



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Konsta-Pietari Koivisto

Olosuhteiden ja betonin laadun vaikutus kuivumisaikaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

12.12.2020

Tekijä Otsikko	Konsta-Pietari Koivisto Olosuhteiden ja betonin laadun vaikutus kuivumisaikaan.
Sivumäärä Aika	47 sivua 12.12.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Rakentamisen projektinhallinta
Ohjaajat	Lehtori Jouni Ruotsalainen (Metropolia Oy) Vastaava työnjohtaja Aleksi Eerola (NCC Suomi Oy)
<p>Betonin kuivumisajat voidaan laskea teoreettisesti kohdilleen, mutta todelliset olosuhteet työmailla, missä betoni kuivuu, vaihtelee laajasti. Tämän takia betonin kuivumisajat ovat aina vain suuntaa antavia, kun aikatauluja tehdään. Millä massalla pinnoitettava tai päällystettävä rakenne on valettu ja missä olosuhteissa se pääsee kuivumaan vaikuttaa lopputulokseen valtavasti.</p> <p>Tässä insinöörityössä tutkittiin käynnissä olevan työmaan olosuhteita olosuhdemittareilla, sekä huomioitiin niitä valettaessa käytetty betonilaatu ja sen ominaisuudet, sekä miten ne vaikuttavat betonirakenteiden kuivumisaikaan.</p> <p>Vallitsevat olosuhteet, käytetty betonilaatu sekä muut vaikuttavat tekijät betonin kuivumiseen ja kuivumisaikoihin on esitetty ja tuotu hyödynnettäväksi Excel-pohjaisessa työkalussa, jonka tarkoitus on auttaa tuotantoa aikataulun suunnittelussa rakenteiden kuivumiselle. Saa- duista tuloksista voidaan nähdä vastaavien rakenteiden kuivumisajat ja näin hyödyntää niitä tulevilla rakennushankkeissa.</p>	
Avainsanat	kuivumisaika, olosuhde, betonilaatu, betonirakenne

Author Title	Konsta-Pietari Koivisto Effect of Conditions and the Qualities of Used Concrete on Drying Times
Number of Pages Date	47 pages 12 December 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Project management
Instructors	Jouni Ruotsalainen, Lecturer (Metropolia Oy) Aleksi Eerola, Responsible site manager (NCC Suomi Oy)
<p>Drying times of concrete can be calculated very accurately in theory, but the real conditions at worksites where the concrete is drying varies vastly. This is the reason why drying times of concrete are only guidelines mostly, when schedules are made. The type of concrete used for the structure that is to be coated and the drying conditions of the concrete considerably affect the outcome.</p> <p>In this engineering thesis the conditions of an ongoing worksite were studied with meters that calculate and measure the conditions. At the same time the quality and features of the concrete were taken into account to determine the effects of conditions and the quality of the concrete on drying times.</p> <p>The existing conditions, the quality of the used concrete and other factors that affect the drying and drying times of concrete are presented and made utilizable in an Excel-based tool. Purpose of the tool is to help production to schedule drying times of concrete structures. In addition, the drying times included in the tool can be used to determine the drying times of similar concrete structures and therefore, they are useful and can be utilized in upcoming construction projects.</p>	
Keywords	drying times, conditions, concrete quality, concrete structure

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Insinööriyön taustaa	2
1.2	Tavoite	2
1.3	Rajaus	2
1.4	Tutkimusmenetelmät	3
2	Betonin koostumus	4
2.1	Betonirakenteiden kuivuminen	5
2.1.1	Kuivumisnopeus	7
2.2	Betonimassojen ominaisuudet	8
2.2.1	Nopeammin kuivuvat betonit	9
2.2.2	Betonimassan valinta päällystettävässä rakenteessa	9
3	Kuivumisajat	12
3.1	Vaikuttavat tekijät kuivumisaikoihin	13
3.1.1	Jälkihoidon vaikutus	14
3.2	Kosteusmittaus	16
3.2.1	Lämpötilan vaikutus	18
3.3	Liiallisen betonin kosteuden aiheuttamat haitat	19
4	Olosuhteiden vaikutus	20
4.1	Optimaaliset olosuhteet kuivumiselle	21
4.2	Olosuhteiden luominen	22
5	Olosuhdeseuranta	25
5.1	Laitteisto	25
6	Työkalu	29
6.1	Työkalun toiminta	30
6.1.1	Työkalun käyttö	33

6.2 Tulosten hyödyntäminen	36
7 Tutkimustulos	39
8 Yhteenveto & pohdinta	44
Lähteet	45

Lyhenteet

NK Nopeasti kuivuva

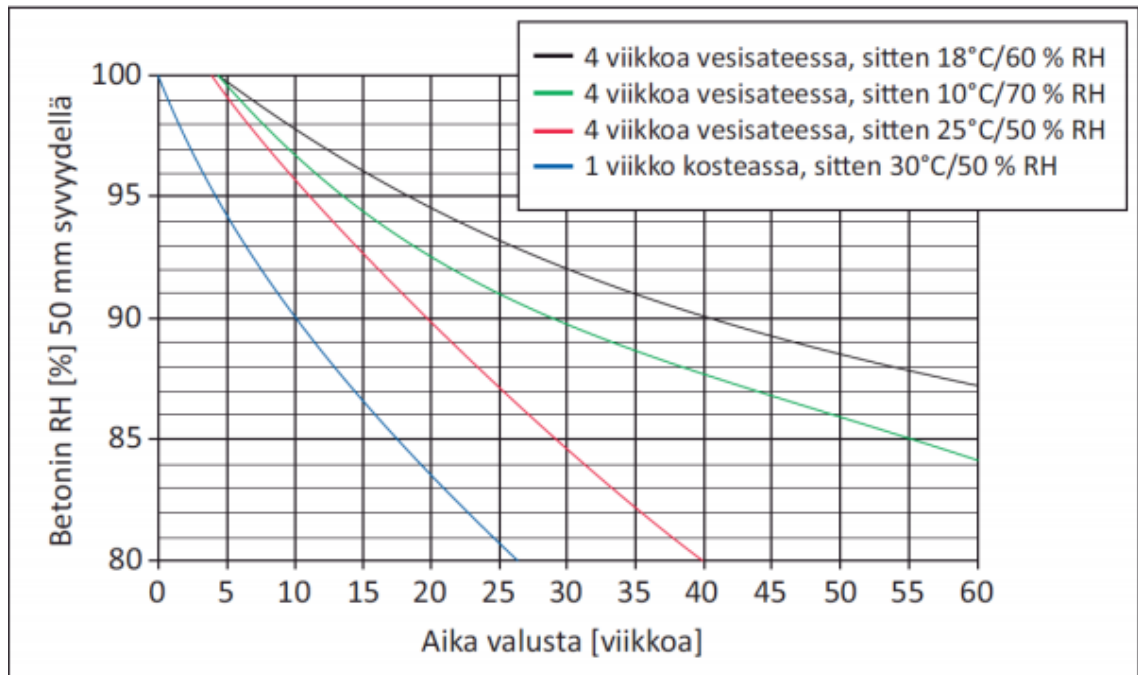
PCC Polymeerisementtibetoni

RH-% Relative Humidity Percentage = suhteellinen kosteusprosentti

SK Säänkestävä

1 Johdanto

Työmaiden aikataulusuunnittelussa kriittisessä roolissa on päällystettävien betonirakenteiden kuivumisaika. Betonin kuivumisaika voidaan laskea etukäteen teoreettisesti, kuivui se sitten optimaalisissa olosuhteissa tai vaihtelevissa. Mutta nämä taulukot ja laskentapohjat ovat loppupeleissä vain suuntaa antavia.



Kuva 1. Betonin kuivattaminen ja päällystettävyyden seuranta [1.]

Jos työmaalle tiloihin, missä betonirakenne pitää päällystää, luodaan oikeanlaiset olosuhteet rakenteen kuivumiselle, on syytä seurata, kuinka paljon se vaikuttaa todellisuudessa kuivumisaikaan. Olosuhdeseurannalla päästään heti reagoimaan mahdollisiin tarvittaviin muutoksiin tilassa. Seurannan avulla voidaan myös nähdä selkeä ero tilojen olosuhteiden vaikutuksen välillä. Betonimassoja on laidasta laitaan, niiden sisältämät ainesosat ja yleiset ominaisuudet vaihtelevat rakennetyypin ja tarpeen mukaan. Päällystettäviä betonirakenteita valettaessa massalla on merkitystä kuivumiseen. Esimerkiksi Lujabetonin NK-betonilla (nopeasti kuivuva) valetut alueet kuivuvat puolet nopeammin, kuin tavallista valmisbetonia käytettäessä.

1.1 Insinööriyön taustaa

NCC Suomi Oy, toimialoina asunto-, toimitila ja korjausrakentaminen. Betonirakentaminen suuressa roolissa kaikilla toimialoilla. Työn taustalla myös aiemmin vuonna 2020 tehty innovaatioprojekti NCC Suomi Oy:lle, jossa tehtiin kosteudenhallintaa helpottava Excel-pohjainen työkalu, jota tässä työssä myös jatkojalostetaan. Betonirakenteiden kuivumiselle suunnitellaan ja varataan aikatauluun x-määrä aikaa. Todellisuudessa voi kuitenkin tapahtua vaikka mitä ja rakenne ei kuivukaan suunnitellussa ajassa. Varattu aika perustuu betonin teoreettisiin kuivumisaikoihin yksinkertaisissa rakennetyypeissä. Käytännössä olosuhteet ja rakennetyypit vaihtelevat, jolloin laskennallinen kuivumisaika on vain suuntaa antava.

1.2 Tavoite

Saada selkeä ja johdonmukainen työkalu, millä voidaan helposti saada betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät listattua, samalla huomioiden minkälaisesta rakenteesta on ollut kyse, sekä millaista massaa on käytetty. Työssä analysoidaan olosuhteiden, betonin laadun ja kuivumisajan vaikutusta rakenteiden kuivumiseen. Lisäksi tarkoitus saada dataa betonin kuivumisesta erilaisissa rakenteissa, jota voidaan käyttää hyödyksi myöhemmin vastaavissa kohteissa tuotantoaikataulun sekä kosteudenhallinnan suunnittelussa. Saadaan jatkossa optimoitua betonin kuivuminen ajallisesti.

1.3 Rajaus

Näkökulmana on tuotannon aikataulusuunnittelun parantaminen betonirakenteiden kuivumisen ennalta-arvioinnin kautta, joka perustuu luotettavaan dataan. Keskitytään pitkälti betonin valamisen ja kosteusmittaushetken väliseen aikaan ja miten silloin päästään vaikuttamaan tilanteeseen mahdollisimman tehokkaasti, sekä huomioidaan betonirakenteen valussa käytetyn massan luonne/laatu.

1.4 Tutkimusmenetelmät

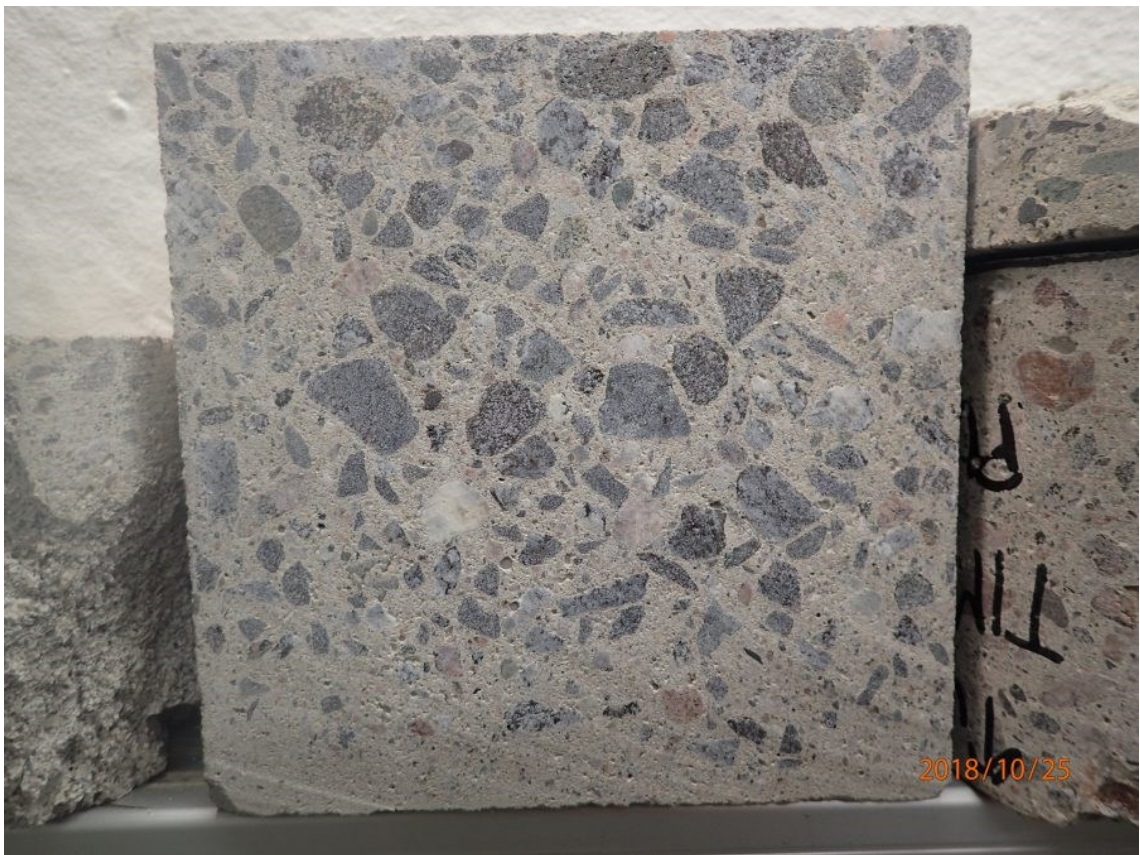
Esitutkimuksessa asetetaan olosuhdemittareita x-määrään asuntoja, joista tullaan ottamaan 4 viikon sisällä kosteusmittauksia. Selvitetään etukäteen millä massalla betonirakenteet on valettu. Hyödynnyetään vähintään kahden eri työmaan mittaustuloksia ja verrataan niitä keskenään.

Mikä massa on ollut käytössä, millaisissa olosuhteissa rakenteet ovat päässeet kuivumaan ja minkälainen vaikutus sillä on ollut RH-% tulokseen. Voidaanko olosuhteita tehostaa jo ennen mittauksia.

Pyritään saamaan selkeä korrelaatio massan ja olosuhteiden vaikutuksella kuivumisajkaan (halutun RH-% saavuttaminen suunnitellussa ajassa) ja tuotua tämä kosteusmittaus työkaluun selkeästi ymmärrettäväksi ja jatkossa aikataulun suunnittelua avustavaksi osaksi. Asiaa tarkastellaan pääurakoitsijan tuotannon aikataulun suunnittelun näkökulmasta.

2 Betonin koostumus

Betoni koostuu kolmesta pääaineesta: sementistä eli sidosaineesta, sorasta eli runkoaineesta ja vedestä. Vesi aiheuttaa luonnollisesti kosteutta betonirakenteeseen ja sen takia sen on välttämätöntä, että se pääsee kuivumaan tarpeeksi alhaiseen RH-%:iin riippuen mikä päällystystapa on kyseessä. Betonin osa-aineiden keskinäisillä suhteilla on tärkeä merkitys kaikkiin betonin ominaisuuksiin. Pääaineiden lisäksi on olemassa vielä seosaineita ja lisäaineita, joilla saadaan muokattua massasta halutunlaista ja voidaan vaikuttaa mm. betonin valettavuuteen ja kovettumisaikaan.



