

Kalle Lukkarila

BETONILAADUN VAIKUTUS KUIVUMISAIKAAN ERI RAKENTEISSA

BETONILAADUN VAIKUTUS KUIVUMISAIKAAN ERI RAKENTEISSA

Kalle Lukkarila
Opinnäytetyö
Syksy 2020
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, tuotantotekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Kalle Lukkarila
Opinnäytetyön nimi: Betonilaadun vaikutus kuivumisaikaan eri rakenteissa
Työn ohjaaja: Raimo Hannila
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2020
Sivumäärä: 29 + 1

Betonirakenteiden kuivuminen on tahdistava tekijä rakennustyömailla ja määrittää aikataulut monelle tulevalle työvaiheelle. Sen vuoksi kuivumisen halutaan tapahtuvan mahdollisimman nopeasti. Rakenteen kuivumiseen vaikuttavat monet tekijät, kuten betonin laatu, ilmasto-olosuhteet ja pintojen hionta.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Lujabetoni Oy:n tarjoamien eri betonilaatujen kuivumista erilaisissa rakenteissa ja selvittää yrityksen tarjoaman kosteuden seurantajärjestelmän luotettavuutta. Tarkoituksena oli löytää kuivumisen kannalta paras betonilaatu ja perehtyä siihen, miten betonit kuivuvat, jos jostain syystä rakenteet pääsevät uudelleen kastumaan.

Tutkimuksessa valettiin eri tyyppisiä koelaattoja erilaisilla betonilaaduilla ja niiden kuivumista seurattiin Lujabetoni Oy:n tuotantohallissa. Tutkimukset ajoittuivat ajalle 12.11.2018-3.5.2019. Betonin kuivumiseen vaikuttavia hallin olosuhteita seurattiin tarkoitukseen sopivalla mittarilla.

Opinnäytetyössä saatiin mitattua eri betonilaaduille ja eri rakenteille kuivumisajat olosuhteet huomioiden. Työssä havaittiin, että Lujabetoni Oy:n tarjoama kosteuden seurantajärjestelmä on hyvin luotettava apuväline betonin kosteuden seurantaan. Tuloksista saadaan hyvä apu, kun asiakas tarvitsee apua betonilaadun valintaan kuivumisen näkökulmasta.

Asiasanat: betonin kuivuminen, kosteusmittaukset, kosteudenhallinta, paikallavalu rakenteet

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building Engineering

Author: Kalle Lukkarila

Title of thesis: Effect of Type of Concrete to Drying Time in Different Types of Concrete Slabs

Supervisor: Raimo Hannila

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2020

Number of pages: 29 + 1 appendix

Drying time of concrete is a synchronizing factor which affects many stages after it. That is why contractors want the drying process to happen as quickly as possible. There are many things that affect the drying of concrete like the type of the concrete used, weather conditions and grinding surfaces.

The goal of the thesis was to study the drying of the different types of concretes Lujabetoni Ltd offers in different cast-in-site structures. The purpose was to find the best type of concrete for drying as quickly as possible and to monitor how the drying would happen if the cast concrete later got wet again. The other goal was also to compare the reliability of Lujabetoni Ltd's own relative humidity monitoring system.

In the study different types of cast-in-situ slabs were cast with different types of concrete and monitored the drying process of them in Lujabetoni Ltd's production hall. The weather conditions of the production hall were monitored the whole time.

In the thesis the drying times for the different types of concrete in different types of cast-in-situ slabs were measured in these kinds of weather conditions. In the study it was found out that the Lujabetoni Ltd's relative humidity monitoring system is a reliable tool for monitoring concrete relative humidity. The results offer good help for the decision making when choosing the best concrete type for the fastest drying time.

Keywords: Drying of the concrete, Moisture measurements, cast-in-situ structures, Humidity management

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KOSTEUSMITTAUSMENETELMÄT JA BETONILAADUT	7
2.1	Mittausmenetelmät	7
2.1.1	Porareikämittaus	7
2.1.2	Näytepalamittaus	8
2.1.3	Pintakosteudenmittaus.....	9
2.1.4	Luja SmartConcrete	10
2.2	Rakentamisessa yleisimmin käytettävät betonilaadut.....	10
3	ERI BETONILAATUJEN JA RAKENTEIDEN KUIVUMISEN TUTKIMINEN.....	12
3.1	Tutkimuksessa käytetyt betonilaadut ja rakenteet	12
3.2	Betonilaatujen tutkimisen vaiheet	13
4	KOSTEUSMITTAUSTULOKSET	16
4.1	Hienolattiabetoni C25/30:n kuivumiskäyrät maanvaraiselle laatalle sekä välipohjalaatalle.....	17
4.2	Hienolattiabetoni C30/37:n kuivumiskäyrät maanvaraiselle laatalle sekä välipohjalaatalle.....	19
4.3	Nopeasti pinnoitettava betoni C30/37:n kuivumiskäyrät maanvaraiselle laatalle sekä välipohjalaatalle	21
4.4	Nopeasti kuivuva betoni C30/37:n kuivumiskäyrät maanvaraiselle laatalle sekä välipohjalaatalle.....	23
4.5	Nopeasti kuivuva betoni C35/45:n kuivumiskäyrät maanvaraiselle laatalle sekä välipohjalaatalle.....	25
5	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET	28
	LIITTEET	30

1 JOHDANTO

Rakennustyömaiden aikataulut ovat yleensä hyvin tiukat, ja betonista valettavat rakenteet vaativat aikaa kuivuakseen. Kuivumisaika tulee osata ottaa huomioon, kun aikataulutetaan työmaan eri työvaiheita. Betonin kuivuminen on merkittävässä osassa työmailla, koska se vaikuttaa aikatauluun ja näin myös työmaan kustannuksiin.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia tilaajana toimivan Lujabetoni Oy:n eri betonimassojen kuivumista eri rakenteissa sekä vertailla Lujabetonin oman mittausjärjestelmän luotettavuutta viralliseen mittaustapaan. Tavoitteena on, että työssä saatua tietoa voitaisiin käyttää apuna löytämään asiakkaalle sopiva betoni työkohteeseen ja edistää betonin kuivumisen seurantaa. Oman haasteensa työhön tuo koelaattojen säilytyspaikka, joka on Lujabetoni Oy:n betonituotehallissa, jossa lämpötila ja kosteus vaihtelevat suuresti viikoittain johtuen betonituotteiden tuotannosta.

Työssä keskitytään tutkimaan paikallavalettavan maanvaraisen- ja välipohjalaatan kuivumisaikaa erilaisilla betonilaaduilla sekä betonin suhteellisen kosteuden mittaukseen käytettäviä laitteita. Työssä tutkitaan myös sitä, miten välipohjalaatat kuivuvat uudestaan niiden päästyä kastumaan työmaalla. Lisäksi käydään läpi tärkeimpiä kosteuden mittaamismenetelmiä ja tavanomaisimpia betonimassoja. Sen jälkeen perehdytään kosteusmittauksen toteutukseen ja mittaustuloksiin. Lopuksi pohditaan Lujabetonin mittausjärjestelmän luotettavuutta tavanomaiseen porareikämittaukseen verraten.

2 KOSTEUSMITTAUSMENETELMÄT JA BETONILAADUT

2.1 Mittausmenetelmät

Betonirakenteen kosteutta mitataan yleensä siksi, että tiedettäisiin, milloin rakenne on turvallinen päälystää ilman kosteusvaurioiden riskiä. Päälysteiden valmistajat ilmoittavat kosteudelle raja-arvot, joiden alituttua rakenne voidaan turvallisesti päälystää. Mittauksia tehdessään mittaajan tulee tuntea mittausmenetelmät ja toimia laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti saadakseen totuudenmukaisia tuloksia. Väärin tehdyt mittaukset yleensä antavat vääränlaisia kosteusarvoja. (1, s. 5.)

Mittausmenetelmiä ja kosteusmittareita on hyvin erilaisia, ja jokaiselle mittarille on käyttökohteensa. Rakenteen suhteellista kosteutta voidaan mitata tarkoilla menetelmillä, joita ovat porareikämittaus ja näytepalamittaus, sekä suuntaa antavilla menetelmillä, joita ovat esimerkiksi pintakosteudenosoitin ja valuun valmiiksi asennettu mittausputki. (2.)

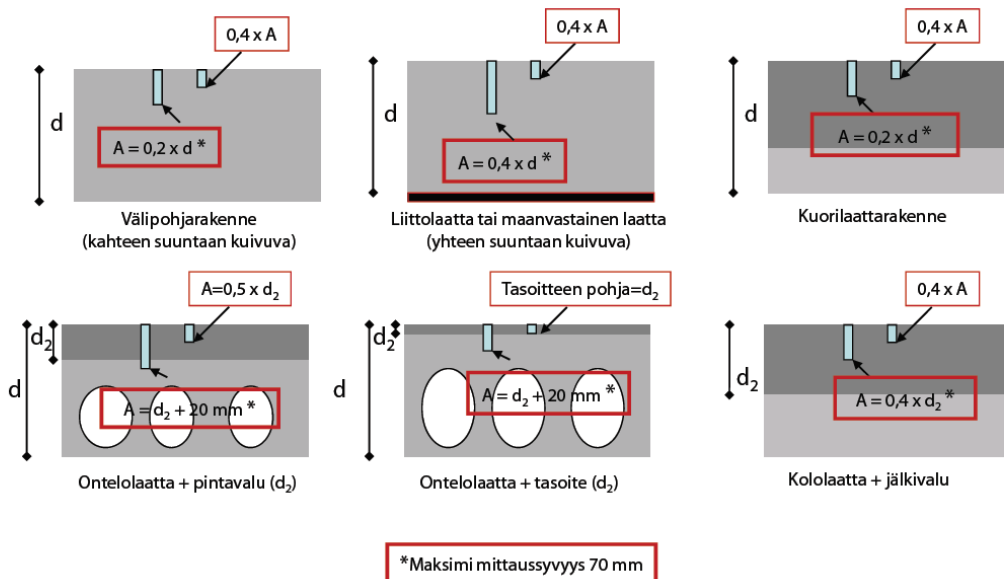
2.1.1 Porareikämittaus

Porareikämittauksessa rakenteeseen porataan reikä, josta mittapään avulla saadaan mitattua rakenteen suhteellinen kosteus. Mittareikä porataan rakenteen paksuudesta ja rakenneratkaisusta riippuen oikeaan syvyyteen. Porareikämittauksessa mittapää asetetaan porausreikään asennettuun varausputkeen, joka tiivistetään sivuilta ja päältä huolellisesti tarkoitukseen sopivalla kitillä. Mittapään tulee antaa olla putkessa määrätty aika, jotta suhteellinen kosteus mittaussyvyydellä vakiintuu ja saadaan oikea kosteuspitoisuus lukema. (1, s. 13.)

