muita HMI41-näyttölaitteen kanssa rakennekosteuden mittaamiseen käytettäviä mittapäitä:

HMP42	235 mm mittapää, halkaisija 4 mm
HMP44L	kuin HMP44, mutta 2700 mm kaapelilla
HMP46	320 mm mittapää, halkaisija 12 mm

Täyttää EMC-standardit EN50081-1 ja EN50082-2.

HUMICAP® on Vaisalan rekisteröity tuotenimi. Oikeus  
muutoksen ilmentämiseen pidätetään.  
© Vaisala Oyj



#### Asennusesimerkki