Kuva 2. Betonikoekuutio [3.]

Suurin osa betonin tilavuudesta on runkoainesta (60–85 %). Runkoaine koostuu tyypillisesti joko moreenista, harjusorasta tai somerosta, mutta se voi olla myös murskaamalla valmistettua kiviainesta. Betonissa kiviaineksen koko vaihtelee hienosta hiekasta muutamain sentin kokoihin kiviin. Runkoaineen laatu ja ominaisuudet vaikuttavat tuoreen betonin ja kovettuneen betonin ominaisuuksiin. [2.]

Betonin ominaisuudet riippuvat paljolti valmistusvaiheessa käytetyn veden ja sementin määrästä. Betonin veden ja sementin määrää kuvataan vesisementtisuhteella, v/s (w/c).

Normaalin lattiabetonin vesisementtisuhte on 0,7...0,9. Tällainen betoni sisältää massan valmistusvaiheessa noin 180...200 l/m³ vettä. Betonin suhteellinen kosteuspitoisuus on tällöin n.100 %. Ennen päällystämistä osan vedestä on poistuttava, jotta betonin suhteellinen kosteuspitoisuus laskisi kosteusherkän päällysmateriaalin edellyttämään arvoon. [Lumme ym. 1997, 13.]

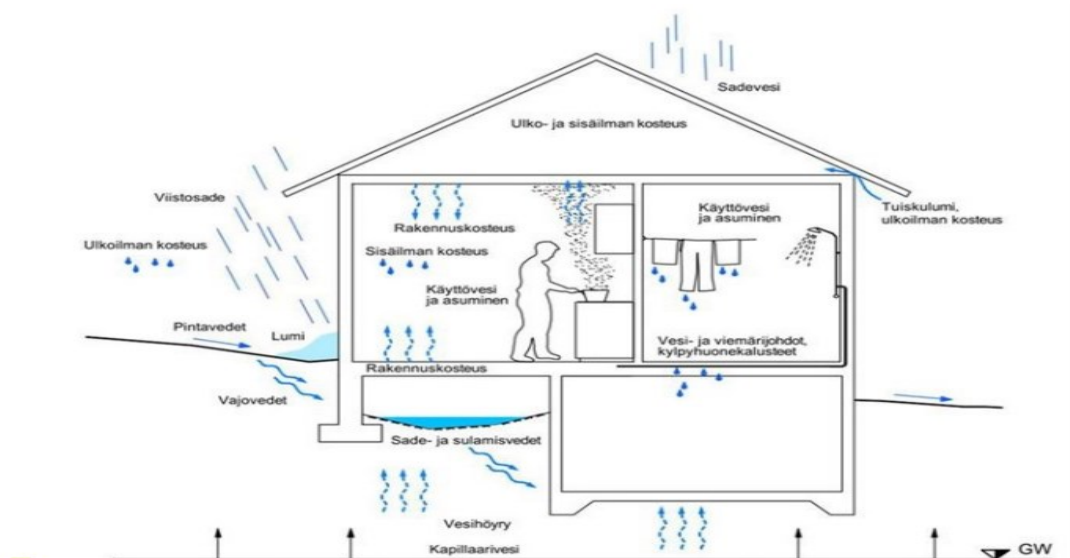
2.1 Betonirakenteiden kuivuminen

Betonin kuivuminen tarkoittaa sitä, että betonissa oleva vapaa huokosvesi poistuu. Samalla betoni kutistuu.

Sementti tarvitsee vettä kovettuakseen, mutta sementin kemiallisesti sitoma vesimäärä on vain noin 25 % sementin painosta. Betonin työstettävyyden takia betoniin tarvitaan vettä enemmän, 40–80 % sementin painosta. Tämä osuus vedestä jää vapaaksi vedeksi betonin huokosiin ja sen on kuivuttava ennen betonin päällystämistä. [12.]

Betoni kuivuu tavallisesti erittäin hitaasti. Kuivumista hidastaa muun muassa ympäristön vaikutukset, vuodenaika ja vesisementtisuhteen määrä. Missä lämpötilassa betoni on valettu ja mihin lämpötilaan se jää kuivumaan. Betonissa oleva vesi ei koskaan haihdu kokonaan pois. Ympäristöstä tuleva lisäkosteus voi entisestään hidastaa betonin kuivumista. Liian nopea kuivuminen voi aiheuttaa halkeamia. Vaikka betoni itse hyvin kestää kosteutta, betonin kosteus voi aiheuttaa vaurioita betoniin yhteydessä oleviin muihin materiaaleihin. [1.]

Kosteuden poistuminen riippuu paljolti ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta, koska betonirakenne ei pysty luovuttamaan kosteutta alle ympäröivän ilman RH-% alapuolelle. [Niemi 2016, 419.]



Kuva 3. Rakennuksen kosteuslähteet [1.]

Betonirakenteet sisältävät aina kosteutta. Vaikka kosteudesta ei olisi itse betonille haittaa, tämä kuitenkin rasittaa pinnoitusmateriaaleja. Rakentamisen aikainen kosteus syntyy betonin valmistuksesta ja työmaan kosteuslähteistä esim. työmaan ilmankosteudesta, tai muista työvaiheista. Kuvasta 3. näkee, miten paljon rakennus joutuu erilaisten kosteusrasituksien koettelemaksi täysin valmiinakin. Runko, ulkokuori, vesikatto yms. Suojaavat taloa ympäristön vaikutuksilta. Rakennusvaiheessa oleva rakennus on huomattavasti alttiimpi sään aiheuttamalle kosteudelle ja siksi sen hallitseminen nimenomaan rakennusvaiheessa on kriittistä.

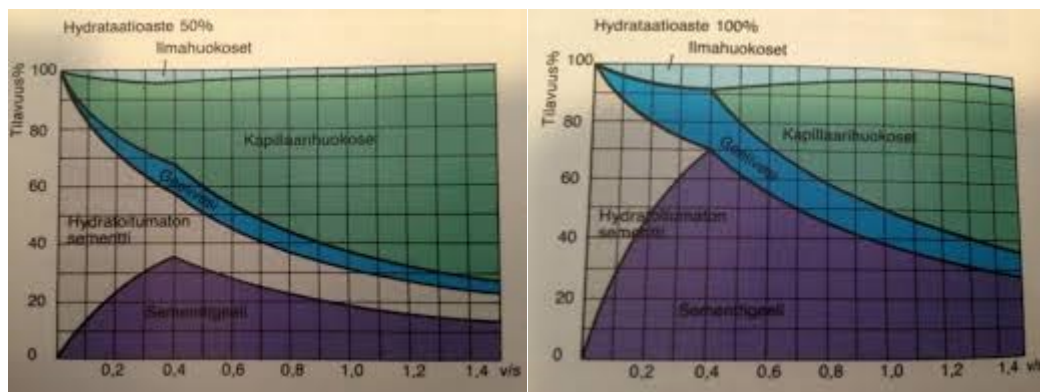
Betonin kuivuminen tapahtuu haihtumalla rakenteeseen syntyneitä huokosverkostoa pitkin syvemältä betoni kohti pintaa ja sitä kautta ilmaan. Ilman tulee olla riittävän kuiva vastaanottamaan betonista siirtyvän kosteuden. Kuivumisen lopputuloksena betoniin muodostuu kosteusjakauma, joka tarkoittaa, että pintarakenne on kuivempi ja suhteellinen kosteus suurempi, mitä syvemälle rakenteeseen mennään. Poikkeus-tapauksia kuitenkin on, kun pintarakenne pääsee kastumaan esimerkiksi lattian tasoitusvalusta, jolloin rakenne kastuu pinnasta uudelleen, kun taas keskiosa rakenteesta on kuiva. Tällöin kosteusjakauma on päinvastainen. [4, s.419–426.]

2.1.1 Kuivumisnopeus

Betonin kuivuminen voidaan jakaa haihtumiskuivumiseen ja sitoutumiskuivumiseen. Haihtumiskuivumisella tarkoitetaan veden siirtymistä diffuusion ja kapillaarijohtumisen vaikutuksesta kappaleen sisältä rajapintaan, josta se haihtuu ympäristöön. Betonissa kapillaaritiehyeitä muodostavat toisiinsa yhteydessä olevat erisuuruiset ja erimuotoiset huokokset. Kuivumisen alkuvaiheessa kapillaarihuokokset muodostavat yhtenäisen kapillaariverkoston, jolloin betonin läpäisevyys ja siten haihtumiskuivumisen osuus on suuri. Haihtumiskuivumista tapahtuu myös runkoaineen ja sementtikiven faasirajassa (olomuotoalueen raja).

Sitoutumiskuivumisella tarkoitetaan veden sitoutumista betoniin sementin ja veden välisen kemiallisen reaktion, hydrataation, kautta. Kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on täydellisessä hydrataatiossa noin 25 % sementin painosta. Hydrataatio ei kuitenkaan koskaan ole täydellinen; käytännössä hydrataatioaste jää noin 70 %:iin.

Sementin hydratoituessa betoniin huokosrakenne muuttuu.



Kuva 4. Sementtikiven rakenteen riippuvuus vesi-sementtisuhteesta, kun hydrataatioaste on 50 % ja 100 %. [Lumme ym. 1997, 14]

Kapillaarihuokosten tilavuus pienenee hydrataation edetessä ja betonista tulee tiiviimpää, jolloin veden siirtyminen hidastuu. Nopean kuivumisen edellytyksenä onkin, että kuivattaminen aloitetaan aikaisin. [Lumme ym. 1997, 14.]

2.2 Betonimassojen ominaisuudet

Betonimassan ominaisuuksilla ja niiden oikealla valinnalla on merkittävä vaikutus itse betonointityön onnistumisessa, että kovettuneen betonin haluttujen ominaisuuksien saavuttamisessa. Käyttötarkoitukseen parhaiten sopivan betonin valinta tapahtuu yhteistyössä rakennesuunnittelijan, työmaan ja valmisbetonin toimittajan kanssa.

Betonin valinnan peruseriaatteena on, että rakennesuunnittelija määrittää ne betonin ominaisuudet, joita kovettuneelta betonilta vaaditaan. Rakennesuunnittelija määrittelee betonin:

- lujuus- ja rakenneluokan
- rasitusluokan
- suojaavan betonipeitteen paksuuden
- toleranssit ja pintaluokat.

Alla olevasta taulukosta näkee, millaisia vaatimuksia erilaisilla rakenteilla on.

Taulukko 1. Suositeltavat massat [5.]

Rakenne	Lujuusluokka	Suurin raekoko mm	Notkeus sVB
Perustukset	K30 (C25/30)	16, 32	Notkea (S2)
Maanvarainen	K25 (C20/25)	16	Vetelä (S3), Notkea (S2), laatta erillinen, pintavalu
-autotallin laatta	K45 (C35/45)	16	Notkea (S2), autotallin lattiassa tarvitaan kulutuskestävyyttä sekä kykyä kestää auton renkaista tulevaa tiesuolaa
pintabetonilattiat			
-30-50mm	K25 (C20/25)	8, 12	Vetelä (S3)
-50-80mm	K25 (C20/25)	16	Notkea (S2)
kelluvat lattiat (>40mm)	K25 (C20/25)	8, 12, 16	Vetelä (S3), Notkea (S2)
SEINÄT JA	K25 (C20/25)	16	Notkea (S2)
PILARIT			Sisätiloissa olevat seinät ja pilarit
ULKONA OLEVAT RAKENTEET	K37 (C30/37)	8, 12, 16, 32	Notkea (S2), Käytettävä säänkestäviä betonilaatuja

Rasitusluokkien kautta betonille asetettavat vaatimukset sen ominaisuuksien suhteen takaavat pitkäikäisen ja toimivan rakenteen. [5.]

2.2.1 Nopeammin kuivuvat betonit

Oikealla betonivalinnalla voidaan betonin kuivumista ja koko kohteen rakennusaikaa lyhentää merkittävästi. Nykyisin käytettävissä olevat nopeammin päällystettävät betonit kuivuvat 2-3 kertaa nopeammin. Itsestään kuivuva betoni, jonka lujuusluokka on vähintään K40, kuivuu pinnoituskelpoiseksi erittäin nopeasti eikä ole niin riippuvainen ympäröivistä olosuhteista.

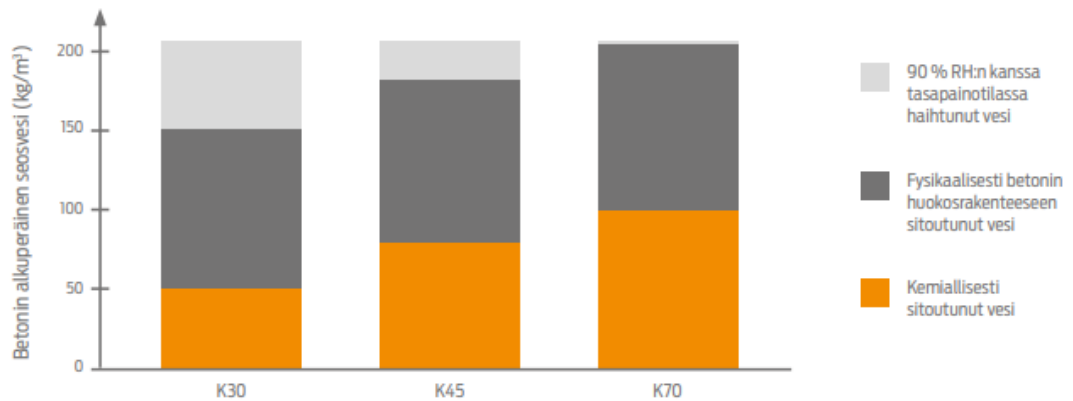
Nopeammin kuivuvien betonilaatujen lujuudenkehitys tapahtuu myös tavanomaisia betonilaatuja nopeammin, mikä kannattaa hyödyntää runkovaluja suunniteltaessa. Betonin valintaan on syytä kiinnittää huomiota riittävän aikaisessa vaiheessa, jotta nopeammasta kuivumisesta saatavat edut voidaan hyödyntää koko rakentamisprosessissa.

Nopeammin kuivuvien betonien kuivumisominaisuudet perustuvat tavanomaista suurempaan sementtimäärään, jolloin valtaosa betonin seosvedestä kuluu hydrataatioreaktioon sementin kanssa, ja lisäaineisiin, jotka edesauttavat tehokkaasti veden haihtumista betonista. Itsestään kuivuvassa betonissa betonin sisältämä seosvesi kuluu suurimaksi osaksi hydrataatioreaktioon, jolloin betoni kuivuu sisäisesti ilman, että rakenteesta tarvitsee haihtua vettä.

Hyvän tiiveyden ansiosta ympäristöstä tuleva vesi ei imeydy itsestään kuivuvaan betoniin, joka näin ollen on tunnottomampi ympäristöolosuhteiden vaikutuksille. Itsestään kuivuva betoni voidaan pinnoittaa jopa 2-3 viikon kuluttua valusta valitusta betonilaadusta ja pinnoitetyypistä riippuen. Tämän edellytyksenä on kuitenkin se, että betonin lujuuden kehitys on tapahtunut normaalisti. Alhaisissa lämpötiloissa lujuuden kehitys samoin kuin kuivuminenkin hidastuvat merkittävästi. [Lumme ym. 1997, 20–21.]

2.2.2 Betonimassan valinta päällystettävässä rakenteessa

Betonin ominaisuudet, lähinnä vesisideainesuhde ja huokosrakenne, vaikuttavat siihen, miten betoni sitoo kosteutta. Kun verrataan kahta eri betonilaatua, joiden valmistamiseen käytetään sama määrä vettä, mutta sementtimäärässä on eroa, kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on suurempi betonissa, jossa sementtimäärä on suurempi. Tällöin myös haihdutettavan veden määrä on pienempi pyrittäessä tiettyyn kosteuteen. [17.]



