

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka, Lappeenranta  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma  
Rakennustuotannon suuntautumisvaihtoehto

Janita Ojala

## **Betonirakenteiden kuivumisen varmistaminen**

Opinnäytetyö 2019

## Tiivistelmä

Janita Ojala

Betonirakenteiden kuivumisen varmistaminen, 66 sivua, 2 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka, Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma

Rakennustuotannon suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2019

Ohjaajat: lehtori Timo Lehtoviita, Saimaan ammattikorkeakoulu,  
työpäällikkö Timo Markkanen, Skanska Talonrakennus Oy

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, miten eri kuivatusmenetelmät vaikuttavat betonilattiarakenteiden kuivumiseen ja millä eri keinoilla kuivumisaika-arvioita voidaan tehdä. Kuivumisaika-arvioiden tekeminen työmaalla on tärkeää, jotta pystytään aikatauluttamaan muun muassa sisävalmistusvaihetta.

Huonosti kuivatetut tai liian varhain päällystetyt betonirakenteet aiheuttavat usein kosteusongelmia, varsinkin rakenteissa, jotka päällystetään huonosti vettäläpäisevillä materiaaleilla, esimerkiksi muovimatoilla. Sen takia työmailla tulee varmistaa ennen päällystystöitä, että betonirakenteiden kosteus on alle kriittisen raja-arvon, jotta voidaan varmistua siitä, ettei kosteusongelmia synny.

Kuivumiseen vaikuttavat monet eri tekijät, niin betonimassan valmistus kuin myös betonoinnin jälkeen tehtävä jälkihoito. Kuitenkin suurin vaikutus rakenteiden kuivumiseen on kuivumisolosuhteilla, sillä oikeanlaisilla olosuhteilla voidaan varmistaa ja jopa nopeuttaa rakenteiden kuivumista.

Tärkein kaikista on kuitenkin betonirakenteiden kosteusmittaus ennen rakenteiden päällystämistä. Jokaisella päällystemateriaalilla on valmistajan ilmoittama kriittinen kosteusraja-arvo, jonka alapuolella betonirakenteiden suhteellinen kosteus tulee olla ennen päällystyksiä. Näin voidaan varmistaa, että kosteusongelmia ei synny.

Avainsanat: betonirakenteet, kosteudenhallinta

## **Abstract**

Janita Ojala

Ensuring the drying of concrete structures, 66 Pages, 2 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology, Lappeenranta

Civil and Construction Engineering

Specialisation in Building production

Bachelor's Thesis 2019

Instructors: Mr Timo Lehtoviita, Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences

Mr Timo Markkanen, Construction manager,  
Skanska Talonrakennus Oy

The aim of this thesis is to survey how different dehydration methods influence the dehydration of concrete floor structures and how it is possible to estimate drying times in different ways. The making of drying time estimates is very important on building sites, because they have impact on the internal building works schedule.

Dehydration of concrete structures plays a major role on building sites. Poorly dried or too early coated structures often cause moisture problems, especially in structures that are poorly coated with water permeable vinyl flooring. For this reason, you have to be sure that the moisture content of the concrete structures is below the critical limit to ensure that moisture problems do not arise.

Drying of the concrete is influenced by many factors, including manufacturing of the concrete, as well as concrete's after-treatment and especially the drying conditions of the concrete structures. However, the most significant impact on the drying of structures is the conditions, because the proper conditions can be used to ensure and even accelerate the drying of the structures.

The most important of them all, however is the moisture measurement of concrete structures before the coatings of the structures. Each coating material has its own critical moisture limit value specified by the manufacturer and before coatings the relative humidity needs to be below that critical moisture limit value. That will ensure that no problems are encountered.

Keywords: concrete structures, moisture management

# Sisällys

Sisällys.....	4
1 Johdanto.....	5
2 Betoni .....	6
2.1 Betonin koostumus ja lisäaineet .....	6
2.2 Betonointi.....	8
2.3 Jälkihoito.....	10
2.4 Betonin kosteus .....	11
2.5 Betonin kastuminen .....	14
3 Kuivumiseen vaikuttavat tekijät.....	15
3.1 Betonilaatu.....	15
3.2 Rakenne .....	18
3.3 Kuivumisolosuhteet.....	19
3.4 Kuivumissuunnat .....	21
4 Betonin kuivuminen .....	23
4.1 Kuivumisen nopeuttaminen.....	25
4.1.1 Rakenteen lämmittäminen ja kosteuden poisto .....	25
4.1.2 Kuivatusputkisto .....	26
5 Ongelmakohtia.....	27
5.1 Deltapalkit.....	27
5.2 Muovimatoilla päällystettävät rakenteet .....	29
5.3 Työmaalla kastunut betoni .....	31
6 Kuivumisen varmistaminen .....	33
6.1 Pintakosteudenosoitin.....	33
6.2 Porareikämittaus.....	34
6.2.1 Mittaussyvyyydet.....	36
6.2.2 Lämpötilan vaikutus porareikämittaukseen .....	38
6.3 Näytepalamittaus .....	39
6.4 Reaaliaikainen kuivumisen seuranta .....	40
7 Laskentaesimerkit.....	43
7.1 Rakenteiden kuivumisaika-arviolaskuri .....	44
7.2 Käsin laskenta .....	45
7.3 Tulokset .....	48
8 Case-tapaus.....	49
8.1 Kohteen suunnitelmat .....	50
8.2 Kuivumisprosessi.....	52
8.3 Kosteuskäyrät ja ennusteet.....	56
8.4 Deltapalkki .....	58
8.5 Kosteusmittaukset .....	60
8.6 Pohdinnat.....	60
9 Päätelmät.....	62
Lähteet.....	65

## Liitteet

- Liite 1 Rakenteiden kuivumisaika-arvio
- Liite 2 Päivitetty rakenteiden kuivumisaika-arvio

# 1 Johdanto

Opinnäytetyö tehdään yhteistyössä Skanska Talonrakennus Oy:n kanssa. Opinnäytetyön aiheena on betonirakenteiden kuivuminen ja kuivumisen varmistaminen. Työssä tarkastellaan sekä kosteudenhallintaa yleisesti, että betonirakenteiden kuivumista ja siihen vaikuttavia asioita.

Opinnäytetyössä tutkitaan erään kohteen betonilattiarakenteiden kuivumista reaaliaikaisten kosteusmittareiden avulla ja pohditaan, miten muun muassa käytetyt kuivatusmenetelmät ja olosuhteet vaikuttavat lattiarakenteiden kuivumiseen.

Tämä opinnäytetyö keskittyy lähinnä betonirakenteisten lattioiden kuivumiseen sekä niiden kuivumisen varmistamiseen. Yleisesti betonirakenteiden kuivumiseen vaikuttavat asiat kuvataan ja sen jälkeen pohditaan, miten kuivumista voidaan nopeuttaa työmaaolosuhteissa.

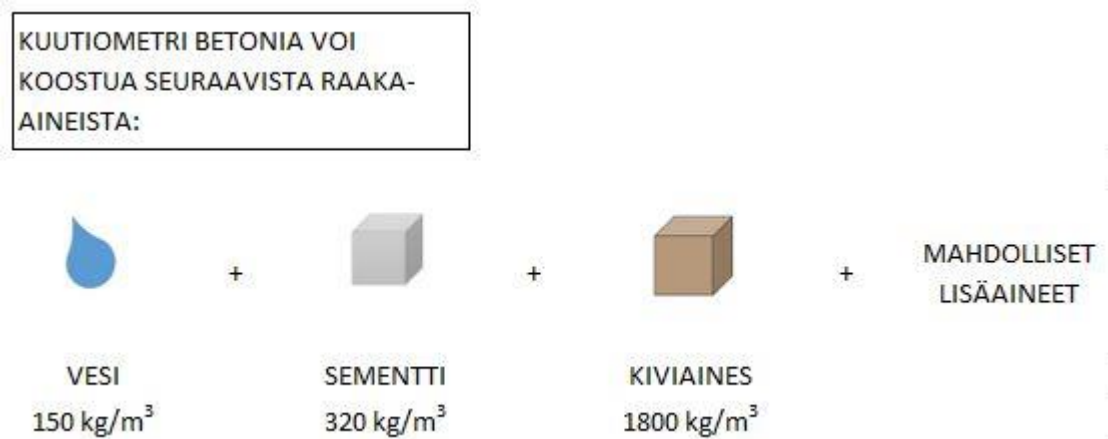
Opinnäytetyössä pohditaan myös vaihtoehtoisia päällystemateriaaleja muovimattoille, sillä usein muovimattojen liimat ja betonin korkea kosteuspitoisuus synnyttävät ei-haluttuja yhdisteitä huoneilmaan. Lisäksi tutkitaan muutamia työmailla usein esiintyviä ongelmakohtia, esimerkiksi deltapalkkien kuivumista ja työmaalla kastuneita betonirakenteita, sekä selvitetään, miten ne tulisi ottaa huomioon kuivumisessa ja kuinka niiden kuivumista voitaisiin edistää.

Kuivumisaika-arvioiden laskentaa eri tavoilla on kuvattu opinnäytetyössä ja pohdittu, miksi tällä hetkellä käytössä olevat kuivumisaika-arviolaskurit eivät ole nykyään enää kovinkaan paikkaansa pitäviä. Case-tapaukseen on myös Excel-taulukon avulla tehty kuivumisaika-arviot reaaliaikaisen datan perusteella ja niitä on verrattu Suomen Betoniyhdistyksen kuivumisaika-arvio laskurin antamiin kuivumisennusteisiin.

## 2 Betoni

### 2.1 Betonin koostumus ja lisäaineet

Betoni on keinotekoisesti valmistettu kivi, jonka pääraaka-aineet ovat sementti, kiviaines ja vesi. Lisäksi betonimassaan voidaan lisätä seos- tai lisäaineita, joilla voidaan muokata betonimassan ominaisuuksia. Kuvassa 1 on esimerkki siitä, mistä raaka-aineista ja määristä betonimassa voi koostua.



Kuva 1. Esimerkki betonimassan koostumuksesta

Sementin kemiallinen koostumus vaikuttaa sekä tuoreen betonin työstettävyyteen, että kovettuneen betonin säilyvyyteen. Sen takia sementillä on ratkaiseva merkitys betonin ominaisuuksiin. Sementin valinnalla voidaan vaikuttaa esimerkiksi betonin lujuuteen, lämmönkehitykseen ja kemialliseen kestävyyskykyyn. (Suomen betoniyhdistys ry 2018.) Ennen kaikkea käytettävällä sementillä on vaikutusta hydrataationopeuteen ja näin ollen betonin kuivumiseen (RIL 2017).

Kiviaineksena voidaan käyttää periaatteessa mitä tahansa riittävän lujaa, tiivistä ja rakeista materiaalia. Kiviaines sisältää normaalisti halkaisijaltaan 12 - 32 mm karkeaa kiviainesta ja 0 - 8 mm soraa. Kiviaines ei kuitenkaan saa osallistua sementin reaktioihin tai huonontaa betonin säilyvyyttä. (Suomen betoniyhdistys ry 2018.)

Betonimassassa veden tehtävänä on reagoida sementin kanssa muodostaen sementtiliiman, joka liimaa betonin kiviainekset toisiinsa ja muodostaa lujan kokonaisuuden. Betonimassassa käytettävän veden tulee olla puhdasta, sillä humus- tai sokeripitoinen vesi voi heikentää tai estää kokonaan betonin kovettumisen. (Suomen betoniyhdistys ry 2018.)

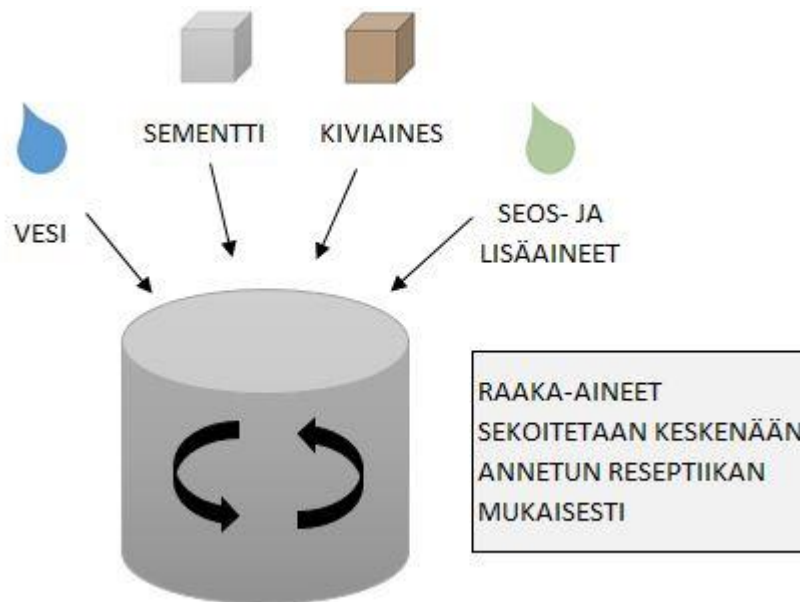
Pääraaka-aineiden lisäksi betonimassaan voidaan lisätä seos- tai lisäaineita, joilla saadaan esimerkiksi betonin työstettävyyttä tai kovettuneen betonin lujuutta paremmaksi. Lisä- ja seosaineiden osuus betonissa on hyvin pieni, yleensä vain alle 1 %. (Suomen betoniyhdistys ry 2018.)

Lisäaineiden käyttö betoneissa on yleistä nykypäivänä, sillä niiden avulla betonimassan ominaisuuksia voidaan muokata halutulla tavalla. Betonissa käytettäviä lisäaineita ovat muun muassa huokostimet, notkistimet, kiihdyttimet ja pigmentit. Huokostimia käytetään esimerkiksi säänkestävien betonilaatujen valmistuksessa. Huokostimien käytöllä betoniin saadaan syntymään ilmakuplia eli niin sanottuja suojahuokosia, jonne betonissa jäätyvä vesi pääsee laajenemaan ilman, että se vahingoittaa betonia. Kiihdyttimien käytöllä taas voidaan nopeuttaa betonin lujittumista. Notkistimien käytöllä betonimassasta saadaan notkeampaa ja helpompaa työstettävää, ilman ylimääräisen veden lisäämistä betonimassaan. (Betoni. Tietoa betonista.) Tehonotkistimien käytöllä voidaan betonissa käytettävää vesimäärää pienentää entisestään, jolloin massan työstettävyykskään ei kärsi ja lopputuotteesta saadaan tasalaatuisempi ja tiiviimpi kuin aikaisemmin. Kiihdyttimien käytöllä taas voidaan nopeuttaa betonin lujittumista (RIL 2017).

Suhteituksella on tärkeä merkitys kaikkiin betonin ominaisuuksiin, sillä suhteitus on betonin osa-aineiden yhteensovittamista niin, että halutut betonin ominaisuudet saavutetaan. Yleisesti lähtökohdan tavoitteiksi asetetaan, että betoni sisältää hyvät lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet sekä soveltuu rakennusaikaisiin olosuhteisiin, joihin sisältyvät myös rakenteen laatuvaatimukset, rakenneosan ominaisuudet ja paikalliset olosuhteet. Massalla tulee myös betoninormien mukaan olla sellaiset ominaisuudet, että kovettuttuaan betoni täyttää sille asetetut vaatimukset. Suhteituksessa lasketaan myös tarvittavien lisä- ja seosaineiden määrät, jotta betonista saadaan esimerkiksi tarpeeksi notkeaa ja helposti työstettävää. (Suomen betoniyhdistys ry 2018.)

## 2.2 Betonointi

Betonointi koostuu useasta eri työvaiheesta, betonimassan valmistuksesta aina jälkihoidon aloittamiseen asti. Kaikissa betonoinnin vaiheissa voidaan vaikuttaa betonirakenteen kuivumiseen sekä myös pilata betonirakenteen kuivuminen tai betonirakenne, jos ei esimerkiksi noudateta betonille annettua reseptiä. Kuvassa 2 on esitetty betonimassan valmistus.



Kuva 2. Betonin valmistus (Suomen betoniyhdistys ry 2018)

Betonin valmistus tapahtuu yleensä betonitehtaalla, jossa betonimassa valmistetaan annetun reseptin mukaisesti. Betonin osa-aineet annostellaan sekoittimeen annettujen ohjeiden ja määrien mukaisesti. Yleensä annostelu tapahtuu punnitsemalla osa-aineet. Kun kaikki osa-aineet on annosteltu, massa sekoitetaan määrättyllä nopeudella, määrätyn ajan verran, kunnes betonin tasainen notkeus on saavutettu. Massan valmistuksen jälkeen, valmis betonimassa siirretään betoniauton pyörintäsäiliöön, jotta se saadaan pysymään homogeenisenä koko matkan ajan työmaalle. (Suomen betoniyhdistys ry 2016.)

Betoni kuljetetaan yleensä betonitehtaalta työmaalle pyörintäsäiliöautolla ja kuorma tyhjennetään työmaalla pumpulla, valukourulla tai hihnakuljettimella.



Yleisimmin käytössä on pumppu, sillä sen käyttö on kätevää ja se on nopein betonin siirtotapa pyörintäsäiliöautosta valualueelle. (Suomen betoniyhdistys ry 2016.)

Betonin kuljetuksessa pyörintäsäiliöautolla on etuna, että mahdollisesti kuljetuksen aikana huonontunut betonimassa saadaan jälleen tasalaatuiseksi ennen pumppausta valukohteeseen. Veden käyttö on ehdottomasti kielletty, sillä liiallisella vedenkäytöllä voidaan pilata koko betonimassa. Veden lisäys voi muun muassa aiheuttaa betonin lujuuden alenemista. (Betoni. Koti betonista.) Toimituksen yhteydessä, jos betonin notkeus ei ole määritellyn mukainen eivätkä betonin sitoutumisreaktiot ole käynnistyneet, notkeutta voidaan korjata tarvittaessa sekoittamalla notkistavaa lisäainetta betonimassaan pyörintäsäiliöautossa. Jos työmaalla lisätään lisäaineita massaan, on valmistaja aina vastuussa lisäaineiden lisäämisestä. Lisätyn lisäaineen määrä on kirjattava kuormakirjaan, ennen kuormakirjojen allekirjoitusta. (Suomen betoniyhdistys ry 2016.)

Betonoitavan alueen valualustan ja valuun liittyvien rakenteiden tulee olla riittävän lämpimiä betonoinnin alkaessa ja niiden tulisi viimeistään 12 tuntia ennen betonointia saavuttaa vähintään + 10 °C lämpötila. Valualustan tulee olla betonoitaessa lähes yhtä lämmin kuin muun ympäristön, sillä suurilla lämpötilaeroilla betoni ei välttämättä ehdi sitoutua riittävästi ja erottuminen ei ehdi loppua, kun betonin pintaa pitäisi olla jo hiertämässä. Pakkaspäivinä rakenteiden lämpötila voi kuitenkin olla alle + 10 °C, mutta silloinkin lämpötilan tulisi olla tasainen. Voimakasta lämmitystä rakenteissa ja ympäristössä tulee välttää, sillä muuten veden haihtuminen suojaamattomilta pinnoilta voi lisääntyä. (Merikallio et al. 2007.)

Betonin tiivistäminen tulee aloittaa heti, kun betoni on levitetty muottiin. Tiivistyksellä betoni saadaan tasaisesti täyttämään koko muotti ja samalla massasta poistuu ylimääräinen ilma, jolloin betonista tulee tiiviimpää. Kun valu on valmis ja tiivistys tehty, tulee pinta vielä hiertää. Hierto voidaan tehdä sen jälkeen, kun betonin pintaan erottuva vesi on haihtunut. Hierron tarkoituksena on tiivistää betonin pinta ja vähentää betonin huokoisuutta, jolloin betonin pinnan lujuus, kulutuksenkestävyys ja tiiviys parantuvat. Hiertoja tehdään tarvittaessa useampi kerta, jotta pintaan saadaan haluttu laatu. Hiertokertojen määrä määräytyy muun muassa hiertoajankohdasta, hiertolaitteesta, betonimassan laadusta ja olosuhteista.

Hierto tulee ajoittaa oikein, sillä liian aikainen tai myöhäinen hierto voi aiheuttaa muun muassa pinnan laadun heikentymistä tai halkeilua. (Merikallio et al. 2007.)

### **2.3 Jälkihoito**

Jälkihoidon tarkoituksena on antaa betonille parhaat mahdolliset olosuhteet sitoutua ja kovettua sekä estää liiallinen ja liian nopea veden haihtuminen betonin pinnasta. Jotta jälkihoito olisi mahdollisimman tehokas, tulee se aloittaa heti hieron jälkeen tai viimeistään tunnin kuluttua hierron päättymisestä. Erityisen nopeaa jälkihoitoa, eli varhaisjälkihoitoa tarvitaan, jos esimerkiksi betonin pinta tuntuu kuivahkolta, jos käytetään lämmintä massaa, jos ilman suhteellinen kosteus on alhainen tai jos massa sitoutuu hitaasti. Varhaisjälkihoidossa betonin pinnalle sumutetaan heti massan levityksen jälkeen esijälkihoitoainetta tai vettä. (Merikallio et al. 2007.)

Tavoitteena jälkihoidossa on pitää betoni mahdollisimman lähellä veden kyllästymisen tilaa niin kauan, kunnes sementin hydrataatio tuotteet täyttävät riittävästi betonin houkosrakennetta, joka on alunperin veden täyttämää tilaa. Jos betonin kosteus houkosissa laskee alle 80 %, hydrataatio heikkenee, jonka seurauksena betonin lujuus ja pinnan laatu heikkenevät. Jälkihoidon aikana betonin pinnan lämpötilan tulisi olla vähintään + 8 °C. (Merikallio et al. 2007.)

Varsinaisessa jälkihoidossa betonin pintaan sumutetaan jälkihoitoainetta tai valettu alue peitetään muovikalvolla, joka estää liiallisen veden haihtumisen. Joissain tapauksissa betonin pinnalle voidaan lisätä vettä sumuttamalla, esimerkiksi tilanteissa, joissa käytetyn betonin vesi-sideainesuhde on alle 0,5. Talvibetonoinnin yhteydessä veden sumuttaminen valetulle betonipinnalle ei sovellu, sillä viileä vesi jäädyttää betonin pintaa, jolloin lämpötilaerojen vaikutuksesta betonin pinta voi halkeilla. (Merikallio et al. 2007.)