Porareikä porataan kuivamenetelmällä ja on yleensä halkaisijaltaan 16 millimetriä, johon mahtuu suoja-putki ja mittausanturi. Porareikä tulee olla millimetrin tarkuudella siinä syvyydessä, josta kosteuspitoisuus halutaan selvittää (kuva 1). Kuvassa yksi on esitetty eri rakenneratkaisuille mittaussyvyudet. Rakenteen arviointisyvyys (A) määräytyy rakenteen paksuuden (d) mukaisesti, ja maksimimittaussyvyys on 70 millimetriä. (2.)

Porareian poraukseen jälkeen reikä puhdistetaan huolellisesti porauspölystä, jotta se ei vaikuta mittaustuloksiin. Reiän puhdistaminen voidaan tehdä imurilla, jossa on sopiva suulake, tai paineilman avulla, jos se ei viilennä mittausreikää. Mittausputki painetaan reiän pohjalle, minkä jälkeen tiivistetään betonin ja mittausputken sauma vesihöyryntiivillä kitillä sekä putken pää. (2.)

Porauksen jälkeen reiän tulee tasaantua ainakin kolme vuorokautta ennen mittapään asentamista reikään, jotta kosteustasapaino reiässä on vakiintunut. Liian aikaisessa vaiheessa tehdyt mittaukset saattavat näyttää todellista korkeampia kosteuslukemia, koska porauksella poistetun materiaalin kosteus työntyy ympäristöön. Mittaajan tulee tietää käyttämänsä mittapään tasaantumisaika, joka riippuu muun muassa mittapäätypistä ja betonilaadusta. Mittapään tasaantumisaika reiässä on hyvän mittaustuloksen saamiseksi vähintään yksi tunti, mutta voi olla myös pidempikin. (2.)



KUVA 1. Mittausvyvydet eri rakenneratkaisuille rakennepaksuudesta riippuen (2)

2.1.2 Näytepalamittaus

Näytepalamittaus voidaan aina tehdä, ellei mittaustuloksia tarvita todella syvältä betonista. Näytepalamenetelmä on myös nopeampi ja varmempi kuin porareikämenetelmä, koska se ei ole niin riippuvainen työmaaolosuhteista. (1, s. 17.)

Näytepalojen otossa betoniin tehdään aluksi ympyräura, jonka halkaisija on 50 - 100 millimetriä, esimerkiksi kuivaporauskruunua käyttäen, ja mittaussyvyyden yläpuolinen betoni poistetaan. Rinki voidaan tehdä myös poraamalla terällä useita pienempiä reikiä, mutta menelmä on huomattavasti työläämpi. Kun kuopasta on poistettu ylimääräinen betoni, tarkistetaan sen syvyys. Tavoitesyvyys on noin viisi millimetriä haluttua mittaussyvyyttä ylempänä. (2.)

Varsinaiset näytepalat otetaan tavoitesyvyydestä esimerkiksi lyöntimeissiliä hyväksi käyttäen. Näytemursia ei kuitenkaan oteta viittä millimetriä lähempää työstön reunoja, jossa työstö on aiheuttanut betoniin kosteushäiriötä. Näytepalojen tulee olla mahdollisimman suuria koeputken kokoon nähden, ja niissä ei saa olla porauspölyä. Näytemäärän tulee olla vähintään kolmasosa koeputken tilavuudesta. (2.)

Näytepalat laitetaan mittausputkeen, minkä jälkeen putkeen asetetaan välittömästi mittapää ja putken pää tiivistetään vesihöyryntiiviillä kitillä. Koeputki siirretään +20 celsiusasteen vakiolämpötilaan tasaantumaan mittapään tasaantumisenajaksi, joka on yleensä 5 - 12 tuntia. Koeputkien siirron ja tasaantumisen aikana niiden tulee olla suojattuna lämpötilamuutoksilta. Riittävän tasaantumisaikan jälkeen kiinnitetään mittapää näyttölaitteeseen ja luetaan kosteuslukema. (2.)

2.1.3 Pintakosteudenmittaus

Pintakosteudensoittimella voidaan tutkia rakenteen kosteutta ilman, että rakennetta joudutaan rikkomaan. Pintakosteudensoitin ei varsinaisesti mittaa rakenteen kosteutta vaan sen mittaustapa perustuu rakenteen materiaalin sähköisiin ominaisuuksiin. Kyseinen menetelmä on kuitenkin vain parhaimmillaankin suuntaa antava ja eri mittauslaitteilla tehdyt tutkimustulokset eivät ole vertailukelpoisia. (3.)

Pintakosteudensoitinta voidaan käyttää apuna, kun halutaan esimerkiksi selvittää, onko joku rakenne mahdollisesti kastunut. Kosteudensoittimen tuloksia verrataan refenssikohteeseen, joka on todettu varmasti kuivaksi ja jossa on sama materiaaliyhdistelmä kuin tutkittavassa kohteessa. Mittausvirheisiin vaikuttavat ratkaisevasti rakenteessa olevat metalliosat, jotka vääristävät tulosta. Kyseinen mittaustapa ei siis ole riittävän tarkka betonin päällystettävyyden määrittämiseen. (3.)

2.1.4 Luja SmartConcrete

Luja SmartConcrete on Lujabetonin kehittämä anturijärjestelmä, joka mahdollistaa betonin suhteellisen kosteuden ja lämpötilan reaaliaikaisen seurannan pilvipalveluna. Mittauslaitteisto koostuu antenniyksiköstä, lähetinyksiköistä ja mitta-antureista. Luja SmartConcrete -anturien varausputket asennetaan haluttuihin mittauspisteisiin oikeaan syvyyteen rakenteen mukaan ennen betonivalun suorittamista. (4.)

Luja Smartconcrete mahdollistaa reaaliaikaisen seurannan lisäksi myös historiatietojen tallentamisen niin rakennusaikana kuin rakennuksen käytönkin aikana. Järjestelmän keräämien tietojen avulla ymmärretään rakenteen kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä ja näin voidaan nopeuttaa rakenteen kuivumista säätämällä ilmankosteutta, lämpötilaa ja ilmanvaihtuvuutta kohteessa. Luja SmartConcrete tuo varmuutta rakennuksen käyttäjille rakentamisen laadusta ja käytön aikana järjestelmä toimii vahtina kosteusongelmien varalle. (4.)

2.2 Rakentamisessa yleisimmin käytettävät betonilaadut

Tavallisimmin rakentamisessa käytetään normaalisti kovettuvaa rakennebetonia. Rakennebetoneja käytetään esimerkiksi anturoihin, seiniin, sokkeleihin, väli- ja yläpohjiin. Rakennebetonin notkeudet yleisimmin ovat S3 ja S4 sekä betoninlujuus vaihtelee C20/25:sta aina C50/60:een. Kiviaineksen yleisin suurin raekoko on 16 millimetriä, mutta myös kahdeksan ja 32 millimetrin raekokoja käytetään. Betonin nimellislujuus saavutetaan yleensä 28 vuorokauden iässä, mutta nopeasti kovettuvalla betonilla lujuus saavutetaan jo 7 vuorokauden ikäisenä. Tämä mahdollistaa nopeamman muottikierron, ja rakentamisen tahti säilyy myös talviolosuhteissa. (5.)

Normaaleilla betoneilla rakenteen kuivuminen kestää pitkään, jolloin pinnoitustöihin päästään hitaasti. Tähän ongelmaan on markkinoilla jo pitkän ajan ollut nopeammin päällystettävä betoni eli NP-betoni, jolla saadaan rakenne kuivumaan nopeampaa. Nopeammin päällystettävät betonit kuivuvat vähintään kaksi kertaa nopeammin kuin normaalit betonilaadut ja nopean kuivumisen lisäksi niiden varhaislujuuden kehitys on nopeampaa kuin normaaleilla laaduilla. Normaalilla

nopeamman kuivumisen vuoksi nopeammin kuivuvan betonilaadun kutistuma on normaalia betonia suurempaa. (6; 7)

Muutama vuosi sitten Lujabetoni on kehittänyt uudenlaisen nopeammin kuivuvan betonin eli NK-betonin, joka on vielä nopeampi kuivumaan kuin NP-betoni. NK-betoni kuivuu normaaliin betoniin verrattuna jopa 70 – 80 prosenttia nopeammin. NK-betoni on erikoisuhteitettua ja -lisäaineistettua betonilaatua. Tästä yhdistelmästä johtuen vesi pääsee haihtumaan kovettumisvaiheessa normaalia nopeammin ja lisäksi betonissa on vähemmän vapaata vettä. (8.)

