

Jaakko Elomaa

Lattiabetonin kuivuminen ja kuivumisajan arviointi

Insinööri (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Kevät / 2024



**KAMK • University
of Applied Sciences**

Tiivistelmä

Tekijä: Elomaa Jaakko

Työn nimi: Lattiat betonin kuivuminen ja kuivumisajan arvioiminen

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Asiasanat: betoni, betonin kuivuminen, kosteusmittaus, kuivumisaika-arvio

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Rakennusliike Porrassalmi Oy:n kanssa ja työn tavoitteena oli tutkia, miten eri olosuhde vaikuttaa maanvaraisten teräsbetonilaattojen kuivumisajan arvioon ja kuivumisaikaan. Lisäksi työn tavoitteena oli selvittää, voidaanko by2020 Betonin kuivumisaika-arvio ohjelmalla ja Tarja Merikallion betonirakenteiden kuivumisen arviointiohjeiston avulla saada todenmukaisia arvioita lattiat betonin kuivumisajasta.

Opinnäytetyön raportin teoriaosuudessa käytiin läpi betonimassan koostumusta, betonointia ja kovettuneen betonin ominaisuuksia. Lisäksi teoriaosiossa käsiteltiin betonirakenteen kuivumiseen vaikuttavia ja kuivumisessa huomioitavia tekijöitä sekä betonirakenteen kosteusmittausmenetelmiä. Tutkimusosiossa seurattiin kahden eri rakennustyömaan maanvaraisen teräsbetonilaatan suhteellista kosteutta porareikämenetelmällä ja analysoitiin mittaustuloksia. Rakennustyömaiden betonilaattojen kuivumisolosuhteet olivat toisistaan poikkeavia ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan suhteen. Lisäksi tutkimusosiossa käytiin läpi kahta eri betonin kuivumisajan arviointiin kehitettyä menetelmää; by2020 Betonin kuivumisaika-arvio-ohjelmaa, sekä Tarja Merikallion betonirakenteiden kuivumisen arviointiohjeistoa. Betonin kuivumisaika-arviomenetelmien avulla selvitettiin, kuinka paljon olosuhde vaikuttaa arvioon, miten menetelmien arviot eroavat toisistaan, sekä kuinka paljon arviot eroavat suhteessa rakennekosteusmittauksiin.

Betonin suhteellisen kosteuden seurantamittauksista kävi ilmi, että kesällä kosteammassa olosuhteessa valetun ja kuivatetun maanvaraisen betonilaatan kuivumisessa meni selkeästi enemmän aikaa kuin talvella kuivemmassa olosuhteessa valetun ja kuivatetun betonilaatan kuivumisessa. Kosteus seurannan lopuksi ulkopuolinen ammattilainen teki betonin suhteellisen kosteuden mittaukset myös näytepalamenetelmällä, ja näin voitiin vertailla kahdella eri mittausmenetelmällä saatuja mittaustuloksia. Näytepalamittauksilla varmistettiin, että betonilattiat ovat riittävän kuivia pinnoitettavaksi eli alle materiaalinvalmistajan antamien raja-arvojen. Mittaustuloksissa havaittiin poikkeamia, mikä kertoo mittausvirheestä ja porareikämenetelmän epäluotettavuudesta verrattuna näytepalamenetelmään.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että Tarja Merikallion betonin kuivumisaika-arvio menetelmällä laskettuna kuivumisajat olivat lyhyempiä suhteessa by2020 Betonin kuivumisaika-arvio ohjelmaan. Lisäksi havaittiin, että by2020-ohjelma huomioi tarkemmin olosuhteen vaihtelun verrattuna Tarja Merikallion menetelmään. Tutkimuksen avulla pystyttiin toteamaan, että kuivumisajan arvioon suunnitelluilla menetelmillä voidaan saada todenmukaisia arvioita, mutta laskelmissa käytettävien olosuhdearvojen on oltava lähellä todellista kosteus seurannan aikaista olosuhdetta.

Abstract

Author: Elomaa Jaakko

Title of the Publication: Drying of floor concrete and estimating drying time

Degree Title: Bachelor of Engineering, Construction and Civil Engineering

Keywords: concrete, concrete drying, humidity measurement, drying time estimate

This thesis was commissioned by Rakennusliike Porrassalmi. The aim of the thesis was to study how different environments change both the estimated time and the actual drying time of reinforced concrete slabs that are cast into ground. And to research if using by2020 concrete drying time-estimation program and Tarja Merikallio's concrete structure drying time estimation instructions can result in accurate estimations of floor concrete drying times.