Jälkihoitoaineen tarkoituksena on muodostaa betonin pinnalle kosteutta läpäisemätön kalvon, joka estää veden haihtumisen betonista. Jälkihoitoaineista osa haihtuu itsestään pois betonin pinnasta, mutta osa joudutaan poistamaan mekaanisesti. Sen takia tulee varmistaa, millaista jälkihoitoainetta käytetään, sillä betoniin jäänyt jälkihoitoaine voi vaikuttaa heikentävästi pinnoitteiden ja päällysteiden

tartuntaan. Pinnoitettavissa lattioissa, esimerkiksi epoksi- tai akryylipinnoitteisissa lattioissa, suositellaan käytettäväksi muovia ja kastelua jälkihoitoaineen sijaan. (Merikallio et al. 2007.)

## 2.4 Betonin kosteus

Betoni sisältää aina jonkin verran kosteutta ja suurin osa betonissa olevasta vedestä on valmistuksessa käytettyä vettä. Betonin valmistuksessa vettä käytetään huomattavasti enemmän kuin hydrataatiossa eli kemiallisessa sitoutumisessa betonirakenteeseen sitoutuu. Vettä tarvitaan sitoutumisreaktion lisäksi myös betonin työstettävyyden saavuttamiseen. (Merikallio 2009.)

Hydrataatiossa noin 25 painoprosenttia vettä hydratoituneen sementin määrästä sitoutuu betoniin ja loppu vesi jää niin sanotusti vapaaksi vedeksi, joka on haihtumiskykyistä. Haihtumiskykyinen eli fysikaalisesti sitoutunut vesi on haitallista lattiapäällysteille ja -pinnoitteille, sillä haihtumiskykyinen vesi pyrkii haihtumaan betonista betonin yrittäessä saavuttaa hygroskooppista tasapainotilaa ympäröivän ilman kanssa. Koska betonin on hygroskooppinen materiaali, pystyy se myös imemään kosteutta itseensä ympäröivästä ilmasta. (Merikallio 2009.)

Esimerkki:

Betonimassan, jonka vesisementtisuhde on 0,8, valmistukseen käytetään  $200 \text{ kg/m}^3$  vettä ja  $250 \text{ kg/m}^3$  sementtiä. Koska 25 p-% vettä sementin määrästä sitoutuu kemiallisesti, tarkoittaa se, että  $250 \text{ kg/m}^3 * 25 \% = 50 \text{ kg/m}^3$ . Näin ollen  $200 \text{ kg/m}^3 - 50 \text{ kg/m}^3 = 150 \text{ kg/m}^3$  vettä sitoutuu fysikaalisesti betoniin. Tämä tarkoittaa siis sitä, että betonissa on  $150 \text{ kg/m}^3$  vapaata vettä, joka pyrkii haihtumaan betonista.

Kuvassa 3 on esitetty esimerkki laskelman betonimassan ainesmäärät. Kuvassa 4 on havainnollistettu, kuinka paljon betonimassan vesimäärästä sitoutuu kemiallisesti betoniin ja kuinka paljon haihtumaan pyrkivää vettä rakenteessa on.

BETONIMASSA,  $V/S = 0,8$



Kuva 3. Betonimassan esimerkki ainesmäärät



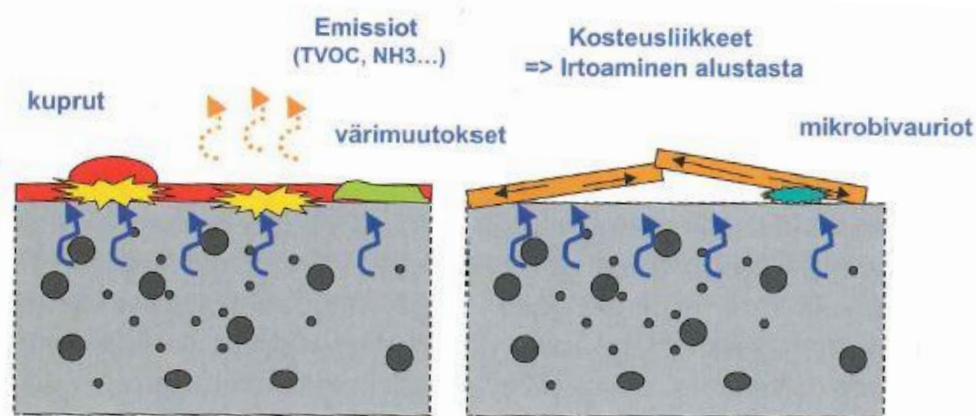
Kuva 4. Haihtumiskykyisen ja kemiallisesti sitoutuneen veden määrät

Betonin suhteellisesta kosteudesta (RH %) puhuttaessa tarkoitetaan betoniin fyysikaalisesti sitoutunutta vettä, joka on betonin haihtumiskykyistä vettä. Suhteellinen kosteus määräytyy betonin huokosten ilmatilassa olevan vesihöyryn ( $\text{g/m}^3$ ) sekä lämpötilan perusteella. Suhteellinen kosteus ei kuitenkaan ota huomioon betonin huokosten pintaan kiinnittynyttä kosteutta. (Merikallio 2009.)

Betonin huokosrakenteessa olevan kosteuden sitoutumiseen vaikuttaa merkittävästi lämpötila. Betonin kosteussisällön pysyessä vakiona, mutta lämpötilan noustessa, myös betonin suhteellinen kosteus nousee. Ilmiö johtuu siitä, että lämpötilan noustessa huokosten pintaan kiinnittyneestä kosteudesta osa siirtyy huokosten ilmatilaan, jonka seurauksena huokosilman kosteussisältö ( $\text{g/m}^3$ ) nousee ja samalla myös huokosilman suhteellinen kosteus nousee. Lämpötilan laskeessa ilmiö on päin vastainen eli huokosilman kosteussisältö ja suhteellinen kosteus laskevat. (Merikallio 2009.)

## Betonin kosteudesta aiheutuvat ongelmat

Kosteus vaikuttaa betonilattioihin monilla eri tavoilla. Vaikka betoni itsessään kestää hyvin kosteutta, päällystemateriaalit voivat reagoida betonin korkean kosteuspitoisuuden kanssa ja tuottaa ilmaan terveydelle haitallisia yhdisteitä. Betoni on myös epäorgaaninen materiaali ja sen takia huono kasvualusta mikrobeille. Siltikin betonirakenteen ja päällystemateriaalin välissä olevissa liima- ja tasoitekerroksissa voi esiintyä terveydelle haitallisia mikrobeja. Tämän takia betonirakenteiden tulee kuivua päällystemateriaalikohtaisten kosteusraja-arvojen alapuolelle, jotta voidaan varmistua siitä, etteivät betoni ja päällystemateriaalit reagoi keskenään ja tuota ei-haluttuja yhdisteitä huoneilmaan. (Merikallio 2009.) Kuten kuvassa 5 on esitetty, kun betonin korkea kosteuspitoisuus ja pinnoitemateriaalit reagoivat keskenään, ne voivat aiheuttaa erilaisia vaurioita, kuten esimerkiksi päällysteen irtoamista, värjäytymistä, mikrobivaurioita sekä kemiallista hajoaamista. Näiden seurauksena sisäilmaan voi emittoitua eli haihtua terveydelle haitallisia yhdisteitä. (Merikallio et al. 2007.)



Kuva 5. Betonin kosteuden aiheuttamia muutoksia päällystemateriaaleissa (Merikallio et al. 2007)

Päällystemateriaalin liiman tai tasoitteen reagoiessa betonin korkean kosteuspitoisuuden kanssa voi ilmaan emittoitua esimerkiksi 2-etyyliheksanolia, joka on sisäilmassa kosteus- ja mikrobivaurioita ilmaiseva yhdiste. 2-etyyliheksanoli on suurina määrinä terveydelle haitallinen yhdiste. Muovimattojen valmistamisessa

on perinteisesti käytetty pehmittiminä ftalaatteja, jotka liiallisen kosteuden seurauksena voivat hajota ja tuottaa sisäilmaan terveydelle haitallisia yhdisteitä, kuten muun muassa 2-etyyliheksanolia. Ftalaateista on kuitenkin viime vuosina yritetty päästä eroon ja löytää tilalle korvaavia raaka-aineita, mutta niitä saattaa kuitenkin esiintyä edelleen muovimatoissa, sillä valmistajat käyttävät usein kierrätysmateriaaleja valmistusprosessissa. (RIL 2017.)

Suurin osa betonin kosteusvaurioista voidaan välttää, kun huolehditaan betonirakenteen kuivumisesta ja kuivattamisesta kosteusraja-arvojen alapuolelle ennen päällystämistä. Myös päällystemateriaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa kosteusvaurioiden syntyyn, sillä mitä huonommin päällystemateriaali päästää vesihöyryä läpi, sitä todennäköisemmin päällystemateriaali reagoi betonin kosteuteen aiheuttaen kosteusvaurioita tai päästäten terveydelle haitallisia yhdisteitä sisäilmaan. Muovi- ja kumimatot ovat päällystemateriaaleja, joiden kanssa yleisimmin ongelmia esiintyy. Muovimatot olisi hyvä vaihtaa materiaaleihin, jotka läpäisevät vesihöyryä paremmin ja antavat betonirakenteelle mahdollisuuden kuivua vielä päällystämisen jälkeenkin ilman, että on vaaraa kosteusvaurioille.

## **2.5 Betonin kastuminen**

Betonin kastumisella tarkoitetaan tilannetta, jossa betoni ollessaan kosketuksissa vapaaseen veteen alkaa imeä vettä itseensä. Kyseessä on tällöin kapillaarisen kosteuden siirtyminen, jolla tarkoitetaan betonin kykyä kuljettaa vettä vapaan veden pinnasta houkosrakenteeseen kapillaaristen voimien vaikutuksesta. Tavallisia betonirakenteiden kastumisia aiheuttavat sade- ja pintavedet, maaperän kosteus ja vesivahingot. (Merikallio et al. 2007.)

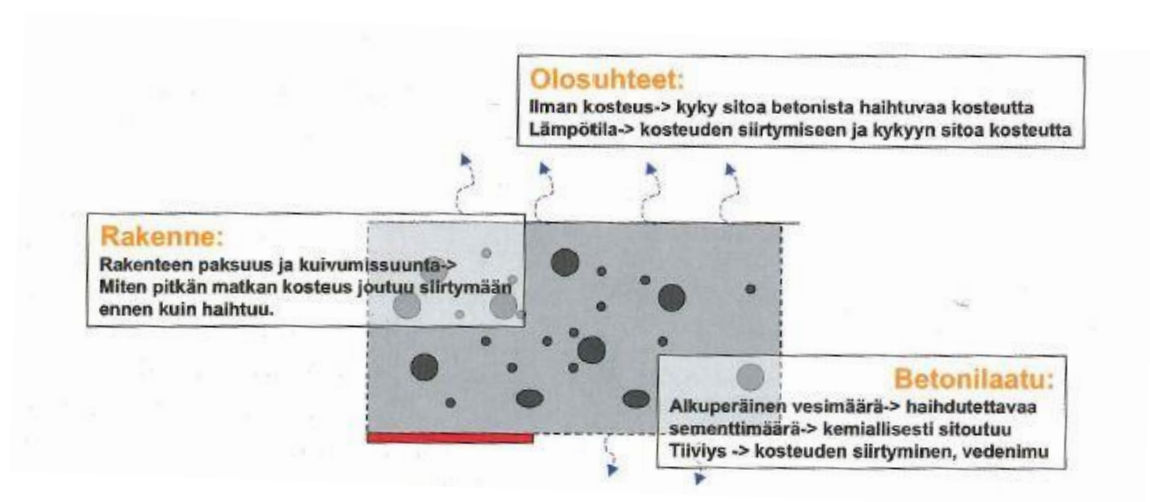
Usein rakennusvaiheessa, kun rakenteet eivät ole vielä täysin vedeltä suojattuna, voivat sadevedet kastella betonirakenteita. Sadevedet voivat myös kastella alempia rakenteita, sillä vesi pääsee usein valumaan pienistä raoista alaspäin. Maanvaraisia rakenteita voi kastella myös maaperästä nouseva kosteus, jos kapillaarikatkosta ei ole huolehdittu kunnolla. (Merikallio et al. 2007.)

Betonin kastuminen ei vaurioita betonia itsessään, mutta se lisää rakenteiden kuivumiseen vaadittavaa aikaa. Mitä myöhemmässä vaiheessa betonirakenteet

pääsevät kastumaan, sitä enemmän siitä on myös haittaa, sillä tiukassa rakentamisaikataulussa on valmiiksi tiukat kuivumisajat betonille, joten betonin kastuessa voi kuivumisaikaan tulla jopa useita viikkoja lisää.

### 3 Kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Betonin kuivuminen on sekä kemiallista sitoutumiskuivumista että fysikaalista haihtumiskuivumista. Sitoutumiskuivumisella tarkoitetaan veden kemiallista sitoutumista betonirakenteeseen, kun taas haihtumiskuivuminen on betonista haihtuvan veden aiheuttamaa kuivumista. Kuten kuvasta 6 näkyy, betonirakenteiden kuivumiseen vaikuttavat monet eri tekijät, muun muassa betonilaatu, rakenne sekä kuivumisolosuhteet ja -suunnat.



Kuva 6. Betonirakenteiden kuivumiseen vaikuttavat muun muassa betonilaatu, olosuhteet ja rakenne (Merikallio et al. 2007)

#### 3.1 Betonilaatu

Jo betonimassan valmistusvaiheessa voidaan vaikuttaa betonirakenteiden kuivumiseen, sillä betonin vesi-sementtisuhteella, käytetyillä lisäaineilla sekä veden määrällä betonimassassa voidaan esimerkiksi nopeuttaa rakenteen kuivumista. Rakenteiden betonimassan valitsee yleensä rakennesuunnittelija, työmaan betonitöiden työnjohtaja sekä betonivalmistaja yhteistyössä.

Betonin vesi-sementtisuhde kertoo, kuinka paljon betonimassassa on vettä suhteessa massassa käytettyyn sementtiin. Normaalisti betonimassan vesisementtisuhde on 0,4 – 0,6, sillä silloin betoniin jäävien kapillaarihuokosten koko on paras mahdollinen. Mitä alhaisempi betonin vesi-sementtisuhde on, sitä tiiviimpää betoni on, jolloin se myös läpäisee hitaammin vesihöyryä. Työstettävyyden kannalta betonin vesi-sementtisuhde tulisi olla yli 0,4, sillä silloin betoniin syntyy enemmän vesitäytteisiä kapillaarihuokosia. (Merikallio et al. 2007.)

Jos vesi-sementtisuhde on alle 0,4, kapillaarihuokosia ei ole täysin hydratoituneessa betonissa ollenkaan. Puolestaan, jos vesi-sementtisuhde on alle 0,6, hydratoituneessa betonissa kapillaarinen liike on mahdotonta, sillä kapillaarihuokosto ei ole jatkuvaa. Vesi-sementtisuhteen ollessa yli 0,7, on betonissa jatkuvasti avoin kapillaariverkosto, joka mahdollistaa kapillaarisen veden siirtymisen betonissa. (Merikallio et al. 2007.) Tämä on myös esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Kapillaarihuokosten määrä riippuu betonin vesi-sementtisuhteesta (Merikallio et al. 2007)

Kapillaarihuokokset ovat betonille haitallisia, sillä niiden kautta betoniin voi imeytyä ei-haluttuja aineita, kuten esimerkiksi suoloja tai klorideja. Mitä nuorempaa betoni



on ja mitä suurempi sen vesi-sementtisuhte on, sitä runsaammin siinä on kapillaarihuokosia, joissa oleva vesi pääsee liikkumaan ja jäätymään. (Merikallio et al. 2007.)

Vesi-sementtisuhteen saa laskettua kaavalla 1,

$$w = \frac{v}{s} (1)$$

jossa

w = vesi-sementtisuhte

v = vesimäärä paino-osin

s = sementtimäärä paino-osin

Betonimassan suuri maksimiraekoko ja mahdollisuuksien mukaan jäykkä massa saavuttavat yhdessä lopullisen rakenteen kannalta parhaimman mahdollisen lopputuloksen. Jäykällä massalla valettaessa on kuitenkin huomioitava siirto- ja tiivistystavat, rakenteet, muotit ja olosuhteet sillä jäykän massan työstäminen on vaikeampaa ja lopputuloksesta voi tulla esteettisesti huono sekä rakenteisiin voi jäädä jopa niin sanottuja rotan koloja, joita joutuu myöhemmin korjailemaan. Jos kuitenkin käytetään notkeaa massaa, tulisi massa notkistaa lisäaineiden avulla, sillä veden lisääminen massaansa hidastaa rakenteen kuivumista sekä lisää kutistuma- ja halkeiluriskiä. Jos massa on vetelää, betonipinnan lujuusominaisuudet heikkenevät, sillä vesi ja sementti erottuvat helpommin. (Merikallio et al. 2007.)

Koska nykypäivän rakennusajat ovat tiukkoja, suositellaan betonivalinnaksi nopeammin kuivuvia betonilaatuja, jolloin betoni kuivuu tehokkaammin ja haluttu kosteusraja-arvo saavutetaan nopeammin. Nopeammin kuivuvaa betonimassaa saadaan esimerkiksi käyttämällä nopeaa sementtiä tai kuumaa betonia tai käyttämällä alhaista vesi-sementtisuhdetta. Nopeasti kuivuvissa betonilaaduissa on kuitenkin kiinnitettävä erityistä huomiota jälkihoitoon, sillä betonin pinta ei saa

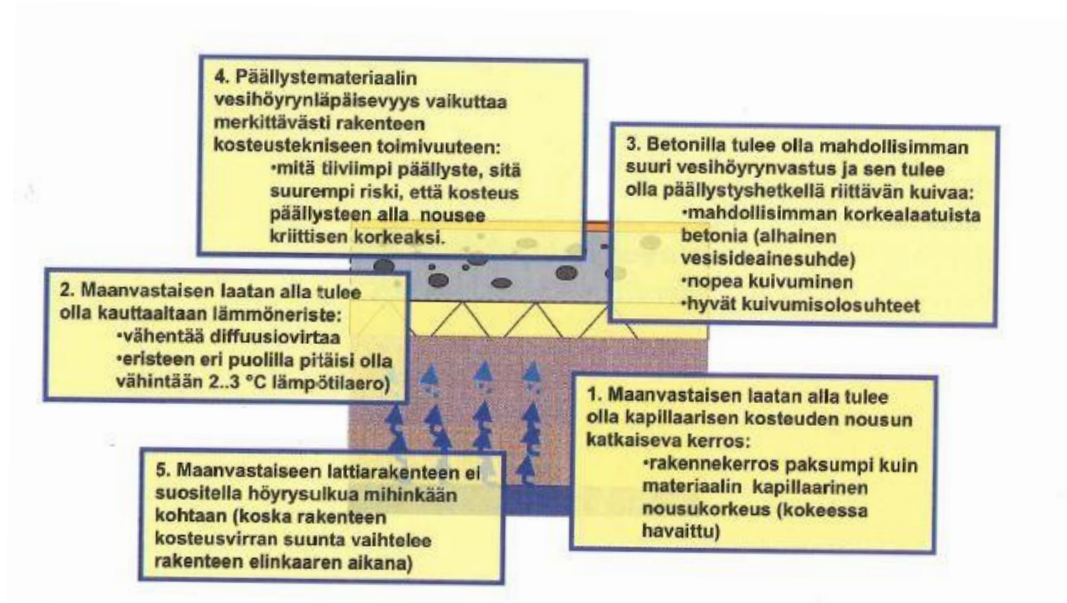
päästä kuivumaan liian nopeasti. Betonin kastuminen valun jälkeen on myös es-tettävä, sillä betonirakenteen kastuminen voi pilata nopeasti kuivuvan massan idean ja kuivuminen voi pitkittyä. (Merikallio et al. 2007.)

### **3.2 Rakenne**

Betonirakenteella on suuri vaikutus betonin kuivumiseen, sillä mitä paksumpi ra-kenne on, sitä hitaammin se myös kuivuu. Paksussa rakenteessa kosteus joutuu siirtymään pidemmän matkan ennen kuin se pääsee betonin haihtumiskykyiselle pinnalle, josta kosteus voi haihtua ilmaan. Ohuemmassa rakenteessa kosteuden siirtymismatka on lyhyempi, jolloin kosteus poistuu rakenteesta nopeammin ja näin ollen betoni myös kuivuu nopeammin. (Merikallio et al. 2007.)

Betonirakenteet kannattaakin tehdä mahdollisimman ohuiksi, jotta kuivuminen on nopeampaa. Jos taas rakenteen on oltava paksumpi, on kuivumisen kannalta parempi, että rakenne on mahdollisuuksien mukaan kahteen suuntaan kuivuva. Esimerkiksi ontelolaattavälipohjat ovat kahteen suuntaan kuivuvia raken-teita. (Merikallio et al. 2007.)

Maanvaraisissa lattiarakenteissa tulee ottaa huomioon alapohjarakenteen kos-teustekninen toiminta, jotta maaperästä nouseva kosteus ei pääse vahingoitta-maan rakenteita tai varsinkaan päällystemateriaaleja. Kuvassa 8 on esitetty, mitä tulee ottaa huomioon maanvastaisia rakenteita suunniteltaessa ja toteuttaessa, jotta rakenne toimisi parhaalla mahdollisella tavalla eikä kosteus nousisi raken-teeseen.