3 ERI BETONILAATUJEN JA RAKENTEIDEN KUIVUMISEN TUTKIMINEN

Betonirakenteiden kuivumista seurattiin Oulun Lujabetonin tuotehallissa sijainneista koelaitoista. Betonilaatat valettiin kahtena eri päivänä 31.10.2018 ja 1.11.2018. Kosteusmittaukset suoritettiin välipohjalaatoista 12.11.2018–3.5.2019 ja maanvaraisista laatoista 12.11.2018–21.2.2019. Betonilaattojen kuivumista seurattiin Lujabetonin omalla Smartconcrete-kosteudenseurantajärjestelmällä (myöhemmin työssä LB-mittarit) ja Oulun ammattikorkeakoululta saaduilla kalibroituilla Vaisalan mittareilla. Mittaukset päästiin aloittamaan kaksi viikkoa valun jälkeen. Työn tavoitteena oli laatia eri betonilaatujen kuivumiskäyrät ja vertailla Lujabetonin mittareita porareikämittauksessa käytettäviin Oamk:lta saatuihin kalibroituihin Vaisala-mittareihin.

3.1 Tutkimuksessa käytetyt betonilaadut ja rakenteet

Kokeissa käytettiin viittä eri betonilaatua ja kahta eri rakennetyyppiä, joten koelaittoja tuli yhteensä kymmenen kappaletta. Laatoista viisi kappaletta oli 100 millimetriä vahvoja maanvaraisia yhteen suuntaan kuivuvia betonilaattoja, joiden alla oli 50 millimetrin vahvuinen eriste, ja loput viisi betonilaattaa olivat kahteen suuntaan kuivuvia 270 millimetriä vahvoja välipohjarakennelaattoja. Koelaitto valettiin valettiin trukkilavojen päälle tehtyihin muotteihin.

Käytetyt betonilaadut olivat hienolattiabetoni (LNH), nopeasti pinnoitettava betoni (NP) ja nopeasti kuivuva betoni (NK), joka on paranneltu versio tavallisesta NP-betonista. NP- ja NK-betonit sisältävät huokoistinta, jolla saadaan ilmahuokosia betoniin ja näin ollen parannettua betonin kuivumista. Taulukossa 1 on esitetty työssä käytettäville betonityypeille tavoitearvot.

TAULUKKO 1. Betonityypeille asetetut tavoitteet

Betonilaatu	Lujuusluokka	Tavoite ilma %	Notkeusluokka
LNH C25/30	C25/30	-	S4
LNH C30/37	C30/37	-	S4
NP C30/37	C30/37	4	S4
NK C30/37	C30/37	6	S4
NK C35/45	C35/45	7	S4

3.2 Betonilaatujen tutkimisen vaiheet

Tuoreesta betonista tehtiin vaadittavat kokeet betonilaaduittain. Kaikista betonilaaduista mitattiin lämpötila, standardin SFS-EN 12350-2 (10) mukaisesti painuma sekä huokostetuista massoista standardin SFS-EN 12350-7 (11) mukaisesti ilmamäärä. Samalla jokaisesta betonilaadusta valmistettiin seitsemän vuorokauden ikäinen puristuskoekappale 150 millimetrin kuutiomuottiin ja kaksi 28 vuorokauden ikäistä lieriökoekappaletta 150x300 millimetrin lieriömuottiin. Taulukosta 2 löytyvät tutkimuksessa käytettyjen betonien toteutuneet testaustulokset.

TAULUKKO 2. Tuoreen betonin testaustulokset

Betonilaatu	Lämpötila	Toteutunut ilmamäärä (%)	Painuma (millimetriä)
LNH C25/30	20,6	-	155
LNH C30/37	18,8	-	190
NP C30/37	22,6	4,5	200
NK C30/37	20,9	5,2	165
NK C35/45	26,7	6,4	170

Kuvassa 2 on huokoistetun C30/37 NP-betonin ilmamäärämittauksen tulos.



KUVA 2. Ilmamäärämittaus tuoreesta betonista ilmamäärämittarilla

Lujabetonin omat mittarit asetettiin varausputkiin, jotka asennetaan ennen valua paikalleen viralliseen arviointisyvyyteen. Kuvassa 3 näkyvät varausputket asennettuna valmiiseen muottiin ennen betonin valamista. Virallinen arviointisyvyys A määritetään kuvan 1 (sivulla 8) mukaisesti maanvaraiselle laatalle kaavalla 1 ja välipohjalaatalle kaavalla 2. Maanvaraisessa laataassa putkien keskikohta asetettiin 40 millimetrin ja välipohjalaatassa 54 millimetrin syvyyteen.

Arviointisyvyys maanvaraiselle laatalle lasketaan kaavalla 1 (2).

$$A = 0,4 * d$$

KAAVA 1

A = arviointisyvyys

d = rakenteen paksuus

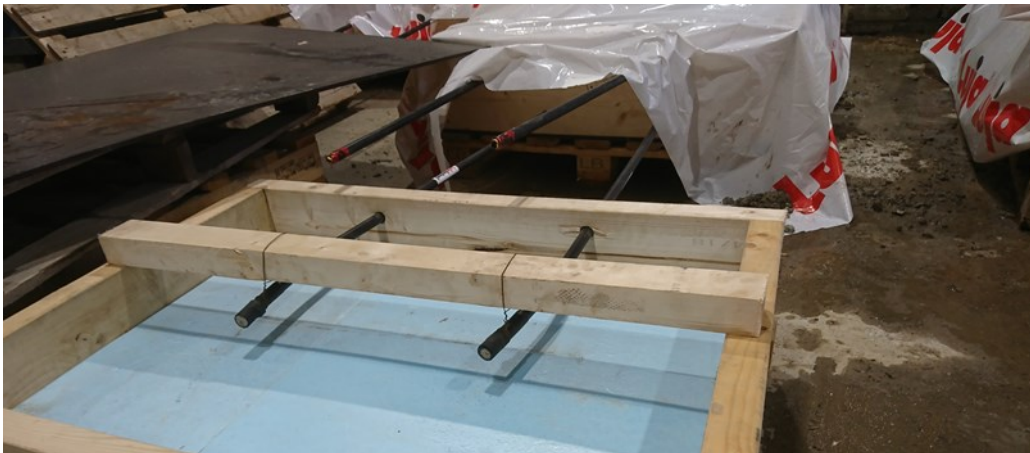
Arviointisyvyys välipohjalaatalle lasketaan kaavalla 2 (2).

$$A = 0,2 * d$$

KAAVA 2

A = arviointisyvyys

d = rakenteen paksuus



KUVA 3. Valukunnossa oleva maanvaraisenlaatan muotti ja Lujabetonin mittareiden varausputket

Kuvassa 4 näkyy valamisen jälkeinen tilanne, jossa vasemmalla olevassa maanvaraisessa laataassa varausputket ovat betonin sisässä ja oikealla olevassa välipohjalaatassa valutapahtuma on vielä kesken. Koelaatat valettiin kahtena peräkkäisenä päivänä ja valettujen laattojen päälle vedettiin muovihuput viikon ajaksi jälkihoidoksi, jonka tehtävä on estää laatan pinnan halkeilua.



KUVA 4. Betonin valaminen muotteihin

Viikon kuluttua valusta maanvaraisten laattojen pinta hiottiin auki, jotta betoni pääsee yhteensuuntaan kuivumaan. Välipohjalaatat purettiin muoteistaan ja nostettiin irti trukkilavasta, jotta laatat pääsevät kuivumaan kahteen suuntaan. Välipohjalaattojen kyljet kelmutettiin, jotta ne eivät pääse kuivumaan sivuiltaan (kuva 5).

Viiden vuorokauden kuluttua valusta koelaattoihin porattiin porareikämittausta varten reiät, jotka puhdistettiin ja tulpattiin oikealla tavalla ohjeen RT 14–10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittausta (2) mukaisesti (kuva 5). Reiät porattiin arviointisyvyyteen A maanvaraisiin laattoihin 40 millimetrin syvyyteen ja välipohjalaattoihin 54 millimetrin syvyyteen. Hallissa valinneaolosuhteita seurattiin Teston 174H -kosteusloggerilla. Loggerin tallentamat tiedot saatiin tuotua Exceliin, jossa niistä tehtiin kuvaajat hallin kosteudelle sekä lämpötilalle. Hallin kosteuden ja lämpötilan kuvaajat löytyvät liitteestä 1.



KUVA 5. Koelaatat siirrettynä säilytyspaikkaansa

4 KOSTEUSMITTAUSTULOKSET

Mittaukset aloitettiin kahden viikon kuluttua valusta ja kosteus mitattiin kerran viikossa kustakin betonilaatasta. Tulokset kerättiin Excel-taulukoon, josta tehtiin kuvaajat, joissa näkyvät kahden eri mittarin tulokset samalla hetkellä. Näin tuloksia pystytään vertailemaan. Yhden viikon ikäisinä maanvarasiten laattojen pinnat on hiottu auki kuivumisen nopeuttamiseksi.

Ensimmäisellä kosteusmittausviikolla, jolloin koelaatat olivat kahden viikon ikäisiä, LB-mittarit näyttivät huomattavasti matalampia kosteuspitoisuuksia kuin porareissä olevat Oamkin Vaisala-mittarit. Tästä johtuen laattoihin porattiin uudet porareitit ja LB-mittarit asetettiin niihin, jotta nähtäisiin, näyttäisivätkö mittarit samansuuruisia kosteuslukemia. LB-mittarit siirrettiin takaisin omiin putkiinsa viidennellä mittausviikolla. Tällöin saatiin varmuus siitä, että mittarit näyttävät lähelle samaa tulosta ainakin porareissä ja mittauksia voitiin jatkaa suunnitellusti.

Välipohjalaatoista haluttiin myös selvittää, miten eribetonilaadut lähtevät kuivumaan uudestaan, jos rakenne pääsee jostain syystä kastumaan työmaalla uudelleen. Laatat saivat kuivua kymmenen viikkoa, minkä jälkeen niitä alettiin kastella. Kastelulla simuloitiin tilannetta, jossa työmaalla holvi- tai lattiarakenne pääsee syystä tai toisesta kastumaan. Kastelua suoritettiin päivittäin kuuden viikon ajan, jolloin laattojen kosteuspitoisuudet saavuttivat halutut tasot. Tämän jälkeen laattojen kuivumista alettiin seurata uudelleen, tavoitteena oli nähdä, miten eribetonilaadut kuivuvat uudelleen kastuttuaan.