In the thesis theoretical part, composition, concreting and hardened concrete's attributes are examined. The theoretical part discusses factors that could affect concrete structures drying times as well as factors that need to be considered. Different kinds of concrete structure humidity tracking methods are also used. In the empirical part two different construction site's ground-cast reinforced concrete slabs' relative humidity was monitored using the borehole method and the measurement results were analysed. Construction sites concrete slabs' drying environments were differing from each other when comparing air humidity and temperature. Also, in the empirical part two different concrete drying time estimation methods were used; by2020 concrete drying time method and Tarja Merikallio's concrete structure drying estimation instructions. These methods were used to find out how much the different environments would affect the estimations, how the methods' estimations differ from each other and how much the estimations differ in relation to the structure moisture measurements.

In the concrete's relative moisture monitoring, it was noticed that when cast and dried a ground-cast concrete slab in the summer, with more humidity, the drying time was clearly longer than when you cast and dried a concrete slab in the winter with a drier environment. Using the condition monitoring it was also noticed, that when tested, humidity monitoring conditions differed much more in the summer and autumn than in the winter. At the end of humidity monitoring, a sample piece was examined by an outside professional, who using relative moisture measurements provided the study a chance to compare two different measurement methods and results. It was proven using the sample piece measurement, that the concrete floors are dry enough for the surface material.

It was found that Tarja Merikallio's concrete drying estimation method predicted shorter drying times than when compared to by2020 concrete drying time estimation method. It was also observed, that by2020 -method was better at recognizing the change in the environment compared to Tarja Merikallio's method. The study proves that reliable drying time estimations using these methods are obtained, but the methods demand accurate drying time environment values in their calculations.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Betoni	2
2.1	Betonimassan koostumus	2
2.2	Betonointi.....	3
2.3	Jälkihoito	4
2.4	Hydrataatio.....	4
2.5	Kovettuneen betonin ominaisuudet	5
2.5.1	Puristuslujuus	5
2.5.2	Lujuuden kehitys	6
2.5.3	Kuivumiskutistuma.....	7
3	Betonirakenteen kuivuminen	8
3.1	Betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät.....	9
3.1.1	Betonimassan laatu.....	9
3.1.2	Betonoitava rakenne	9
3.1.3	Kuivumisolosuhde	10
4	Betonirakenteiden kosteusmittaus	11
4.1	Pintakosteusmittaus.....	11
4.2	Betonin suhteellisen kosteuden mittaus.....	12
4.2.1	Kosteusmittausantureiden kalibrointi.....	12
4.2.2	Porareikämenetelmä.....	12
4.2.3	Näytepalamenetelmä.....	15
5	Betonin kuivumisajan arviointi	17
6	Betonin kosteus seuranta opinnäytetyössä	19
7	Lattiabetonin kosteus seuranta.....	22
7.1	Kesäkohde, peruskorjauskohde	22
7.2	Talvikohde, uudisrakennuskohde.....	22
7.3	Kosteusseurannan tulokset	22
8	Lattiabetonin kuivumisaika-arviot.....	25

8.1	Merikallion laskentamenetelmä	26
8.2	By2020 betonin kuivumisajan arviointi ohjelma	28
8.3	Kuivumisaika-arvioiden tulokset	29
	8.3.1 Kosteusseurannan alussa mitatuilla olosuhdearvoilla laskettuna	29
	8.3.2 Olosuhdearvojen keskiarvolla laskettuna	29
8.4	Kuivumisaika-arvioiden analysointi	30
9	Yhteenveto	32
10	Pohdinta	33
	Lähteet	34
	Litteet	

1 Johdanto

Lattioiden betonivalut ovat rakennustyömaiden kriittisimpiä työvaiheita monesta eri syystä. Ennen valua on huomioitava monia asioita, jotka betonivalu tulee peittämään. Rakennushankkeen kokonaisuuden ja yleisaikataulun kannalta kriittisempi vaihe alkaa kuitenkin valun jälkeen, sillä betonin tulee alittaa lattian pintamateriaalien valmistajien määräämät betonin suhteellisen kosteuden raja-arvot ennen pinnoitustöiden alkamista. Betonin kuivuminen pinnoitettavuusolosuhteisiin vie aikaa, joten opinnäytetyön sisältö lattiamateriaalien kuivumisesta ja kuivumisenarvioinnista on hyvä sisäistää.

Työskennellessäni Rakennusliike Porrassalmi Oy:llä työnjohtoharjoittelussa, minulle ehdotettiin, että syventyisin opinnäytetyössäni betonilattioiden kuivumiseen ja kuivumisajan arviointiin. Kiinnostuin teemasta ja opinnäytetyön aiheeksi muodostui lattiabetonin kuivuminen ja kuivumisajan arvioiminen. Opinnäytetyöni aiheessa minua kiinnostavat betonin kuivumiseen ja kuivumisen arviointiin liittyvät tekijät. Lisäksi haluan oppia betonirakenteiden kosteusmittauksista lisää.