Kuva 5. Eri lujuusluokkien betonien seosveden jakautumista kemiallisesti ja fysikaalisesti sitoutuvaan veteen betonin lujittumisen jälkeen. [17.]

Päällystettävälle rakenteelle oleellista on, että betonimassa pääsee kuivumaan mahdollisimman nopeasti. Betonin kuivumista voidaan nopeuttaa oikealla betonin koostumuksella noin 2...10-kertaisesti. Kuivumista nopeuttaa

- betonimassan huokoistus 8...10 %:iin
- vesi-sementtisuhteen pienentäminen
- kiviaineksessa mahdollisimman suuren maksimiraekoon käyttö. [By 45. 2018, 52.]

Esimerkiksi Lujabetoni Oy:n valmistama NK-betoni on erityisen toimiva ratkaisu tällaisissa rakenteissa. NK-betoni on tehty täysin uudella reseptillä, jonka kehittämisessä Lujabetoni on tehnyt aktiivista työtä side- ja lisäaineiden parissa. Uudeltaisesta huokostimien, notkistimien, kiviaineksen ja sideaineiden yhdistelmästä vesi pääsee haihtumaan kovettumisvaiheessa normaalia nopeammin, lisäksi vapaata vettä on betonissa vähemmän. Työstövaiheessa NK-betoni on kuitenkin hyvin notkeaa, joten betonin käsittelyssä työmaalla ei ole eroja muihin valmisbetoneihin verrattuna. [6.]

Tutkimuksessa vertaillaan NK-betonilla ja vastaavilla betonilaaduilla sekä tavanomaisemmalla massalla valettuja betonirakenteita ja miten niiden ero näkyy kuivumisajoissa.



Kuva 6. Lujabetonin NK-betoni [7.]

Betonin lujuuden kasvaessa betonin valmistukseen käytettävä vesimäärä pienenee. Lujuuden myötä myös betonin tiiveys lisääntyy, joka toisaalta hidastaa betonin kuivumista. Jos betonirakenteita kuivatetaan lämmittämällä, rakenteisiin kannattaa valita kosteutta mahdollisimman hyvin läpäiseviä betonilaatuja. [Lumme ym. 1997, 19.]

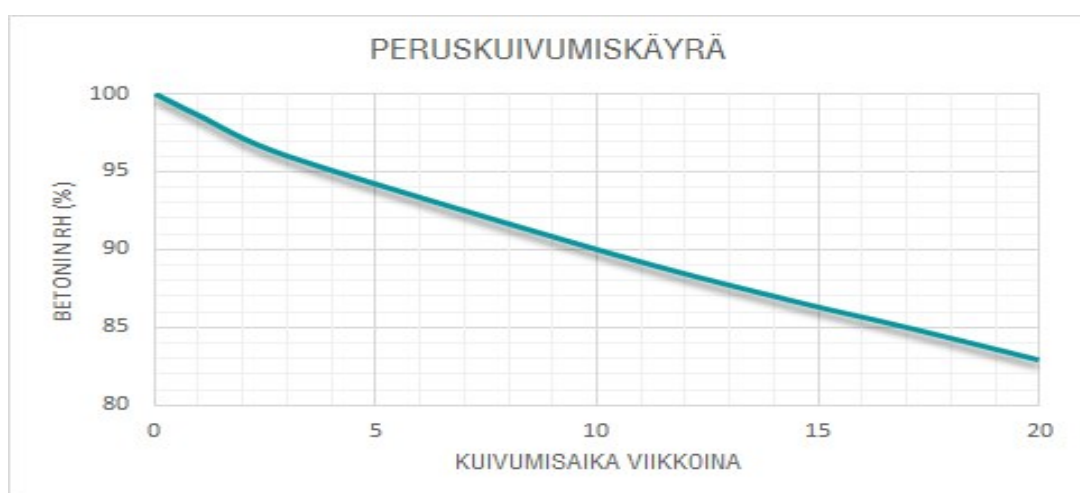
3 Kuivumisajat

Rakennustyömaalla olosuhteet vaihtelevat laajalti. Betonilaatta saattaa joutua valun jälkeen olemaan useita viikkoja kylmässä ja kosteassa ympäristössä, pahimmassa tapauksessa vesisateessa. Niin kauan kuin betoni on huonoissa olosuhteissa, haihtumiskuivumista ei tapahdu. Betoniin päässyt lisävesi, kuten sadevesi ja kastelu, hidastavat rakenteen kuivumista huomattavasti. Mitä myöhemmässä vaiheessa betoniin pääsee lisävetä, sitä hitaammin se poistuu. Rakenne tulisikin suojata sateelta mahdollisimman pian. [Merikallio. 2002, 36.]

Betonirakenteiden tulee kuivua ennen päällystämistä kunkin päällyste- tai pinnoitemateriaalin edellyttämän kosteusraja-arvon alapuolelle. Kriittinen kosteusarvo on se kosteusarvo (päällystysraja-arvo), joka tulee mittaustarkkuus huomioiden alittaa arvostelumittausvyvydellä ennen päällystämistä tai pinnoittamista. Tämä pätee erityisesti kosteusherkkiin materiaaleihin. [By 45. 2018, 49.]

Rakenteiden kuivumisaika määrittää kunkin siitä riippuvan tehtävän aloitusajankohdan. Pitkä kuivumisaika aiheuttaa tehtävien päällekkäisyyttä esimerkiksi, pinnoitusajankohdan myöhäisen aloittamisen takia.

Aikataulussa on otettava huomioon tasoitetyöt ja pintalattiatyöt, sillä näistä muodostuu kosteussisältöä rakennuksen rakenteisiin. Myös seinien tasoittaminen pitää sisäilman suhteellisen kosteuden korkeana, jolloin sisäilman kapasiteetti vastaanottaa rakenteista kosteutta voi olla vähäinen ja rakenteiden kuivuminen hidastua.



Kuva 7. Peruskuivumiskäyrä [13.]

Aikataulussa on otettava huomioon ne toimenpiteet, jotka vaikuttava rakenteiden teoreettiseen kuivumisaika-arvioon. Kuivumisaika-arvio antaa teoreettisen ajankohdan, jolloin rakenteiden kosteudenmittaaminen kannattaa aloittaa. Mittaamisella varmistetaan, etteivät tosiasiallisesti kuivumisaikaan vaikuttavat, teoreettista kuivumisaikaa pidentävät tekijät pääse vaikuttamaan haitallisesti rakenteen toimintaan, ja rakenne voidaan pinnoittaa.

Kuivumisaika-arvioita verrataan suunniteltuun toteutusaikatauluun, ja siitä laskettuun rakenteen kuivumisaikaan ennen päällystystyöhön ryhtymistä. Kuivumisaika-arvioiden ja aikataulun perusteella voidaan määrittää, millaiset olosuhteet on luotava, jotta tarvittava kuivuminen tapahtuu aikataulun puitteissa. [8.]

3.1 Vaikuttavat tekijät kuivumisaikoihin

Nyrkkisääntönä betonin kuivumisajan arvioinnissa on, että betonilattialle on varattava kuivumisaikaa viikko/cm aina 4 cm:iin asti. Yli 4 cm:n menevällä paksuudelle on varattava 2 viikkoa/lisä-cm, ja yli 6 cm paksun betonin kuivumisaika on 4 viikkoa/jokainen lisä-cm. Toisin sanoen 8 cm paksun betonin on annettava kuivua vähintään $(4*1) + (2*2) + (2*4) = 16$ viikkoa.

Kuivumisaikaan vaikuttavat:

- betonin lujuusluokka; korkealujuuksilla betonilaaduilla kuivumisnopeus on jopa kaksinkertainen tavalliseen betoniin verrattuna
- yhteen suuntaan kuivuva rakenne kuivuu 2-3 kertaa hitaammin kuin kahteen suuntaan kuivuva
- betonin lämpötilan nosto 10 asteella yleensä puolittaa kuivumisajan
- ilman suhteellisen kosteuden (RH) lasku 60 % 50 %:iin nopeuttaa kuivumisaikaa noin 20 %
- alle 50 % RH ei oleellisesti nopeuta kuivumista, mutta yli 60 % kosteus hidastaa sitä merkittävästi
- betonin uudelleen kastuminen kuivumisjakson aikana lisää kuivumisaikaa 1,4-2-kertaiseksi. [8.]

Kuivumista voi pääsääntöisesti tapahtua luonnollisesti, ilman erityisiä tehostustoimenpiteitä, mutta kuivumisajat voivat olla erittäin pitkiä. Rakenteet eivät pääse kuivumaan,

painovoimaista veden siirtymistä lukuun ottamatta, mikäli rakennetta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on 100 %. [11.]

Ilman suhteellisen kosteuden merkityksellä on suuri vaikutus, miten betonirakenne pääsee kuivumaan. Alla olevasta taulukosta näkee miten lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus vaikuttavat absoluuttiseen kosteuteen.

Taulukko 2. Lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden vaikutus ilmankosteuteen

Suhteellinen kosteus:	20%	40%	60%	80%	90%	100%
Ilman lämpötila °C	absoluuttinen kosteus: g/m ³					
80	58	116	174	232	261	290
70	39	78	118	157	176	196
60	26	52	78	104	117	130
50	17	33	50	66	75	83
40	10	20	31	41	46	51
30	6,1	12	18	24	27	30
20	3,5	6,9	10	14	16	17
10	1,9	3,8	5,6	7,5	8,5	9,4
0	1,0	1,9	2,9	3,9	4,4	4,9
-10	0,44	0,88	1,3	1,8	2,0	2,2
-20	0,18	0,35	0,53	0,70	0,79	0,88
-25	0,11	0,22	0,33	0,44	0,50	0,55
-30	0,07	0,13	0,20	0,26	0,30	0,33

3.1.1 Jälkihoidon vaikutus

Betonin kovettumisreaktio sitoo vettä. Betonin kovettumiseen tarvittavan vesimäärän varmistamiseksi myös laatan pintaosassa on estettävä betonissa olevan kosteuden liiallinen haihtuminen sekä tarvittaessa jälkihoidolla betonipinnan kuivuminen betonin oikaisusta jälkihoitoajan päättymiseen asti.

Betonipinnan liian voimakas kuivuminen ensimmäisten tuntien aikana tulee tarvittaessa estää varhaisjälkihoidolla. Sen avulla on mahdollista vähentää plastisen kutistuman muodostumista sekä siitä aiheutuvan verkkomaisen plastisen halkeamakuvion syntymisen. Varhaisjälkihoidon merkitys korostuu erityisesti silloin, kun

- tuore valupinta on jo luonnostaan kuivahko
- käytetään lämmintä massaa

- ilman suhteellinen kosteus on alhainen (talvella lämmitetty ilma on kuivaava tekijä, keväällä ja kesällä ilma saattaa luonnostaan olla kuivaava)
- tuuletus tehostaa kuivumista (kulku ovista, hatara lämmönsuojaus, avoimia ikkuna- ym. aukkoja); jo pienikin ilmavirtaus vaikuttaa merkittävästi
- massa sitoutuu hitaasti
- käytetään polymeerisementtibetoni (PCC), joka vaatii aina nopeaa jälkihoidon aloitusta. [By 45. 2018, 175.]



Kuva 8. Jälkihoitoaineen levitys lehtipuhaltimella [20.]

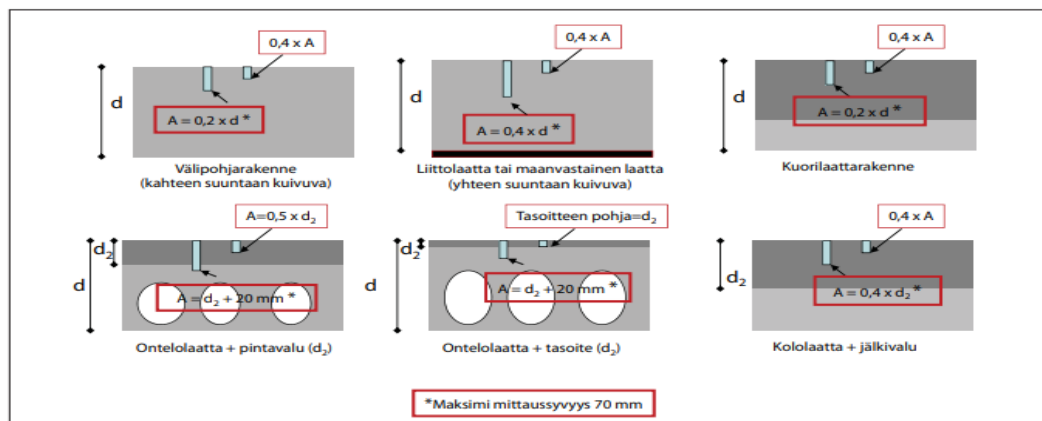
Jälkihoitoa tehtäessä huomioon otettavat tekijät liian nopean kuivumisen estämiseksi ovat samoja, kun halutaan nopeuttaa betonin kuivumista. Jos pienet tekijät kuten ilmavirtaus voi aiheuttaa ongelmia liian nopean kuivumisen estämiseksi, niin se myös auttaa betonin kuivumista, kun kovettuminen on tapahtunut.

Jälkihoito on erityisen tärkeää erikoisbetoneilla, joiden vesi-sementtisuhte on pieni. Jälkihoitovaiheessa käytetty ruiskutettava jälkihoitoaine on tarvittaessa poistettava laatan pinnasta ennen päällysteiden asentamista. [By 45. 2018, 52.]

3.2 Kosteusmittaus

Yksistään kuivumisaika-arvioilla ei voida määrittää betonin päällystettävyyden ajankoh-
taa, vaan betonirakenteen riittävä kuivuminen on varmistettava mittaamalla. Betonira-
kenteen kuivumisaika on kuitenkin arvioitava aikataulun ja kuivatussuunnitelman laati-
mista varten. [Merikallio ym. 2007, 11.]

Betonirakenteen suhteellinen kosteus (RH) määritetään rakenteen paksuuden mukaan
määräytyvältä arviointisyvyydeltä A (kuva 9.). Tiiviillä pintamateriaaleilla tällä syvyydellä
vallitseva kosteuspitoisuus on lähellä päällysteen alle tasapainottuvaa kosteuspitoi-
suutta, jos betoni ei ole kosteampaa lähempänä pintaakaan. Tämä varmistetaan mittaa-
malla sekä rakenteen pinnan (0...5 mm) että pintaosien kosteus syvyydeltä $0,4 \times A$. Ma-
talamalla mittaussyvyydellä varmistetaan, että betonin pintaosassa kosteuden siirtymi-
nen on tarpeeksi hidasta ja että betonin pintaosat pystyvät vastaanottamaan tasoitteista
ja liimoista tulevan kosteuden.