Kokeiden päätyttyä laatoissa olevien Lujabetonin varausputkien korko haluttiin tarkistaa, jotta saataisiin selville, mihin ne olivat oikeasti asettuneet ja olisiko tällä mahdollisia vaikutuksia LB-mittareiden tulosten eroavuuten porareikämittauksessa käytettyihin Oamkin Vaisala-mittareihin. Muutamassa laatassa varausputket olivat nousseet hiukan ylemmäs kuin ne alussa asetettiin, mistä voidaan päätellä, että mittaustuloksissa näkyvä ero voi osittain johtua tästä.

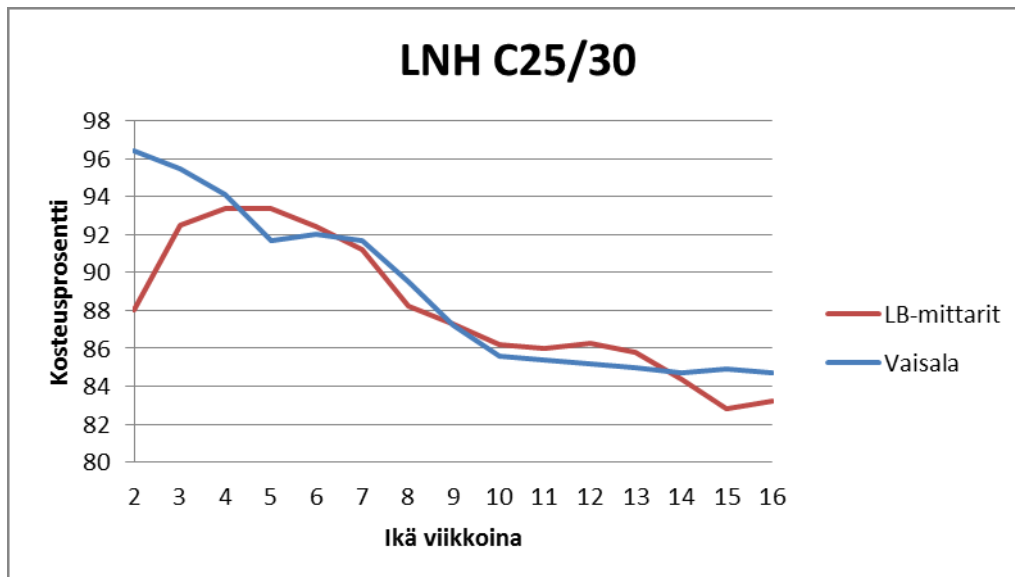
Luvuissa 4.1-4.5 käsitellään tutkimuksen tulokset eri betonilaaduille ja eri laatoille. Samalla verrataan LB-mittareiden tuloksia porareikämittauksessa käytettyihin Oamkin kalibroituihin Vaisala-mittareihin.

4.1 Hienolattiabetoni C25/30:n kuivumiskäyrät maanvaraiselle laatalle sekä välipohjalaatalle

Kuvassa 6 on esitetty 100 millimetriä paksun LNH C25/30:n maanvaraisen yhteensuuntaan kuivuvan laatan kuivuminen LB-mittarilla sekä Vaisalan mittarilla mitattuna. Kuten kuvaajasta voidaan havaita, näytti LB-mittari alussa matalampaa kosteuskokemaa kuin Oamkin mittari. Tämän johdosta laattaan päätettiin porata reikä LB-mittaria varten, jotta saatiin selville, näyttävätkö ne samaa tulosta porareikässä.

Viidennellä viikolla LB-mittari oli takaisin varausputkessaan, kun edeltävästä tuloksesta voitiin päätellä, että mittari näytti oikeaa arvoa. Viidennestä viikosta eteenpäin voidaan havaita, että LB-mittarin osoittama kosteuskokema on hyvin lähellä samaa kuin porareikämittauksella saatu tulos.

Kuvaajasta voidaan päätellä, että tavanomaisella betonilla menee kyseisissä olosuhteissa noin 14 viikkoa saavuttaa suhteellinen kosteus 85 prosenttia, joka on useille päällystemateriaaleille ja liimoille asetettu kosteuden raja-arvo. Kyseinen kuivumisaika on hyvin pitkä ja sitä voidaan parantaa hiukan tekemällä olosuhteista paremmat kuivumiselle. Kannattaa valita huokoistettu betoni, jos kuivumisesta halutaan selkeästi nopeampi.

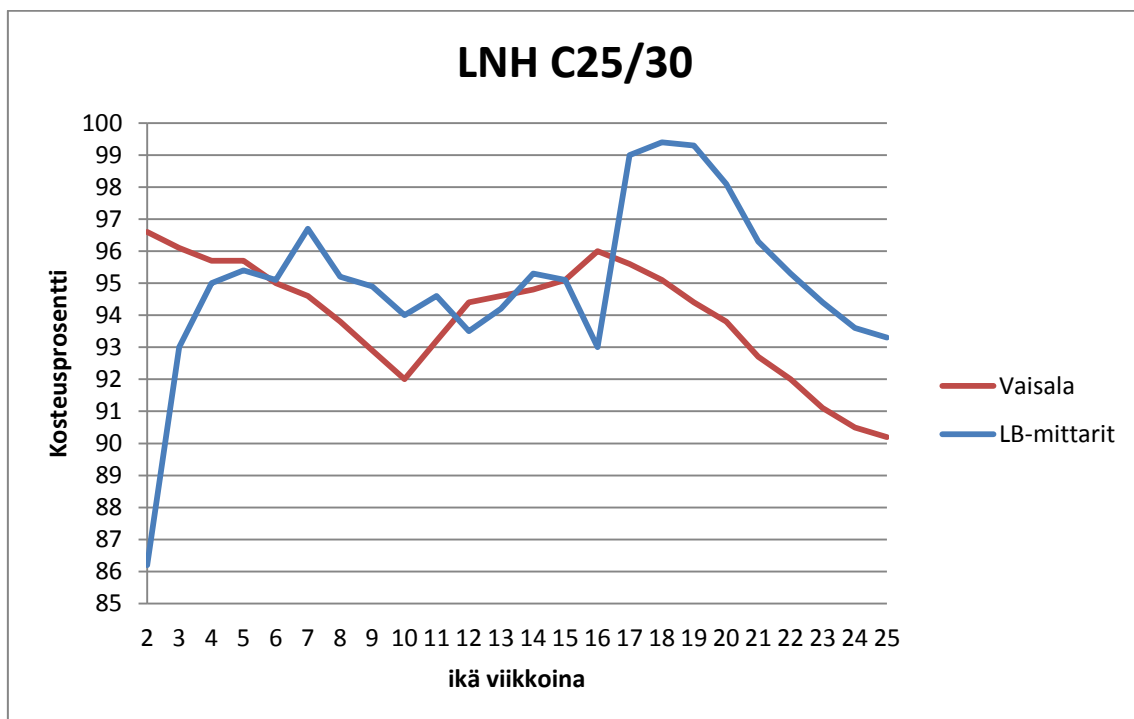


KUVA 6. Maanvaraisenlaatan kuivumiskäyrä sekä LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna

Kuvassa 7 on esitetty 270 millimetriä paksun LNH C25/30:n välipohjalaatan kuivuminen sekä LB-mittarilla että Oamkin Vaisala-mittarilla. Alussa laattaa porattiin reikä LB-mittaria varten, koska, kuten kuvasta voidaan havaita tulokset näyttivät hyvin erilaisilta.

Viidennellä viikolla LB-mittari oli siirrettyä takaisin varausputkeensa ja mittarit näyttivät hyvin lähelle samoja lukemia. Viikolla kymmenen otettiin viimeinen mittaustulos, jolloin laatta oli saavuttanut kyseisissä olosuhteissa suhteellisen kosteuden noin 93 prosenttia. Tämän jälkeen laattaa on kasteltu viikolle 16 saakka, minkä jälkeen laatan kuivumista alettiin seurata uudelleen. LB-mittari on havainnut korkeimmat arvonsa vasta viikoilla 17-19, mikä saattaa johtua siitä, että varausputki oli noussut hiukan ylemmäs kuin mihin se oli asetettu ennen valua.

Kuvasta 7 voidaan päätellä, että jos työmaalla on kiire aikataulu ei kannata valita välipohjaratkaisuun tavanomaista betonia, sillä kuivuminen kestäisi todella pitkään. Mittareiden välistä vertailua tehtäessä voidaan havaita, että LB-mittari on näyttänyt hyvin lähelle samoja arvoja kuin Vaisala-mittari. Kuitenkin lopussa kastelun päätyttyä LB-mittari on näyttänyt noin kolme prosenttiyksikköä suurempaa tulosta mittauksen päättymisen saakka. Molempien mittareiden mukaan betoni on kuitenkin kuivunut samaa vauhtia.