Kuva 8. Maanvastaisen betonilaatan suunnittelussa ja toteutuksessa huomioon otettavia asioita (Merikallio et al. 2007)

*Maanvaraisen alapohjarakenteen kosteustekninen toiminta perustuu kolmeen eri ratkaisuun:*

1. *Pohjavesi/orsivesi/vajovesi tulee pitää riittävän alhaalla salaojajärjestelmällä*
2. *Kapillaarinen veden nousu perusmaasta yläpuolisiin rakenteisiin estetään kapillaarikatkerroksella*
3. *Vesihöyryn haitallinen diffuusio kapillaarikatkerroksesta estetään lämmöneristekerroksella saavutettavalla lämpötilaerolla. (RIL 2017.)*

Edellä mainituilla ratkaisuilla voidaan varmistaa alapohjarakenteen kosteustekninen toiminta niin, että kosteusvaurioita ei synny, kunhan vain muistetaan kuivattaa alapohjarakenteet päällystettävyyden raja-arvon alapuolelle ennen lattiarakenteiden päällystämistä. (RIL 2017.)

### 3.3 Kuivumisolosuhteet

Kuivumisolosuhteilla eli rakennetta ympäröivän ilman lämpötilalla, suhteellisella kosteuspitoisuudella ja ilman virtauksella on merkittävä vaikutus betonirakenteiden kuivumisnopeuteen. Kuivumisolosuhteet vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti

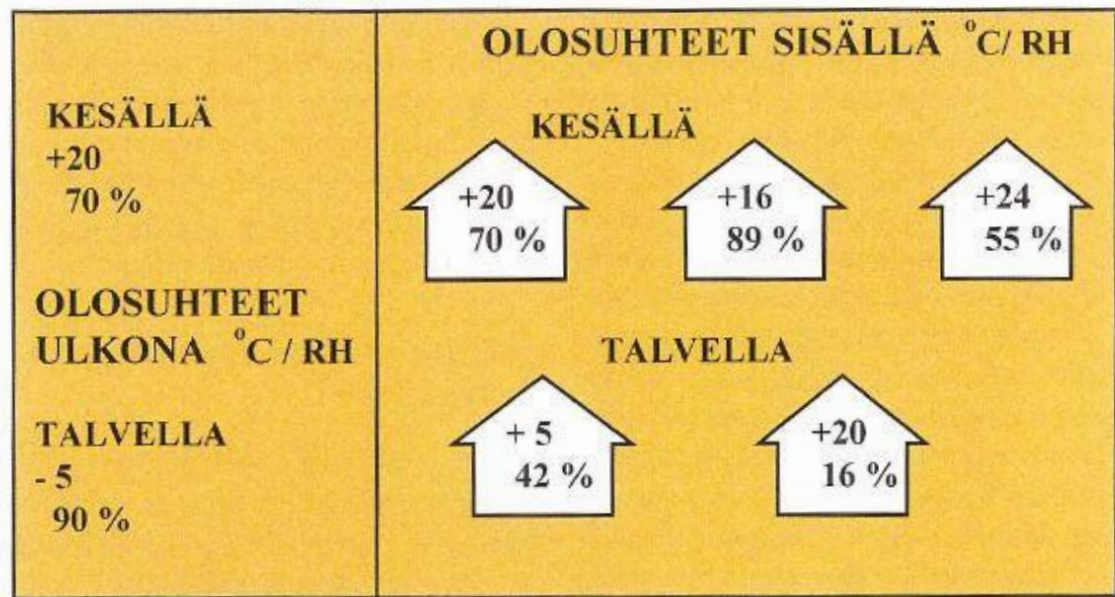
ilma pystyy sitomaan betonin pinnalta haihtuvaa kosteutta, jolloin betonin suhteellinen kosteuspitoisuus laskee. (Lumme & Merikallio 1997.)

Ilmanvaihdolla on myös suuri merkitys betonirakenteiden kuivatuksessa. Ilmanvaihdon tehostamisella saadaan niin sanottu kostea ilma liikkumaan, jolloin tilalle tulee kuivaa ilmaa, joka taas pystyy paremmin sitomaan betonin pinnalta haihtuvaa kosteutta. Esimerkiksi tuulen vaikutuksesta tai koneellisesti tehty ilmanvaihto saa kosteuden poistumaan betonin pinnalta nopeammin, jolloin myös rakenne kuivuu nopeammin. (Suomen betoniyhdistys ry 2018.)

On myös tärkeää muistaa hioa betonirakenteiden pinnalta muun muassa betoniliima pois, sillä tiivis betoniliimakerros estää rakenteesta poistuvan kosteuden haihtumista betonin pinnalta. Kun betoniliima on hiottu pois, pääsee rakenne kuivumaan paremmin, kun rakenteesta poistuvan kosteuden haihtuminen helpottuu ja rakenteen kuivuminen nopeutuu. Hionnan tai jyrsinän jälkeen betonirakenteen pintahuokokset jäävät avoimiksi, mikä edistää kosteuden poistumista rakenteesta. (Merikallio et al. 2007.)

Vuodenajalla, jolloin betonointi tehdään, on vaikutusta betonirakenteiden kuivumiseen. Varsinkin talvella kuivumisolosuhteet saadaan kuivumiselle suotuisaksi, kun rakennus lämmitetään ulkoilmaa lämpimämmäksi, sillä silloin rakennuksen sisällä oleva suhteellinen kosteus on alhaisempi kuin ulkoilman, jolloin sisäilma kykenee sitomaan betonista haihtuvaa kosteutta. Myös kesällä rakennuksen lämmittäminen lämpimämmäksi kuin ulkoilma olisi suotuisaa betonirakenteiden kuivumiselle. Tämä ei kuitenkaan yleensä ole mahdollista, jolloin rakennuksen sisällä oleva suhteellinen kosteus voi nousta erittäin korkeaksi. Tällöin betonirakenteet eivät kuivu, sillä betonin pinnalla oleva kosteus ei pysty haihtumaan sisäilmaan. Jotta betonirakenteet saadaan kuivumaan, tulee kohteeseen asentaa esimerkiksi kosteudenpoistajia. Niiden avulla saadaan sisäilman suhteellinen kosteus alhaisemmaksi, jolloin ilma pystyy vastaanottamaan betonin pinnalta haihtuvaa kosteutta. Kuitenkin rakenteiden tehokas kuivuminen edellyttää riittävä lämpöä ja ilmankiertoa, jotta ilma ei pääse lämpökerrostumaan. (Suomen betoniyhdistys ry 2018.)

Kuvassa 9 on esitetty, miten ulkoilman ja sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila ovat yhteydessä toisiinsa, sillä sisäilman suhteellinen kosteus muuttuu samassa suhteessa kuin ulkoilman suhteellinen kosteusarvo. Kuvan sisäilman suhteellinen kosteus ei ota huomioon sisätilojen kosteuslähteitä, jotka voivat nostaa suhteellisen kosteuden arvoa.



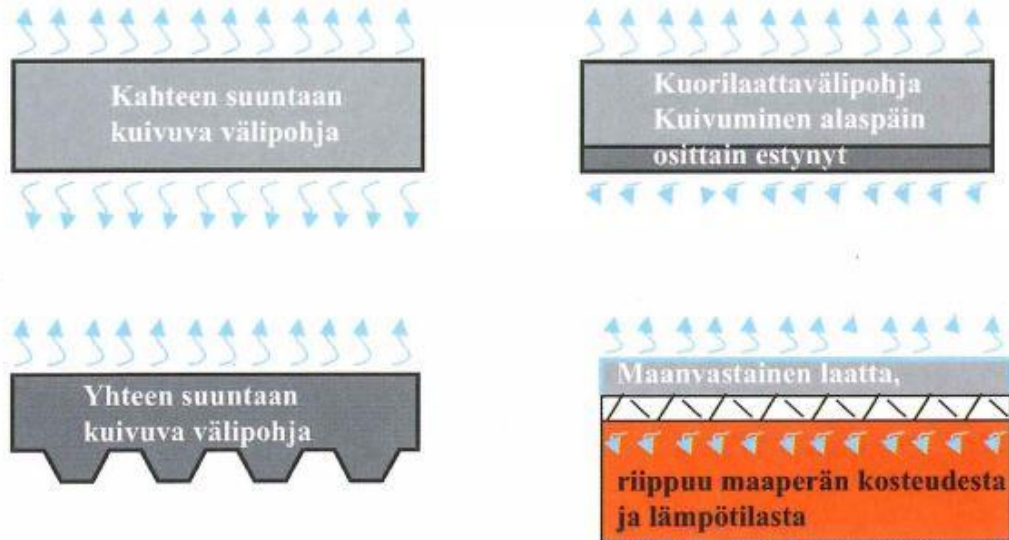
Kuva 9. Olosuhteiden vaihtelut eri vuoden aikoina (Lumme ja Merikallio 1997)

Talvella tehtävät betonoinnit kuivuvat tutkimusten mukaan nopeammin kuin kesällä tehdyt betonoinnit. Varsinkin talvella betonilaadun vaihtamisella voi olla suuri vaikutus betonirakenteen kuivumisnopeuteen. Betonilaadulla C25/30 kuivumisaika talvella tehdyssä valussa oli 13 kuukautta, kun taas C30/37 betonilaadulla tehdyn valun kuivumisaika oli 10 kuukautta. Sen sijaan keväällä ja kesällä tehtävissä valussa betonilaadun vaihtamisella ei ole merkitystä kuivumiseen. (RIL 2017.)

### 3.4 Kuivumissuunnat

Betonirakenteissa kuivuminen voi tapahtua yhteen suuntaan, esimerkiksi maanvaraisissa lattioissa vain ylöspäin, tai kahteen suuntaan, kuten ontelolaattaväli-pohjissa. Kuivumissuunnilla on suuri vaikutus rakenteiden kuivumiseen, sillä kun

kuivuminen toiseen suuntaan estetään, voi kuivuminen olla jopa neljä kertaa hitaampaa. Kuvassa 10 on esitetty eri rakenteita ja niiden kuivumissuuntia. (Merikallio et al. 2007.)



Kuva 10. Rakenteiden kuivumissuunnat (Merikallio et al. 2007)

Yhteen suuntaan kuivuvia rakenteita ovat maanvaraiset lattiat ja liittolaattavälipohjat, joissa toiseen suuntaan kuivuminen on estetty. Esimerkiksi maanvaraisissa lattioissa kuivuminen voi tapahtua vain ylöspäin, sillä maa on yleensä kostea eikä se pysty imemään betonin kosteutta itseensä. Liittolaatta välipohjissa-kin kuivuminen on mahdollista vain ylöspäin, sillä yleensä alapuolella on vettä läpäisemätön materiaali, esimerkiksi pelti. (Merikallio et al. 2007.)

Kahteen suuntaan kuivuvia rakenteita ovat ontelolaattavälipohjat, joissa kosteus voi siirtyä molempiin suuntiin. Myös kuorilaattavälipohjat luokitellaan kahteen suuntaan kuivuviksi rakenteiksi, vaikka toiseen suuntaa kuivuminen onkin osittain estynyt ja yleensä tällöin myös hitaampaa. (Merikallio et al. 2007.)

Kuivumisen tehostamiseksi voidaan työmaavaiheessa sisätilojen olosuhteisiin vaikuttaa avoimella tai suljetulla järjestelmällä. Avoimessa järjestelmässä toteutetaan jatkuvaa konvektiota, jossa osastoidun tilan ilmaa lämmitetään samalla,

kun tilaan järjestetään hallittu ilmanvaihto. Ilmanvaihto luodaan esimerkiksi talotekniikan varausaukkojen kautta sekä ovien kynnysrakojen kautta. Avoin järjestelmä soveltuu käytettäväksi erityisesti kylminä vuodenaikoina, jolloin ulkoilma sisältää vähän kosteutta tai tiloihin, joissa ilma sisältää epäpuhtauksia esimerkiksi pölyä sekä tiloihin, joissa kierrätysilman käyttö on hankalaa.

Suljetun järjestelmän ideana taas on sitoa ilmankosteutta kuivatettavasta tilasta ilmankuivaajien avulla. Tällöin kuivatettava tila on tehtävä mahdollisimman tiiviiksi, jotta kosteutta kerätään kuivatettavasta tilasta, eikä esimerkiksi ulkoilmasta. Suljetussa järjestelmässä kerätyn kosteuden poisto tulee hoitaa hallitusti, joko tyhjentämällä kuivaajien vesisäiliöt tasaisin väliajoin tai ohjaamalla erotettu vesi suoraan rakennuksen viemäriin. Suljettu järjestelmä soveltuu parhaiten käytettäväksi kesän ja alkusyksyn aikana, jolloin ulkoilma sisältää paljon kosteutta. Tällöin ulkoilman suhteellinen kosteus ei salli tilan kuivaamista avoimella järjestelmällä. Suljettua järjestelmää käytettäessä kuivattava alue tulee rajata sekä tiivistää huolellisesti. (Kosteudenhallinta.)

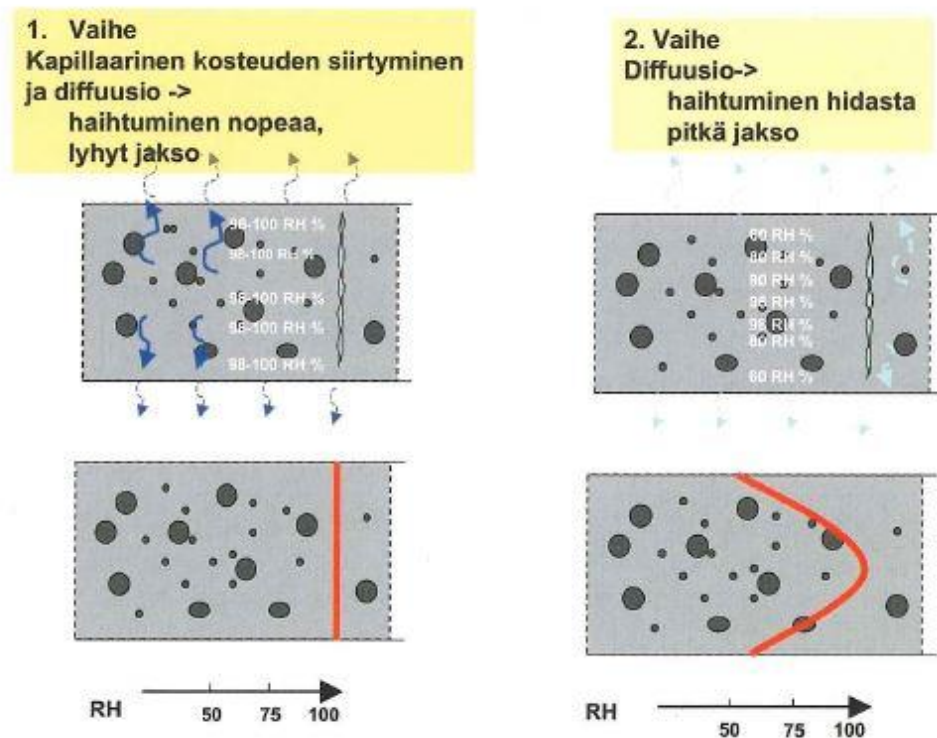
## **4 Betonin kuivuminen**

Betonin kuivuminen on tärkeä tekijä rakentamisessa, sillä se melko pitkälti määrittää kohteen valmistumisen ja tahdistaa merkittävästi varsinkin sisävalmistusvaihetta. Tiukkojen rakentamisaikataulujen takia betonille ei anneta tarpeeksi aikaa kuivua tai olosuhteet eivät ole suotuisat betonin kuivumiselle, jolloin rakentamisaikataulu viivästyy tai pahimmassa tapauksessa betoni päällystetään sen ollessa vielä kostea, jolloin voi aiheutua kosteusvaurioita.

Aluksi hydrataatiossa, eli betonin kovettumisreaktiossa, betoniin sitoutuu kemiallisesti vettä, joka ei pysty poistumaan betonista. Kemiallisesti sitoutuvan veden määrä on noin 25 painoprosenttia sementin määrästä. Loppu vesi, joka ei sitoudu kemiallisesti betoniin, jää niin sanotusti vapaaksi vedeksi, joka sitoutuu fysikaalisesti betonin huokosrakenteeseen. Fysikaalisesti sitoutunut vesi on haihtumiskykyistä, jolloin betonin kuivuminen hydrataation jälkeen on vain betonin pinnalta tapahtuvaa haihtumiskuivumista. (Suomen betoniyhdistys ry 2018.)



Kuvassa 11 on esitetty betonirakenteen kuivumisen eri vaiheet, joita on kaksi: kapillaarinen kosteuden siirtyminen ja diffuusio sekä pelkkä diffuusio. Ensimmäinen kuivumisen vaihe on lyhyt, jolloin myös kosteuden haihtuminen betonista on nopeaa. Toisessa vaiheessa taas haihtuminen on hidasta ja se kestää pidemmän ajan.



Kuva 11. Betonin kuivumisen vaiheet (Merikallio et al. 2007)

Huokosrakenteeseen sitoutunut vesi on haihtumiskykyistä, joten pyrkiessään tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa betoni pystyy haihuttamaan vettä huokosrakenteesta. Kuivumista eli veden haihtumista tapahtuu niin kauan, kunnes betoni on saavuttanut hygroskooppisen tasapainon ympäristön kanssa. Betoni pystyy myös vastaanottamaan kosteutta samalla tavalla kuin luovuttaa sitä. Koska betoni pyrkii koko ajan olemaan tasapainokosteudessa ympäristön kanssa, pystyy se vastaanottamaan ilmasta kosteutta. (Suomen betoniyhdistys ry 2018.)



## **4.1 Kuivumisen nopeuttaminen**

Helpoin tapa nopeuttaa betonirakenteen kuivumista on betonin lämpötilan nostaminen, sillä betonirakenteen lämpötilan kohotessa rakenteen sisällä olevan vesihöyryn osapaine kasvaa ja samalla betonin vesihöyrynläpäisevyys lisääntyy. Vesihöyryn osapaineen kasvu ja betonin vesihöyrynläpäisevyyden lisääntyminen yhdessä edesauttavat betonin nopeampaa kuivumista. Kun betonin ja ympäröivän ilman lämpötilaero on riittävän suuri, edistää se betonirakenteen kuivumista, sillä ympäröivä ilma pystyy vastaanottamaan betonirakenteesta haihtuvaa kosteutta. (Lumme & Merikallio 1997.)

Betonilattian kuivumista voidaan nopeuttaa erinäisillä tavoilla. Käytetyimpiä kuivatusmenetelmiä työmailla ovat betonirakenteiden lämmittäminen ja kosteuden poisto ympäröivästä ilmasta, jolloin betonirakenteen suhteellinen kosteuspitoisuus laskee. Uusi tapa kuivattaa betonilattioita on kuivatusputkiston käyttö, jossa betonirakenteen sisään asennetaan putkisto, joka kerää betonirakenteen ylimääräisen kosteuden ja poistaa sen turvallisesti ulos rakenteesta. (Lumme & Merikallio 1997.)

### **4.1.1 Rakenteen lämmittäminen ja kosteuden poisto**

Kun betonirakennetta ympäröivää ilmaa lämmitetään esimerkiksi säteilylämmittimillä ja tehostetaan kosteuden poistumista niin sanotuilla kosteuden kerääjillä, saadaan betonin suhteellinen kosteuspitoisuus alenemaan. (Lumme & Merikallio 1997.) Betonirakennetta ympäröivän ilman lämmitys takaa sen, että ilman lämpötila on korkeampi kuin betonin lämpötila, jolloin ilma pystyy vastaanottamaan betonirakenteesta haihtuvaa kosteutta. Kosteuden kerääjien tarkoituksena on poistaa huoneilmassa olevaa kosteutta, jolloin ilma pystyy vastaanottamaan enemmän betonirakenteesta haihtuvaa kosteutta.

Betonirakenteen lämmittäminen sisältä päin on myös helppo tapa tehostaa betonirakenteiden kuivumista. Lämmityskaapeleita on jo kauan käytetty talvivaluissa, mutta samalla idealla saadaan helposti myös tehostettua ja varmistettua betonilattiarakenteiden kuivuminen. Lämmityskaapeleiden etuina ovat muun muassa betonin kuivumisen tehostaminen, nopeamman rakennusaikataulun mahdollistaminen sekä kustannustehokas ja helposti asennettava tuote. Lämpökaapeleiden

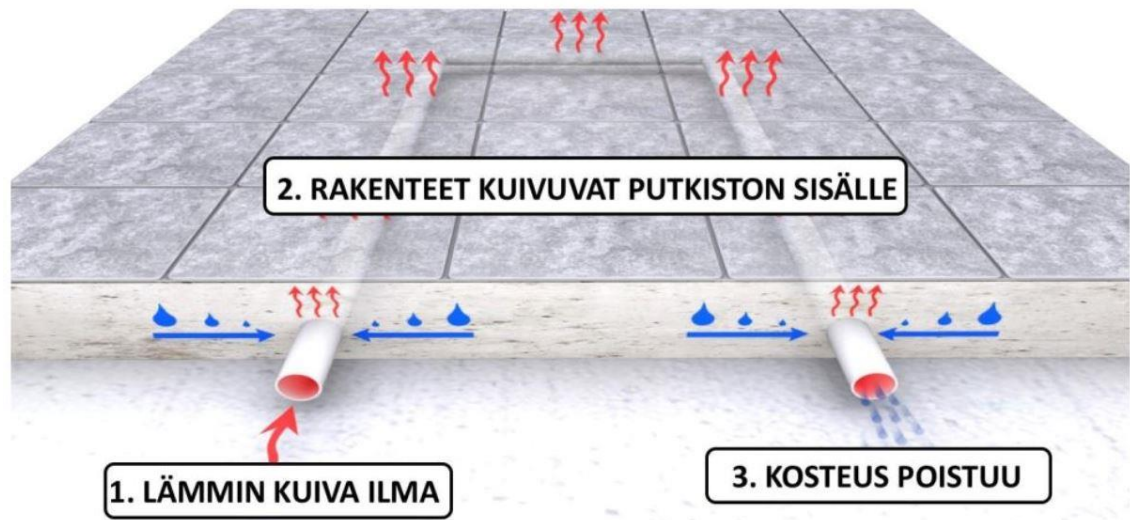
avulla rakenteen lämpötila saadaan helpommin nousemaan verrattuna siihen, että ympäröivän huoneilman lämpötilan nostolla kuivatettaisiin betonirakenteita. Kuten deltapalkeissa, myös muissa betonirakenteissa rakenteen lämmittäminen sisältä päin tehostaa kosteuden siirtymistä pois rakenteesta ja rakenteet kuivuvat. (Pistesarjat Oy.)