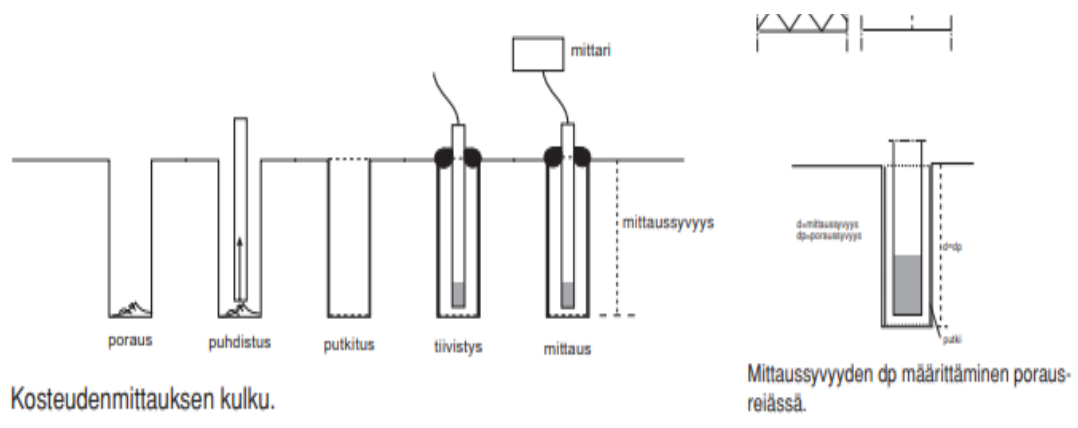
Kuva 9. Mittaussyvyydet eri rakenneratkaisuilla, rakennepaksuuksien mukaan.

Vesihöyryä hyvin läpäisevien päällysteiden alapuolelle tasapainottuvaan kosteuspitoi-
suuteen vaikuttaa eniten matalampien mittaussyvyyksien kosteuspitoisuus. Tyypillisim-
pien rakenteiden päällystettävyyden määrittelysyvyydet on esitetty kuvassa 9. Usein on

tarpeellista tehdä samasta kohdasta kaksi rinnakkaista mittausta päällystettävyyden arvioinnin kannalta tärkeimmältä mittaussyvyydeltä. [RT 14-10984, 14.]

Betonirakenteiden riittävän alhainen kosteuspitoisuus on aina todettava tarkoituksenmukaisella tarkkuudella mittaamalla, jotta voidaan varmistua siitä, ettei päällyste tai pinnoite joudu liian suureen kosteusrasitukseen eikä betonin kutistuminen päällystyksen tai pinnoituksen jälkeen muodostu haitallisen suureksi.

Mikäli lattia tasoitetaan, tehdään kosteusmittaus tasoittamisen jälkeen tarvittaessa. Tasoittamisen jälkeen on varmistettava, että tasoite on kuivunut koko kerrosvahvuudeltaan ja ettei betonin pintaosa ole kostunut liikaa. Tasoitepaksuudet voivat vaihdella esimerkiksi alustan epätasaisuuden takia. Tasoitteen kuivuminen voidaan osoittaa näytepalamenetelmällä. Karkeasti voidaan arvioida, että tasoitteen kuivumisaika on 1 vrk / 1mm kerrosvahvuutta.



Kuva 10. Kosteusmittauksen kulku [14, s 8]

Betonin kosteuspitoisuus ilmoitetaan ja mitataan betonin suhteellisena kosteuspitoisuutena. Betonin suhteellisella kosteuspitoisuudella tarkoitetaan betonin huokosten ilmatilan suhteellista kosteuspitoisuutta.

Tarvittavien kosteusmittapisteiden lukumäärä ei voi suoraan esittää tarkasteltavan alueen koon perusteella. Kosteusmittaustulosten edustama alue tulee voida päätellä

luotettavasti ja perustua luotettavaan tietoon. Minimiotanta on oletettavasti kosteimmat kohdat.

Suhteellisen kosteuspitoisuuden mittaamenetelmät (porareikämittaus ja näytepalamittaus) ja mittaustarkkuuteen vaikuttavat tekijät kuvataan yksityiskohtaisesti RT-ohjekortissa RT-14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. [By 45. 2018, 52.]

Kosteusanturi asetetaan reikään siten, että se jää irti reiän pohjasta. Kosteusanturi asennetaan reikään välittömästi reiän avaamisen (tiivisteen poisto) jälkeen. Reikä tiivistetään anturin ympärillä ja kosteusanturin annetaan olla paikoillaan 1...24 tuntia. Mittaustulokset luetaan anturiin kiinnitettävästä näyttölaitteesta, kun näyttölaitteen lukema on vakiintunut riittävästi. Lukemat kirjataan mittauspöytäkirjaan. Mittauksen jälkeen anturi tarkistetaan tunnetuissa vakio-olosuhteissa. Jos reikien mittaustulokset vaihtelevat enemmän kuin +/- 3 % mittaaminen uusitaan. [RATU 1215-S. 7.]

3.2.1 Lämpötilan vaikutus

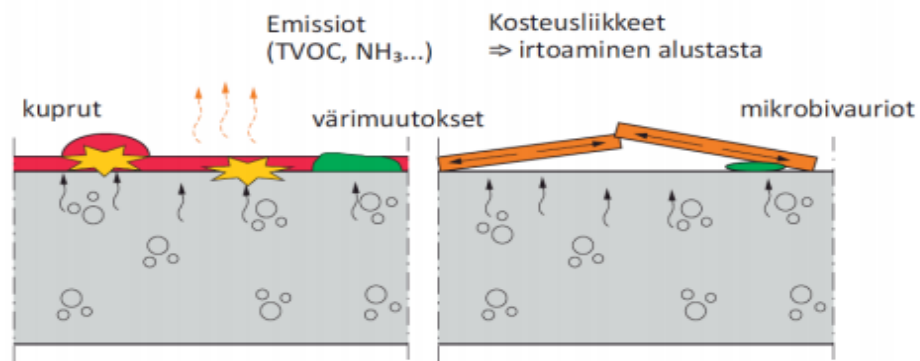
Lämmöllä on merkittävä vaikutus betonin kuivumiseen. Lämpötilan noston myötä vesihöyryn osapaine betonin huokosrakenteessa kasvaa ja kosteutta siirtävät voimat kasvavat. Eli mitä lämpimämpää betoni on, sitä nopeammin kosteus poistuu. Useimmissa tapauksissa betonirakenteen riittävän nopea kuivuminen edellyttää vähintään +20°C: lämpötilaa. Lämpötilan noustessa +25–30°C:een kuivuminen nopeutuu merkittävästi. Tätä korkeampia lämpötiloja käytetään lähinnä vesivauriokohteiden pikakuivatuksissa. Nuorena betonissa korkeat lämpötilat voivat aiheuttaa halkeilua ja lujuudenkatoa. [Merikallio. 2002, 35.]

Lämpötila voi aiheuttaa merkittäviä mittausrvirheitä betonin suhteellista kosteutta mitattaessa. Virhe voi syntyä, jos betonin lämpötila mittaushetkellä on eri kuin rakennuksen lopullinen käyttölämpötila, jos betonin lämpötila on eri kuin mitta-anturin lämpötila tai lämpötila mittauksen aikana muuttuu. Tästä syystä porareikämittausta tehdessä betonin lämpötila tulisi olla välillä +15...+25°C. [Merikallio. 2002, 16.]

3.3 Liiallisen betonin kosteuden aiheuttamat haitat

Betonirakenne itse kestää hyvin kosteutta. Betonirakenteen pinnoitteena käytettävien materiaalien on kestävä betonin alkalista kosteutta (eli alustan korkea pH). Osa tasoiteista, lähes kaikki liimat ja osa pinnoitemateriaaleista ja maaleista kestävät huonosti korkeita kosteusolosuhteita.

Betonin kosteuden noustessa yli pinnoitemateriaalin kriittisen kosteuden materiaalit voivat menettää lujuutensa. Lisäksi rakenteen pinnan materiaalikerroksissa voi käynnistyä hajoamisreaktioita, joiden seurauksena materiaalista haihtuu huoneilmaan terveydelle haitallisia kemiallisia yhdisteitä. [4.]



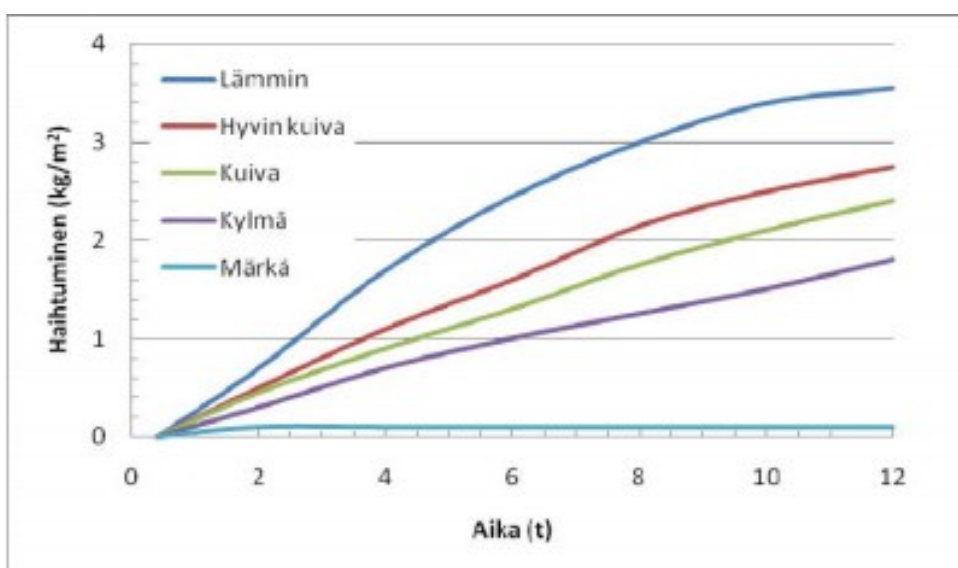
Kuva 11. Betonin kosteuden aiheuttamat vauriot [30, s.4]

Betonin liiallinen kosteus ja sen hidas haihtuminen/kuivuminen aiheuttaa aikatauluun ongelmia ja tätä kautta lisäkustannuksia, ellei haluttuun kuivumisaikaan päästä. Jos liiallista kosteutta ei käsitellä huolella, kuivumisaikoja ei huomioida tarkasti ja laiminlyödään niiden tärkeyttä, eikä varmistuta niiden kuivuudesta niin rakennettavat tilat ovat valmistuessaan terveydellinen uhka niiden käyttäjille. Kuivumisajoilla on erittäin suuri vaikutus työmaiden valmistumisen suhteen sekä aikataulullisesti että laadullisesti.

4 Olosuhteiden vaikutus

Työmenetelmien osalta kuivumista voidaan nopeuttaa estämällä rakenteiden kastuminen runkovaiheessa. Betonin kuivatusta tehostaa

- hyvät kuivumisolosuhteet: huonetilan suhteellinen kosteus <50 % RH ja lämpötila > 20 °C
- rakenteen lämpötilan nostaminen: betonin lämmittäminen on yleensä tehokkaampi kuivatusmenetelmä kuin betonia ympäröivän ilman lämmittäminen
- lattiapinnan hionta ja puhtaanpito. [By 45. 2018, 53.]



Kuva 12. Veden haihtuminen betonin pinnalta erilaisissa ympäristöolosuhteissa. [16.]

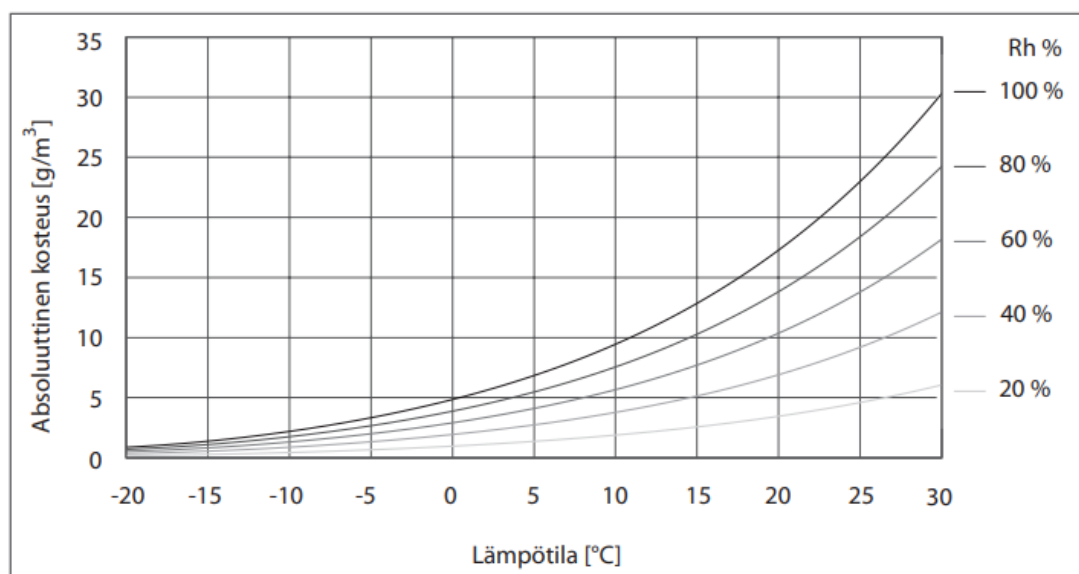
Lattia on rakenteena ohut ja siinä on paljon ympäröivän ilman ja valualustan kanssa kosketuksissa olevaa pinta-alaa. Valutilan ja alustan ollessa betonimassaa kylmempää, myös betonimassa jäähtyy nopeasti. Betonin sitoutumisnopeus on suoraan riippuvainen sen lämpötilasta; mitä matalampi lämpötila, sitä hitaammin betoni sitoutuu. Samalla hie-toaika viivästyy ja betonin pinta on pidemmän aikaa altis plastiselle varhaisvaiheen halkeilulle.

Valualustan lämpötila on ongelmallinen maanvaraisissa lattioissa sekä ontelolaatan päälle valettavissa pintabetonilattioissa. Kylmä alusta jäädyttää tuoreen betonikerroksen alaosan nopeasti. Mikäli valutilan lämpötila on korkeampi kuin alustan, valetun

betonikerroksen lämpötila on pinnastaan korkeampi kuin alaosastaan. Saattaa syntyä tilanne, jossa betonin pintaosa on hiehtoalvalmis, mutta alaosan sitoutuminen on kylmyyden vuoksi hidastunut niin, ettei lattia kokonaisuudessaan kannu. [16.]

4.1 Optimaaliset olosuhteet kuivumiselle

Olenlaisin asia kuivumisolosuhteissa on betonin kanssa kosketuksissa olevan ilman suhteellinen kosteus. Ilman suhteellisen kosteuden täytyy olla pienempi kuin betonin, jotta betoni voi haihduttaa vettä ilmaan. Tämä taas saadaan aikaan varmistamalla, että ilma on riittävän lämmintä, jotta se pystyy sitomaan itseensä riittävästi kosteutta, sekä varmistamalla ilman kierto ja tuuletus. Betoni ei siis ala kuivumaan ennen kuin tilaan saadaan riittävä lämmitys, mielellään n. +20–25 °C. Kesäisin, kun ulkoilma on kosteaa, tuuletus tulisi minimoida pitämällä ovet ja ikkunat kiinni sekä käyttämällä sisällä kosteudenkerääjiä, jotka keräävät ylimääräisen kosteuden ilmasta (kts. Taulukko 2). [24.]