Työn tavoitteena on tutkia, kuinka paljon olosuhde vaikuttaa maanvaraisen teräsbetonilaatan kuivumiseen. Opinnäytetyössä käsitellään betonin koostumusta ja ominaisuuksia. Työssä kerrotaan betonin yleisimmistä kosteusmittausmenetelmistä, niiden eroista ja toimintamenetelmistä. Lisäksi työ käsittelee lattiabetonirakenteiden kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä ja keinoja, miten betonin kuivumisaikaan ja laatuun pystytään vaikuttamaan. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, voidaanko betonin kuivumisajan arvioon kehiteltyjen menetelmien avulla saada todennukaisia tuloksia ja voidaanko niitä hyödyntää käytännössä.

Opinnäytetyön yhteistyökumppani Rakennusliike Porrassalmi Oy on vuonna 1948 toimintansa aloittanut keskisuomalainen rakennusliike, jonka toimipiste sijaitsee Jyväskylässä. Yritys toteuttaa rakennustoimintaa Keski-Suomen alueella uudis- ja korjausrakentamisen parissa. Opinnäytetyössä vertaillaan kahden eri rakennuskohteen maanvaraisten teräsbetonilaattojen kosteusseurannan aikaisia rakennekosteusmittausten tuloksia ja kuivumisaikaa. Vertailukohteen lattiabetoni on valettu kesäkuussa 2022 kosteassa olosuhteessa ja betonin kosteusseuranta on toteutettu elo-lokakuussa 2022 niin ikään kosteassa olosuhteessa. Toisen kohteen lattiabetoni on valettu joulukuussa 2022 ja betonin alustavat kosteusmittaukset on suoritettu helmi-huhtikuussa 2023. Tässä kohteessa olosuhde on huomattavasti kuivempi. Tuloksia analysoidaan kuivumisajan arviointiin suunniteltujen laskentamenetelmien avulla.

2 Betoni

2.1 Betonimassan koostumus

Betoni koostuu kolmesta pääosa-aineesta: sementti, vesi ja kiviainekset. Näiden lisäksi betonin ominaisuuksien tehostamiseksi ja työstettävyyden parantamiseksi käytetään usein erilaisia lisä- ja seosaineita. [1, s. 24.]

Betonimassalla on kuusi perusominaisuutta: notkeus, ilmamäärä, maksimiraekoko, lämpötila, koossapysyvyys ja tilavuuden muutokset. Nämä ominaisuudet mahdollistavat betonin muokattavuuden ja työstettävyyden siten, että betoni pysyy koossa koko prosessin ajan valmistuksesta kovettumiseen ja täyttää sille asetetut vaatimukset. [1, s. 69.]

Notkeudella vaikutetaan betonimassan kykyyn liikkua ja levitä. Toisin sanoen, mitä notkeampaa massa on, sitä helpommin se liikkuu ja täyttää esimerkiksi valettavan muotin. Liian notkea betoni kuitenkin heikentää betonin lujuutta. Betonimassan notkeus mitataan usein joko painumakokeella tai leviämänä. Betonimassat jaetaan eri notkeusluokkiin painuman tai leviämän perusteella. [1, s. 70; 2, s. 182.]

Betonin ilmamäärä on useimmiten 1–2 % massan tilavuudesta. Ilmamäärää voidaan nostaa betonimassan lisähuokoistuksella, jolla parannetaan kovettuneen betonin kestävyttä toistuvaa jäätymistä ja sulamista vastaan. Lisähuokoistuksella betonin ilmamäärä nostetaan yleensä 4–8 % massan tilavuudesta. [1, s. 72.]

Betonimassan lämpötila vaikuttaa sen sitoutumis- ja kovettumisnopeuteen. Yleensä betonimassan tavoitelämpötila on +20°C ja minimilämpötila +15°C. Kiviaineksen lämpötilalla on suurin vaikutus betonin lämpötilaan, sillä kiviaineksen osuus betonimassasta on noin 70–85 %. [3.] Lämpötilaa voidaan säädellä olosuhteen mukaan, jotta tavoiteltu lujuudenkehitys toteutuu kylmissäkin olosuhteissa. Lämpötilan nosto kasvattaa betonin vedentarvetta ja näin ollen lisää kutistumista [1, s. 73].

Betonimassan tulisi pysyä homogeenisena koko betonityön ajan. Tätä kutsutaan koossapysymiseksi. Betonimassan vesi pyrkii erottumaan tasoitetun betonin pintaan. Kun massa jäähtyy, ve-

den erottuminen lisääntyy ja voi aiheuttaa haitallisia vaurioita betonin pintaan, kuten alentaa lujuutta ja aiheuttaa halkeamia. Vedenerottumisen lisäksi karkea kiviaines pyrkii erottumaan sementtiliimasta. Kiviaineksen ja sementtiliiman erottuminen on yleisintä notkeilla massoilla. Erottuminen tapahtuu usein jo sekoitusvaiheessa tai kuljetuksessa. Koossapysyvyyttä pystytään hallitsemaan betonin suhteutusta korjaamalla. [1, s. 73–74.]