#### **4.1.2 Kuivatusputkisto**

Kuivatusputkiston ideana on, että se kierrättää virtaavaa ilmaa putkistossa ja kuljettaa virran mukana betonin ylimääräisen kosteuden pois betonirakenteen sisältä. Näin betonin ylimääräiselle kosteudelle saadaan myös toinen reitti pois rakenteesta kuin vain haihtuminen betonin pinnalta. (RIL 2017.)

Kuivatusputkiston toiminta perustuu betonirakenteessa kiertävään ilmakiertoiseen lämmitysputkistoon. Putkistona käytetään rei'itettyä putkistoa, joka päällystetään ilmaa läpäisevällä kankaalla, jotta betoni ei valuvaiheessa pääse tukkiamaan putkistoa, mutta kosteus pääsee kuitenkin siirtymään rakenteesta putkistoon. Putkiston lämmitykseen voidaan käyttää mitä tahansa lämmitysmuotoa. Kuivatusjärjestelmän avulla voidaan nopeuttaa betonilaatan kuivumista työmaaikana. Myös rakennuksen käytön aikana mahdollisesti ilmenevien kosteusvaurioiden kuivattamiseen kuivatusputkisto sopii hyvin. (RIL 2017.)

Tulilattia Oy on tutkinut, Fööni-kuivatusjärjestelmänsä avulla, miten paljon kuivatusputkiston käyttö nopeuttaa betonirakenteen kuivumista. Tulilattia järjesti kuivumiskokeen, jossa verrattiin kuivatusputkiston kuivumista verrokkilaattaan, jossa ei ollut mitään ulkoista kuivatusmenetelmää. Kuivumiskokeen tuloksena Tulilattia huomasi, että käyttämällä Fööni-kuivatusjärjestelmää betonilaatta kuivui kriittisiin kosteuspitoisuuksiin kuukautta aikaisemmin kuin verrokkilaatta. Kuivumiskokeessa huomattiin myös, että betonilaatta jatkoi kuivumista vielä päällystämisen jälkeenkin. (RIL 2017.) Kuvassa 12 on esitetty Fööni-kuivatuslattian toimintaperiaate.



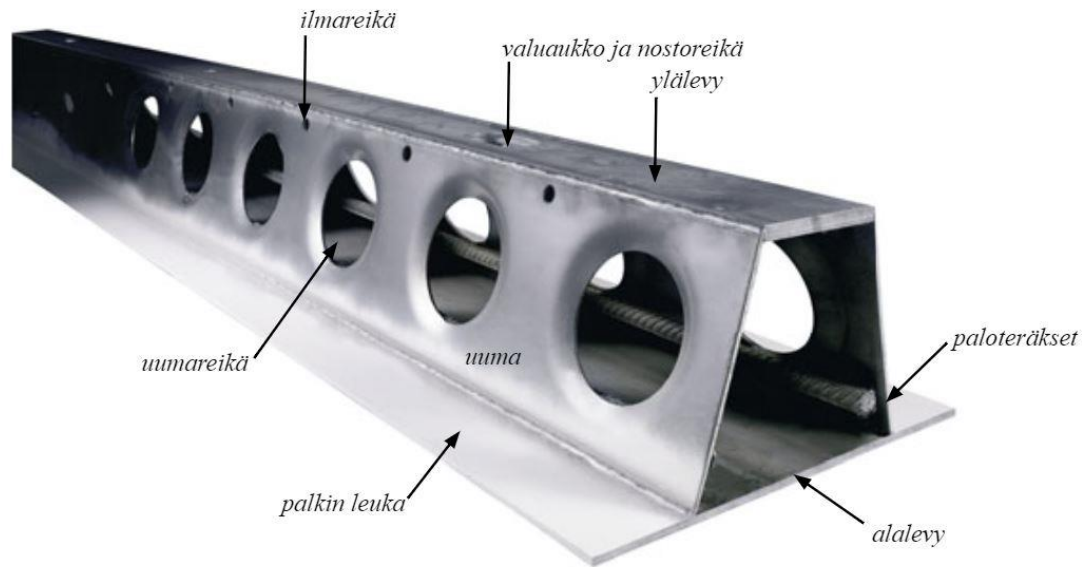
Kuva 12. Tulilattia Fööni-kuivatusjärjestelmän toimintaperiaate (Safedrying)

Kuivatusputkiston käyttö uudisrakentamisessa voi siis nopeuttaa huomattavasti betonirakenteen rakennusaikaisen kosteuden poistumista. Myös päällystämisen jälkeen, betonirakenteen jatkaessa kuivumista, kosteus pääsee poistumaan rakenteesta ilman kosteusvaurioita, kun ylimääräisellä kosteudella on luotettava reitti pois rakenteesta. Mahdolliset kosteusvauriot käyttövaiheessa on myös helppo kuivata, kun betonirakenteessa on jo valmiina kuivatusputkisto.

## 5 Ongelmakohtia

### 5.1 Deltapalkit

Deltapalkit ovat umpinaista terästä, lukuun ottamatta sivujen rei'ityksiä, ja ne valetaan työmaalla täyteen betonia. Koska deltapalkit ovat lähes kokonaan umpinaista terästä, on niiden kuivuminen haastavaa työmaaolosuhteissa. Kuten muiden betonirakenteiden kuivumista, myös deltapalkkien kuivumista voidaan nopeuttaa muun muassa betonilaadun valinnalla, lämmityslankojen käytöllä deltapalkin sisällä sekä valitsemalla päällystemateriaali, joka on vesihöyryä läpäisevä. Kuvasta 13 voi nähdä deltapalkin rakenteen ja uuman reiät, joiden kautta kuivuminen pääsääntöisesti tapahtuu.



Kuva 13. Deltapalkkien kuivuminen tapahtuu uunareikien kautta (Peikko Finland Oy 2016)

Deltapalkkien kuivuminen tapahtuu lähes kokonaan sivujen rei'ityksistä sauma-valuun (deltapalkin ja ontelolaatan saumaan), josta kosteus pääsee poistumaan vain ylöspäin. Koska ontelolaattojen reikien sivutulppaukset estävät kosteuden siirtymisen ontelolaataston ilmatilaan, ei kosteudella ole muuta poistumisreittiä kuin saumavalusta ylöspäin. (Peikko Finland Oy 2016.)

Betonilaadun valinnalla on vaikutusta myös deltapalkkien kuivumiseen, sillä käyttämällä matalampaa vesi-sementtisuhdetta ( $v/s < 0,5$ ) betonin kosteus voi teoriassa laskea kemiallisen kuivumisen aikana jopa 10 prosenttiyksikköä, kun taas korkealla vesi-sementtisuhteella kemiallinen kuivuminen on vain 2 - 3 prosenttiyksikköä. Kuitenkin paras kuivumisnopeus saadaan, kun käytetään korkean lujuusluokan betonia. Peikko Finland Oy antaa ohjeistuksena, että deltapalkit olisi hyvä betonoida K40 lujuusluokan betonilla ja käyttää lämmityslankoja rakenteen kuivumiseen. Tällöin päästään nopeampaan deltapalkkien kuivumiseen. (Peikko Finland Oy 2016.)

Koska betonilaadun valinnalla ei voida taata nopeaa kuivumista, kannattaa deltapalkkien sisälle tilata valmistusvaiheessa lämmityslangat. Varsinkin, jos rakentamisaikataulu on tiukka tai halutaan varmistua siitä, että ylimääräistä kosteutta

ei jää deltapalkkien sisälle, suositellaan lämmityslankojen tilausta deltapalkkeihin. Lämmityslankojen avulla deltapalkkien sisälle saadaan lämmitystä, jonka seurauksena vesihöyryn osapaine betonissa kasvaa ja vesihöyryn liike ulos materiaalista voimistuu. Lämmityslangoista on suuri hyöty betonin kuivumiselle, kun ne on asennettu deltapalkin sisään. (Peikko Finland Oy 2016.)

## 5.2 Muovimatoilla päällystettävät rakenteet

Muovimatoilla päällystettävät betonirakenteet ovat usein kosteusvaurioiden ja sisäilmaongelmien alkulähteitä. Jos betonirakenteen ei ole annettu kuivua tarpeeksi, eli päällystettävyyden raja-arvon alapuolelle, on mahdollista, että kosteusvaurioita tai sisäilmaongelmia syntyy. Betoni-tasoite-liima-lattiapäällysteyhdistelmä on monimutkainen kombinaatio, johon kosteus voi vaikuttaa haitallisesti. (Merikallio et al. 2007.) Kuvassa 14 on esitetty graafisesti, miten muun muassa betonin kosteus voi haitallisesti vaikuttaa sisäilman laatuun.



Kuva 14. Betonin kosteuden aiheuttamat emissiot mattoliimoissa (Merikallio et al. 2007)

Kosteusvauriot ja sisäilmaongelmat syntyvät yleensä silloin, kun betonirakenteen kosteus ja päällystemateriaalin liima tai tasoite reagoivat keskenään ja päästävät sisäilmaan esimerkiksi 2-etyyliheksanolia, joka on yleisin liiman hajoamisen seurauksena syntyvä yhdiste. Varsinkin maanvaraisen lattiarakenteen päällystysmateriaalin tulee olla tarpeeksi vesihöyryä läpäisevä, jotta päällystemateriaalin liima pysyy riittävän kuivana. Korkeissa kosteuspitoisuuksissa päällystemateriaalit voivat menettää myös lujuutensa. (Suomen betoniyhdistys ry 2014.)

Kriittisenä betonin suhteellisen kosteuden raja-arvona pidetään 85 % RH, varsinkin jos kosteus mitataan välittömästi muovimaton alta. Betonilattioiden emissioiden ja betonin suhteellisen kosteuden välillä on huomattavissa selvä korrelaatio, sillä emissiot kasvavat suhteellisen kosteuden noustessa. Betonipinnan emissioiden määrää voidaan kuitenkin pienentää käyttämällä matala-alkalista tasoitetta. Varsinkin korkealujuusluokkaista betonia käytettäessä matala-alkalisen tasoitteen käyttö on suositeltavaa, sillä korkealujuusbetonin korkean sementtimäärän vuoksi betonin alkalipitoisuus on korkea ja betonin tiiveydestä johtuen liiman kosteus imeytyy betoniin tavanomaista huonommin, jolloin rakenteen pintaosan kosteuspitoisuus nousee. (Merikallio et al. 2007.)

Weberiltä on tullut markkinoille Plaano Plus -tasoite, joka soveltuu erinomaisesti alustaksi PVC- ja linoleum-matoille. Tasoite on matala-alkalinen ja sen alhainen pH (10,5-11) suojaa mattoliimoja ja päällysteitä hajoamiselta, joka tarkoittaa sitä, että muovimatoista tai liimoista ei emittoitu terveydelle haitallisia määriä yhdisteitä huoneilmaan, esimerkiksi 2-etyyliheksanolia. Tasoitteen kerrospaksuuden tulee kuitenkin olla yli 5 mm, jotta voidaan varmistua siitä, että huoneilmaan ei pääse emittoitumaan haitallisia yhdisteitä. Tasoitteen kerrospaksuuksilla 4 - 30 mm voidaan lattiat päällystää jopa 1 - 3 viikon jälkeen tasoitteen levittämisestä, jolloin kuivumisaika saadaan kokonaisuudessaan lyhenemään. Tasoitteen paksuuden kasvaessa yli 50 mm kuivumisaika pidentyy, joten tasoitetta ei tulisi käyttää paksua tasoitusta vaativissa kohteissa. (Weber Saint-Gobain Oy.)

Jos tilan käyttötarkoitus vaatii tilan lattioiden päällystemateriaaliksi muovimaton, tulee varmistua siitä, että kosteus poistuu rakenteesta eikä aiheuta ongelmia. Tarvittaessa kosteuden kulkeutuminen betonirakenteeseen voidaan estää sulkeamalla betonipinta kosteussululla, tai voidaan käyttää kosteutta kestäviä materiaaleja tai pinnoitteita. (Suomen betoniyhdistys ry 2014.)

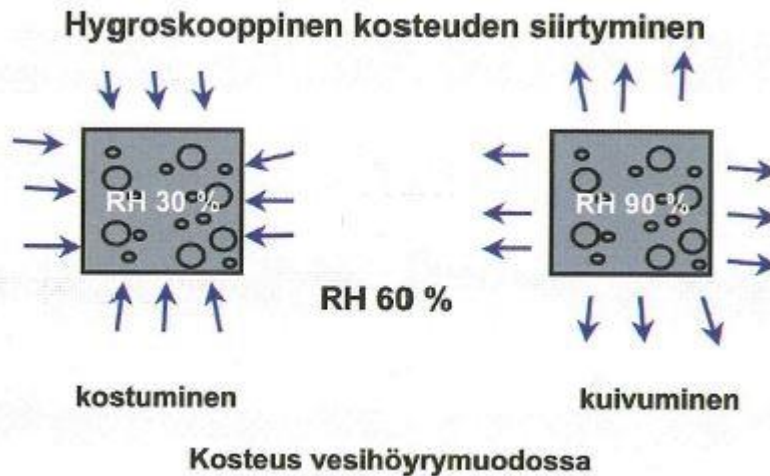
Muovimatoilla päällystettäville betonirakenteille kannattaa myös etsiä korvaavia vaihtoehtoja, esimerkiksi paremmin vesihöyryä läpäiseviä materiaaleja. Myös erilaisilla betonin pinnoitteilla pinnoitemateriaalista saataisiin vesihöyryä läpäisevä, jolloin kosteus pääsisi poistumaan betonista myös pinnoituksen jälkeen. Vesihöyryä läpäiseviä betonipinnoitteita ovat esimerkiksi vesiohenteiset epoksit

(maalit, lakat, itsesiliävät ja hierrettävät massat), jotka päästävät betonin ylimääräisen kosteuden haihtumaan pinnoitteen läpi. (Suomen betoniyhdistys ry 2003.)

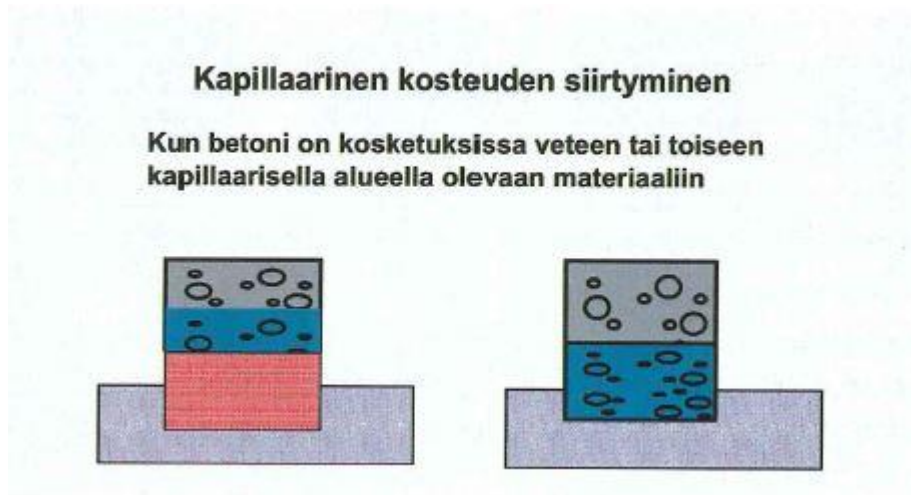
### **5.3 Työmaalla kastunut betoni**

Työmaalla rakenteita betonoitaessa harvoin rakennuksen vaippa on vielä täysin ummessa, jolloin ei voida taata, että betonoitu rakenne olisi täysin säältä suojaassa. Jos betonirakennetta ei saada täysin säältä suojaan, on mahdollista, että rakenne kastuu, jonka seurauksena kuivuminen saattaa pitkittyä. Vesisateiden ja kosteusvaurioiden takia vesi kulkeutuu helposti myös alempiin kerroksiin, esimerkiksi pilarin juuriin, elementtisaumoihin ja deltapalkkeihin. Nämä ovat kohtia, joista vesi pääsee helposti tippumaan alempiin kerroksiin, jolloin suurempi osa rakennuksesta voi kastua.

Huokoisena rakenteena betoni pystyy sekä hygroskooppisesti että kapillaarisesti imemään itseensä kosteutta. Betonin kostuminen, eli hygroskooppinen kosteudensiirtyminen tapahtuu, kun betonirakennetta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on korkeampi kuin betonin suhteellinen kosteus. Hygroskooppisena materiaalina betoni pyrkii aina tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa. Kapillaarisesta kosteuden siirtymisestä käytetään nimitystä kastuminen, jolloin betoni imee itseensä kosteutta ollessaan kosketuksissa vapaaseen veteen tai toiseen märkään materiaaliin. (Merikallio et al. 2007.) Kuvassa 15 on esitetty graafisesti hygroskooppinen kosteuden siirtyminen betonirakenteeseen tai huoneilmaan. Kuvassa 16 on esitetty kapillaarinen kosteuden siirtyminen betonirakenteisiin.



Kuva 15. Hygroσκοoppinen kosteuden siirtyminen betoniin (Merikallio et al. 2007)



Kuva 16. Kapillaarinen kosteuden siirtyminen betoniin (Merikallio et al. 2007)

Vaikka kastuminen ei vaurioita betonia, se kuitenkin lisää kuivumiseen vaadittavaa aikaa. Mitä myöhemässä vaiheessa betoni kastuu, sitä kauemmin sen kuivuminen vie myös aikaa. Hydrataation edetessä betonin huokosrakenne tiivistyy niin, että lisäveden pääsy rakenteeseen on mahdollista, mutta sen poistuminen rakenteesta vaikeutuu. (Merikallio et al. 2007.)

Jos betonirakenne kastuu betonoinnin jälkeen, on sen kuivumista nopeutettava, sillä muuten kuivuminen voi pitkittyä useilla viikoilla tai jopa kuukausilla. Kastumisen jälkeen, jos betonilaatan pinnalle jää vettä lammikoittain, on ne hyvä poistaa esimerkiksi vesi-imurilla mahdollisimman nopeasti, sillä jos lammikoita jätetään



betonilaatan päälle, ei betonirakenne pääse kuivumaan ennen kuin lammikot ovat haihtuneet betonin pinnalta. Kun ylimääräinen vesi on poistettu betonilaatan päältä, on hyvä esimerkiksi lämmittimien tai kuivaimien avulla lämmittää ja kuivattaa betonirakennetta, jotta betonin ylimääräisen kosteuden haihtuminen betonin pinnalta nopeutuu.

Betonirakenteen lämmittäminen on tehokas tapa nopeuttaa betonirakenteen kuivumista, sillä lämpötilan nousu nostaa betonin huokosten ilmatilavuutta, jolloin kosteuden siirtyminen pois betonirakenteesta tehostuu.

## **6 Kuivumisen varmistaminen**

Betonirakenteiden kuivumisen varmistaminen on tärkeä osa rakennusvaihetta, ja varsinkin päällystystöiden aloituksen ajoittamista varten. Päällystemateriaaleille on annettu tuotekohtaiset kosteusraja-arvot, kuinka kosteaa betoni saa enimmillään olla, jotta voidaan varmistua siitä, ettei kosteusongelmia synny päällystämisen jälkeen.

Suhteellisen kosteuden mittaamenetelmällä määritetään betonin rakennehuokosten ilmatilan suhteellinen kosteus, mikä määräytyy huokosten ilmatilassa olevan vesihöyrymäärän ja lämpötilan perusteella. Kosteusmittauksia voidaan suorittaa eri tavoin. Käytetyimpiä menetelmiä ovat porareikä- ja näytepalamittaukset, joissa mitataan betonin suhteellista kosteutta (RH %). Pintakosteudenosoittimilla voidaan käyttää mittaamaan kosteus betonin pinnalta. Uutena tapana seurata betonin kosteuden vaihtumisia on reaaliaikainen kosteusmittaus, jossa betonirakenteeseen asennetaan ennen valua anturit, jotka lähettävät reaaliaikaista dataa betonin kosteudesta ja lämpötilasta. (Merikallio, 2002; RT 14-10984, 2010.)

### **6.1 Pintakosteudenosoitin**

Pintakosteudenosoittimilla tehtävät mittaukset voidaan tehdä rikkomatta mitattavan kohteen pintaa, sillä nimensä mukaisesti kosteus mitataan rakenteen pinnasta. Pintakosteudenosoittimen toiminta perustuu materiaalin vesipitoisuuden muutoksissa tapahtuviin sähköisten ominaisuuksien muutoksiin. Sähköisiä omi-

naisuuksia, joista osoittimet mittaavat kosteutta, ovat esimerkiksi sähkönjohtavuus, kapasitanssi ja dielektrisyys. Vesijohdot, raudoitukset, sähkökaapelit, betonin lisäaineet sekä normaalia suurempi sementtimäärä voivat lisätä sähkönjohtavuutta betonissa, jolloin kosteusarvot voivat olla huomattavasti korkeampia. (Merikallio 2002.)

Pintakosteudenosoittimilla tehtäviä mittauksia voidaan pitää vain suuntaa antavina, eikä sen takia niiden perusteella voida tehdä betonirakenteiden päällystetävyyspäätöksiä. Työmaalla betonin kuivumisen seuranta on hyvä suorittaa pintakosteudenosoittimilla, sillä ne antavat tietoa esimerkiksi siitä, miten betonin kuivuminen on alkanut ja tarvitseeko tehdä muutoksia esimerkiksi kuivumisolosuhteisiin, jotta kuivuminen olisi tarpeeksi nopeaa. (Merikallio 2002.)