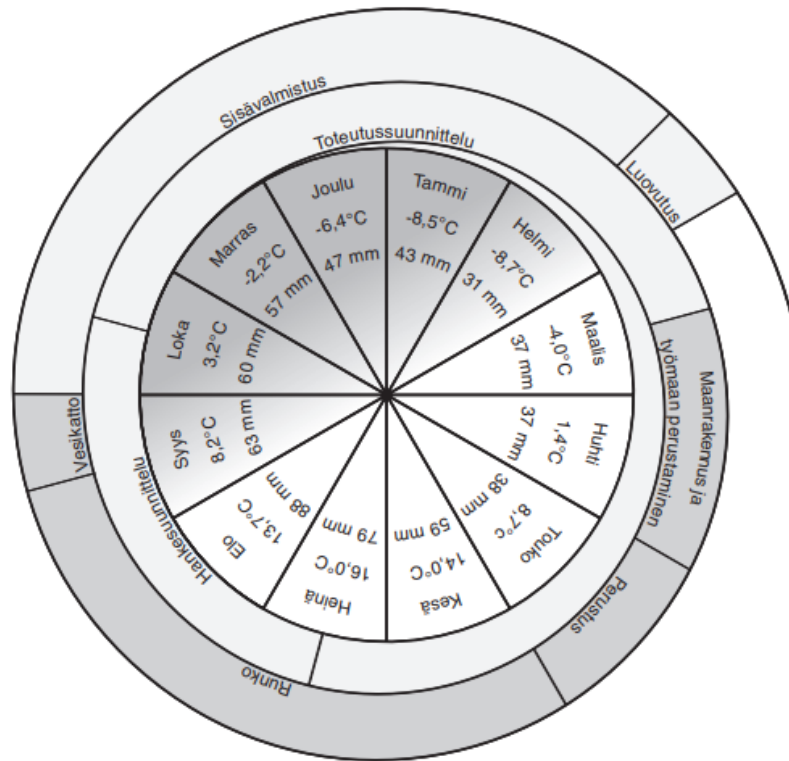
Kuva 13. Mollierin diagrammi. Kun ulkoilman lämpötila on alle 0 °C, on ilmakuutiosta korkeintaan 5 grammaa vesihöyryä. Jos rakennuksen sisällä on +15 °C ja ilman suhteellinen kosteus on 80 %, on ilmakuutiosta vesihöyryä 10 grammaa. [21.]

Rakenteen lämpötila taas vaikuttaa rakenteen huokosten ilman kosteuspitoisuuteen. Lämpötilan noustessa huokosten reunamille kondensoitunut vesi haihtuu huokosilmaan ja näin rakenteen huokosten ilman absoluuttinen kosteus kasvaa. Huokosilman kosteuspitoisuuden kasvu kiihdyttää kuivumista, sillä ilman ja rakenteen kosteustasapainoero kasvaa. Rakenteen lämmittäminen on tehokkain tapa nopeuttaa sen kuivumista. Rakenteen lämpötilan nostaminen kasvattaa betonin huokosten sisältämän ilman absoluuttista kosteutta. Huokosilman kosteuspitoisuuden kasvattaminen kasvattaa betonin ja ulkopuolisen ilman kosteuseroa. Kosteuseron kasvaessa diffuusio voimistuu. [Merikallio ym. 2007, 21.]

4.2 Olosuhteiden luominen

Rakennustyömaalla harvemmin vallitsee optimaaliset kuivumisolosuhteet, joten ne pitää luoda tai estää haitallisten olosuhteiden syntyä. Rakennus on koko runkovaiheen altis kastumiselle ennen kuin vesikatto ja julkisivut valmistuvat. Sen takia perustus- ja runkovaihe olisi syytä ajoittaa mahdollisimman kuivaan vuodenaikaan. Rakentamisen suhdanteet ja rakennuksen haluttu käyttöönotto eivät aina sitä mahdollista, jolloin runkovaiheessa on käytettävä hyviksi havaittuja suojaus-, kuivaus- ja lämmitysjärjestelmiä.

Rakennuksen lämmöneristyksen sekä ilmatiiviyn parantuessa rakenteiden fysikaalinen toiminta muuttuu, kuivumisajat pitenevät ja rakenteiden vikasietoisuus alenee. Nämä muutokset edellyttävät vaikutuksien tarkastelua myös työmaaprosessiin. Työmaaprosessin aikaisella rakennusfysikaalisella toiminnalla tarkoitetaan mm. rakenteiden kosteudenhallintaa, rakennuksen lämpöliikkeitä sekä liiallisen kuivauksen tai lämmityksen aiheuttamia ongelmia ja rakennushankkeen tuotannon aikaisen ilmanvaihdon tarpeen muutoksia.



Kuva 14. Hankkeen aloitusajankohta ja rakentamisen toteutustapa määrittää kosteudelle alttiiden rakennusvaiheiden ajoittamisen. [21.]

Työmaa on alttiina säärasitukselle. Työmenetelmät synnyttävät kosteutta, jota tuodaan rakennukseen myös rakennusmateriaalien mukana. Keskikokoisella asuinkerrostalotyömaalla poistettavan veden määrä on tuhansia, ellei kymmeniä tuhansia litroja. Sopiva ilmanvaihto rakennustyömaalla on yleensä 1-2 kertaa tunnissa. Riittäväällä ilmanvaihdolla varmistetaan työntekijöille hyvät työskentelyolosuhteet ja poistetaan haitallisia ja jopa vaarallisia aineita hengitysilmaasta. Erityisesti rakennuspöly ja liuottimien ja rakennustarvikkeiden haitalliset emissiot tulee ottaa huomioon työmaan ilmanvaihtoa suunniteltaessa. Ilmanvaihto on syksyä lukuun ottamatta tehokas keino poistaa rakennekosteutta. Kun 10000 m³:n työmaalla vaihdetaan ilma kerran tunnissa, poistuu sisältä 50 litraa vesihöyryä. [21, s. 127–131.]

Betonin kuivumista hidastavat myös lika ja pöly. Onkin tärkeää huolehtia työmaan siivouksesta säännöllisesti, sillä se jouduttaa betonin kuivumista. Työmaalogistiikassa on myös otettava betonin kuivuminen huomioon. Ylimääräinen tavara betonin päällä estää tehokkaasti betonin kuivumisen. Olisikin tärkeää, että pinnat, jotka halutaan saada no-

peasti kuivaksi, olisivat mahdollisimman tyhjiä tavarasta, jolloin kuivuminen voi tapahtua esteettömästi. [22.]

Työmaa-aikaisella lämmityksellä saadaan hyvin paljon aikaan olosuhteiden kannalta. Lämmityksen kanssa käsi kädessä kulkee myös rakennuksen tiiveys tai sen tiivistäminen, jotta lämpö ei pääse karkaamaan. Rakennus voidaan myös osastoida tietyltä osin, voidaan esimerkiksi asentaa lämmitystä jo alempiin kerroksiin, missä on ikkunat ja parvekeovet ovat paikoillaan. Vesikatto ei ole vaatimus ennekuin rakennuksen lämmitys voidaan aloittaa. Yksittäisiä tiloja tai asuntoja voidaan eristää myös väliaikaisilla ovilla ja lisätä kyseisen tilan lämmitystä, ilmanvaihtoa tai asettaa kosteudenkerääjiä ja näin ollen nopeuttaa kuivumista.



Kuva 15. Simpukkapuhallin, lämpöpuhallin ja kosteudenkerääjä. [26., 27. & 28.]

5 Olosuhdeseuranta

Tässä insinööriyössä olosuhdeseurantaan on käytetty Cramo Oy:n tarjoamaa eGate-olosuhdeseurantapalvelua. Olosuhdeseuranta laitteisto mittaa halutuista/valituista tiloista lämpötilaa sekä ilman suhteellista kosteutta. Myös etäluettavat porareikäanturit ovat saatavilla Cramon palveluista. Tulokset ovat koko ajan seurattavissa verkkopalvelussa: <http://app.e-gate.fi/> Tuloksia pystyy seuraamaan reaaliaikaisesti. Tämä mahdollistaa nopean reagoinnin, jos tilan olosuhteet eivät ole kuivumisen kannalta otollisia. Tutkimuskohde sijaitsee Espoossa Espoonlahdessa ja rakennuksessa on 12 kerrosta. 4 ensimmäistä kerrosta ovat paikallavaluholveja ja loput ontelokenttiä.



Kuva 16. Espoon Ankkurin Asuntohankkeet. (ensimmäinen vasemmalta Epoletti) [24.]

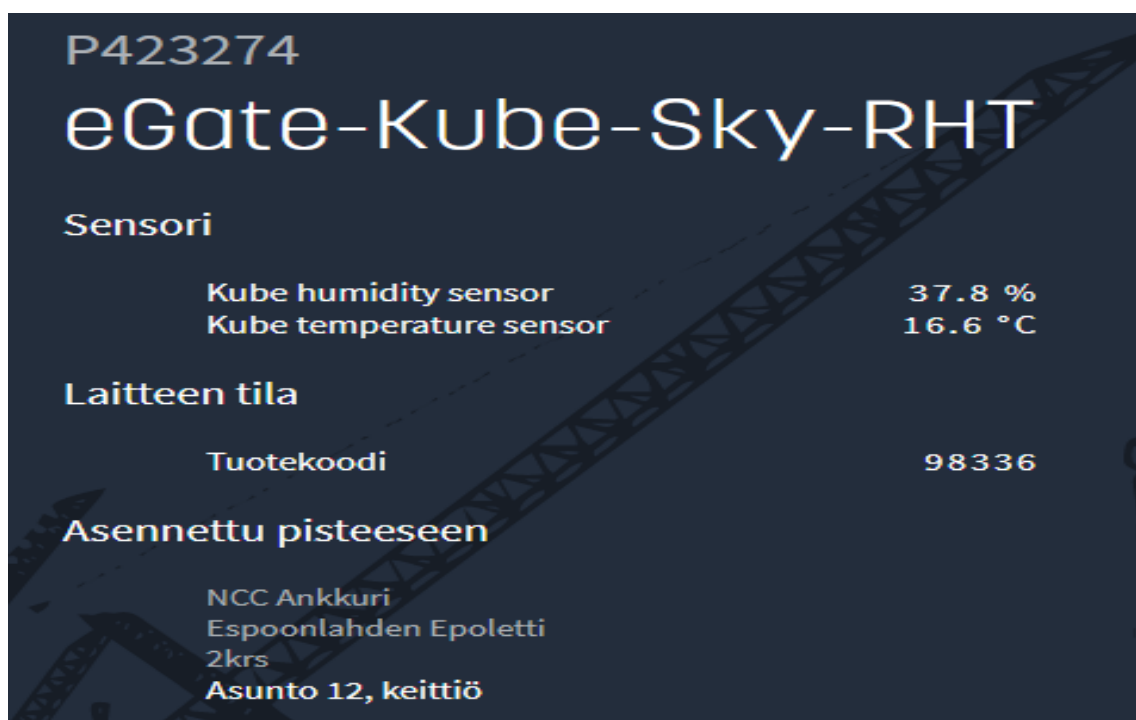
5.1 Laitteisto

Palvelun laitenäkymästä näkee, laitteiden tunnuksen, mitä lukemia lämpötilan ja suhteellisen kosteuden osalta on viime hetkinä mitattu, sekä missä laitteet sijaitsevat. Tässä tutkimuksessa: yksi lämpötilamittari sekä olosuhdemittari per mitattava piste. Espoon Ankkurin Epoletin työmaalla on 7 eri mittauspistettä + 1 etäluettava porareikäanturi. Mittattavat pisteet on jaettu seuraavalla tavalla:

- 1 kpl 1. kerros

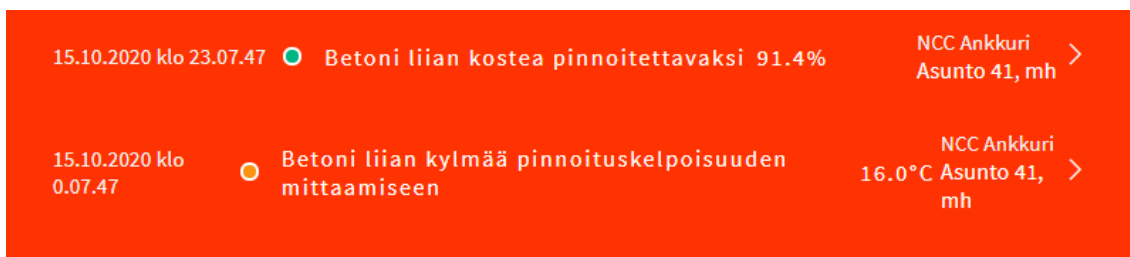
- 2 kpl 2. kerros
- 2 kpl 3. kerros
- 1 kpl 6. kerros
- 1 kpl 10. kerros
- Etäluettava porareikäanturi 1 kpl 4 kerros.

Tämä jako antaa hyvän käsityksen yleisesti koko rakennuksen olosuhteista ja missä niitä on tarvetta muokata haluttuun suuntaan.



Kuva 17. eGate-palvelun laitenäkyvä. [23.]

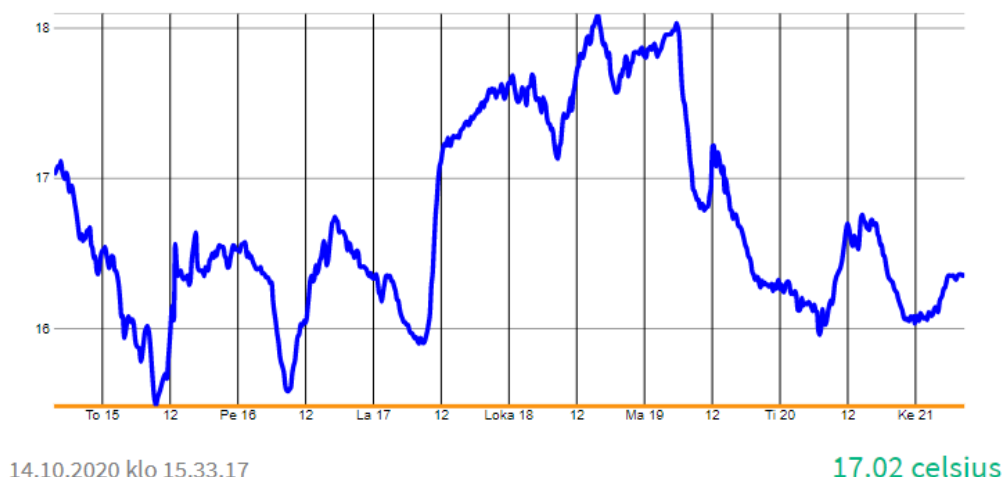
Palvelu myös ilmoittaa, jos betonirakenne on liian kylmää tai liian kosteaa pinnoitettavaksi. Kuvan mukaisessa kohdassa on käytetty etäluettavaa porareikä mittausanturia. Cramon asettamat raja-arvot: RH-% 85 ja lämpötila +18–25 °C. NCC:n oma RH-% arvo on aina 3 % alempi kuin yleinen suositus.



Kuva 18. Porareikäanturin mittaustuloksia. [23.]

Palvelun luomat graafit joka hetkisistä tuloksista/tilanteista lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kannalta auttavat näkemään mitä muutoksia tulisi tehdä tai onko työmaan olosuhteissa tapahtunut jotain erikoista tai epätavanomaista ja mihin suuntaan tulisi tehdä toimenpiteitä, jotta betonirakenne saadaan kuivumaan mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti.

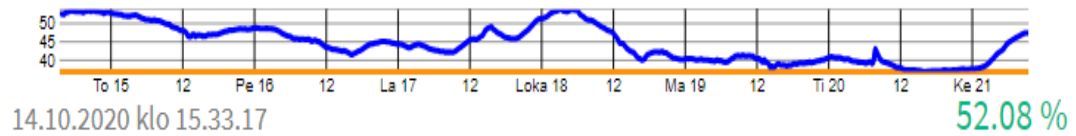
Asunto 12, keittiö



Kuva 19. Asunto 12. lämpötilan kehitys viikon ajalta sekä lämpötilan keskiarvo (vihreä luku) [23.]

Tärkein tekijä rakenteiden kuivumiselle on ilman suhteellisen kosteuden pitäminen mahdollisimman matalana tai laskea sitä. Olosuhdeseurantalaitteisto luo samanlaista graafia suhteellisen kosteuden kehityksestä kuin lämpötilasta. Saman mittauspisteen lämpötila-graafia ja suhteellisen kosteuden graafia voi verrata toisiinsa ja niiden avulla näkee esimerkiksi, tulisiko kyseisen tilan lämpötilaa nostaa RH-% laskemiseksi.