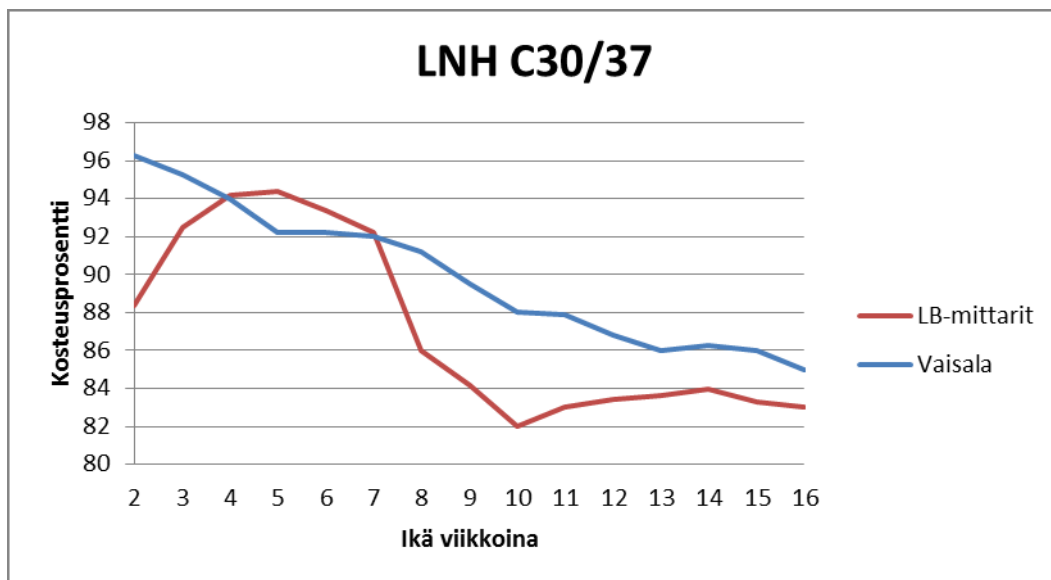
KUVA 7. Välipohjalaatan kuivumiskäyrä sekä LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna

4.2 Hienolattiabetoni C30/37:n kuivumiskäyrät maanvaraiselle laatalle sekä välipohjalaatalle

Kuvassa 8 on esitetty kuivumiskäyrä betonille LNH C30/37, joka on lujuusluokaltaan lujempaa betonia kuin luvussa 4.1 käsitelty LNH C25/30 -betoni. Kyseessä on 100 millimetriä vahva yhteen suuntaan kuivuva maanvarainen laatta.

Kuvaajasta voidaan tulkita, että kyseisissä olosuhteissa kyseinen betoni on saavuttanut suhteellisen kosteuden 85 prosenttia noin viikon 13 kohdalla. Tulos on hiukan parempi kuin alemman lujuusluokan betonilla, mutta ei mitenkään merkittävästi. Tästä voidaan päätellä, että pelkkä lujuusluokan nosto ei ole hirveän tehokas tapa nopeuttaa kuivumista.

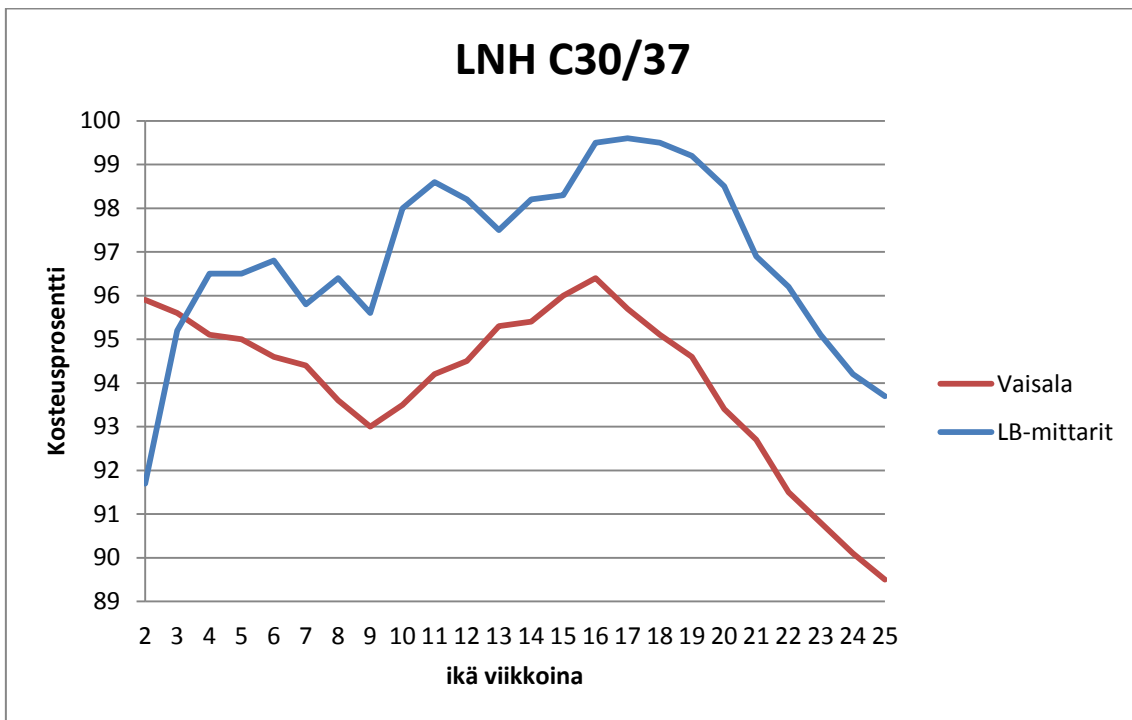
Mittareita verrattaessa huomataan, että LB-mittari on taas hiukan näyttänyt matalampia tuloksia kuin Oamkin Vaisala-mittari. Vaisala-mittarin näyttämä lukema on tasaisesti laskenut, mutta LB-mittari on kuivahtanut kovin nopeasti viikon seitsämän ja kymmenen välillä. Tulokset ovat kuitenkin muutaman prosenttiyksikön päässä toisistaan, joka ei kovin suuri eroavaisuus ole.



KUVA 8. Maanvaraisenlaatan kuivumiskäyrä sekä LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna

Kuvassa 9 on esitetty 270 millimetriä paksun välipohjalaatan kuivumiskäyrä LNH C30/37 -betonille. Välipohjalaatta on kahteen suuntaan kuivuva laatta. Kuvasta voidaan havaita viikolla yhdeksän matalin tulos ennen kuin laattaa on alettu kastelemaan. Viikolla 16 laatta on saavuttanut pisteen, jolloin kastelu on lopetettu ja tämän jälkeen laatan uudelleen kuivumista on alettu seuraamaan. Tuloksista voidaan nähdä, että lujuusluokan nosto ylemmäs ei välipohjalaatassakaan tuo juuri parannusta kuivumis nopeuteen

Alussa LB-mittarin antama tulos on ollut hyvin heittelevää, mutta pääsääntöisesti muutaman prosenttiyksikön päässä Oamkin Vaisala-mittarista. Tässä tapauksessa varausputki oli hieman noussut ylemmäs arviointisyvyydestä, johon putki oli asennettu ennen valua. Tämä selittää LB-mittareiden näyttämää korkeampaa kosteuslukemaa. Laatan kastelun lopettamisen jälkeen molempien mittareiden näyttämät kosteuslukemat ovat lähteneet tasaiseen laskuun ja mittareiden ero on ollut noin neljä prosenttiyksikköä.



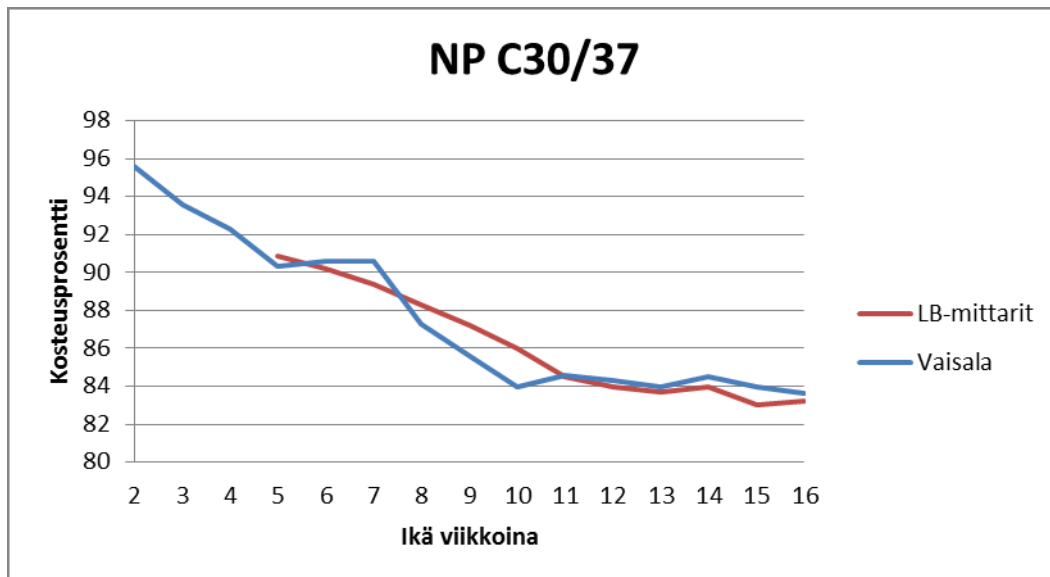
KUVA 9. Välipohjalaatan kuivumiskäyrä sekä LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna

4.3 Nopeasti pinnoitettava betoni C30/37:n kuivumiskäyrät maanvaraiselle laatalle sekä välipohjalaatalle

Kuvasta 10 voidaan tarkastella 100 millimetriä paksun NP C30/37:n yhteen suuntaan kuivuvan maanvaraisen laatan kuivumista. Maanvaraisen laatan pinta on hiottu yhden viikon ikäisenä auki, jotta se pääsee kuivumaan paremmin. NP-betoni on tarkastelussa ensimmäinen betoni, jossa on käytetty huokoistinta, jolla saadaan betoniin tuotettua ilmahuokosia, joka parantaa betonin kuivumista.

NP-betonilla valettu maanvarainen laatta on saavuttanut suhteellisen kosteuden 85 prosenttia noin yhdeksän viikon ikäisenä kyseisissä olosuhteissa. Tulos on huomattavasti parempi kuin vastaavissa olosuhteissa olevilla tavanomaisilla betoneilla, joilla vastaaviin lukemiin kesti päästä noin 13 viikkoa. Kyseinen betoni on jo kohtalaisen hyvä valinta, jos halutaan nopeampaa kuivumista.