2.2 Betonointi

Betonoinnilla tarkoitetaan prosessia betonin valmistuksesta betonin jälkihoidon aloittamiseen. Betonimassa valmistetaan yleensä valmisbetonitehtailla tilauksen mukaisella reseptillä. Tilausta tehdessä on tiedettävä tarvittavan betonimassan tarkka määrä kuutioina ja betonin laatu. Lisäksi on ilmoitettava valettava kohde ja mahdolliset erityisvaatimukset, toimitusnopeus, kuorman purku-aika ja -tapa ja kuljetuskalusto. Betonimassa siirretään valmistuksen jälkeen kuljetusta varten yleensä pyörintäsäiliöautoon, jolla se kuljetetaan työmaalle. [1, s. 300–321; 2, s. 193–194.]

Yleisin tapa siirtää betonimassa pyörintäsäiliöautosta valettavaan rakenteeseen on pumppu. Muita vaihtoehtoja ovat valukouru tai hihnakuljetin. Valettaessa tulee välttää betonin ylimääräistä siirtelyä ja betoni tulee siirtää suoraan lopulliseen paikkaan. Lisäksi betonin pudotuskorkeus tulisi olla mahdollisimman pieni. Edellä mainituilla tekijöillä pyritään varmistamaan, että betoni pysyisi mahdollisimman homogeenisena. Betoni tiivistetään betonoitavaan rakenteeseen välittömästi sen levittämisen yhteydessä. Tiivistäminen tehdään työmaalla usein sauvatärytintä käyttäen. Tiivistämisen tarkoituksena on täyttää betonoitava rakenne joka paikasta siten, että betonimassasta poistuu ylimääräinen ilma. Betonoitava rakenne täytetään betonilla kerroksittain siten, että jokainen betonimassakerros liittyy aiemmin valettuun betoniin. Täryttämisessä on huomioitava, että liian pitkä tärytys voi aiheuttaa betonin osa-aineiden erottumista massasta. Betonimassan notkeudesta ja betonoitavasta rakenteesta riippuen sauvaa pidetään betonissa 5–20 sekuntia kerrallaan siirtäen aina seuraavaan kohtaan. [1, s. 300–341; 2, s. 193–194.]

Usein vaakasuorien betonipintojen käsittelytavat ovat puu- ja teräshierto. Puuhierto tapahtuu betonipinnan oikaisemisen jälkeen puisella hiertimellä betonipintaa hiertäen. Puuhierron tarkoitus on vähentää betonin huokoisuutta ja näin parantaa pinnan lujuutta ja tiiveyttä. Puuhierrolla saadaan aikaiseksi tasainen, mutta karhea pinta. Teräshierto toteutetaan tarvittaessa puuhierron

jälkeen betonin alkaessa sitoutua. Teräshierrolla saadaan pinnasta sileä ja puuhiertoon verrattuna viimeistellympi pinta. [1, s. 379; 2, s. 195.]

2.3 Jälkihoito

Jälkihoito tarkoittaa betonin valun jälkeisiä toimenpiteitä, joilla pyritään luomaan betonille mahdollisimman optimaaliset olosuhteet kovettua ja kuivua. Olosuhteisiin voidaan vaikuttaa suojaamalla betonoitava rakenne sääsuojalla ja huolehtimalla kovettumislämpötilasta esimerkiksi lämpöeristyksellä ja lämmittimillä. Lisäksi jälkihoidon tarkoitus on varmistaa, että betoni saavuttaa sille suunnitellut ominaisuudet. On tärkeä pitää alkuvaiheessa huolta, että betonoitu rakenne on kostea ja veden haihtuminen on estetty. Keinoja tähän ovat jälkihoitoaineen ruiskuttaminen ja betonoidun rakenteen peittäminen muovikalvoilla. Kosteana pitämisen tulee jatkua 1–2 viikkoa. [1, s. 423–425; 4, s. 115–116.]