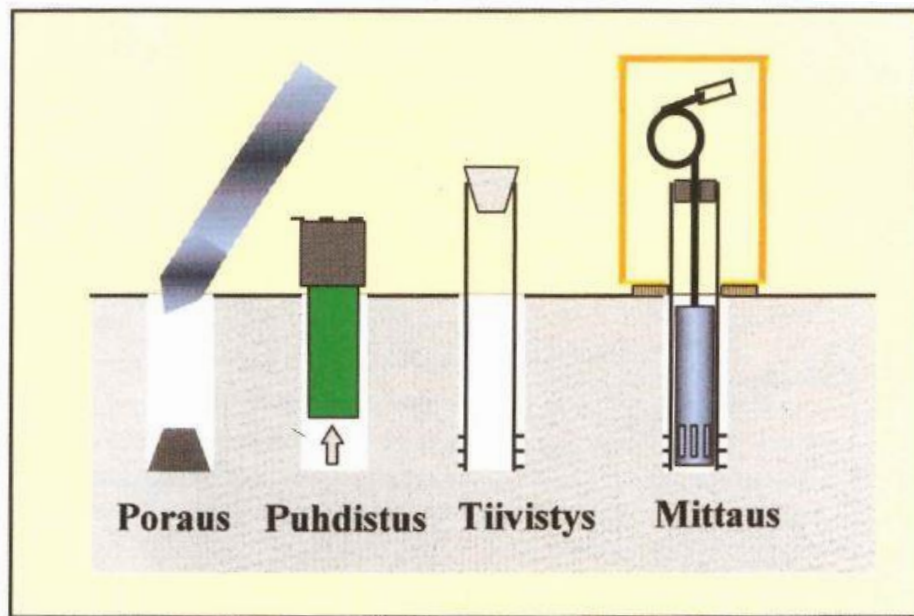
## **6.2 Porareikämittaus**

Porareikämittauksessa betonin suhteellinen kosteus (RH %) mitataan betoniin poratusta reiästä. Mittaus tehdään siihen suunnitellulla mittalaitteella, joka ilmoittaa mitattavan kohteen suhteellisen kosteuden (RH) ja lämpötilan (T). Mittaus-syvyys riippuu rakenneratkaisusta ja rakenteen paksuudesta. Mittaussyvyys valitaan kuvan 19 mukaisesti. (Merikallio 2002.)

Porareikämittauksessa mitattavaan kohteeseen porataan kuvan 17 mukaisesti halkaisijaltaan 16 mm reikä, johon porauksen jälkeen laitetaan esimerkiksi sähköputki ja sen pää sekä tyvi tiivistetään huolellisesti, joko kitillä tai esimerkiksi maalarinteipillä. Tiivistämällä putki huolellisesti saadaan rakennekosteus mitattua halutulta mittaussyvyydeltä. Kun putki on paikoillaan ja hyvin tiivistetty, tulee sen antaa tasaantua 3 – 7 vuorokautta, jotta reiässä saavutetaan tasapainokosteus ennen kuin kosteusmittauksia tehdään. (Merikallio 2002.)

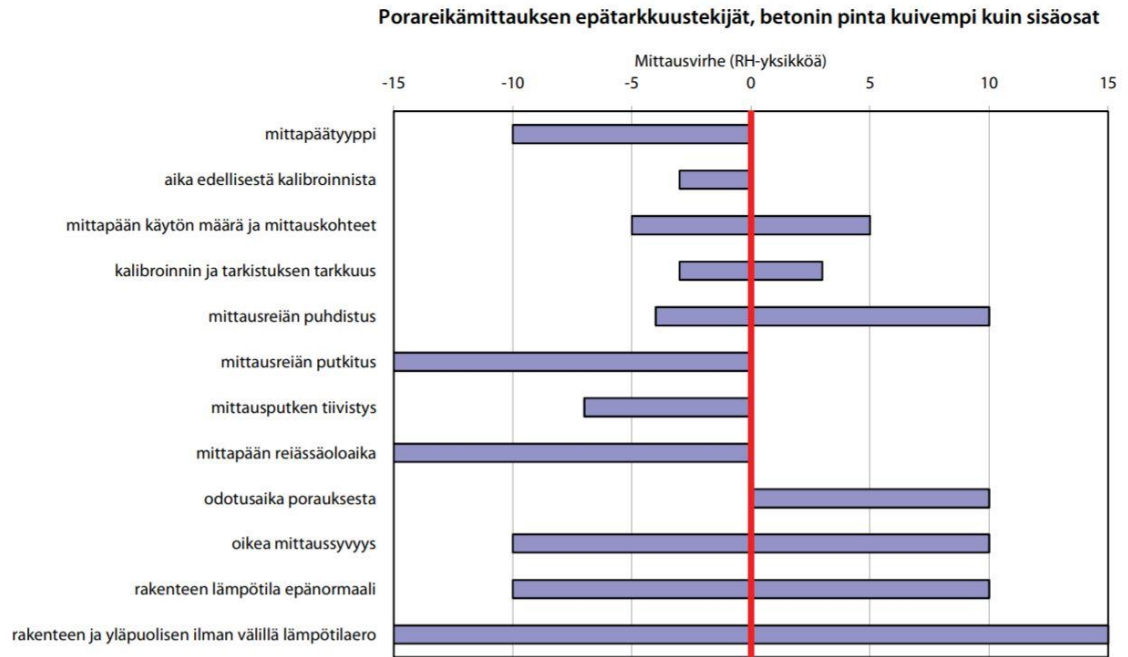
Mittauksessa käytettävät laitteet, kuten mittapää ja anturit, tulee olla kalibroituja, jotta tuloksista tulee luotettavia. Mittapää tulee kalibroida vähintään kerran vuodessa. Kun mittausreikä on saanut tasaantua tarpeellisen ajan, asennetaan sinne mittapää, jonka tulee myös antaa tasaantua 1 - 24 tuntia ennen mittauksia. Mittapään tulee olla reiässä sen aikaa, että kosteustasapaino anturin ja betonin välillä saavutetaan. Kun tasaantumisaika on kulunut, mittapää liitetään näyttölaitteeseen, joka kertoo betonin suhteellisen kosteuden (RH) sekä lämpötilan (T).

Jos mittapää on kalibroinnissa säädetty näyttämään oikein, suhteellinen kosteuden saa suoraan näyttölaitteesta. Jos sitä ei ole säädetty, tulee näyttölaitteen lukema korjata kalibroitikertoimilla laskennallisesti. (Merikallio 2002.) Kuvassa 17 on esitetty porareikämittauksen eri työvaiheet.



Kuva 17. Porareikämittauksen eri vaiheet (Merikallio 2002)

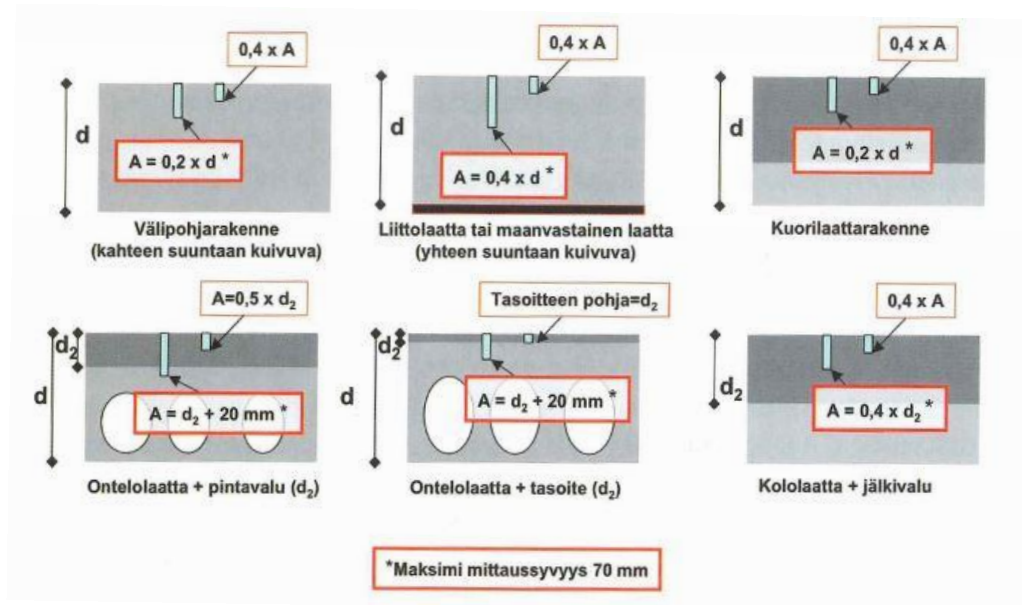
Porareikämittauksia tehdessä tulee huomioida, että monet eri asiat vaikuttavat mittaustuloksiin ja voivat muuttaa niitä jopa +/- 5 RH %. Mittaushetken betonin sekä ympäröivän ilman lämpötiloilla on suurin vaikutus mittaustuloksiin samoin kuin oikealla mittaussyvyydellä, sillä väärältä syvyydeltä mitattu rakennekosteus voi olla jopa +/- 15 RH % väärässä. (RT 14-10984, 2010) Porareikämittauksen epätarkkuustekijöitä on lueteltu kuvassa 18.



Kuva 18. Porareikämittauksen epätarkkuustekijöitä (RT 14-10984)

### 6.2.1 Mittaussyvyudet

Kuvassa 19 on esitetty eri rakenneratkaisujen mittaussyvyksiä. Arviointisyvyydeltä (A) mitataan päällystemateriaalin edellyttämä kriittinen suhteellinen kosteus, jonka pitää olla alle päällystemateriaalin vaatiman suhteellisen kosteusraja-arvon (yleensä 85 RH %). (Merikallio et al. 2007.)



Kuva 19. Porareikämittauksen mittaussyvydet (Merikallio et al. 2007)

Kahteen suuntaan kuivuvan rakenteen, esimerkiksi paikalla valetun väliohjan, päällystettävyyssosteus määritetään 20 % syvyydeltä koko rakenteen paksuudesta. Yhteen suuntaa kuivuvien rakenteiden, esimerkiksi maanvastaisien ja liittolaattarakenteiden päällystettävyyssosteus määritetään 40 % syvyydeltä koko rakenteen paksuudesta. Maksimisyvyys, jolta päällystettävyyssosteus voidaan määrittää, on kuitenkin 70 mm. Arviointisyvyyden ( $A$ ) lisäksi kosteus tulee määrittää 10 – 30 mm syvyydeltä  $0,4 \cdot A$ . Pinnalta mitatun kosteusarvon tulee olla alhaisempi kuin arviointisyvyydellä, jotta voidaan varmistua, että pinnalla on kapasiteettia ottaa vastaan esimerkiksi päällystemateriaalien liiman kosteus. (Merikallio et al. 2007.)

Kerroksellisissa rakenteissa, esimerkiksi ontelolaattaväliohjissa arviointisyvyyksiä on kaksi: 50 % pintavalun paksuudesta sekä 2 cm pintavalun alapuolelta ontelolaattasta. Ontelolaattojen mittauspisteiden tulee osua kannaksen kohdalle, eikä esimerkiksi onteloon. Jos ontelolaatan päällä on tasoite, tulee mittaus tehdä 2 cm tasoitteen ja ontelolaatan rajapinnan alapuolelta. (Merikallio et al. 2007.)

Kololaattojen kosteusmittaukset tehdään arviointisyvyydeltä 40 % jälkivalun paksuudesta. Lisäksi rakenteen pintaosasta mittaus tehdään syvyydeltä  $0,4 \cdot A$ . Kuorilaattavälipohjat sen sijaan mitataan kahteen suuntaan kuivuvana rakenteena, kuten massiivinen välipohja. (Merikallio et al. 2007.)

### **6.2.2 Lämpötilan vaikutus porareikämittaukseen**

Lämpötilan tulisi olla porareikämittausta tehtäessä lähellä rakennuksen lopullista käyttölämpötilaa, jotta mahdollisia virheitä ei tulisi mittaustuloksiin. Yleensä rakennuksen lopullinen käyttölämpötila on noin  $+ 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Jos lämpötila mittaushetkellä poikkeaa lopullisesta käyttölämpötilasta  $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , voi mittaustuloksiin tulla  $\pm 0\text{--}5 \text{ } \%$  virhe. Tämän takia porareikämittauksia tehtäessä betonin lämpötilan tulisi olla  $+ 15 \text{--} 25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Jos betonirakennetta on lämmitetty esimerkiksi kuivatuksen takia, tulee lämpötila laskea käyttölämpötilaan ennen mittausten suorittamista. (Merikallio 2002.)

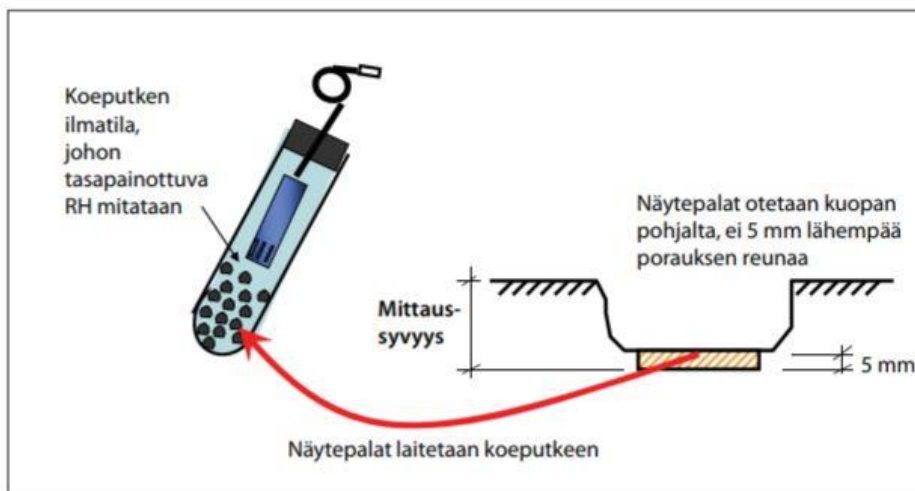
Myös lämpötilaerot mitta-anturin ja betonin välillä voivat antaa virheellisiä tuloksia. Lämpötilaeroja voi syntyä esimerkiksi talvella tehtävissä mittauksissa, jos ulko-ovi avataan kesken mittauksen, anturiin paistaa aurinko tai mittaus tehdään lämpöeristeen läpi. Mitattavan betonin ollessa kylmempää kuin anturi, voi tuloksista tulla todellista korkeampia arvoja. Jos taas betoni on lämpimämpää kuin anturi, tuloksista voi tulla todellista alhaisempia. Jotta tuloksista saataisiin mahdollisimman todelliset, on mitattavan kohteen lämpötilavaihtelut estettävä, esimerkiksi pitämällä kohteen ovet ja ikkunat kiinni tai lämpöeristämällä mitattava kohde. Jos lämpötila ei ole hallittavissa, suositellaan betonin suhteellisen kosteuden mittaamista näytepalamenetelmällä. (Merikallio 2002.)

Betonin lämpötilan noustessa myös betonin suhteellinen kosteus nousee, jolloin mittaukset antavat tuloksista korkeamman RH %-n. Betonin lämpötilan noustessa saavutetaan jossain vaiheessa raja, jonka jälkeen betoni alkaa kuivua ja suhteellinen kosteus lähtee laskemaan. Ilmiö riippuu betonin huokosrakenteesta, hydraatioasteesta, vesi-sementtisuhteesta, iästä ja kosteudesta. (Merikallio 2002.)

### 6.3 Näytepalamittaus

Porareikämittaukseen verrattuna näytepalamenetelmä on nopeampi ja luotettavampi menetelmä betonin suhteellisen kosteuden (RH) määrittämiseen. Näytepalamenetelmää käytetään yleensä silloin, kun mittaustulos halutaan nopeasti, olosuhteet mittauskohdassa ovat epävakaita tai betonin lämpötila on liian alhainen tai liian korkea porareikämittaukselle. (Merikallio 2002.)

Näytepalamenetelmässä mitattavasta kohdasta otetaan näytepalat, joista betonin suhteellinen kosteus (RH) saadaan. Näytepalojen ottoa varten betonirakenteeseen porataan halkaisijaltaan 10 – 16 mm oleva reikä, jonka piiri on noin 100 – 150 mm. Reikä porataan haluttuun mittaussyvyyteen asti. Kun reikä on porattu haluttuun syvyyteen, betonista piikataan tai hakataan irti piirin sisään jäänyt betoni, jonka alta löytyy niin sanottu näytteenottopinta. Kun oikea syvyys on löytynyt ja näytteenottopinta otettu esiin, piikataan betonista irti betonimurusia esimerkiksi lyöntivasaralla. Irti piikatut betonimuruset laitetaan koeputkeen niin, että putkesta täyttyy 1/3 putken tilavuudesta. Betonimurusių lisäksi koeputkeen laitetaan kosteusmittapää. Kun koeputkessa on riittävä määrä betonimurusia, suljetaan koeputken pää välittömästi ja tiivistetään vesihöyrytiiviksi materiaalilla, jolla on alhainen kosteuskapasiteetti. (Merikallio 2002.) Näytepalamittauksen eri vaiheita on kuvattu kuvassa 20.



Kuva 20. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus näytepalamenetelmällä (Merikallio 2002)

Koeputket, joissa on betonimuruset ja mittapää, tulee siirtää vakioämpötilaan + 20 °C. Myös kuljetuksien ajaksi koeputket pitää lämpöeristää, varsinkin talvella, jotta vältetään kosteuden tiivistymisriskiltä. Näytepalojen annetaan tasaantua 2 – 12 tuntia, riippuen halutusta mittaustarkkuudesta. Esimerkiksi päällystettävyyssmittauksia tehtäessä näytepalojen tulisi tasaantua vähintään 6 tuntia. Jos taas käytetään erittäin tiivistä betonia, jonka vesi-sementtisuhte on yli 0,5, tulee tasaantumisaian olla pidempi. Kun näytepalat ovat tasaantuneet tarvittavan ajan, luetaan mittarista sekä kosteusarvo (RH) että lämpötila (T). (Merikallio 2002.)

#### **6.4 Reaaliaikainen kuivumisen seuranta**

Reaaliaikaisessa kuivumisen seurannassa betoniin asennetaan kosteusmittausanturit, jotka mittaavat betonin kosteutta sekä lämpötilaa ja lähettävät reaaliaikasta dataa betonin kosteus- ja lämpötilavaihteluista. Reaaliaikainen kuivumisen seuranta on nykypäivänä yleistymässä ja sillä pystytään helposti seuraamaan betonin kuivumista päivittäin, ilman erillisiä mittauksia. Aalto kertoi haastattelussa, että reaaliaikainen kuivumisen seuranta on kuitenkin tarkoitettu vain seurantakäyttöön, eikä sen perusteella voi tehdä pinnoitettavuuspäätöksiä. Pinnoitettavuusmittaukset tulee tehdä joko porareikä- tai näytepalamittauksena.

Esimerkiksi Cramo Finland Oy on ottanut käyttöönsä helmikuussa 2018 eGate Smart Building Innovation –palvelun, joka tarjoaa tilaajalle reaaliaikaisen kosteusmittaus- ja lämpötilaseurantajärjestelmän, jonka avulla saadaan reaaliaikaista dataa betonin kosteus- ja lämpötilavaihteluista. Järjestelmä sisältää betonirakenteen sisälle (tai pinnoitteen alle) asennettavan kosteusmittausanturin (eGate Flex-nSens RHT, kuva 21), jolla on myös oma anturi, joka lähettää datan eteenpäin, sekä ilmasta ilmankosteutta ja lämpötilaa mittaavan anturin (eGate Kube –RHT, kuva 22). (Aalto 2018.)



### **eGate Flex-nSens -RHT**



Kuva 21. Kosteusmittausanturi (Aalto 2018)

### **eGate Kube -RHT**



Kuva 22. Ilman olosuhteita mittaava anturi (Aalto 2018)

Cramon projektipäällikkö Mika Aalto kertoi haastattelussa, että on itse verrannut eGate Smart Building Innovation –palvelusta saatua dataa ja Vaisalan mitta-anturilla saatuja tuloksia keskenään ja todennut, että niiden tulokset vierekkäisistä mittauspisteistä mitattuna olivat lähes identtisen. Testejä on tehty sekä työmaaolosuhteissa että konttorilla ja testijakso kesti noin 7 kuukautta. (Aalto 2018.)

Reaaliaikainen kosteusmittaus on siis yleistymässä rakennushankkeissa, vaikka sillä ei voida tehdä päällystyspäätöksiä. Reaaliaikainen data betonirakenteiden kuivumisesta on hyödyllistä tietoa työmaille, sillä betonin kosteusvaihtelut ovat seurattavissa reaaliaikaisesti, esimerkiksi tietokoneen tai tabletin kautta. Seuran avulla voidaan joko lisätä betonin lämmittämistä tai tehdä muita korjaavia toimenpiteitä, jotta betonirakenne kuivuisi suunnitellussa ajassa. Kuvassa 23, on

näytetty eGate Smart Building Innovation -järjestelmän kosteus ja lämpötila käyriä.



Kuva 23. eGate Smart Building Innovation -palvelun näkymä (Haukijärvi 2018)

eGate Smart Building Innovation -palveluun on kehitteillä myös kuivumisennustemalli, jonka avulla saataisiin arvio siitä, milloin betonirakenne on pinnoitettavissa. Kehitteillä olevassa kuivumisennustemallissa ennuste reagoi dynaamisesti rakenteen ja ilman välisiin kosteus- ja lämpötilavaihteluihin ja tähän faktaan perustuen palvelu antaa arvion siitä, milloin betonirakenne on pinnoitettavissa. eGate Smart Building Innovation -palvelun kehittäjällä ja Cramo Finland Oy:llä kehitteillä oleva kuivumisennustemalli olisi hyvä lisä eGate Smart Building Innovation -palveluun, sillä silloin samasta ohjelmasta näkisi niin betonien reaaliaikaiset kosteus- ja lämpötila-arvot sekä ennusteen, milloin betonirakenne olisi mahdollisesti päällystettävissä. (Haukijärvi 2018.)