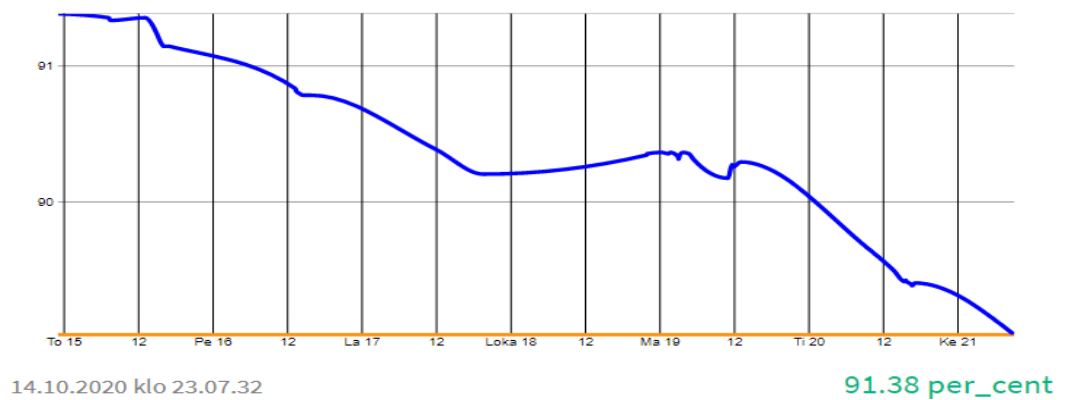
Asunto 12, keittiö



Kuva 20. Asunto 12. Ilman suhteellisen kosteuden kehitys ja keskiarvo viikon ajalta. [23.]

Myös porareikäanturit luovat graafia, miten betonin kosteus on kehittynyt. Tämä helpottaa suuresti reagoimaan ajoissa olosuhteisiin ja niiden mahdollisiin muutoksiin. Ei tarvitse aina odottaa kosteusmittausta, vaan näkee tilanteen koko ajan. Kuvasta näkee, että RH-% on tullut viikossa noin 1,5 % alas. Eli tällaisella tahdilla betoni olisi pinnoitettavissa esimerkiksi parketilla (vaadittu pinnoitus RH-%, NCC:n oma 83) noin 5–6 viikon kuluttua.

Asunto 41, mh



Kuva 21. Porareikäanturin mittaustulokset [23.]

6 Työkalu

Excel-pohjaisessa työkalussa näytetään kosteusmittaukseen normaalisti kuuluvat asiat. Tulokset on havainnollistettu visuaalisesti, jotta niitä olisi helpompi ja nopeampi tulkita. Työkalussa on pyritty tuomaan esille, mikä on vaikuttanut mittaustulokseen negatiivisesti tai positiivisesti. Käytetty massa, vallinneet olosuhteet ja mahdolliset poikkeamat. Milloin betonirakenne on valettu, milloin mahdollisesti pinta on hiottu, onko rakenne suojattu sääsuojalla tai onko se ollut vesikaton ansiosta suojattuna, milloin esimerkiksi plaanovalu on suoritettu.

LOHKO	KERROS	Betonilaatu	VALU pvm	Hionta/pvm	sääsuoja /pvm	lämmitys/pvm	Plaano/pvm
A	1	C35/45 NK	02.11.	16.11.	ei	13.11.	ei vielä

Vaadittu		Mittausvyvy	ANTURITIEDOT	Yleiset Olosuhte	p	RH	°C
PAIKKA	kosteus R						
mh/oh lattia	82	70mm	88	+16° & 65%	26.11.	85.0	16.5

Kuva 22. & 23. Taulukon perusnäkö / seuranta. (taulukko on jaettu kahteen kuvaan → luetaan vasemmalta oikealle)

Solut värjäytyvät saatujen tulosten mukaisesti eri tavalla. Tästä lisää luvussa 6.1. Excelin toisessa välilehdessä/taulukossa pystyy näkemään tulosten kehityksen ja ennustuksen kehityksestä, kun samasta tilasta on saatu kaksi tai useampi mittaus suoritettua.

Solujen värikoodaus nopeuttaa näkemään suoraan missä tarvitaan toimenpiteitä ja mistä rakenteesta mittausta on otettu, vaikka se olisikin samassa tilassa. Esimerkiksi kylpyhuoneen lattian solu värjäytyy siniseksi, kun taas saman tilan tai asunnon makuuhuoneen tai olohuoneen lattian raakapinnan solu värjäytyy harmaaksi.

Taulukko 3. Tiivistetty näkymä Excel-työkalusta (seuranta välilehti)

TIL	PAIKKA	Vaadittu		Mittausvyvy	Yleiset Olosuhte	p	RH	°C
		kosteus R	ANTURITIEDI					
A1	Kph lattis	87	37	70mm		27.elo	87,5	16,2
A2	Kph lattis	87	32	70mm		27.elo	88,2	16,7
A3	Kph lattis	87	35	70mm		27.elo	85,9	16,1
A4	Kph lattis	87	38	70mm		27.elo	87,8	16,1
A5	Kph lattis	87	36	70mm		27.elo	86,3	15,3
A6	Kph lattis	87	23	70mm		27.elo	86,7	16,0
A7	Kph lattis	87	83	70mm		27.elo	88,0	15,4
A8	Kph lattis	87	26	70mm		27.elo	86,2	16,0
A9	Kph lattis	87	28	70mm	ian kylmä rakenteessa	17.9.	86,2	13,2
A10	Kph lattis	87	22	70mm		17.9.	84,0	13,5
A11	Kph lattis	87	86	70mm		17.9.	84,0	13,6
A12	Kph lattis	87	24	70mm		17.9.	86,0	13,5
A13	valomatta	87						
A14	valomatta	87						
A15	Kph lattis	87	81	70mm		17.9.	83,9	13,2
A16	Kph lattis	87	34	70mm		17.9.	82,2	12,4
A17	Kph lattis	87	35	70mm		17.9.	83,7	12,8
A18	Kph lattis	87	30	70mm		17.9.	84,9	13,6
A3	mh/oh lattis	85	36	60mm		9.loka	83,6	22,1
A6	mh/oh lattis	85	88	60mm		9.loka	88,5	22,8
A8	mh/oh lattis	85	34	60mm		9.loka	84,1	19,7

6.1 Työkalun toiminta

Excel-tilauskko toimii samaan tapaan kuin perinteisesti käsin täytettävä mittaustulospöytäkirja. Siihen kirjataan mistä tilasta mittausta on tehty, mikä anturi on ollut käytössä, mittauspäivä, mittaussyvyys, lämpötila ja suhteellinen kosteus. Lisäksi taulukosta löytyy ylimääräinen sarake verrattuna perinteiseen käsin täytettävään mittaustulospöytäkirjaan: Yleiset olosuhteet, tähän voi lisätä esimerkiksi tilan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden. Taulukko värikoodaa syötetyt tulokset seuraavasti:

- Jos lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat sallituissa lukemissa solu muuttuu vihreäksi → tulos on OK (esimerkki tila A3)
- Jos lämpötila on yli +25°C tai alle +15°C, mutta suhteellinen kosteus on OK, niin solu muuttuu oranssiksi → tulos ei ole luotettava (esimerkki tila A9)
- Jos suhteellinen kosteus ei ole sallituissa lukemissa solu muuttuu punaiseksi → betonirakenne on vielä liian kostea, tulos ei ole OK (esimerkki tila A1).

Taulukko 4. Solujen värikoodien merkitys mittaustuloksissa.

TILA	PAIKKA	Vaadittu		Mittaussyvyys	Yleiset Olosuhteet	pv	RH%	°C
		kosteus RH	ANTURITIEDO					
A1	Kph lattia	87	97	70mm		27.08.	87.5	16.2
A2	Kph lattia	87	92	70mm		27.08.	88.2	16.7
A3	Kph lattia	87	95	70mm		27.08.	85.9	16.1
A4	Kph lattia	87	98	70mm		27.08.	87.8	16.1
A5	Kph lattia	87	96	70mm		27.08.	86.9	15.3
A6	Kph lattia	87	23	70mm		27.08.	86.7	16.0
A7	Kph lattia	87	83	70mm		27.08.	88.0	15.4
A8	Kph lattia	87	26	70mm		27.08.	86.2	16.0
A9	Kph lattia	87	28	70mm	an kylmä rakenuksess	17.9.	86.2	13.2
A10	Kph lattia	87	22	70mm		17.9.	84.0	13.5
A11	Kph lattia	87	86	70mm		17.9.	84.0	13.6
A12	Kph lattia	87	24	70mm		17.9.	86.0	13.5


BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS

Mittaja: Eemeli Näreaho 043 8267975		NCC Suomi Oy /Työmaapalvelut					
Mittalaite: Vaisala HM40, S/N: M1510084			Mittapää: Vaisala HMP40S ja HM42PROBE				
Työnumero: 13225			Ankkurin Asuntohankkeet				
Työmaan osoite: Kipparinkatu 2, Espoo			Yhteyshenkilö: Aleks Eerola 050-5598973				
Poraus pvm: 19.8.20/10.9.20/1.10.20			Mittaus pvm: 9.10.2020				
Sisälämpötila:		Sisä RH%:	Ulkolämpötila: 11,5		Ulko RH%: 92		
Rakenne:			*Mittauslämpötila 15-25°C				
Pinnoite:			Raja-arvo:				
Lohko	Kerros	Mittapiste	Mittauspaikka	Anturi	Mittausvyvyys	°C	RH%
A	1	A1	Kph lattia	97	70mm	18,9	84,4
		A2	Kph lattia	26	70mm	18,9	86,6
		A3	Mh/Oh lattia raaka	96	60mm	22,7	89,6
		A3	Mh/Oh lattia raaka	95	24mm	20,9	85,7
		A4	Kph lattia	03	70mm	27,7	90,5
		A6	Mh/Oh lattia raaka	88	60mm	22,8	88,5
		A6	Mh/Oh lattia raaka	81	24mm	22,4	83,4
		A7	Kph lattia	27	70mm	27,9	88,8
		A8	Mh/Oh lattia raaka	94	60mm	19,7	84,1
		A8	Mh/Oh lattia raaka	85	24mm	19,9	87,7
+18,7	64,3%	A9	Kph lattia	23	70mm	16,9	86,8
		A10	Kph lattia	30	70mm	16,5	85,7
		A11	Kph lattia	87	70mm	16,4	84,1
		A12	Kph lattia	28	70mm	16,1	87,3
		A12	Mh/Oh lattia raaka	82	60mm	17,2	90,0
		A12	Mh/Oh lattia raaka	89	24mm	16,7	91,6
		A13	Kph lattia/valamatta				
		A14	Kph lattia/valamatta				
		A15	Kph lattia	91	70mm	17,3	85,2
		A16	Kph lattia	93	70mm	17,9	86,7
		A16	Mh/Oh lattia raaka	98	60mm	19,7	86,4
		A16	Mh/Oh lattia raaka	25	24mm	18,6	83,5
		A17	Kph lattia	84	70mm	18,1	86,5
		A18	Kph lattia	22	70mm	18,5	85,3
A18	Mh/Oh lattia raaka	86	60mm	18,5	84,7		
A18	Mh/Oh lattia raaka	24	24mm	18,7	82,4		

Kuva 24. Käsin täytettävä mittaustulospöytäkirja (NCC Suomi Oy)

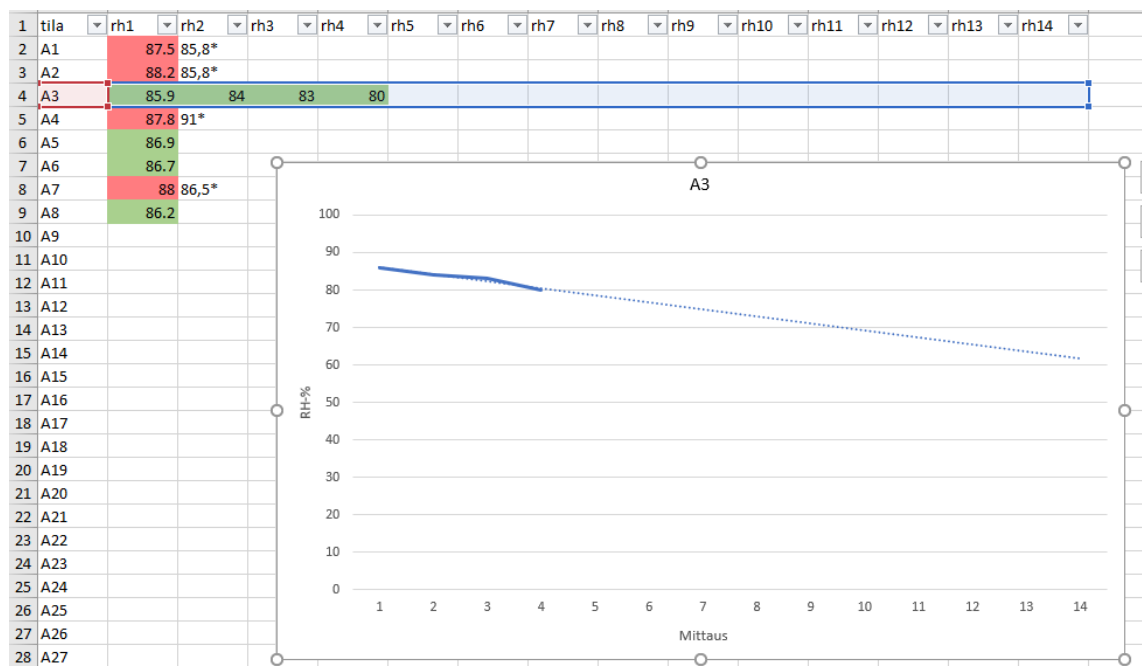
Työkalun toisen välilehden tulosten kehitys ja kehityksen ennustusosio auttaa reagoimaan aikaisin, jos jonkin rakenteen kuivuminen näyttää kestävän liian kauan tai jopa pahimmassa tapauksessa kehitys on negatiivista → rakenteen suhteellinen kosteus kasvaa ajan myötä.

Taulukko piirtää saadut mittatulokset pisteinä graafiin ja näyttää niiden pohjalta syntyvän ennusteen (trendiviivan), joka on kuvattu pisteiviivana. Tämän avulla näkee kauanko kyseisen mittapisteen kuivuminen haluttuihin lukemiin kestää, jos kosteuden kehitys on

vaikka esimerkin mukainen. Mittauksien määrä on asetettu neljääntoista (yksi mittaus edustaa yhtä viikkoa = 14 mittausta / 14 viikkoa). Ennuste alkaa piirtymään, kun on saatu kaksi luotettavaa/käyttökelpoista mittaustulosta.

Ennusteen avulla pääsee myös nopeasti vaikuttamaan tilan kuivatuksen tehostamiseen, jos se on tarpeen. Vaikka kuivumista tapahtuisi, niin se voi olla liian hidasta ja ennusteen avulla se näkyy heti.

Tulokset ennustevälilehdessä on siirretty suoraan seurantavälilehdeltä. Jos kaikki data olisi yhdellä välilehdellä excelissä, siitä tulisi erittäin hankalasti tulkittava. Ennustevälilehdellä käsitellään käytännössä vain RH-% lukuja. Jos mitattu RH-% luku ei ole luotettava tai käyttökelpoinen, niin luvun perään merkitään *-merkki tätä indikoimaan.