2.4 Hydrataatio

Hydrataatiolla tarkoitetaan sementin ja veden välistä kemiallista ja fysikaalista sitoutumisreaktiota. Hydrataatioreaktiot alkavat välittömästi, kun betonin osa-aineet sekoitetaan keskenään. Sementtirakeiden pinnassa alkaa muodostumaan hydrataatiotuotteita kalsium-silikaatti-hydraatigeeliä (CSH-geeli) ja kalsiumhydroksidia ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), jotka alkavat laajenemaan sementtirakeiden pinnasta vesitilaan. Reaktiotuotteet kasvavat kiinni toisiinsa ja massa alkaa jähmettyä. Varsinainen sitoutuminen alkaa tavanomaisilla betonilaaduilla noin 2–4 tunnin kuluttua betonin osa-ainesten sekoituksesta massan lämpötilan ollessa 20°C. Sitoutumisvaiheessa betonimassa ei ole enää työstettävää ja sitoutumisen päätyttyä alkavat varsinaiset lujittumisreaktiot. [1, s. 74; 3.]

Lujuuden kehitys on riippuvainen vesi-sementtisuhteesta. Hydrataation tapahtuessa täydellisesti on vesimäärän oltava 40–45 %, sillä sementin hydratoituessa se sitoo itseensä kemiallisesti vettä noin 25 % sementin painosta. Vettä sitoutuu lisäksi myös fysikaalisesti geelihuokosiin noin 20 % sementin painosta. Hydrataatioreaktion seurauksena betoni alkaa tuottamaan lämpöä. Sementin kemiallinen koostumus ja hienous ovat vaikuttavia tekijöitä lämmönkehityksessä. Lämmönkehitys tapahtuu samassa suhteessa lujuuden kehittymisen kanssa. [1, s. 74–75.]

2.5 Kovettuneen betonin ominaisuudet

Lujuus ja rasituksen kestäminen ovat kovettuneen betonin tärkeimmät rakennetekniset ominaisuudet. Kovettuneen betonin lujuusominaisuuksia ovat puristuslujuus, vetolujuus, jäätymis- ja muottien purkamislujuus ja betonin lujuuden kehitys. Lujuusominaisuuksien lisäksi betonilla on muodonmuutosominaisuuksia, joita ovat kimmainen muodonmuutos, viruma ja kuivumiskurtuma. [1, s. 84.]

2.5.1 Puristuslujuus

Puristuslujuus tarkoittaa betonin kykyä kestää puristusrasituksia. Puristuslujuus mitataan joko kuutiokokeen tai lieriökokeen avulla, yleensä 28 vuorokauden iässä. Puristuslujuus määrittää betonin puristuslujuusluokan, jonka mukaan saadaan muut suunnittelussa käytettävät mekaaniset ominaisuudet. Betonin alinta lujuusluokkaa kuvataan kirjain-numeroyhdistelmällä C8/10 ja ylintä puolestaan C100/115. Kirjain C on eurokoodin mukainen ja tulee sanasta cylinder, numeroyhdistelmä tulee lieriölujuuden suhteesta kuutiolujuuteen. Yleisesti, tavanomaisessa rakentamisessa betonin lujuusluokat ovat lujuusluokkien C20/25-C50/60 välillä. [1, s. 85–88; 3.] Kuvassa 1 eri koekappaleiden lujuudet betonin eri lujuusluokituksille.

Lujuusluokka	Alin 150 mm x 300 mm lieriöillä määrätty ominaislujuus (C) $f_{ck,cyl}$ [MN/m ²]	Alin 150 mm:n kuutiolla määrätty ominaislujuus (K) $f_{ck,cube}$ [MN/m ²]	Alin 100 mm:n kuutiolla määrätty ominaislujuus $f_{ck,cube}$ [MN/m ²]
C8/10	8	10	8,2
C12/15	12	15	15,5
C16/20	16	20	20,6
C20/25	20	25	25,8
C25/30	25	30	30,9
C30/37	30	37	38,1
C35/45	35	45	46,4
C40/50	40	50	51,5
C45/55	45	55	56,6
C50/60	50	60	61,8
C55/67	55	67	69,0
C60/75	60	75	77,2
C70/85	70	85	87,6
C80/95	80	95	97,8
C90/105	90	105	108,2
C100/115	100	115	118,5

Kuva 1. Betonin lujuusluokat eri koekappaleilla. [1, s. 86.]