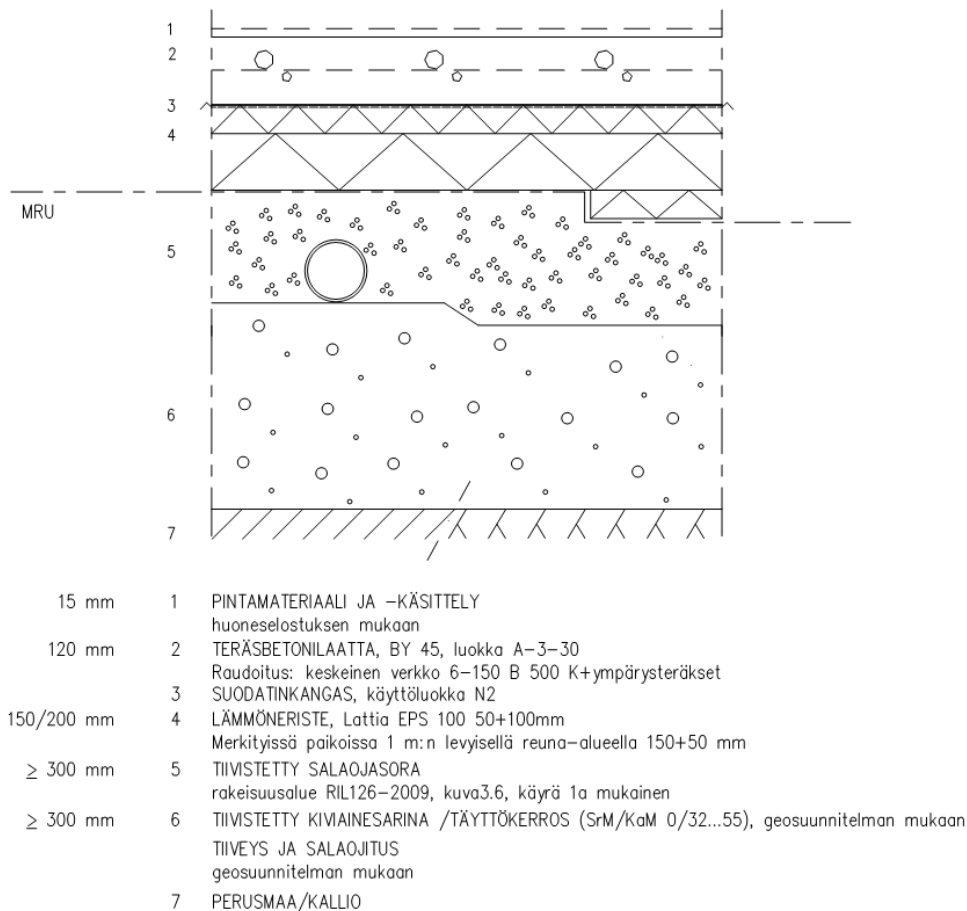
Myös muilla yrityksillä on vastaavanlaisia etäseurattavia kosteusmittausantureita. Esimerkiksi Wiiste Oy:llä on myös betonin sisään valun yhteydessä asennettava anturi, jonka avulla betonin kosteuksia voidaan mitata ilman porareikä- tai näytepalamittauksia. Wiiste Oy:n anturit eroavat eGate Smart Building Innovation -järjestelmästä ainakin siinä, että Wiisteen mitta-anturit voidaan jättää betonivalun sisään, jolloin myös käytön aikana voidaan seurata betonirakenteiden kosteuspi-toisuuksia. Wiisten mittarit eivät myöskään anna dataa reaaliaikaisesti, kuten eGate Smart Building Innovation -järjestelmän anturit, vaan Wiisteen mittaukset tulee aina käydä erillisellä anturilla mittaamassa kohteesta. (Wiiste Oy.)

## **7 Laskentaesimerkit**

Betonin kuivumisaikoja pystytään laskemaan teoreettisesti, jolloin kuivumisia voidaan arvioida ja rakennustöitä aikatauluttaa paremmin, kun tiedetään suurin piirtein, kuinka kauan rakenteet kuivuvat. Kaikki laskelmat betonin kuivumisesta ovat suuntaa antavia, joten varmuus betonin kuivumisesta tulee tehdä kosteusmittauksin, ennen betonirakenteiden päällystämistä.

Betonin teoreettisia kuivumisaikoja voidaan laskea useammalla eri tavalla, joista tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kahta eri tapaa ja verrataan niiden tuloksia keskenään. Betonin kuivumisaika-arvioita lasketaan tässä työssä Suomen betoniyhdistyksen laatiman kuivumisaika-arvio laskurin sekä käsinlaskennan avulla.

Esimerkkien betonirakenne on maanvastainen teräsbetonilaatta (kuva 24). Ta-voitekosteudeksi on asetettu 80 RH %.



Kuva 24. Kuivumisaika-arvio laskelmien rakennetyyppi

## 7.1 Rakenteiden kuivumisaika-arviolaskuri

Suomen betoniyhdistys Oy on laatinut rakenteiden kuivumisaika-arviolaskurin, johon syötetään tarvittavat tiedot betonirakenteesta, joiden perusteella laskuri laskee kuivumisaika-arvion annetulle rakenteelle. Tarvittavat tiedot kuivumisaika-arvio laskurin täyttämiseen ovat tavoitekosteus, vesi-sideainesuhde, rakenteen paksuus, alusta, kastumisaika sekä kuivumisolosuhteet.

Kun tarvittavat tiedot on asetettu kuivumisaika-arvio laskuriin, laskee se automaattisesti betonirakenteen kuivumiselle kuivumisaikaennusteen viikkoina. Kuten niin sanotussa käsin laskennassa, kuivumisaika-arvio laskuri muuttaa taulukoon syötetyt tiedot kertoimiksi ja laskee peruskuivumisajan niiden perusteella. Kun peruskuivumisaika on laskettu kaikilla kertoimilla, antaa laskuri kuivumis-

aika-arvion viikkoina. Kuivumisaika-arvio laskuri käyttää samoja kertoimia rakenteen kuivumiselle, kuin mitä käsin laskennassa käytetään. Tässä lasketun maanvastaisen teräsbetonirakenteen kertoimet ovat nähtävillä luvussa 7.3.

Esimerkkilaskelman maavastaisen teräsbetonirakenteen kuivumisaika-arvio laskurin mukaan on 33,6 viikkoa, kun olosuhteina on 50 % RH ja lämpötila +15 °C. (Liite 1.) Jos kuitenkin kuivumisolosuhteita muutetaan niin, että sisäilman suhteellinen kosteus on 35 % RH ja lämpötila +20 °C, kuivumisaika-arvioksi tulee 25,9 viikkoa. (Liite 2.) Kuivumisaika-arvioista on siis huomattavissa, että sekä sisäilman suhteellisella kosteudella, että lämpötilalla on huomattava vaikutus betonirakenteiden kuivumiseen.

## 7.2 Käsin laskenta

Suomen Betonitieto Oy:n julkaisemassa teoksessa Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi on annettu betonirakenteiden kuivumisen arviointiohjeisto, jonka avulla voidaan laatia yleisimmille sisätiloihin rajoituville betonirakenteille kuivumisaika-arviot. Teoksesta löytyy peruskuivumiskäyrät ja muunnoskertoimet maanvastaiselle teräsbetonilaatalle, massiiviselle teräsbetonirakenteelle (voidaan soveltaa sekä lattioihin että seiniin), liittolaattarakenteille, kuorilaattarakenteille, ontelolaattaväli pohjille sekä kelluville pintabetonilaatoille. (Merikallio 2002.)

Teoksessa on annettu kaikille rakenteille myös laskentakaavat, joilla kuivumisaika-arviot saadaan laskettua. Riippuen rakenteesta laskentakaavat ovat erilaisia. Tässä esimerkkilaskelmassa laskentakaavaan (Kuva 25) tarvitaan lähtötiedoiksi betonin tavoitekosteus RH (%), vesisideainesuhde, rakenteen paksuus, alustan kosteus, kastumisaika ja kuivumisolosuhteet.



Kuva 25. Kuivumisaika-arvion laskentakaava (Merikallio 2002)

Käyttöohjeet kuivumisen arviointiohjeistolle ja muunnoskäyrille:

1. Valitse rakenne (Kuva 24).
2. Määritä tavoitekosteus (betonin suhteellinen kosteus RH %)
3. Katso peruskuivumiskäyrästä tavoitekosteutta vastaava aika viikkoina (Kuva 26).
4. Kerro peruskuivumisaika eri kertoimilla (vesisideainesuhde, rakenteen paksuus, kastumisaika ja kuivumisolosuhteet) (Kuva 27).
5. Tulokseksi saat arvioidun kuivumisajan viikkoina.



Kuva 26. Kuivumisaika-arvion peruskuivumiskäyrä (Merikallio 2002)

Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
70	1,0	0,8	0,8	0,7
90	1,4	1,3	1,3	1,2
100	1,7	1,6	1,6	1,5
120	2,1	2,0	2,0	1,9
150	2,5	2,4	2,4	2,3

Alusta	Kerroin
kuiva	1,0
muovi	1,1
märkä	1,5

Kastuminen	Vesisideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5

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

Kuva 27. Kuivumisaika-arvion kertoimet (Merikallio 2002)

Esimerkkilaskelma maanvastaisen teräsbetonilaatan kuivumisesta:

Peruskuivumisaika (80 RH %) = 24 viikkoa

Vesisideainesuhde (0,6) = 0,7

Rakenteen paksuus (120 mm) = 2,0

Alustan kosteus (kuiva) = 1,0

Kastumisaika (kosteassa yli 2 viikkoa) = 1,0

Kuivumisolosuhteet (kosteus 50 %, lämpötila 15 °C) = 1,01

Arvioitu kuivumisaika:

$24 * 0,7 * 2,0 * 1,0 * 1,0 * 1,01 = 33,9$  viikkoa

### 7.3 Tulokset

Kuivumisaika-arviolaskuri ja käsin laskenta käyttävät samoja muuntokertoimia ja siksi niiden antamat tulokset ovat lähes samoja. Niiden antamissa tuloksissa on vain 0,3 viikon ero.

Kuivumisaika-arvio laskurin toimintaa ja oikeellisuutta on kritisoitu, sillä usein todelliset kuivumisajat voivat olla jopa nelinkertaisia verrattuna laskurin antamiin teoreettisiin kuivumisaika-arvioihin. Olemassa olevia kuivumisaika-arviolaskureita ja ohjeistoja olisi hyvä päivittää, sillä ne eivät vastaa kaikilta osin uusia materiaaleja ja muuttuneita materiaaliominaisuuksia. Laskentakaavoja suositeltaisiin päivitettäväksi useiden rakenteiden osalta, ja niissä olisi hyvä huomioida rakenne sekä pintakerrokset kokonaisuutena, sillä materiaaliominaisuuksiin on tullut useita muutoksia. Liian lyhyiksi mitoitettut kuivumisajat aiheuttavat ongelmia päällystämisaikojen sovittamisessa ja myöhemmin voivat aiheuttaa ongelmia tiiviiden lattiapäällysteiden kanssa. (RIL 2017.)

Tällä hetkellä markkinoilla ei ole montaa kuivumisaika-arvioiden tekemiseen suunniteltua ohjelmistoa. Uusille ohjelmistoille olisi kyllä tarvetta, sillä nykypäivänä kosteudenhallinta työmailla on entistä suuremmassa roolissa. Lähivuosina on kuitenkin tulossa muutamia uusia tapoja laskea kuivumisaika-arvioita. Esimerkiksi eGate Smart Building Innovation -järjestelmään on tulossa kuivumisennustemalli, josta saa suoraan reaaliaikaisen datan avulla kuivumisennusteet rakenteille.

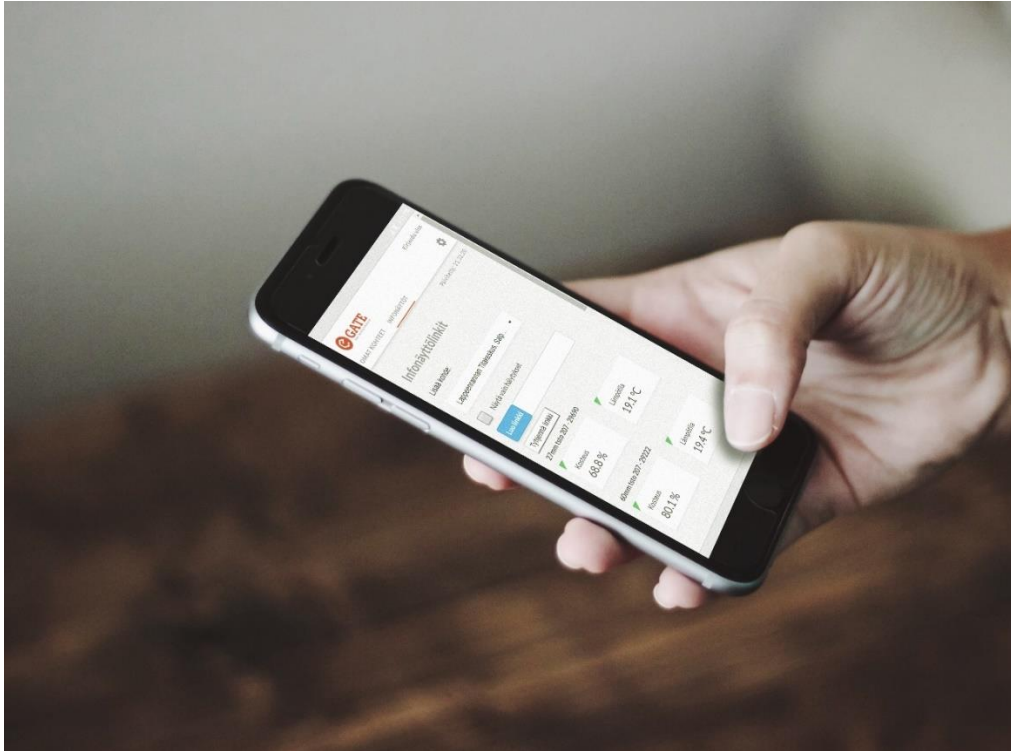
Tulevaisuuden kuivumisaika-arvio laskurit tulevat luultavasti käyttämään hyväkseen entistä enemmän muun muassa reaaliaikaista dataa, jolloin kuivumisennuste olisi jokaiselle kohteelle yksilöllinen. Tällä hetkellä käytössä olevat laskurit ovat yleisiä, eivätkä mitenkään ota huomioon kohteiden erikoisuuksia. Myös ohjelmistot, joihin pystyisi tarkemmin kuvaamaan kohteen ja sen erikoispiirteet, voisivat tulevaisuudessa helposti antaa kuivumisaika-arviot kohteen piirteiden avulla. Näin ollen voitaisiin saada paremmin jokaista kohdetta ja todellisuutta vastaavat kuivumisaika-arviot.



## 8 Case-tapaus

Tämän opinnäytetyön case-tapauksessa seurasin erään kohteen betonilattioiden kuivumista reaaliaikaisen datan avulla ja tutkin, miten esimerkiksi olosuhteet sekä käytetyt kuivatusmenetelmät vaikuttivat betonilattioiden kuivumiseen. Kohteen tilaaja oli asettanut betonirakenteiden päällystettävyyden raja-arvoksi muovimattojen osalta 80 RH %, joka on tiukempi kuin normaalisti (85 RH %). Suurin osa betonilattiarakenteista tuli päällystettäväksi muovimatoilla, jolloin kosteusraja-arvon tuleekin olla alhainen, jotta betoninkosteus ei pääse aiheuttamaan ongelmia. Alhainen päällystettävyyden raja-arvo omalta osaltaan vähentää betonista johtuvan kosteuden ja lattiapäällysteen, kyseisessä kohteessa muovimaton liiman, reagoimista keskenään ja siitä syntyviä ongelmia.

Kohteessa on käytetty Cramo Finland Oy:n eGate Smart Building Innovation-palvelua, joka antaa reaaliaikaista dataa betonirakenteiden kosteus- ja lämpötilavaihteluista sekä seuraa ympäröivän ilman kosteutta ja lämpötilaa. Betonirakenteeseen on asennettu anturit, jotka mittaavat betonin kosteusvaihteluita ja lähettävät siitä saatavan datan eGate Smart Building Innovation-järjestelmään, jonka kautta betoninkosteusvaihteluita voi seurata esimerkiksi tietokoneen tai tabletin avulla. eGate Smart Building Innovation-järjestelmä on tarkemmin kuvattu tämän opinnäytetyön luvussassa 6.4. Kuvassa 28 näkyy eGate Smart Building Innovation-järjestelmän infonäyttö, josta voi nähdä kaikkien mittauspisteiden sen hetkiset kosteudet ja lämpötilat samalla kertaa.



Kuva 28. eGate Smart Building Innovation -palvelun infonäyttö (Haukijärvi 2018)

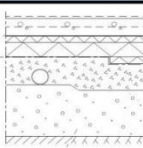
## 8.1 Kohteen suunnitelmat

Kohteessa oli Cramo Finland Oy:n tekemät kosteusmittaus- ja kuivatussuunnitelmat. Cramon tekemästä kosteusmittaussuunnitelmasta löytyi tietoa kosteusmittausten laajuudesta, eli kuinka monesta kohdasta kosteusmittauksia otetaan, ja tietoa rakenteista, joista mittaukset tehdään sekä kuinka syvältä mistäkin rakenteesta kosteus tulee mitata. Mittausten alustavat ajankohdat oli myös mainittu kosteusmittaussuunnitelmassa, jossa mainittiin, että lähtötasomittaukset tulee tehdä, kun rakennuksen vaippa on tiivis tai voidaan muilla tavoin varmistua, että betonirakenteet eivät pääse enää kastumaan. Kosteusmittaussuunnitelmassa on myös mainittu, että mittauksien tavoitteena on varmistaa rakenteiden hallittu kuivuminen ja työmaan aikataulussa pysyminen. Lopulliset päällystettävyyssmittaukset tulee tehdä porareikä- tai näytepalamittauksina 0 - 2 viikkoa ennen suunniteltua päällystämisaikajankohtaa. Kosteusmittaussuunnitelmassa oli annettu arvio, että kohteesta tulisi kaiken kaikkiaan ottaa noin 110 kappaletta päällystettävyyssmittauksia joko porareikä- tai näytepalamittauksina.

Cramon kuivatussuunnitelmassa on esitetty tarvittavat kuivauslaitteet ja niiden sijainnit, jotta rakennus saataisiin kuivumaan mahdollisimman hyvin ja suunnitelmassa aikataulussa. Kuivaussuunnitelmassa kuivauskalustoksi oli määritetty sorptiokuivaimia yhteensä 15 kpl sekä simpukkapuhaltimia yhteensä 65 kpl koko rakennukseen.

Skanska teki kohteesta oman kosteudenhallintasuunnitelman, josta löytyy muun muassa kosteudenhallinnan laatutavoitteet, suunnitteluvaiheen kosteudenhallinnan riskiarvioiden tulokset ja jokaiselle rakennetyypille suhteellisen kosteuden raja-arvot, mahdolliset kosteusriskit ja miten rakenteeseen voi kulkeutua kosteutta. Kosteudenhallintasuunnitelmassa on myös eri työvaiheista mietitty kosteusteknisesti kriittiset rakenteet, materiaalit ja työtavat, sekä miten hyvät kuivausolosuhteet saataisiin järjestettyä kohteeseen.

Skanskan kosteudenhallintasuunnitelmassa on kuvattuna jokainen rakennetyyppi ja käyty läpi materiaalit, joita rakennetyypissä käytetään. Materiaaleista on myös merkittynä kriittiset kosteusraja-arvot ja tietoa siitä, kuinka materiaaleja tulee varastoida. Myös toimenpiteet ja mahdolliset kosteusrasitusriskit ovat kuvattuina suunnitelmassa. Kuvissa 29 ja 30 on esimerkit Skanskan kosteudenhallintasuunnitelmasta, joista kuvassa 29 on kuvattu yksi rakennetyypeistä ja kuvassa 30 on eritelty eri lattianpäällystysmateriaalien kriittiset kosteusraja-arvot.

Rakennetyyppi AP 1 / 2	Materiaalit	Ylin sallittu RH/ kosteuden sieto	Varastointi	Altistuminen kosteudelle asennettaessa	Kosteusrasituksen kesto vrk	Miten kosteus voi kulkeutua rakenteeseen? Missä vaiheessa kosteus voi kulkeutua rakenteeseen?	Toimenpiteet kosteusrasituksen johdosta ja mahdolliset riskit
	Pölynsidonta/ maalaus/ muovimatto/ akryylibetoni	10 vrk/ RH 97%/ RH 80%/ RH 97%	Sisätilat	Ei		Sadevedet. Maaperän luontainen kosteus	Pölynsidontamaalaus valmistajan ohjeen mukaisesti 10 vrk betonoinnista. Lattiamaa ja akryylilattia edellyttää suhteelliselta kosteudelta enintään RH 97%. Muovimatto edellyttää RH 80%, lämmitetään tiloja yli +15 °C ja ilmanvaihtoa tehostetaan (kuivaa sisään ja kosteaa ulos). Radonputkisto kuivatuskäyttöön heti kun mahdollista.
	Maanvarainen laatta 120mm			Kyllä			
	Lattia EPS 150/200mm		Piha	Kyllä	elinkaari		
	Salaojasepeli >300mm			Kyllä	elinkaari		
	Kiviainesarina >300mm			Kyllä	elinkaari		

Kuva 29. Kosteudenhallintasuunnitelman esimerkki rakennetyyppi

Kosteudenhallintasuunnitelmasta löytyy myös tarkat ohjeet, kuinka eri materiaaleja tulee varastoida ja suojata. Myös hyvien kuivumisolosuhteiden järjestäminen on mainittu suunnitelmassa. Tärkeää on, että kosteudenhallintasuunnitelmasta löytyy jokaiselle päällystemateriaalille valmistajan antamat betonin kriittiset kosteusraja-arvot, jotta tiedetään, mikä betonirakenteen RH % tulee vähintään olla ennen pinnoitusten aloittamista.