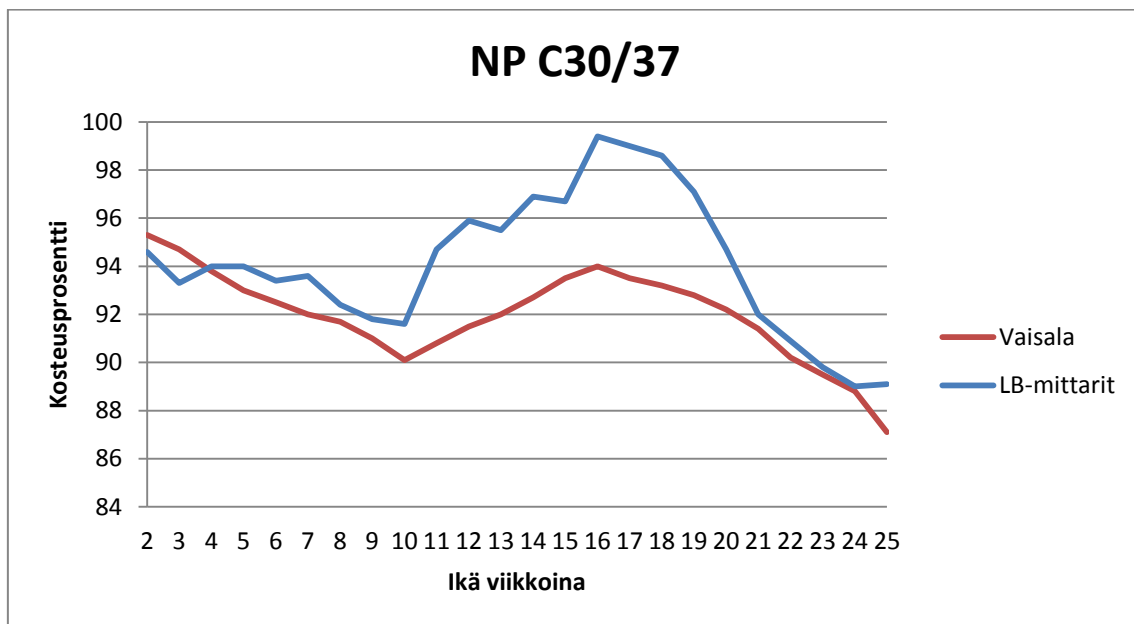
Mittareita vertaillen huomataan, että alusta LB-mittarilta puuttuu muutama tulos. Tämä johtuu siitä, että mittapään kiinnitettävä lähetin ei jostain syystä vain toiminut. LB-mittari ja Vaisala-mittari näyttävät lähes samaa tulosta koko tarkastelujakson ajan.



KUVA 10. Maanvaraisenlaatan kuivumiskäyrä sekä LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna

Kuvasta 11 voidaan tarkastella 270 millimetriä paksun välipohjalaatan kuivumiskäyrää. Välipohjalaatta on valettu NP C30/37 -betonilla. NP-betoni on huokoistettua betonia, jonka epäillään imevän itseensä paremmin vettä ja kuivuvan tästä johtuen uudelleen hitaammin kuin tavallisen betonin. Kuvasta voidaan havaita, että betonia on kymmenen kuivumis viikon jälkeen alettu kastelemaan, jolloin kosteusarvot ovat lähteneet nousemaan. Viikolla 16 on saavutettu korkein suhteellisen kosteuden lukema ja alettu seurata laatan uudelleen kuivumista. Laatta on lähtenyt oikein hyvin kuivumaan ja saavuttanut viikolla 25 lukeman, joka on pari prosenttiyksiköä pienempi kuin tavanomaisella betonilla tehdyllä välipohjalaatalla.

Mittareita verrattaessa huomataan, että alussa mittarit ovat näyttäneet hyvin lähelle samoja lukemia. Uudelleen kastelun yhteydessä LB-mittari on ruennut näyttämään hiukan korkeampaa laukemaa kuin porareiästä otettu mittaus. Varausputkenpää oli noussut ylemmäs kuin se oli ennen valua asetettu, mistä johtuen pintakosteus pääsi vaikuttamaan mittariin. Viimeisinä viikkoina tulokset tasoittuivat niin, että Vaisala-mittari sekä LB-mittari näyttivät lähes samaa tulosta.



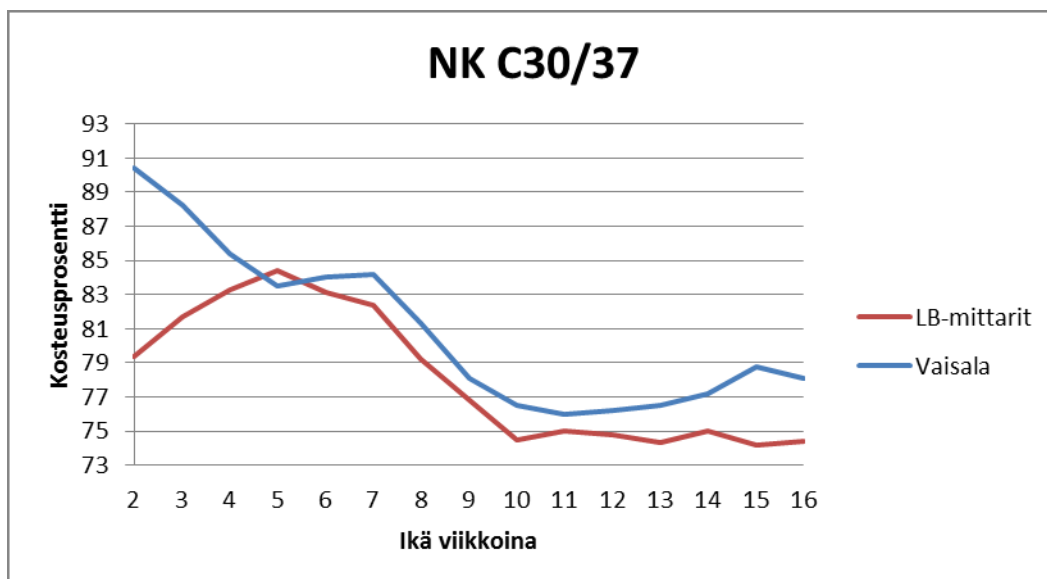
KUVA 11. Välipohjalaatan kuivumiskäyrä sekä LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna

4.4 Nopeasti kuivuva betoni C30/37:n kuivumiskäyrät maanvaraiselle laatalle sekä välipohjalaatalle

Kuvassa 12 on esitetty 100 millimetriä paksun NK C30/37 maanvaraisen laatan kuivumiskäyrät LB-mittarilla sekä Vaisala-mittarilla mitattuna. NK-betoni on jatkokehitetty versio suositusta NP-betonista, millä saadaan betonirakenteen kuivuminen tapahtumaan erittäin tehokkaasti.

Alussa LB-mittari ja Oamkin Vaisala-mittarit ovat näyttäneet eriäviä tuloksia, minkä johdosta laattaan porattiin uudet porareivät arviointisyvyyteen ja LB-mittari asetettiin putkeen. Neljännellä viikolla saatiin varmuus, että mittarit näyttävät lähes samoja arvoja ja LB-mittari siirrettiin takaisin varausputkeensa viikon viisi mittausta varten. Alun eroavaisuuksien jälkeen mittareiden tulokset alkoivat näyttää hyvin lähelle samaa lukemaa.

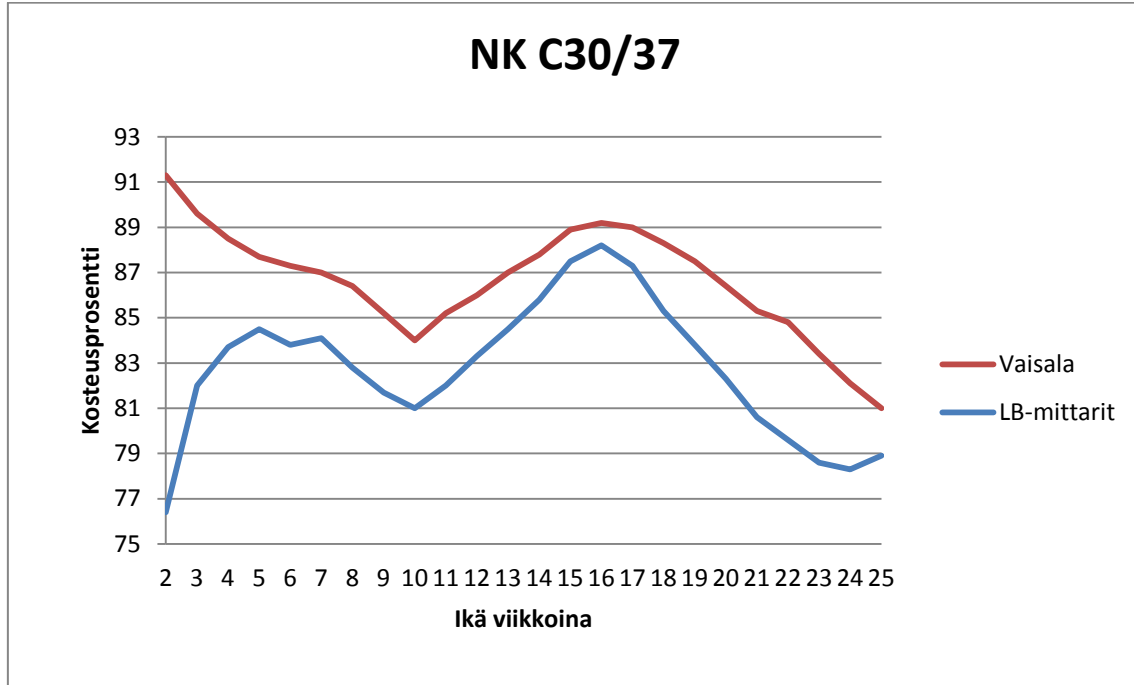
Kyseisissä olosuhteissa betoni on saavuttanut suhteellisen kosteuden 85 prosenttia noin viiden viikon ikäisenä. Tulos on todella paljon parempi kuin tavanomaisilla betoneilla tehty laatta ja paljon parempi kuin NP betonilla tehty laatta, jolla meni yhdeksän viikkoa saavuttaa kyseinen lukema. Kyseinen betoni onkin siis todella hyvä valinta, jos työmaalla on tavoitteena saada pinnoitustyöt aikaisin käyntiin. Viikolle 12 mentäessä hallissa vallitseva kosteus lähtenyt nousuun ja noussut sellaiselle tasolle, ettei betoni enään pystynyt luovuttamaan kosteuttaan sitä ympäröivään ilmaan.