Kuva 25. Tulosten kehitys ja kehityksen ennustus (trendiviiva) (Ennuste välilehti)

6.1.1 Työkalun käyttö

Työkalun käyttö aloitetaan syöttämällä vaadittu suhteellinen kosteus taulukon kohtaan vaadittu RH-% arvo. Mikä anturi on kyseessä (tarvitseeko sitä kalibroida), sekä

mittaussyvyys rakenteesta, joka on oleellinen asia kosteuden kannalta (nähdään myös kosteusjakauma, jos mittauksia on suoritettu eri syvyyksiltä). Yleisiin olosuhteisiin voi kirjata esimerkiksi, jos rakennuksessa on ollut liian tai poikkeuksellisen kylmä/kuuma.

Taulukko 5. Kuvitteellinen tilanne eri mittaustuloksista eri raja-arvoilla

TILA	PAIKKA	Vaadittu		Mittaussyvyys	Yleiset Olosuhteet	pv	RH %	°C
		kosteus RH	ANTURITIEDO					
A1	kph lattia	87	80	70	ok	26.10.	85.0	20.0
A2	mh/oh lattia	82	79	70	ok	26.10.	80.0	20.0
PRH	käytävä	72	78	70	ok	26.10.	80.0	20.0

Kullakin materiaalilla on tuoteselosteessa ohjeistus alustan vaaditusta suhteellisen kosteuden arvosta, jonka mukaan asetetaan esimerkki kuvan mukaisesti vaaditun raja-arvon. Kyseinen esimerkin tilanteessa pinnoitusmateriaalina on parketti/laminaatti ja kylpyhuoneen vedeneriste, jossa NCC:n asettama oma raja-arvo on RH-% arvo 82 parketti/laminaatti ja RH-% arvo 87 kylpyhuoneen vedeneriste.

Vaadittu raja-arvo asettaa saman arvon koko taulukon sille riville mille se asetetaan. Tästä syystä, jos samasta tilasta otetaan eri paikoista mittauksia, tulee se asettaa uudelle riville. Esimerkiksi saman tilan kylpyhuoneen lattiaa ja makuuhuoneen lattiaa ei voi laittaa samalle riville, koska pinnoitusmateriaali on eri ja näin ollen pinnoitusraja-arvo myös.

LOHKO	KERROS	TILA	PAIKKA	Vaadittu
				kosteus RH %
A	1	A1	mh/oh lattia	82
A	1	A1	kph lattia	87
A	1	A1	mh/oh raaka	85

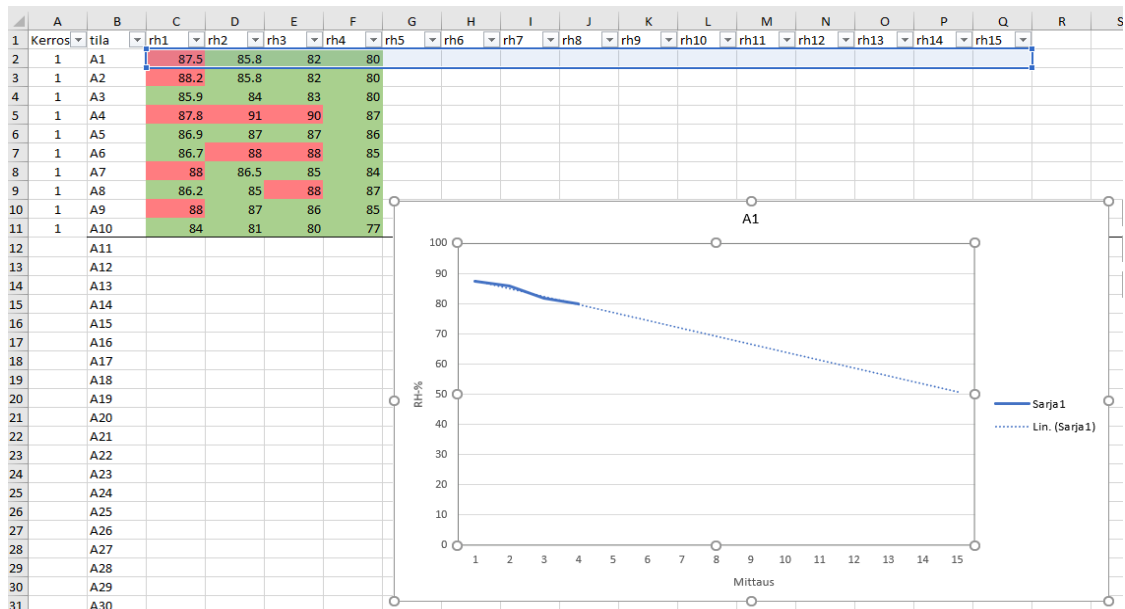
Kuva 26. Eri tilojen ja paikkojen vaikutus.

Taulukko 6. RH-% arvon ja lämpötilan vaikutus soluihin.

TILA	PAIKKA	Vaadittu		Mittaussyvyys	Yleiset Olosuhteet	pv	RH%	°C
		kosteus RH	ANTURITIEDO					
A1	kph lattia	87	80	70	ok	26.10.	85.0	20.0
A2	mh/oh lattia	82	79	70	ok	26.10.	80.0	20.0
A1	kph lattia	87	80	70	ok	26.10.	88.0	20.0
A2	mh/oh lattia	82	79	70	ok	26.10.	83.0	20.0
A1	kph lattia	87	80	70	ok	26.10.	85.0	27.0
A2	mh/oh lattia	82	79	70	ok	26.10.	81.0	27.0

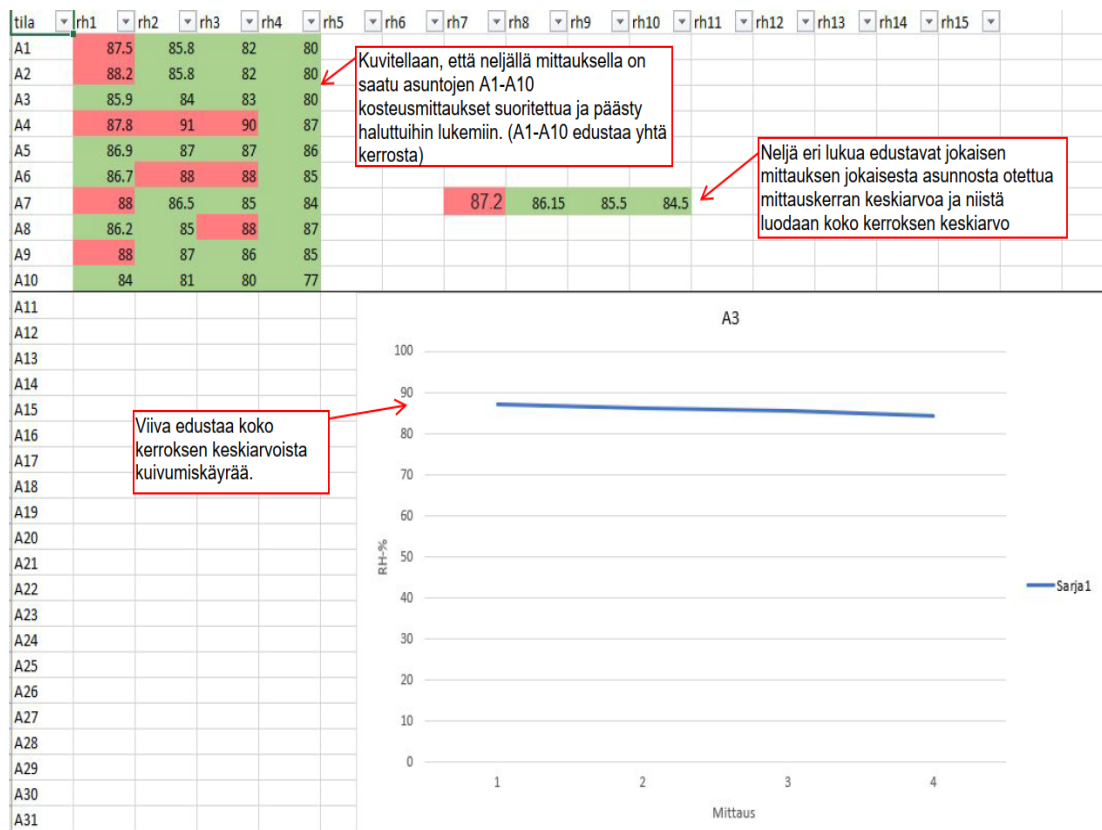
Lämpötilan tulee aina olla mittaushetkellä +15...+25°C. Näin varmistetaan, että mittaus-
tulos on luotettava. Eli jos mitattavan kohteen lämpötila on alle +15 °C tai yli +25 °C, niin
taulukko ilmoittaa lämpötilan oranssina, josta näkee heti, ettei mittaus tulos ole luotettava.

Ennusteen käyttäminen: Jotta taulukko näyttää halutun tilan kosteuden kehityksen, toimi
näin: Klikkaa Hiiren oikealla painikkeella taulukkoa (otsikko A1) → valitse tiedot → valitse
minkä tilan datan haluat näkyvän, maalamalla/valitsemalla kyseinen rivi niin monelta mit-
tauskerralta kuin haluat → paina OK.

**Kuva 27.** Ennusteen käyttö.

6.2 Tulosten hyödyntäminen

Oletetaan, että rakennus on nyt rakennettu ja se on täysin valmis. Kosteusmittauksia on suoritettu niin paljon, kunnes rakenne on ollut halutuissa RH-% arvoissa. Työkalun avulla voi suodattaa monia eri asioita: Tietty massa, onko ollut sääsuojaa tai esimerkiksi, milloin rakennukseen on saatu lämmitystä. Voidaan myös laskea keskiarvo esimerkiksi tietyn kerroksen kuivumisajoille/RH-% muutokselle tietyllä aikavälillä.



Kuva 28. Keskiarvon luominen ennusteosiosta.

Taulukko 7. Mediaanikomento työkalussa. Mediaani soluista C2 - C11 = 87.2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Kerros	tila	rh1	rh2	rh3	rh4	rh5	rh6	rh7	rh8	rh9	rh10
2	1	A1	87.5	85.8	82	80						
3	1	A2	88.2	85.8	82	80						
4	1	A3	85.9	84	83	80						
5	1	A4	87.8	91	90	87						
6	1	A5	86.9	87	87	86						
7	1	A6	86.7	88	88	85						
8	1	A7	88	86.5	85	84			87.2	86.15	85.5	84.5
9	1	A8	86.2	85	88	87						
10	1	A9	88	87	86	85						
11	1	A10	84	81	80	77						

Mediaanikomennolla (=MEDI AANI A: A) saadaan taulukosta haluttujen lukujen keskiarvo ja niiden avulla voidaan luoda kokonaiskuivumiskäyrä. Eli kuvitteellisessa tilanteessa, kun esimerkiksi jonkin kerroksen kaikki mittaukset suoritettu ja on päästy haluttuihin/sallittuihin RH-% lukemiin, niin voidaan luoda keskiarvokuivumiskäyrä kerrokselle. Otetaan jokaisen mittauksen tulokset koko kerroksen tiloista. Taulukko 7. mukaisesti on otettu neljän eri mittauskerran keskiarvot ja laitettu ne taulukon oikealle. Kuvasta 28. näkee tämän tarkemmin ja miten keskiarvoista saadaan kokonaiskuivumiskäyrä.

Suodattamisen avulla taulukosta voi katsoa esimerkiksi tietyllä massalla tehdyt betoni-rakenteet ja niiden pohjalta nähdä miten se on vaikuttanut RH-% kehitykseen tai kuivumisaikoihin. Tämän avulla voi myös suoraan verrata monia eri tekijöitä. Onko toisessa rakenteessa ollut suojaa, onko toista hiottu ja nähdä niiden erot / vaikutukset.

LOHKO	KERROS	Betonilaat	VALU pvm	Hionta/pvr	Saastuoja /pvm	lämmitys/t	Plaano/pvr
A	1	C35/45 NK	02.11.	16.11.	ei	19.11.	ei vielä
A	1	C35/45 NK	02.11.	16.11.	ei	19.11.	
A	1	C35/45 NK	02.11.	16.11.	ei	19.11.	
A	1	C35/45 NK	02.11.	16.11.	ei	19.11.	
A	1	C35/45 NK	02.11.	16.11.	ei	19.11.	
A	1	C35/45 NK	02.11.	16.11.	ei	19.11.	
A	1	C30/37	3.11.	17.11	KYLLÄ	19.11.	
A	1	C30/37	3.11.	17.11	KYLLÄ	19.11.	
A	1	C30/37	3.11.	17.11	KYLLÄ	19.11.	
A	1	C30/37	3.11.	17.11	KYLLÄ	19.11.	
A	1	C30/37	3.11.	17.11	KYLLÄ	19.11.	

Taulukko 8. Esimerkinäkymä vaikuttavista tekijöistä kuivumisaikoihin -ja nopeuksiin.

Kaikki tekijät eivät välttämättä aina ole hyödyllisiä tai niiden vaikutus on niin pientä, että ne saattavat olla vain ylimääräistä tietoa. Taulukosta voi kuitenkin piilottaa ylimääräisiä sarakkeita pois ja toimia tiettyjen sarakkeiden datan pohjalta, jos se tuntuu soveltuvan kyseiseen projektiin tai omaan tekemiseen paremmin.

Työkalussa on erittäin paljon dataa ja sen tulkitseminen jälkeenpäin on aika iso työmaa. Tämän takia aiemmin mainittu keskiarvotoiminto auttaa näkemään isompia kokonaisuuksia helpommin. Keskiarvon voi luoda myös vaikka koko rakennuksesta tai tietyistä lohkoista.

7 Tutkimustulos

Tutkimuksessa erittäin selkeästi huomasi, kuinka paljon betonimassan laatu vaikuttaa kuivumiseen. Espoon Ankkurin Epoletin kohteessa oli käytetty paikallavaluholveissa kahta eri massaa: C35/45 rakennebetoni RN ja C35/45 Rakennebetoni NK. NK Massalla tehdyt holvit olivat jo ensimmäisellä mittauskerralla saavuttaneet vaaditun RH-% kylpyhuoneen pinnoituksen osalta (lämpötila poikkeama huomioon ottaen), kun taas normaali massalla tehty kuivui vaihtelevasti, joko samaan aikaan tai useita viikkoja myöhemmin. Kuviiin keltaisella korostetut ovat valettu NK-massalla.