7.1 Rakenteiden päällystäminen ja kosteustekniset raja-arvot (Laatat ja sokkelit)	Päällystemateriaali	Valmistajan/RYL:n vaatimus alustan kosteudesta
	Muovimatto	RH 80 % (tilaajan vaatimus)
	Vedeneristys + keraaminen laatta	RH 90 %
	Akryylibetoni	RH 95 %
	Maali	RH 97 %
	Pölynsidontamaali	10 vrk betonoinnista
	Polyuretaanipinnoite	RH 90 %
	Polyuretaanipinnoite + primer	RH 98 %

Kuva 30. Päällystemateriaali valmistajien antamat kosteusraja-arvot

## 8.2 Kuivumisprosessi

Työmaaolosuhteet kuivumiselle eivät olleet aluksi suotuisat, sillä ennen kuin rakennus saatiin vesitiiviiksi, betonirakenteet kastuivat sateiden myötä jopa useampaan otteeseen. Sateiden takia betonilattioilla oli toisinaan havaittavissa vesilammikoita, jotka yleensä hidastavat huomattavasti betonilattiarakenteiden kuivumista. Tutkiessani lammikoita kerroksittain, oli huomattavissa, että useissa kohdissa lammikot olivat päällekkäin, jolloin voidaan todeta, että vesi valui alempiin kerroksiin esimerkiksi pilarien juurista, ontelolaattojen saumoista tai deltapalkkien kohdista. Vesisateet ovat toisinaan voineet sataa suoraan rakennukseen sisälle, ennen kuin rakennuksen vaippa saatiin kokonaan umpeen. Betonirakenteet pääsivät myös kastumaan rakennuksessa olevista vesipisteistä, joiden liitokset vuotivat vettä lattioille tai kohdista, joissa muuten käytettiin vettä, esimerkiksi laastien sekoituspaikoilla.

Betonilattioista suurin osa valettiin aikavälillä kesäkuu – syyskuu. Betonirakenteita ei useaan kuukauteen lämmitetty tai kuivatettu erillisillä kuivaimilla ja sen huomasi varsinkin siitä, että betonirakenteet eivät kuivuneet oikeastaan ollenkaan, sillä suhteellisen kosteuden arvot liikkuivat yli 90 RH %:ssa. Myös se, että

suurin osa valuista tehtiin kesällä, vaikutti betonirakenteiden kuivumiseen. Kesällä tehtävien valujen kuivumismahdollisuudet ovat yleensä heikommat, sillä ilman suhteellinen kosteus on melko suuri, jolloin ilma ei pysty vastaanottamaan betonista haihtuvaa kosteutta. Vasta, kun lähes koko rakennuksen runko oli ylhäällä ja sääsuoja oli asennettu kohteen päälle, alkoivat rakenteet kunnolla kuivua, kun rakenteet eivät päässeet enää kastumaan ulkoisten rasitusten takia.

Rakennukseen asennettiin lämmityslaitteet lokakuussa, kun rakennuksen vaippa oli lähes kokonaan ummessa. Kohteeseen asennettiin useita lämmittimiä, esimerkiksi El Björnin TF 50HV ja TF 15HV lämmittimiä (kuva 31), jotka käyttävät kaukolämpöä lämmitykseen. Lämmittimien asennuksen jälkeen rakennuksen sisälämpötila saatiin nousemaan noin + 20 °C:seen ja sen myötä myös betonilattioiden lämpötilat saatiin nousemaan, jolloin myös rakenteiden kuivuminen oli mahdollista.



Kuva 31. El Björn TF 50HV -lämmitin

Kun kohteessa saatiin ikkunat tiivistettyä, huomattiin, että ilma ei päässyt kunnolla kiertämään kohteessa, jolloin sisäilma oli toisinaan tunkkaista. Tämän ha-

vainnon jälkeen pohdittiin, miten ilma saataisiin kiertämään sisätiloissa, sillä kohteessa oli kiinteät ikkunat, joissa ei ollut tuuletusluukkuja. Vaihtoehtoina mietittiin esimerkiksi sitä, että hissikulujen savunpoistoluukut avattaisiin niin, että huon ilma pääsisi sitä kautta pois rakennuksesta, tällöin kohteessa olisi rakennusai kana käytössä ns. painovoimainen ilmanvaihto. Toisena vaihtoehtona pohdittiin läpivetoa, jolloin kohteessa olevia oviaukkoja avattaisiin niin, että ilmavirta pääsisi kulkemaan rakennuksen läpi. Tähän opinnäytetyöhön en ehtinyt saada selville, minkälaisella ilmanvaihdolla loppujen lopuksi kohdetta tuuletettiin rakennusai kana.

### **Betonilattioiden kastuminen**

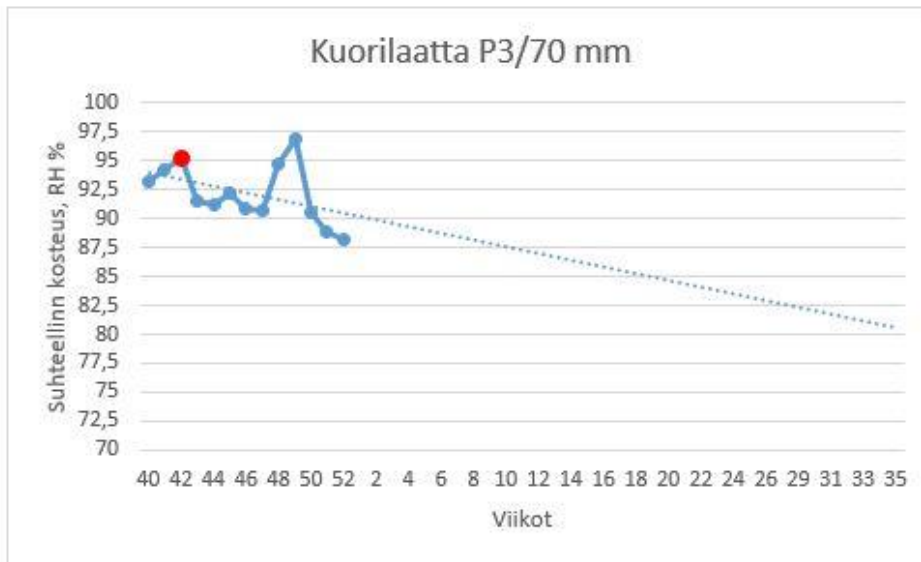
Koska rakennus oli pitkään sään armoilla, pääsivät sadevedet kastelemaan betonirakenteita, ennen kuin sääsuoja saatiin asennettua kohteen päälle. Ilman sääsuojaa oli betonirakenteiden kastumista vaikea estää, sillä sadevedet pääsivät pienimmistäkin koloista kulkeutumaan myös alempiin kerroksiin ja kastelivat betonilattioita useista kohdista. Myös lattiarakenteiden kuivatus oli lähes mahdotonta, sillä toisinaan lattioilla oli niin paljon vettä, että olisi tarvittu pumppuja poistamaan vesi lattiarakenteiden päältä.

Sen jälkeen, kun sääsuoja oli asennettu ja vesikatto saatiin vedenpitäväksi, pysyttiin myös sadevedet pitämään rakennuksen ulkopuolella. Betonilattiat pääsivät silti toisinaan kastumaan, mutta tällöin vesivahingot tulivat esimerkiksi rakennuksen sisällä olevista vesipisteistä tai vuotavista vesijohdoista. Kun betonilattioille pääsi vuotamaan vettä, esimerkiksi vesijohdoista, imuroitiin vesi-imurilla välittömästi suurimmat vedet pois lattioilta, jolloin voitiin vähentää vesien aiheuttamia vahinkoja.

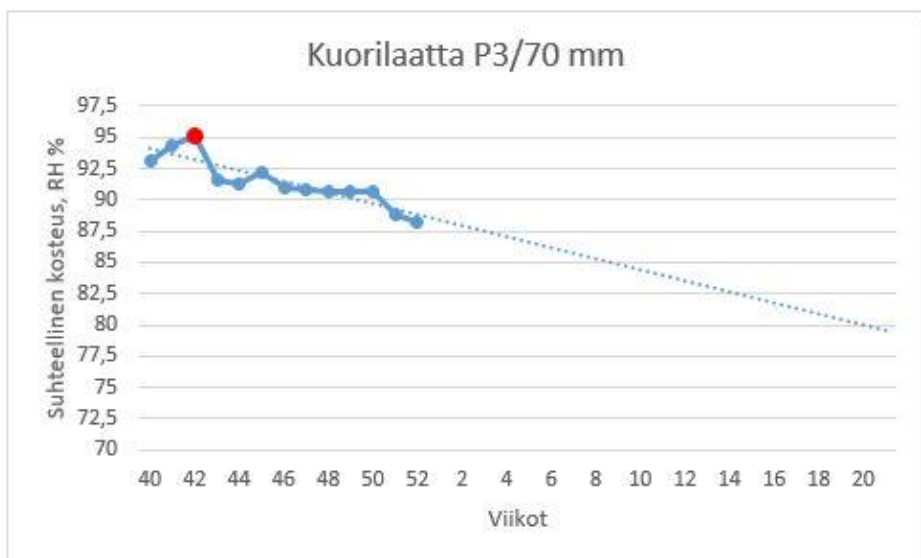
Rikkinäiset vesijohdot ja huonot liitokset olivat usein harmina työmaalla, sillä ne vuotivat useita kertoja vettä lattioille. Kaikki kastuneet kohdat merkittiin pohjakuviin, jotta niiden kuivumista voitiin seurata tarkemmin ja kyseisistä kohdista voidaan ottaa tarvittaessa porareikämittaukset päällystettävyyssmittauksia tehtäessä.

Kuvissa 32 ja 33 on esitetty, minkälaisen eron betonirakenteen kastuminen voi aiheuttaa rakenteelle. Kuvassa 32 on todellinen tapaus kohteesta, jossa rakenne

on päässyt kastumaan ja suhteellinen kosteuspitoisuus on hetkellisesti noussut jopa 97 RH %:n. Kuvassa 33 taas on esitetty saman rakenteen kuivumisennuste, jos rakenne ei olisi kastunut vaan olisi kuivunut lähes samalla vauhdilla kuin ennen kastumista. Jos kastumista ei olisi tapahtunut, olisi rakenteen suhteellinen kosteus luultavasti ollut alle 80 RH % viikolla 20, mutta kastumisen seurauksena kuivuminen voi pitkittyä ennusteen mukaan jopa yli 15 viikolla.



Kuva 32. Kastuneen kuorilaattarakenteen kuivumisennuste

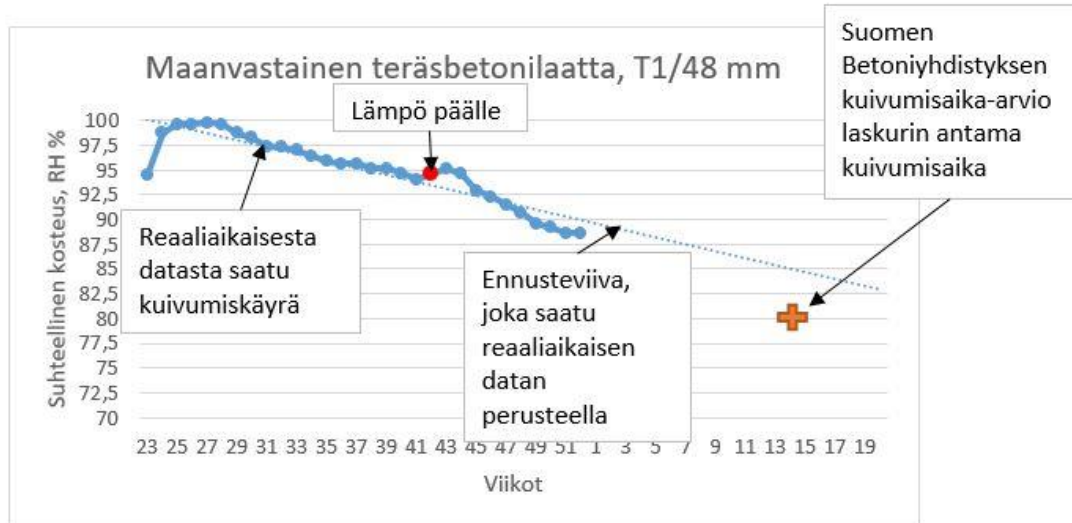


Kuva 33. Kuorilaattarakenteen kuivumisennuste, jos rakenne ei olisi kastunut

### 8.3 Kosteuskäyrät ja ennusteet

Sen jälkeen, kun kohteeseen saatiin lämmöt päälle, tehtiin betonilattiarakenteille uudet kuivumisaika-arviot. Kuivumisaikaennusteet laskettiin sekä Suomen betoniyhdistyksen kuivumisaika-arviotaulukolla sekä Excel-taulukon avulla, johon oli koottu reaaliaikaisesta datasta saatava tieto ja sen pohjalta tehty uudet ennustekäyrät.

Koska tällä hetkellä työmaalla ei ollut käytössä muuta betonirakenteiden kuivumisenennustejärjestelmiä kuin Suomen betoniyhdistyksen tekemä kuivumisaika-arviolaskuri, päätin tehdä työmaalle uudet kuivumisaika ennusteet reaaliaikaisen datan avulla. Keräsin Excel-taulukkoon reaaliaikaisesta mittauksesta saatavan data ja tein kuivumiskäyrät viikoittaisten keskiarvojen perusteella. Kun kuivumiskäyrät oli tehty, lisäsin taulukkoon ennusteviivan, joka aiemman datan perusteella laskee, miten betonirakenteiden kuivuminen jatkuu ja milloin rakenne olisi päällystettävissä, eli suhteellinen kosteus alle 80 RH %. Kuvassa 34 on esitetty selitteet ennustekäyrissä oleville viivoille.



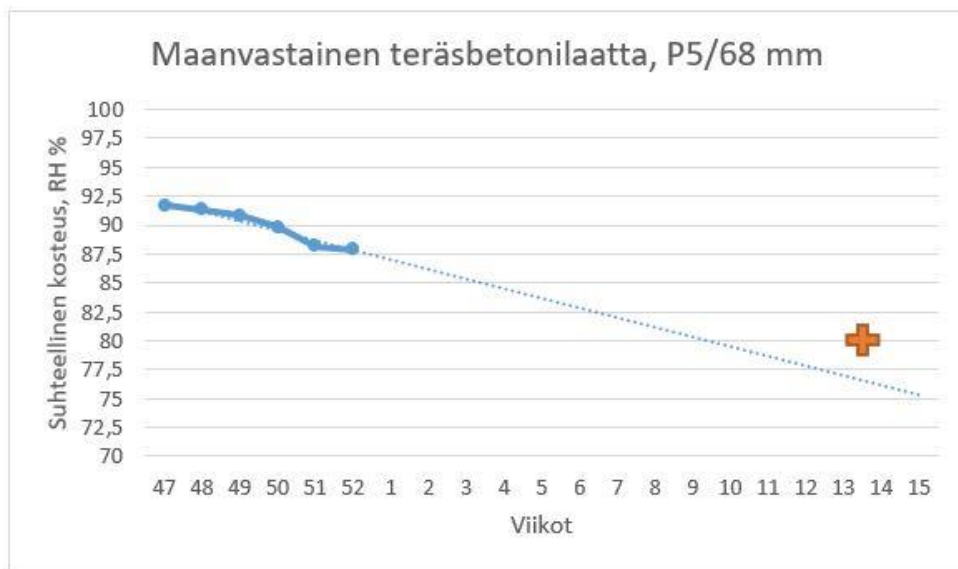
Kuva 34. Kosteuskäyrien selitykset

Koska ennustekäyrien pohjalla on reaaliaikaisesti saatava data rakenteiden kuivumisesta, on jokaisen rakenteen ennustekäyrä omanlainen. Jokaisessa käyrässä on kuitenkin tavoitteena saavuttaa alle 80 RH %, jotta rakenteet voidaan



päälystää. Ennustekäyriin on merkitty punaisella pisteellä viikko, jolloin rakennukseen saatiin lämmöt päälle, eli aika, jonka jälkeen rakenteet ovat kunnolla alkaneet kuivua. Käyriin on myös merkitty viikko (punainen rasti), jolloin rakenteiden tulisi Suomen betoniyhdistyksen kuivumisaika-arviolaskurin mukaan olla päälystyskunnossa, eli suhteellinen kosteus olisi alle 80 RH %.

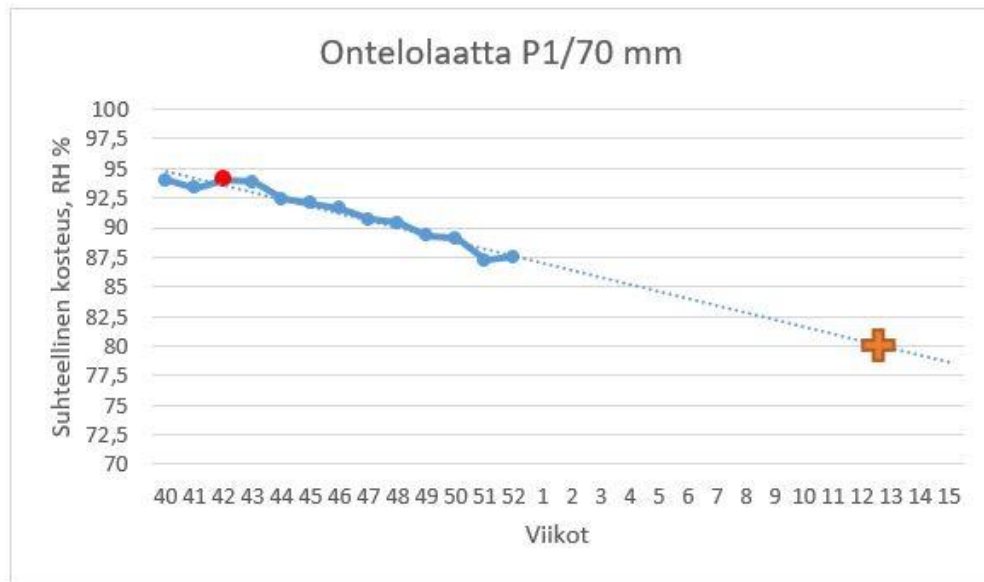
Excel-taulukon ennustekäyrät tehtiin lineaarisena ennusteviivana, joka kuvaa betonirakenteiden kuivumista. Kuten muutkin kuivumisaika-arviot, Excel-taulukko-kaan ei ota huomioon sitä, jos rakenteet pääsevät jossain kohtaa kastumaan, jonka jälkeen kuivuminen todennäköisesti hidastuu. Käyrät eivät myöskään ota huomioon sitä, jos kuivuminen hidastuu loppua kohden, sillä lineaarisena käyränä tehtynä, ennusteviiva ennustaa tasaisen kuivumisen rakenteelle.



Kuva 35. Maanvastaisen teräsbetonilaatan kuivumisennuste

Kuvassa 35 on kohteen yhden mittauspisteen maanvastaisen teräsbetonilaatan kuivumisennustekäyrä. Kyseiseen kohtaan asennettiin reaaliaikainen mittauspiste viikolla 47, jolloin voitiin huomata, että betonilaatta oli jo hyvin kuivunut ennen mittarin asentamista. Ennustekäyrän mukaan rakenteen pitäisi kuivua alle 80 RH % 5 viikkoa aikaisemmin kuin kuivumisaika-arvio laskurin antama ennuste esittää. Kohteessa kaikkiin maanvastaisiin rakenteisiin tulee pinnoitteeksi joko akryyli tai maali, jolloin kriittinen kosteusraja on noin 90 %, pinnoitteesta riippuen.

Tästä voidaan siis huomata, että kyseinen rakenne on ollut pinnoitettavuuskunnossa jo viikon 50 jälkeen. Tulee kuitenkin muistaa, että vaikka reaaliaikainen data näyttäisi, että rakenne on riittävän kuiva pinnoitettavaksi, tulee ennen päällystettävyysepäätöksiä tehdä vielä viralliset porareikä- tai näytepalamittaukset.



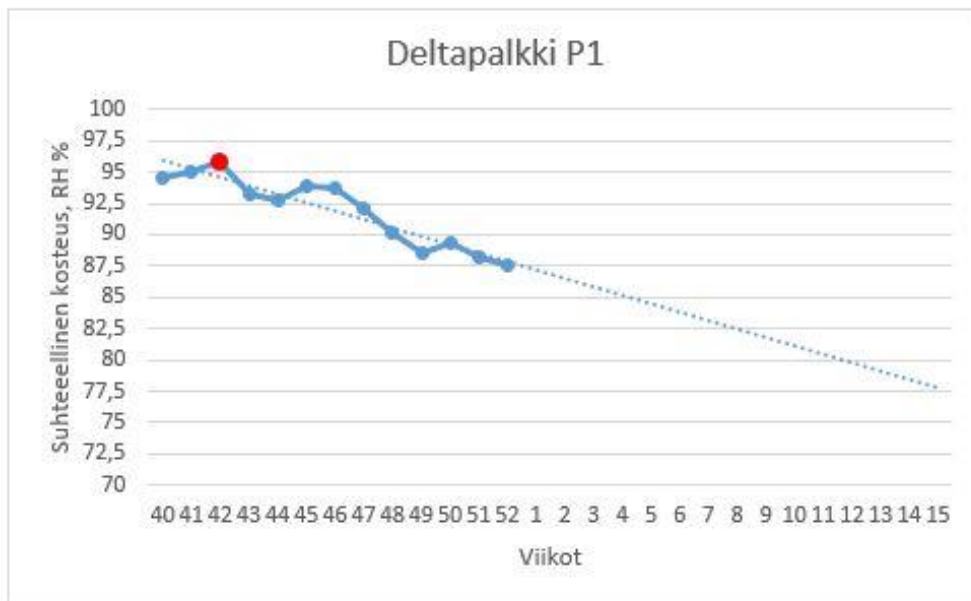
Kuva 36. Kuivumisaika-arvio ontelolaattarakenteelle

Sekä kuvassa 36 esitetty Excel-taulukolla tehty ennustekäyrä että Suomen betoniyhdistyksen kuivumisaika-arviolaskurilla tehty arvio näyttivät lähes identtisiä tuloksia kuivumisesta. Molemmissa betonirakenteen tulisi olla päällystettävissä reilun 20 viikon kuluttua siitä, kun rakennukseen saatiin lämpö päälle. Vaikka tässä käyrä näyttää ontelolaatan kohdalla olevan lähes identtinen kuin kuivumisaika-arvio laskurin antama tulos, tulee muistaa, että välttämättä kaikissa ontelolaatta rakenteissa tulokset eivät ole yhtä identtisiä.

#### 8.4 Deltapalkki

Deltapalkit ovat usein rakenteita, joista kosteus ei pääse helposti poistumaan. Sen takia kyseisen kohteen deltapalkkeihin oli asennettu lämpölangat jo tehtaalla valmistusvaiheessa, jotta niitä saataisiin lämmitettyä sisältäpäin. Lämpölangat deltapalkin sisällä lämmittävät rakennetta, jolloin kosteus myös poistuu nopeammin deltapalkista.