KUVA 12. Maanvaraisenlaatan kuivumiskäyrä sekä LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna

Kuvassa 13 on esitetty 270 mm paksun NK C30/37 -välipohjalaatan kuivuminen LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna. Alussa olleiden mittareiden lukemien erojen vuoksi laattaa porattiin uusi porareikä, johon LB-mittari asettettiin siksi aikaa, että saatiin varmuus mittapäiden toimivuudesta ja siitä, että kyseessä oli vain varausputkesta johtuva ero. Mittareiden välinen ero on alkanut kaventua, joilloin päätettiin, että LB-mittari siirretään takaisin varausputkeensa. LB-mittarin ja Vaisalan mittarin ero on tarkastelujakson aikana pysynyt noin kolmessa prosenttiyksikössä, mikä on todella pieni eroavaisuus.

NK-betoni saavutti suhteellisen kosteuden arvon 84 prosenttia viikolla kymmenen kyseisissä olosuhteissa. Tämän jälkeen laattaa alettiin kastelemaan, jolla simuloitiin rakenteen uudelleen kastumista. Viikolla 16 laatan kastelu on loppunut ja samalla voidaan kuvasta 13 tulkita, että laatan korkein kosteusarvo saavutettu tuolloin. Huokoistetun massan oletettiin vaativan pitkän kuivumisen ennen kuin se pääsisi samoihin lukemiin, joissa se oli ollut ennen kastelua. Viikolla 23 saavutettiin ennen kastelua vallinnut kosteusarvo. Kuvaajasta voidaan tulkita, että kyseessä olevalla betonilla meni tähän vain seitsemän viikkoa.



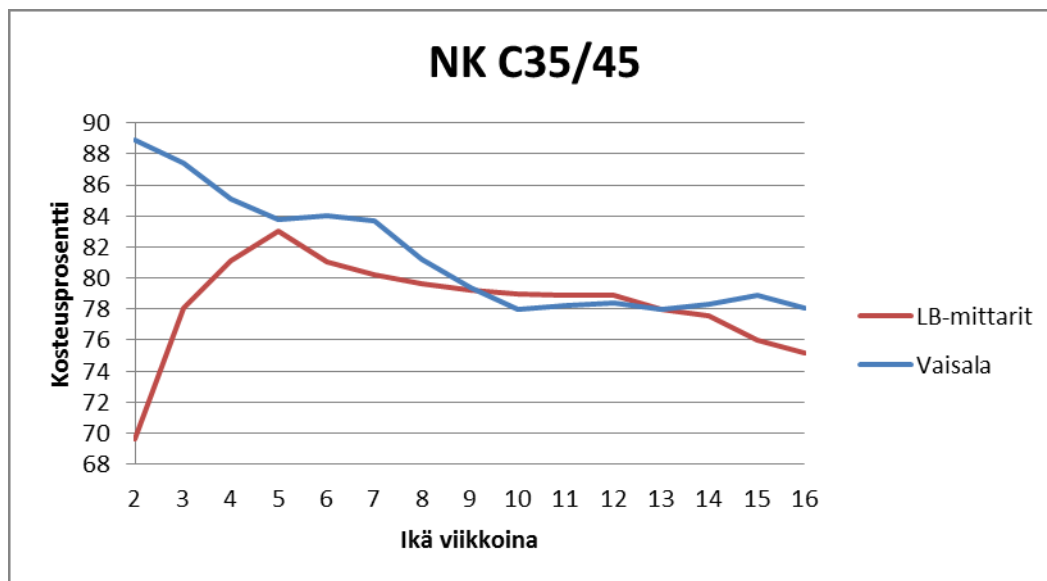
KUVA 13 Välipohjalaatan kuivumiskäyrä sekä LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna

4.5 Nopeasti kuivuva betoni C35/45:n kuivumiskäyrät maanvaraiselle laatalle sekä välipohjalaatalle

Kuvassa 14 on esitetty 100 mm paksun NK C35/45 valetun maanvaraisen laatan kuivumiskäyrät sekä LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna. NK C35/45 on edelleen jatkokehitetty betoni NK C30/37 betonista.

Kuvasta voidaan katsoa, että kyseinen NK-betoni on saavuttanut suhteellisen kosteuden arvon 85 prosenttia noin neljän viikon kuluttua valusta. Tulos on sama kuin luvussa 4.4 käsitellyllä NK C30/37 -betonilla, mikä on todella hyvä verrattaessa tavanomaisiin betoneihin. Kyseisissä olosuhteissa ei NK C35/45 kuitenkaan tarjoa enää apua kuivumisen nopeuttamiseksi.

Mittareiden välistä vertailua tehtäessä kuvasta voidaan katsoa, ettei alun muutaman viikon suuren eron jälkeen mittareiden näyttämien lukemien välillä ole kuin muutaman prosenttiyksikön ero.

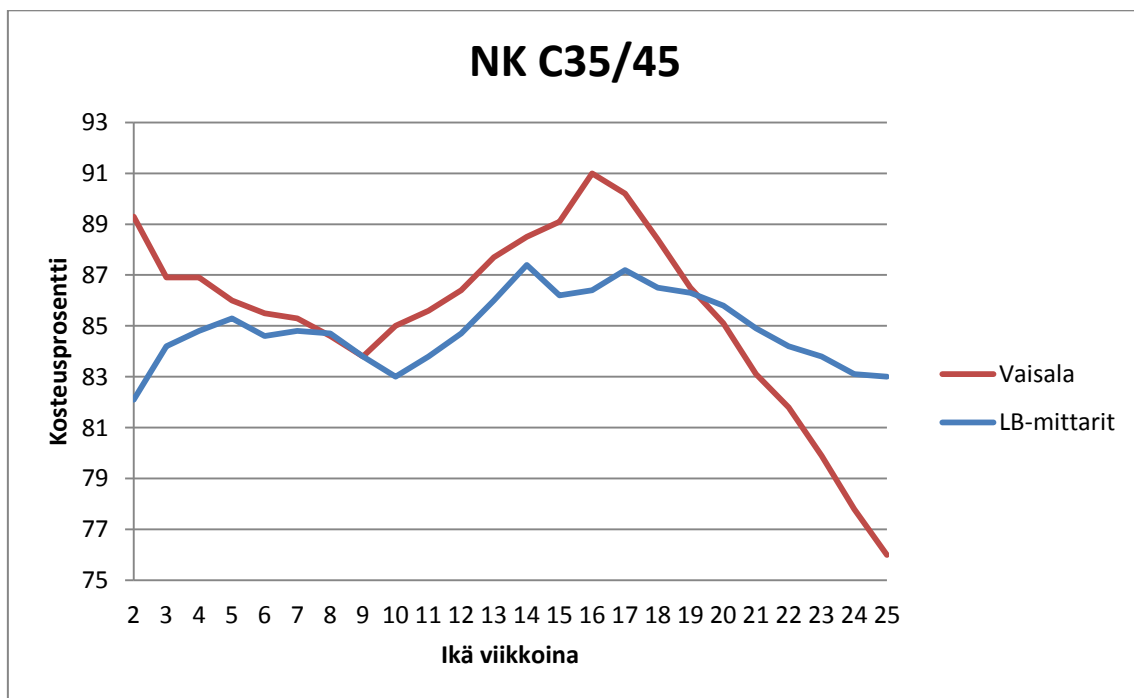


KUVA 14. Maanvaraisenlaatan kuivumiskäyrä sekä LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna

Kuvassa 15 on esitetty 270 millimetriä paksun NK C35/45 -betonilla valmistetun välipohjalaatan kuivumiskäyrät LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna. Kymmenen viikkoa valusta kuvasta voidaan tulkita, että betoni on saavuttanut suhteellisen kosteuden 85 prosenttia. Tämän jälkeen laattaa on alettu kastelemaan, jolloin kosteus on lähtenyt nousemaan. Viikolla 16 on

saavutettu kosteudelle korkein arvo ja alettu seuraamaan laatan uudelleen kuivumista. Olettamuksena on ollut, että huokoistettu betoni ei lähde kuivumaan helposti kastuttuaan uudelleen. Kuvasta voidaan katsoa, että viikolla 20 on saavutettu suhteellisen kosteudenarvo, joka oli saavutettu ennen kastelun aloitusta. Kyseisellä betonilla ei siis mennyt kuin neljä viikkoa kastelun lopetuksesta saavuttaa ennen kastelua vallinnut tilanne. Tämän voidaan katsoa kumoavan oletuksen, ettei huokoistettu betoni lähtisi kastumisen jälkeen enään hyvin kuivumaan.

Mittareiden vertailua tehtäessä voidaan havaita, että noin viikolle 14 asti mittareiden tulokset ovat olleet hyvin lähellä samoja. Viikosta 15 eteenpäin mittareiden ilmoittamat lukemat ovat alkaneet erota muutamalla prosenttiyksiköllä. Tarkastelujakson lopussa LB-mittarin ja Vaisala mittarin välinen ero on ollut jo seitsemän prosenttiyksikköä, mikä on jo merkittävä ero.