2.5.2 Lujuuden kehitys

Betonin lujuuden kehitystä joudutaan arvioimaan betonirakentamisen eri vaiheissa, kuten muotipurkuhetkellä. Lujuuden kehitystä voidaan seurata laskentamenetelmien ja -ohjelmistojen avulla sekä olosuhde- tai rakennekappaleiden avulla. Standardin SFS-EN 1992-1-1 kaavoilla voidaan laskea betonin likimääräinen lujuudenkehitys käyttäen muuttujina sideaineen laatua ja betonin lämpötilaa. Betonin ikää vastaava lujuudenkehitys voidaan laskea kaavalla $f_{cm}(t) = \beta_{cc} \cdot f_{cm}$, jossa β_{cc} on betonin iän vaikutusta kuvaava kerroin ja f_{cm} on betonin puristuslujuuden keskiarvo, mikäli betonin ikä on alle 28 vuorokautta. Kerroin iän vaikutuksesta betoniin saadaan kaavasta $\beta_{cc} = e^{s \left[1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right]}$, jossa s on sementin tyypistä riippuva kerroin ja t on betonin ikä vuorokausina [3]. Lisäksi Sadgroven kaava $t_{20} = \left(\frac{T+16^{\circ}\text{C}}{36^{\circ}\text{C}} \right) \cdot t$, jossa T kuvaa lämpötilaa, on yksi tapa laskea käsin betonin lujuudenkehitystä. [1, s. 92.] Kuvassa 2 esimerkki Sadgroven menetelmällä arvioitu betonin kypsyden kehittyminen.

aika [h]	betonin lämpötila [°C]	Δt [h]	Δt [d]	keskimääräinen lämpötila [°C]	kypsyyslisa t_{20} [d]	kypsyys Σt_{20} [d]	Lujuus nimellisuudesta [%]
0	22						
6	28	6	0,25	25	0,32	0,32	0
12	26	6	0,25	27	0,36	0,68	< 10
24	24	12	0,5	25	0,65	1,33	18
48	20	24	1	22	1,11	2,44	40
72	18	24	1	19	0,95	3,39	47
96	16	24	1	17	0,84	4,23	55
120	14	24	1	15	0,74	4,97	60

Kuva 2. Esimerkki Sadgroven menetelmällä arvioidusta betonin kypsyden kehitymisestä. [3.]

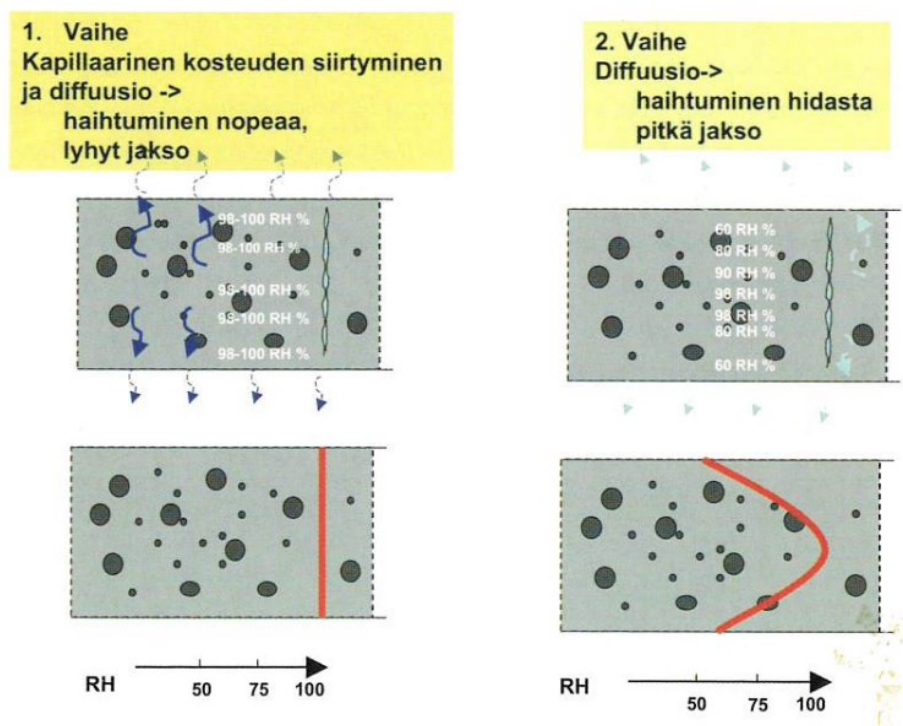
2.5.3 Kuivumiskutistuma

Kovettuneen betonin kuivumiskutistuma perustuu veden poistumiseen betonista. Kemiallisesti sitoutumaton kosteus voi poistua betonirakenteesta, mikä aiheuttaa betonissa olevaan veteen jännityksiä. Kosteuden poistumisen nopeuteen vaikuttaa rakenteen koko ja muoto. Veden poistuminen betonirakenteesta käynnistyy välittömästi, kun rakenteeseen tulee avointa pintaa, esimerkiksi kun muotit puretaan. Vesi imeytyy pois geelihiukkosista veden poistumisen seurauksena muodostuvien jännityksien avulla. Tämän takia geelihiukkasten väliset etäisyydet pienenevät ja geeli kutistuu, mikä johtaa betonin kuivumiskutistumiseen. Kuivumiskutistumisen määrään vaikuttavat ympäröivä olosuhde ja betonin koostumus. [1, s. 96–97.]