Myös yhden deltapalkin sisälle asennettiin reaaliaikainen kosteusmittauspiste, jolloin voitiin tarkkailla deltapalkin sisällä olevaa kosteutta, sillä deltapalkkien sisällä oleva kosteus voi helposti jäädä havaitsematta ja aiheuttaa päällystyksen jälkeen ongelmia. Kuvassa 37 on esitetty deltapalkin sisällä olevan kosteusmittauspisteen kuivumiskäyrä. Suomen betoniyhdistyksen kuivumisaika-arviolaskurissa ei ole mahdollisuutta laskea kuivumisennustetta deltapalkeille, joten kuvassa 37 ei ole vertailu mahdollisuutta kuivumisaika-arvioille, kuten muissa tapauksen kuvissa.



Kuva 37. Deltapalkin kuivumisennustekäyrä

Koska deltapalkin kuivumisaika-arviot näyttivät aluksi kuivumisen tapahtuvan todella hitaasti, tehtiin ennusteiden perusteella päätös, että deltapalkkeihin laitetaan lämpölangat lämmittämään deltapalkeja sisältä päin. Rakennukseen laitettiin myös lisää lämpöä ja kaikki mahdolliset aukot peitettiin, jolloin rakennuksen sisäilman lämpötila ja sen myötä myös betonirakenteiden lämpötilat saatiin pysymään noin + 20 °C:ssa. Melko nopeasti rakennuksen sisäilman lämpötilan noston jälkeen oli huomattavissa, että myös deltapalkin kosteuskäyrät lähtivät laskuun.

## 8.5 Kosteusmittaukset

Kohteessa betonin kosteuksia seurattiin lähinnä reaaliaikaisen datan avulla, sillä se antaa melko luotettavaa dataa betonin kosteuksista. Kosteusmittauksia tehtiin kuitenkin sekä porareikä-, että näytepalamittauksilla ennen kuin rakenteita päällystettiin.

Reaaliaikaista dataa oli saatavilla tietyistä rakenteista jo kesän ajalta ja syksyllä kohteeseen asennettiin lisää mittareita, jolloin niiden kuivumista voitiin seurata paremmin. Reaaliaikainen data oli hyvä lisä kuivumisen seurantaan, koska sillä pystyi seuraamaan, miten rakenteet kuivuivat ja kuinka lämmintä betoni milläkin hetkellä oli.

Porareikämittauksia tehtiin esimerkiksi ennen kuin märkätiloja voitiin vedeneristää tai betonilattioita päällystää. Näytepalamittauksia otettiin esimerkiksi ennen kuin konehuoneita voitiin päällystää akryylibetonilla, sillä silloin rakennuksen vaippa ei ollut kokonaan ummessa ja mittauspisteen lämpötilat olivat niin alhaiset, että porareikämittauksella ei luultavasti olisi saatu tarpeeksi luotettavia mitaustuloksia. Myös muista tiloista, joissa porareikämittaukseen vaadittavat lämpötilat eivät olleet suotuisat, otettiin näytepalamittauksia, jotta saatiin varmuus siitä, että rakenteita voitiin päällystää.

Porareikämittauksia otettiin syksyllä lähes kaikista lattiarakennetyypeistä, jotta saatiin tieto, missä vaiheessa betonirakenteiden kuivuminen oli menossa. Näiden porareikämittausten jälkeen tehtiin myös päivitetty kuivumisaika-arviot kaikille rakennetyypeille.

Myös lopulliset päällystettävyyssmittaukset oli suunniteltu tehtäväksi porareikämittauksena. Tässä opinnäytetyössä ei kuitenkaan oteta kantaa lopullisiin päällystettävyyssmittauksiin, sillä kohteessa ei ollut rakenteiden päällystykset ehtineet vielä alkaa, kun tämä opinnäytetyö oli valmis.

## 8.6 Pohdinnat

Ennen kuin rakennus saatiin umpeen ja lämpö päälle rakennukseen, liikkuvat betonirakenteiden kosteudet yli 90 RH %, sillä kuivumisolosuhteet eivät olleet

suotuisat ja toisinaan betonin sekä sisäilman lämpötilat liikkuvat matalissa lämpötiloissa, jolloin luonnollisesti betonirakenteet eivät päässeet kunnolla kuivumaan. Kun lämmöt saatiin kohteeseen päälle, alkoivat myös betonirakenteet lämmentä ja kuivua. Jos rakennuksen vaippa olisi saatu nopeammin umpeen ja lämmöt päälle, olisivat betonirakenteetkin mahdollisesti lähteneet nopeammin kuivumaan ja päällystystyöt olisivat päässeet aikaisemmin käyntiin.

Vesipisteet ovat hankalia kohtia betonilattioiden kuivattamisen kannalta, sillä melko usein liitokset tai rikkiäiset johdot kastelevat betonilattioita, jonka seurauksena lattioiden kuivuminen hidastuu. Vesipisteet tulisi suunnitella ja toteuttaa työnaikana niin, että ne aiheuttaisivat mahdollisimman vähän ongelmia. Varsinkin liitoksiin kannattaisi kiinnittää huomiota ja käyttää vain sellaisia liittimiä, joista ei pääse vuotamaan vettä betonilattioille.

Deltapalkit ovat hankalia rakenteita kuivattamisen kannalta, joten oli järkevää laittaa reaaliaikainen kosteusmittauspiste deltapalkin sisään, jolloin deltapalkin kosteusvaihteluita ja kuivumista voitiin myös helposti seurata. Deltapalkkien lämmittäminen sisältä päin nopeuttaa yleensä kuivumista, joten lämpölangat on hyvä ottaa käyttöön, jos näyttää siltä, että deltapalkit eivät kuivu sisältä riittävän nopeasti. Myös sisäilman lämmittäminen tehostaa deltapalkkien kuivumista, samalla tavalla kuin muidenkin betonirakenteiden kuivumista.

Deltapalkin sisällä olevia reaaliaikaisia mittauspisteitä ei ollut koko kohteessa kuin yksi, joten ei tiedetty, kuivuivatko kaikki deltapalkit yhtä hitaasti tai nopeasti. Jotta olisi saatu kattavampi kuva deltapalkkien kuivumisesta, olisi reaaliaikaisia mittauspisteitä pitänyt olla useammassa deltapalkeissa ja eri kerroksissa sekä eri lohkoilla.

Koska kohteessa oli kiinteät ikkunat, joissa ei ollut tuuletusikkunoita, ei ilmaa saatu kiertämään kunnolla rakennuksen sisällä, jolloin huono sisäilmanlaatu oli huomattavissa. Kohteeseen tuli siis suunnitella rakennusaikainen ilmanvaihto, jotta ilma saatiin kiertämään ja betonirakenteet myös paremmin kuivumaan.

Koska tällä hetkellä työmailla ei ole käytössä oikeastaan muita kuivumisaika-arvio laskureita, kuin Suomen Betoniyhdistyksen Excel-taulukko, päätin tehdä työmaalle kuivumisaika-arviot reaaliaikaisen datan perusteella. Kuivumisaika-arviot,

jotka tein reaaliaikaisen datan perusteella, antoivat vaihtelevia tuloksia verrattuna Suomen Betoniyhdistyksen kuivumisaika-arviolaskurin antamiin tuloksiin. Jotkut mittauspisteet antoivat lähes identtiset kuivumisennusteet, mutta toisinaan mittauspisteissä saattoi olla jopa yli 5 viikon eroja. Reaaliaikaisen datan perusteella tehtyjen kuivumisennusteiden pidempi kuivumisaika saattoi tulla esimerkiksi siitä, että mittauspisteen betonirakenne on jostain syystä päässyt kastumaan työmaalla, jonka seurauksena kuivuminen pitkittyy. Tässä työssä ei oteta kantaa siihen, miten hyvin kuivumisaika-arviot pitivät paikkansa ja kuivuivatko betonirakenteet suunnitellulla nopeudella.

Tätä case-tapausta varten ei ollut mahdollista seurata betonirakenteiden kuivumista päällystettävyyksiin asti, sillä kuivuminen jatkui vielä useamman kuukauden sen jälkeen, kun tämä opinnäytetyö oli valmis. Tästä syystä tässä työssä ei ole käyty läpi, mikä oli loppujen lopuksi betonirakenteiden kokonaiskuivumisaika. Tämän työn kuivumisennusteiden perusteella, rakenteet näyttivät kuivuvan lähes suunnitellulla nopeudella, mutta mahdolliset kastumiset tai muut yllättävät asiat ovat saattaneet loppuvaiheessa vaikuttaa lopulliseen kuivumiseen.

## **9 Päätelmät**

Nykyisin rakennusosalalla kiinnitetään huomiota yhä enemmän betonirakenteiden kuivumiseen, sillä monissa uusissa rakennuksissa on havaittu kosteusongelmia. Yleisin syy kosteusongelmiin on betonirakenteiden rakennekosteus, joka ei pääse poistumaan rakenteesta, sillä rakenne on päällystetty usein huonosti vesihöyryä läpäisevillä muovimatoilla.

Vaikka betonirakenteiden kuivuminen on usean eri asian summa, on silti tärkeintä, että betonirakenteiden kuivuminen varmistetaan päällystettävyyksmittauksilla sekä kosteuksien seurantamittauksilla ja tehdään toimenpiteitä, jos näyttää siltä, että rakenteet eivät kuivu suunnitellulla tavalla tai nopeudella. Hyviä tapoja betonirakenteiden kuivattamiseen ovat esimerkiksi sisäilman lämpötilan nostaminen, jolloin myös betonirakenteiden lämpötila saadaan nousemaan ja tämän seurauksena myös suhteellinen kosteus lähtee laskuun rakenteissa. Myös kosteudenpoistajien käytöllä sisäilman suhteellinen kosteus saadaan alhaisemmaksi,

jolloin ilmalla on enemmän kapasiteettia imeä itseensä betonirakenteiden pinnalta haihtuvaa kosteutta. Myös ilmavirralla on suuri vaikutus betonirakenteiden kuivumiseen, sillä ilmavirta nopeuttaa betonin pinnalta kosteuden haihtumista, jolloin myös rakenne kuivuu nopeammin.

Betonirakenteiden kuivumisen kannalta parhaimmat kuivumisolosuhteet ovat ilman lämpötila noin + 20 – + 25 °C ja ilman suhteellinen kosteus alhainen, alle 50 RH %, jolloin ilma pystyy imemään betonirakenteiden pinnalta haihtuvaa kosteutta. Uutena tapana kuivattaa betonirakenteita on tullut myös kuivatusputkiston käyttö, jossa betonirakenteen sisään valetaan putkisto, jolloin rakennekosteudella on turvallinen reitti ulos betonirakenteesta. Kuivatusputkistoa voidaan käyttää myös päällystysten jälkeen ja mahdollisten vesivahinkojen kuivatuksessa. Myös lämpökaapeleiden käytöllä voidaan nopeuttaa rakenteiden kuivatusta, sillä sisältä päin lämmitetty rakenne luovuttaa helpommin ja nopeammin kosteutta pois rakenteesta. Lämpölankojen käyttö deltapalkeissa on melko yleistä sekä varma tapa saada deltapalkkien sisälämpötila kasvamaan, jolloin myös deltapalkeista pääsee ylimääräinen rakennekosteus poistumaan.

Betonirakenteiden kastuminen tulisi estää parhaalla mahdollisella tavalla, sillä rakenteiden kastuminen voi pitkittää kuivumisprosessia useilla viikoilla, jopa kuukausilla. Pitkittyneet kuivumisajat siirtävät lattioiden pinnoituksia, jotka taas pitkittävät sisävalmistusvaiheen aloitusta tai sen kestoa. Tämän takia lattioidenpinnoitukset saatetaan aikataulu syistä aloittaa, vaikka rakenteet eivät olisi tarpeeksi kuivia, jolloin kosteusongelmia luultavimmin syntyy myöhemmin. Jos taas lattioiden pinnoituksia siirretään, kunnes rakenteet ovat tarpeeksi kuivia, voi kohteen valmistuminen lykkääntyä suunnitellusta.

Reaaliaikainen kuivumisen seuranta on hyvä tapa seurata betonirakenteiden kosteusvaihteluita työmaalla. Datan perusteella voidaan heti huomata, jos jokin rakenne ei kuivu suunnitellusti tai jos rakenne on saanut kosteutta, jonka seurauksena betonirakenne kastuu eikä kuivu. Datan avulla voidaan myös antaa arvioita, milloin päällystäminen voisi olla mahdollista ja tulevaisuudessa eGate Smart Building Innovation –järjestelmään tuleva kuivumisennuste tulee varmasti tarpeeseen, sillä se kertoo kuivumisennusteen rakenteelle. Ainoa huono puoli re-

aaliaikaisessa datassa on se, että sen perusteella ei voida tehdä päällystettävyysspäätöksiä. Joka tapauksessa rakenteista joudutaan ottamaan porareikä- tai näytepalamittaukset, jonka perusteella päällystettävyysspäätökset tehdään.

Kuivumisaika-arvioiden tekemiseen löytyy erilaisia taulukoita, joilla kuivumisaikaa pystyy arvioimaan. Osa taulukoista on kuitenkin sen verran vanhentuneita, että niihin ei voi nykypäivänä enää täysin luottaa. Niistä saa kuitenkin suuntaa antavan arvion rakenteiden kuivumiselle. Uusia ja päivitettyjä kuivumisaika-arviolaskureita on tulossa lähiaikoina työmaille käyttöön. Esimerkiksi eGate Smart Building Innovation -järjestelmään on tulossa kuivumisaikaennuste. Uudet kuivumisaika-arvio-ohjelmat ovat tervetulleita työmaille, sillä tällä hetkellä kunnollisia ennusteiden tekemahdollisuuksia ei työmailla ole ja kuivumisennusteiden tekeminen on kuitenkin tärkeää esimerkiksi aikatauluja suunniteltaessa. Kuivumisaikaarviot ovat kuitenkin aina vain ennusteita, eikä niiden pohjalta voida tehdä päällystettävyysspäätöksiä. Aina ennen päällystyksiä tulee tehdä joko porareikä- tai näytepalamittauksella betonirakenteiden kosteusmittaus, jotta saadaan varmistus betonirakenteiden kosteuspuhtausasteista.

Case-tapaukseen tekemieni kuivumisennustekäyrien päivitystä ja kehitystä aion jatkaa myös tämän opinnäytetyön jälkeen. Jatkan käyrien päivitystä kyseisessä kohteessa ja selvitän, miten hyvin ennustekäyrät pitivät paikkansa. Selvitän esimerkiksi sen, onnistuuko ennustekäyrän tekeminen lineaarisena ennusteviivana vai tuleeko ennustekäyrän olla erilainen, esimerkiksi hidastuuko betonin kuivuminen huomattavasti loppua kohden.

Case-tapauksen osalta olisi opinnäytetyöprojektia ollut hyvä jatkaa pidemmälle, jolloin olisi päästy arvioimaan lopullista betonirakenteiden kuivumista ja päällystettävyyssmittauksia sekä niiden tuloksia. Aikataulusyistä tämä ei ollut mahdollista. Kuitenkin case-tapauksen kirjoitusvaiheessa näyttivät betonirakenteet kuivuvan halutulla nopeudella. Silloin tehtiin myös muutamia muutoksia, varsinkin kuivumisolosuhteisiin, jotta voitiin taata entistä parempi ja nopeampi kuivuminen rakenteille. Myös deltapalkkeihin laitettiin lämmöt päälle, niiltä osin kuin se oli mahdollista, jotta saatiin deltapalkkien sisälämpötila nousemaan ja rakennekosteus poistumaan rakenteesta.



## Lähteet

Aalto M. Projektipäällikkö. Cramo Finland Oy. Haastattelu 12.9.2018.

Betoni. Koti betonista. Rakennustapavaihtoehdot. Paikallavalu. Betonin kuljetus ja siirto. <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonin-kuljetus-ja-siirto/> Luettu 8.10.2018.

Betoni. Tietoa betonista. Perustietopaketti. Betonirakennusmateriaalina. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/> Luettu 10.9.2018.

Haukijärvi J. eGate Smart Building Innovation. Haastattelu 30.10.2018.

Kosteudenhallinta. <http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/> Luettu 28.1.2019.

Lumme P., Merikallio T. 1997. Kestävä kivitalo. Paikallarakentaen. Betonin kosteuden hallinta. Forssa: Forssan kirjapaino Oy.

Merikallio T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Jyväskylä: Suomen Betonitieto Oy.

Merikallio T. 2009. Väitöskirja. Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa. Espoo: Multiprint Oy.

Merikallio T., Niemi S., Komonen J. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Peikko Finland Oy. 2016. Asiantuntija-artikkeli. Päällystettyjen elementtirakenteisten välipohjien kosteustekninen toimivuus. [https://d76yt12idvq5b.cloudfront.net/file/dl/i/9otzTA/6DIfmC-zxmy6\\_4aRDQP67OA/Peikko\\_Finland\\_Oy\\_asiantuntija-artikkeli\\_valipohjien\\_kosteustekninen\\_toimivuus\\_sivut1-5\\_12-2016.pdf](https://d76yt12idvq5b.cloudfront.net/file/dl/i/9otzTA/6DIfmC-zxmy6_4aRDQP67OA/Peikko_Finland_Oy_asiantuntija-artikkeli_valipohjien_kosteustekninen_toimivuus_sivut1-5_12-2016.pdf) Luettu 1.10.2018.

Pistesarjat Oy. 2019. Betonin kuivumisen nopeuttaminen. Betonilämmityskaapelien avulla. [https://pistesarjat.fi/media/wysiwyg/kuvastot/Bet\\_Dry\\_ohjevihko.pdf](https://pistesarjat.fi/media/wysiwyg/kuvastot/Bet_Dry_ohjevihko.pdf) Luettu 12.1.2019.

RIL. Rakennusfysiikka 2017. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. Osat 1 ja 2. Suomen Yliopistopaino Oy: Tampere.

Safedrying. Toimintaperiaate. <https://www.safedrying.fi/safedrying/toimintaperiaate1> Luettu 4.11.2018.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2003. Betonilattioiden pinnoitusohjeet. BY 49. BLY 10. Forssa: Forssan kirjapaino Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2014. Betonilattiat. BY 45. BLY 7. Tammerprint.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2016. Betoninormit. BY 65. Vaasa: Oy Fram Ab.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2018. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Vaasa: BY-Koulutus Oy.

Weber Saint-Gobain Oy. 2018. Lattiat. Tuotteet. Uudisrakentamisen lattiaratkaisut. Hyvälaatuisen betonin pintatasoitus pumppaamalla. <https://www.e-weber.fi/lattiat/tuotteet/uudisrakentamisen-lattiaratkaisut/hyvaelaatuisen-betonin-pintatasoitus-pumppaamalla.html> Luettu 5.10.2018.

Wiiste Oy. <https://www.wiiste.com/wiiste-oy> Luettu 15.11.2018.

## Betonirakenteiden kuivuminen

\*Tarja Merikallio. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Betonikeskus 2002.\*

Kohde: **Case-tapaus**

### Maanvastainen teräsbetoni-laatta AP 1/2

Kun olet ensin valinnut haluamasi rakennetyypin sivun alareunan taulukoista, syötä sitten arvot tavoitekosteudelle, vesi-sideainesuhteelle ja rakenteen paksuudelle. Valtitse lisäksi vaihtoehtoisia alustoja, kastumisaikaa sekä kuivumisolosuhteista kosteus ja lämpötila. Kuivumisaika ilmoitetaan viikkoina. Kuivumisajan lasketaan alkavan sillä kun rakenne ei enää saa lisäkosteutta. Jos jälkihoito tehdään kastelemalla, lasketaan aika kastelun lopettamisen jälkeen. Jos jälkihoito tehdään peittämällä, lasketaan aika valusta.

	Syöttöarvot	Raja-arvo	Peruskuivumisaika
Tavoitekosteus	80,0 %	"80-100"	24,0
Vesi-sideainesuhde	0,60	"0,4-0,7"	Kerroin 0,70
Rakenteen paksuus	120,0 mm	"70-150"	Kerroin 2,00

# BY1021

Alusta

Kulva

Muovi

Märkä

Kastumisaika

Kuivassa

Yosteassa yli 2 viikkoa

Kastunut yli 2 viikkoa

Kuivumisolosuhteet

Kosteus

85 %

80 %

60 %

70 %

80 %

Lämpötila

10 C

15 C

20 C

25 C

30 C

Kuivumisaika viikkoina:

**33,6**



## Betonirakenteiden kuivuminen

\*Tarja Merikallio. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Betonikeskus 2002.\*

Kohde: **Case-tapaus**

### Maanvastainen teräsbetoni-laatta AP 1/2

Kun olet ensin valinnut haluamasi rakennetyypin sivun alareunan taulukoista, syötät sitten arvot tavoitekosteudelle, vesi-sideainesuhteelle ja rakenteen paksuudelle. Valitse lisäksi vaihtoehdoista alusta, kastumisaika sekä kuivumisolosuhteista kosteus ja lämpötila. Kuivumisaika ilmoitetaan viikkoina. Kuivumisajan lasketaan alkavan siitä kun rakenne ei enää saa lisäkosteutta. Jos jälkiohito tehdään kaslelemalla, lasketaan aika kaslelun lopettamisen jälkeen. Jos jälkiohito tehdään peittämällä, lasketaan aika valusta.

	Syöttöarvot	Raja-arvo	Peruskuivumisaika
Tavoitekosteus	80,0 %	80-100	24,0
Vesi-sideainesuhde	0,80	0,4-0,7	Kerroin 0,70
Rakenteen paksuus	120,0 mm	70-150	Kerroin 2,00

# BY1021

Alusta

Kivi

Muovi

Mäki

Kastumisaika

Kuvassa

Kosteassa yli 2 viikkoa

Kastunut yli 2 viikkoa

Kuivumisolosuhteet

Kosteus

85 %

80 %

60 %

70 %

80 %

Lämpötila

10 C

15 C

20 C

25 C

30 C

Kuivumisaika viikkoina:

**25,9**