KUVA 15. Maanvaraisenlaatan kuivumiskäyrä sekä LB-mittarilla ja Oamkin Vaisala-mittarilla mitattuna

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä seurattiin viiden eri betonimassalaadun ja kahden eri rakennetyypin kuivumista Lujabetoni Oy:n betonituotehallissa. Työn avulla oli tarkoitus saada eri betonilaaduille kuivumiskäyrät, joita voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää myynnin apuna, sekä vertailla kahden eri mittausmenetelmän tuloksia keskenään. Hallin ilmasto-olosuhteita seurattiin koko kuivumismittauksen ajan.

Työssä saatiin selvitettyä kuivumiskäyrät eri betonilaaduille rakennetyypeittäin. Tärkeimpänä havaintona voidaan pitää sitä, että huokostetut massat kuivuvat nopeammin kuin tavalliset betonimassat. Epäilyksenä oli myös alkujaan, että uudelleen kastuttuaan huokostettujen massojen kuivuminen kestäisi pidempään kuin huokoistamattomien, mutta tämä ajatus osoittautui vääräksi.

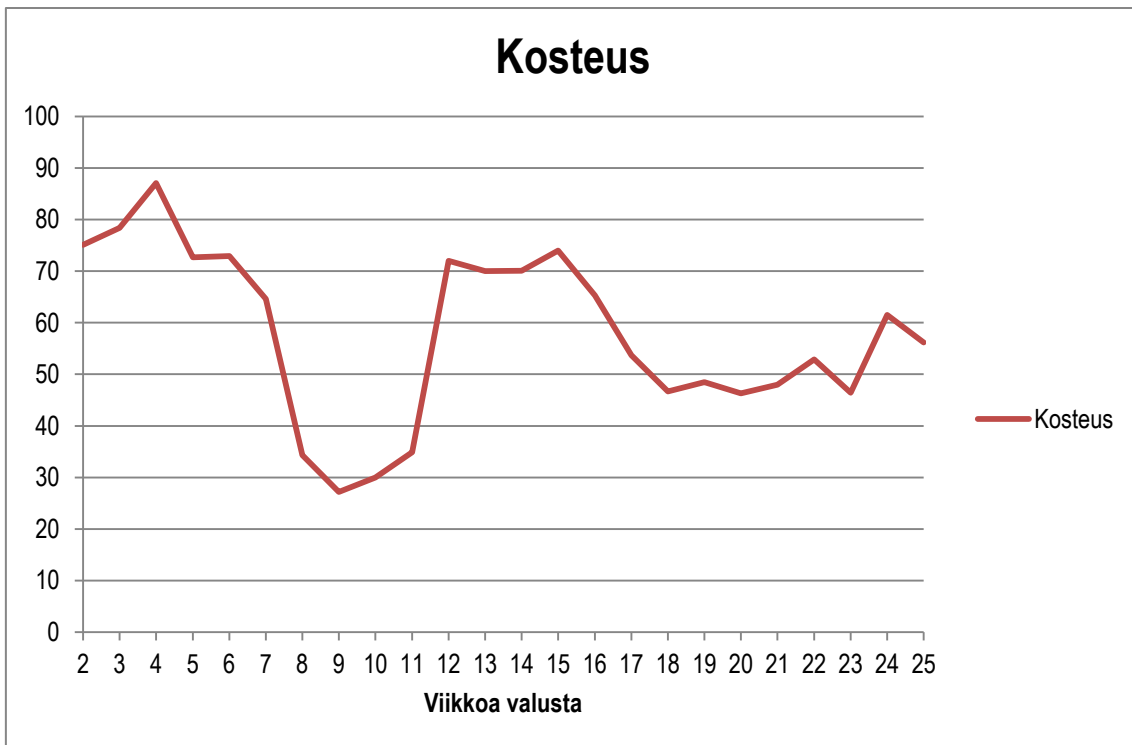
Verrattaessa Lujabetonin SmartConcrete-järjestelmää vertailussa porareikämittaukseen todettiin, että suoraan valuun asennettavan varausputken asettelussa tulee varmistua siitä, että varausputki jää oikeaan korkoon. Muussa tapauksessa mittarit saattavat näyttää vääränlaisia kosteuslukemia. SmartConcrete on kuitenkin oikein asennettuna hyvin lähellä virallista porareikämittausta, kuten tuloksista voidaan havaita, ja näin ollen toimii hyvänä apuna työmaan kosteushallinnassa.

Tulevaisuudessa olisi hyvä tutkia SmartConcrete-järjestelmän toimivuutta oikeassa kohteessa siten, että otettaisiin porareikämittaukset varausputkien lähettyviltä ja vertailtaisiin sitten mittaustapojen tuloksia keskenään.

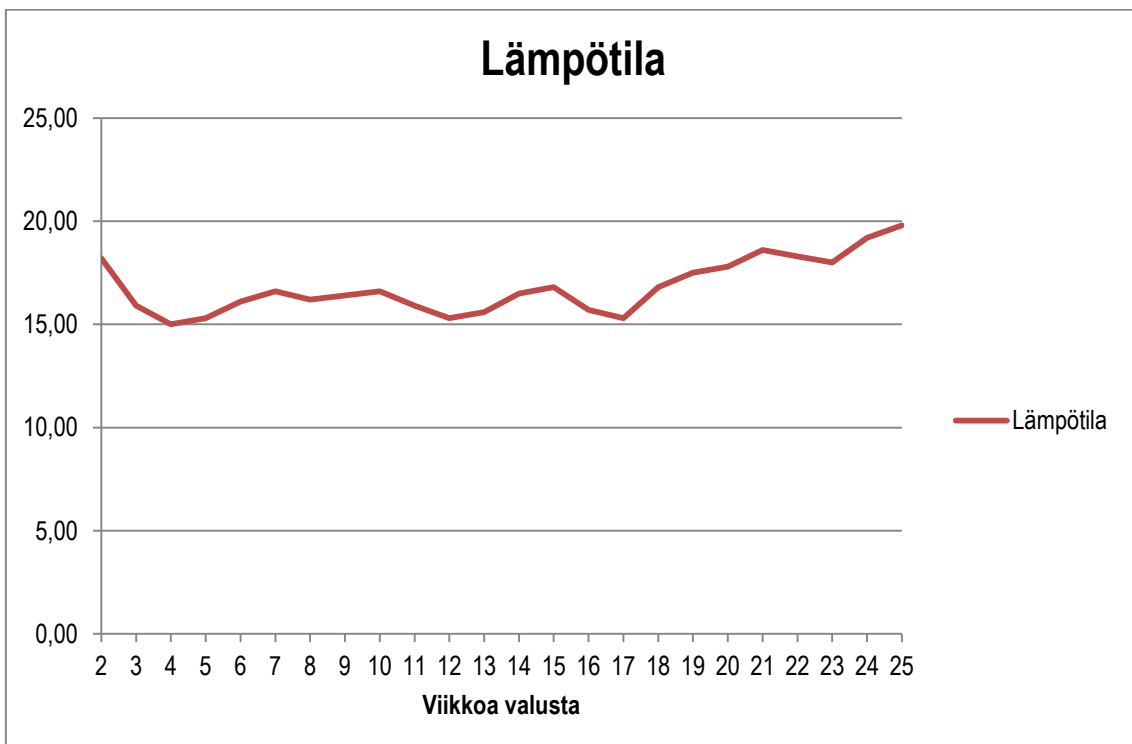
LÄHTEET

1. Merikallio, Tarja 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Jyväskylä: Suomen Betonitieto Oy.
2. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. Rakennustieto. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2014-10984>. Hakupäivä 2.4.2019.
3. Pintakosteudenosoittimen käyttö kosteusmittauksen tukena. Kosteusmittaus FI. Saatavissa: <https://kosteus-mittaus.fi/pintakosteudenosoittimen-kaytto-kosteusmittauksen-tukena/>. Hakupäivä 3.10.2020.
4. Lujabetoni SmartConcrete – esimerkillistä kosteudenhallintaa. Lujabetoni Oy. Saatavissa: <https://www.lujabetoni.fi/tuotteet/valmisbetonit/luja-smartconcrete/>. Hakupäivä 5.4.2020.
5. Rakentamisen perusta, rakennebetonit. Lujabetoni Oy. Saatavissa: <https://www.lujabetoni.fi/tuotteet/valmisbetonit/>. Hakupäivä 5.4.2020.
6. Hyvän lattian perusta on Lujabetonin lattiabetoni. Lujabetoni Oy. Saatavissa: <https://www.lujabetoni.fi/tuotteet/valmisbetonit/lattiabetonit/>. Hakupäivä 5.4.2020.
7. Nopeammin päällystettävä lattiabetoni käyttöohje. Rudus Oy. Saatavissa: <https://www.rudus.fi/ohjeet/betonin-ohjeet/np-lattiabetoni-kayttoohje>. Hakupäivä 20.4.2020.
8. Uusi NK-betoni ehkäisee lattioiden kosteusvaurioita. Lujabetoni Oy. Saatavissa: <https://www.luja.fi/2012/12/10/uusi-nk-betoni-ehkaisee-lattioiden-kosteusvaurioita/>. Hakupäivä 5.4.2020.
9. Betonirakenteiden kosteuden mittaaminen ja onnistunut päällystäminen. Rakennustieto. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100401.pdf>. Hakupäivä 26.6.2020.
10. SFS-EN 12350-2. 2010. Tuoreen betonin testaus. Osa 2: Painuma. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

11. SFS-EN 12350-7. 2010. Tuoreen betonin testaus. Osa 7: Ilmamäärä. Painemenetelmät.
Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.



Sisäilman kosteuden viikottainen keskiarvo



Sisäilman lämpötilan viikottainen keskiarvo