3 Betonirakenteen kuivuminen

Betoni kuivuu sitoutumalla ja haihtumalla. Sitoutumalla tapahtuvaa kuivumista pystytään säätämään sementtimäärällä. Kasvattamalla sementtimäärää betonin sitoutumiskuivuminen nopeutuu. Haihtumalla tapahtuvaan kuivumiseen vaikuttaa enemmän vallitseva kuivumisolosuhte, betonoitava rakenne ja betonin koostumus. [5, s. 20–21.] Betonin kuivumisnopeuteen pystytään vaikuttamaan ilman lämpötilalla ja ilmavirroilla. Rakennustyömaalla usein edesautetaan betonin kuivumista lämpöpuhaltimilla.

Betonin kuivumisprosessin alkuvaiheessa, betonin suhteellisen kosteuden ollessa yli 97 %, kuivuminen tapahtuu pääosin kapillaarisesti kosteuden siirtymisenä rakenteen sisältä kohti betonin pintaa. Betonin pinnalta kosteus pääsee haihtumaan. Pinnan kuivuessa kapillaarinen kosteuden siirtyminen rakenteen pintaosissa estyy ja kuivumismuoto vaihtuu diffuusioksi eli kosteuden siirtymiseksi vesihöyrymuodossa. Diffuusio on kapillaariseen kosteuden siirtymiseen verrattuna selkeästi hitaampaa kuvan 3 mukaisesti. [5, s. 20–23.]



Kuva 3. Kosteuden siirtyminen betonissa. [5, s. 21.]

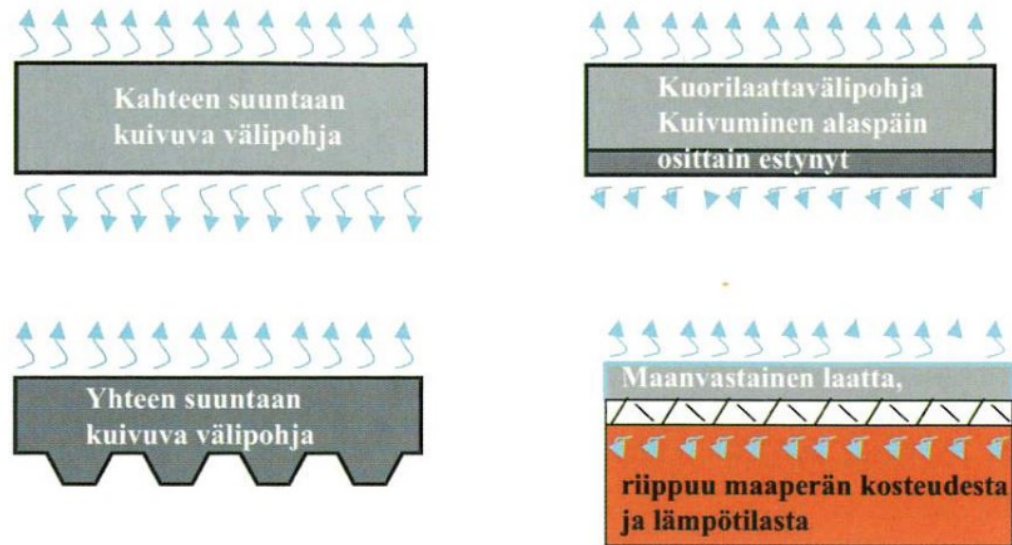
3.1 Betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät

3.1.1 Betonimassan laatu

Vesi-sideainesuhteella voidaan vaikuttaa betonin kuivumisnopeuteen merkittävästi. Alhaisen vesi-sideainesuhteen vaikutuksesta pelkästään kemiallinen kuivuminen voi laskea betonin suhteellisen kosteuden 90 %:iin. Ympäröivän olosuhteen vaikutusta voidaan näin pienentää. Alhaisen vesi-sideainesuhteen omaavia betonimassoja nimitetään *itsestään kuivuviksi betoneiksi*. [1, s. 535.] Lisäksi alhaisen vesi-sideainesuhteen omaavista betonimassoista käytetään myös nimitystä NP, nopeammin päällystettävä betoni. Alhaisen vesi-sideainesuhteen omaavien betonien tarkoitus on nopeuttaa betonin suhteellisen kosteuden raja-arvon saavuttamista ja näin ollen betoni päästään päällystämään pintamateriaalilla nopeammin kuin normaalisti kovettuvalla betonilla valettaessa. Itsestään kuivuvia ja nopeasti pinnoitettavia betoneja käytettäessä jälkihoidon merkitys kasvaa, sillä betonin nopea kuivuminen aiheuttaa plastista kutistumaa. [3.]