Betonin kosteusmittausten seuranta				MITTAUS 1									
Epoletti Mittaaja: Eemeli Näreaho													
LOHKO	KERROS	Betonilaatu	VALU pvm	TILA	PAIKKA	Vaadittu kosteus RH	Mittaussyvyys	ANTURITIEDOT	Yleiset Olosuhteet	pvm	RH %	°C	
A	1	C35/45 RN	16.6.	A1	kph lattia	87	70mm			27.08.	87,5	16.2	
A	1	C35/45 RN	16.6.	A2	kph lattia	87	70mm			27.08.	88,2	16.7	
A	1	C35/45 RN	16.6.	A3	kph lattia	87	70mm			27.08.	85,9	16.1	
A	1	C35/45 RN	16.6.	A4	kph lattia	87	70mm			27.08.	87,8	16.1	
A	1	C35/45 RN	16.6.	A5	kph lattia	87	70mm			27.08.	86,9	15.3	
A	1	C35/45 RN	16.6.	A6	kph lattia	87	70mm			27.08.	86,7	16.0	
A	1	C35/45 RN	16.6.	A7	kph lattia	87	70mm			27.08.	88,0	15.4	
A	1	C35/45 RN	16.6.	A8	kph lattia	87	70mm			27.08.	86,2	16.0	
A	2	C35/45 NK	08.07.	A9	kph lattia	87	70mm		liian kylmä rakennuksessa	17.9.	86,2	13.2	
A	2	C35/45 NK	08.07.	A10	kph lattia	87	70mm			17.9.	84,0	13.5	
A	2	C35/45 NK	08.07.	A11	kph lattia	87	70mm			17.9.	84,0	13.6	
A	2	C35/45 NK	08.07.	A12	kph lattia	87	70mm			17.9.	86,0	13.5	

MITTAUS 2						MITTAUS 3					
Mittaussyvyys2	ANTURITIEDOT2	Yleiset Olosuhteet2	pvm2	RH%2	°C2	Mittaussyvyys3	ANTURITIEDOT3	Yleiset Olosuhteet3	pvm3	RH %3	°C3
70			17.09.	85,8	13,3	70			09.10.	84,4	18,8
70			17.09.	85,8	13,6	70		+18,7 64,3%	09.10.	86,8	18,9
70			17.09.	91	13,6	70			09.10.	90,3	21,1
70			17.09.	86,5	13,1	70			09.10.	88,8	21,9
70			09.10.	86,8	16,9						
70		+16,1 71,6%	09.10.	85,7	16,5						
70			09.10.	84,1	16,4						
70			09.10.	87,3	16,1	70			15.10.	86,8	15,7

MITTAUS 4						MITTAUS 5					
Mittausyvyys	ANTURITIEDO	Yleiset Olosuhteet	pvi	RH%	°C	Mittausyvyys	ANTURITIEDO	Yleiset Olosuhteet	pvi	RH%	°C
70			15.10.	90,6	20,7	70			22.10.	87,3	20,3
70			15.10.	87,4	19,9	70			22.10.	84,3	17,5

Kuva 30. Mittaustulokset eri betonimassoilla. (Lukeminen: ylhäältä alas ja vasemmalta oikealle.)

Vaikka 2. kerroksesta on ehditty mittaamaan vain 4 asuntoa. Niin ne ovat tasaisesti ja nopeasti kuivuneet jo kahden ensimmäisen mittauksen aikana. Kun taas 1. kerroksen muutama asunto on venynyt jopa viidenteen mittaukseen ja vieläkin lisää tarvitaan, jotta koko kerros olisi ”kuiva” / saavuttanut vaaditun RH-% luvun pinnoitusta varten.

NCC:n toisessa kohteessa Helsingin Fregatti, joka sijaitsee Laajasalossa Kruunuvuoren-rannassa. Käytettiin holvivaluissa Swerock Oy:n suosittamaa säänkestävää betonia (SK C30/37) tämä todettiin työmaalla nopeammin kuivuvaksi, kun taas normaali C30/37 massa. Keltaisella korostettu on kylpyhuoneiden lattian kosteuden toteuma. Ensimmäinen mittauspäivä on ollut 19.12.2019 ja toinen 10.01.2020, jolloin on jo päästy haluttuihin RH-% lukemiin.

Kohteessa valetut Schöck-parvekkeet ja/tai kylpyhuoneen vierustäytöt ovat kuivuneet hitaasti. Varsinkin verrattuna säänkestävään betoniin. Erityisen hidasta kuivumista on näiden valujen osalta siis tapahtunut. Mittaukset ovat kolmen viikon ajalta (28.11.2019-13.12.2019) ja tässä ajassa RH-% luvut ovat tulleet alaspäin noin 1 % per viikko. Tällainen kuivumistahti ei ole suotuisaa.

Kuiva asunt		Poraus pvm: 16.12.2019		Poraus pvm: 16.12.2019		Poraus pvm: 16.12.2019		
Mittaus pvm: 19.12.2019		Mittaus pvm: 19.12.2019		Mittaus pvm: 19.12.2019		Mittaus pvm: 10.12.2019		
C-TALO	HUONEISTO	AS. SHÖCK TAI KPH VIERU	AS. SHÖCK TAI KPH VIERU	AS. LATTIA PLAANON JÄLKI	AS. US	KPH SEINÄ (betoniseinä)	KPH LATTIA	AS. SHÖCK TAI KPH VIERU
1.KRS	C46							
	Kerhotila							
2.KRS	C47	87,5			78		85	
	C48	86,5			81			
	C49	87,8			78		84	
3.KRS	C50	87,6			77,8		86	
	C51	88,3			81		84	
	C52	87,6			80		85	
	C53	86			75			
	C54	87,5			79		86	

Kuiva asunt		Poraus pvm: 25.11.2019		Poraus pvm: 25.11.2019		Poraus pvm: 25.11.2019, 28.11.2019		
Mittaus pvm: 28.11.2019		Mittaus pvm: 28.11.2019		Mittaus pvm: 28.11.2019		Mittaus pvm: 4.12.2019		
C-TALO	HUONEISTO	AS. SHÖCK TAI KPH VIERU	AS. SHÖCK TAI KPH VIERU	AS. LATTIA PLAANON JÄLKI	AS. US	KPH SEINÄ (betoniseinä)	KPH LATTIA	AS. SHÖCK TAI KPH VIERU
1.KRS	C46							
	Kerhotila	89,2						-
2.KRS	C47	89						87,2
	C48	89,4						88,1
	C49	90,6						90,2
3.KRS	C50	86,2						86,8
	C51	87,2						87,1
	C52	86,2						86
	C53	86,7						84,5
	C54	86,6						85,7
4.KRS	C55	88,1						86,2
	C56	87						87,1
	C57	88,9						88,8
	C58	87,9						88
	C59	86						86,2
5.KRS	C60							87,2
	C61							87,5
	C62							87,1
	C63							-
	C64							86,2

Poraus pvm:	Poraus pvm:	Poraus pvm:	Poraus pvm:	Poraus pvm: 25.11.2019, 28.11.2019
Mittaus pvm:	Mittaus pvm:	Mittaus pvm:	Mittaus pvm:	Mittaus pvm: 13.12.2019
AS. LATTIA PLAANON JÄLKI	AS. US	KPH SEINÄ (betoniseinä)	KPH LATTIA	AS. SHÖCK TAI KPH VIERU
				87
				87,9
				89,8
				86,2
				86,3
				85,5
				-
				85,3
				85,8
				86,1
				88,3
				86,8
				86
				86,8
				85,7
				87
				85,6
				85,2

Kuva 31. Mittaustuloksia (SK C30/37 massa ja normaali C30/37 massa.)

Olosuhteiden seuranta suoritettiin vain yhdessä kohteessa, sillä laitteisto on suhteellisen kallis, jokseenkin uusi ja vieras asia käyttää. Siitä huolimatta kellon ympäri toimiva olosuhdeseuranta, auttaa ymmärtämään ja näkemään useiden eri tekijöiden vaikutuksia RH-% arvoihin. Kuvan 30. mittausta 2 ja mittausta 3 välillä rakennusaikainen lämmitys on saatu päälle ja se on vaikuttanut 1. kerroksen RH-% arvoihin positiivisesti.

Tai miten ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus vaikuttaa rakennuksen sisäpuolella. Tämän takia onkin erityisen tärkeää rakennusta lämmittäessä tai tuuletettaessa ottaa huomioon ulkoilman lämpötila ja varsinkin ulkoilman suhteellinen kosteus. Kuvasta 29. näkee suuren eron RH-% luvuissa asuntojen A16 ja A12 välillä. A16 asunto on rakennusaikaisen hissien (alimak) linjalla ja tämän kautta ulkoilma pääsee vaikuttamaan asunnon olosuhteisiin huomattavasti ja sitä kautta myös betonirakenteiden kuivumiseen.



Kuva 32. Espoon Ankkuri 2. kerroksen olosuhdeseuranta mittapistet.

Tutkimuksen aikana käytössä ollut Cramo Oy:n eGate-palvelu on vielä täysin uutta Cramolle myös. Tästä syystä palvelussa on vielä paljon kehitettävää ja kaikkea sen tarjoamaa dataa ei saa vielä hyödynnettyä täysin. Esimerkiksi palvelu ei aina näytä koko aikaista olosuhteiden kehitystä, vaan vain ensimmäiset 9 päivää laitteiston asennuksesta. Palvelun hyöty voi siis olla vielä suurempi tulevaisuudessa. Tämän tutkimuksen aikana siitä ei päästy ajan lyhyden takia hyötymään täysin. Mutta laitteisto näyttää aina reaaliaikaisen tilanteen tilan olosuhteista.

Olosuhdeseurattavan kohteen mittaustuloksia ja miten ne kehittyvät ei tässä tutkimuksessa valitettavasti päästä näkemään pinnoitushetkeen asti. Muissa tutkittavissa kohteissa ei ole ollut samanlaista olosuhdeseurantaa käytössä. Mutta tietynlaisia erikoisbetoneita, joiden halutaan kuivuvan nopeammin, on käytetty.

8 Yhteenveto & pohdinta

Betonilaadut vaikuttavat kuivumisaikoihin. Nopeammin kuivuvat, säänkestävät ja muut erikoisbetonit mahdollistavat nopeamman ja luotettavamman kuivumisen betonirakenteille verrattuna tavanomaisempiin betonilaatuihin.

Olosuhteiden merkitys on suuri betonin kuivumisessa. Kun tiedetään optimaaliset parametrit kuivumisolosuhteille ja niihin pyritään tai pyritään pysymään niissä, niin kuivuminen betonirakenteissa tapahtuu mahdollisimman nopeasti. Olosuhdeseurannalla vältytään ei-halutuilta tilanteilta ja pystytään ohjaamaan kuivumisen kehitystä haluttuun suuntaan.

Molemmat asiat huomioon ottaen betonirakenteiden kuivumisessa voidaan kuivumisaikoja lyhentää tai luoda ne enemmän haluttujen aikataulujen mukaiseksi. Työkalun avulla voidaan tulevaisuudessa laskea samankaltaisten betonirakenteiden kuivumisaikat tarkemmin ja näin luoda niistä aikataulunsuunnittelun kannalta varmempia.

Kun kuivumisaikat ovat tarkemmin laskettavissa sekä luotettavampia pinnoitettaville/päällystettävälle rakenteille, se helpottaa aikataulujen suunnittelua, vähentää aikataulun venymisen riskiä ja tätä kautta pienentää myös kustannus- ja laaturiskejä rakennuskohteissa.

Kosteudenhallinnan ja kuivumisaikojen kanssa tullaan aina työskentelemään rakennusalalla. Milloin se sitten on helppoa ja milloin taistelua. Tulevaisuudessa kehitetään varmasti entistäkin toimivampia tapoja valvoa kosteutta, olosuhteita ja vaikuttaa sen luomiin haittoihin rakennustyömailla. Betonilaadut tulevat myös varmasti kehittymään tulevaisuudessa ja näin ollen saadaan yhä paremmin kuivuvia betoneita kaikkialle käyttöön.

Kosteudenhallinnan työkaluja tullaan mitä todennäköisimmin näkemään enemmän elektronisessa ja sovelluspohjaisissa muodoissa tulevaisuudessa.

Lähteet

- 1 Betoniyhdistys, http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/bkr-2019/luento2.kolio_betonirakenteiden_kosteus_2019-03-19.pdf (luettu 12.10.2020)
- 2 Rakentaja, https://www.rakentaja.fi/artikkelit/8989/mita_betoni_on.htm (luettu 12.10.2020)
- 3 PBM, <https://www.pbm.fi/betoni-ja-maalaboratorio/betonin-testaus/> (luettu 12.10.2020)
- 4 Rakennustieto, <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100401.pdf> (luettu 12.10.2020)
- 5 Betoni, <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikalla-valu/betonityypit-ja-oikean-betonin-valinta/> (luettu 13.10.2020)
- 6 Luja, <https://www.luja.fi/2012/12/10/uusi-nk-betoni-ehkaisee-lattioiden-kosteus-vaurioita/> (luettu 15.10.2020)
- 7 Lujabetoni, <https://www.lujabetoni.fi/tuotteet/valmisbetonit/lattiabetonit/nk/> (luettu 16.10.2020)
- 8 Rakentamisen kosteudenhallinta, <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakennushankkeen-vaiheet/rakentamisen-valmistelu/urakoitsijan-aikataulusuunnittelu> (luettu 20.10.2020)
- 9 Rakennusmaailma, <https://rakennusmaailma.fi/betonilattian-kuivumisen-nyrkki-saannoista-on-paljon-harhaluuloja/> (luettu 20.10.2020)
- 10 Betoni, <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikalla-valu/jalkihoito/> (luettu 23.10.2020)
- 11 Sisäilmäyhdistys, <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kunnossapito-ja-korjaaminen/Purku-kuivaus-ja-puhdistus/Rakenteiden-kuivattaminen> (luettu 23.10.2020)
- 12 Finnsementti, <https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pien-rakentajalle-ja-rautakauppiaille/betonin-kuivuminen/> (luettu 28.10.2020)
- 13 Uniikkitalo Blogspot, <http://uniikkitalo.blogspot.com/2014/04/betonin-kosteusmitaus-osa-1-kesat.html> (luettu 28.10.2020)
- 14 RATU 1215-S <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%20S-1215>

- 15 By 45, Bly Betonilattiat 2018, Suomen Betoniyhdistys ry, Tarja Merikallio
- 16 Rudus, <https://www.rudus.fi/Download/23940/Betonin%20valinta%20rakenteisiin%20-%20olosuhdehallinta.pdf> (luettu 19.10.2020)
- 17 Betonin kuivumisen nopeuttaminen, <http://betoninkovetus.fi/wp-content/uploads/2018/11/BET-betonin-kuivumisen-nopeuttaminen-ohjekirja-2018.pdf> (luettu 30.10.2020)
- 18 Merikallio, Tarja - Niemi, Sami - Komonen, Juha 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
- 19 RT 14-10984 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.metropolia.fi/resource/juha/content/866#page=1> (luettu 28.10.2020)
- 20 Muottikolmio, <https://www.muottikolmio.fi/betonin-jalkihoitoaine-levitetaan-katevasti-lehtipuhaltimella/> (luettu 25.10.2020)
- 21 Rakennustieto, <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120602.pdf> (luettu 21.10.2020)
- 22 Vertia, https://vertia.fi/keinot-betonin-kuivumiseen-aikataulussa/?gclid=Ci0KCQjw8rT8BRCbARIsALWiOvQUiUZe87VxJsX32vAjmRVO-laF2gV6tuYbDw3KjyGxglD88n918_rqaAgT7EALw_wcB
- 23 eGate, <https://app.e-gate.fi/>
- 24 NCC Suomi Oy, <https://www.ncc.fi/projektit/espoon-ankkuri-espool/>
- 25 Merikallio, Tarja 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
- 26 Ramirent, <https://www.ramirent.fi/vuokraa/lammitys-kuivaus-ja-polyntorjunta/kuivaus/kondenssikuivaimet/902108/kondenssikuivain> (luettu 01.11.2020)
- 27 Skanska konevuokraus, <https://skanskakonevuokraus.fi/?s=simpukka> (luettu 01.11.2020)
- 28 Trotec, <https://www.trotec24.fi/koneet/lammitys/sahkolammitin> (luettu 01.11.2020)
- 29 Lumme, Pentti – Merikallio, Tarja 1997. Betonin kosteudenhallinta. Forssa. Suomen Betonitieto Oy

- 30 Betoniyhdistys, http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/bkr-2019/luento2.kolio_betonirakenteiden_kosteus_2019-03-19.pdf (luettu 23.11.2020)
- 31 Betoniyhdistys, <http://www.betoniyhdistys.fi/julkaisut/betoniohjelmat/by-2020-betonin-kuivumisaika-arvio.html> (luettu 01.11.2020)