3.1.2 Betonoitava rakenne

Betonoitava rakenne vaikuttaa betonin sisällä tapahtuvaan kosteuden siirtymiseen ja sen nopeuteen. Paksussa rakenteessa kosteus joutuu siirtymään pidemmän matkan saavuttaakseen haihtumiskykyisen pinnan. Lisäksi kerroksellisuus, kuten eristekerros tai ontelolaatan päälle valettu kuorilaatta, hidastavat tai estävät kosteuden siirtymisen rakenteen pintaan. Kuivumissuunta vaikuttaa niin ikään betonin kuivumisnopeuteen. Kahteen suuntaan kuivuvassa välipohjassa betonin sisäisellä kosteudella on kaksi pintaa, josta se pääsee haihtumaan. Tämä luonnollisesti nopeuttaa betonirakenteen kuivumista. [5, s. 22–23.] Kuvassa 4 on havainnollistettu betonirakenteen kosteuden haihtumissuunta eri rakenneratkaisuissa.



Kuva 4. Betonin kuivumissuunta eri betonirakenteissa. [5, s. 23.]

3.1.3 Kuivumisolosuhde

Ympäristön lämpötilan, suhteellinen kosteuden ja ilmavirtojen merkitys betonin kuivumisessa on suuri. Olosuhde vaikuttaa ennen kaikkea siihen, miten nopeasti betonirakenteen sisällä kosteus siirtyy pintaan ja pinnalle noussut kosteus haihtuu ilmatilaan. Tämän lisäksi olosuhteella on vaikutusta myös betonin sitoutumiskuivumiseen, sillä korkea lämpötila ja kosteus nopeuttaa sementin hydratoitumista. Optimaalisena ilman suhteellisena kosteutena betonin kuivumisen kannalta pidetään noin 50 %, sillä liian alhainen ilmankosteus laskee betonin vesihöyryn läpäisevyyttä, mutta suurentaa betonirakenteen sisäosan ja pinnan välistä kosteutta siirtävää voimaa. [6, s. 35.]

Lattiabetonien kuivumiseen vaikuttaa merkittävästi, kastuuko betoni kuivumisprosessin aikana. Kastuminen ei varsinaisesti aiheuta vaurioita betoniin, mutta kuivuminen hidastuu merkittävästi. Mitä myöhäisemmässä vaiheessa betonin kastuminen tapahtuu, sitä enemmän siitä on haittaa kuivattamisen kannalta. Rakennustyömaalla betonin kastumisen aiheuttaa usein esimerkiksi sadevesi. Sääsuojalla pystytään varmistamaan, ettei kuivuva betoni altistu sadevedelle ja näin ollen betonin kuivattaminen on mahdollista toteuttaa kuivumisen kannalta optimaalisessa olosuhteissa. [5, s. 17–20.]

4 Betonirakenteiden kosteusmittaus

Betonirakenteiden kosteusmittaukset ovat suuressa roolissa rakentamisen eri vaiheissa, kuntoarvioissa ja -tutkimuksissa sekä kosteusvauriotutkimuksissa. Rakennustyömaalla betonin kuivumisnopeus vaikuttaa koko työmaan aikatauluun ja kosteusmittauksilla pystytään seuraamaan, kuivuuko betoni suunnitellusti. Betonin on alitettava pintamateriaalin valmistajan vaatima kosteusraja-arvo. Kuivumisnopeuteen pystytään vaikuttamaan käyttämällä alhaisen vesi-sementtisuhteen omaavia betonimassoja ja tarvittaessa voidaan tehdä toimenpiteitä kuivumisen nopeuttamiseksi esimerkiksi ilmavirtoja lisäämällä. Kuntoarvioissa ja -tutkimuksissa kosteusmittauksilla saadaan selville mahdolliset kosteusvauriot. Kuntoarvioissa suoritettavien aistihavaintojen ja pintakosteusmittausten perusteella voidaan tarvita jatkotutkimuksia eli rakennekosteusmittauksia. Esimerkiksi vesivahingon sattuessa vahingon laajuus ja kuivatustarve saadaan selville rakennekosteusmittarilla. [6, s. 5; 7, s. 29–30]

4.1 Pintakosteusmittaus

Kun betonirakenteen vesipitoisuus muuttuu, sen sähkönjohtavuus, kapasitanssi ja dielektrisyys muuttuvat. Pintakosteusmittaus perustuu edellä mainittuihin muutoksiin. Pintakosteusmittarilla saadut tulokset ovat suuntaa antavia, mutta sillä pystytään etsimään kosteuseroja rakenteesta. Näin voidaan paikallistaa ja saada viitteitä mahdollisista kosteuspoikkeamista ja kosteusvaurioista rakenteita rikkomatta. Pintakosteusmittauksilla saadut viitteet kosteuspoikkeamista saadaan varmistettua rakennekosteusmittauksilla. [6, s. 6–7.]

4.2 Betonin suhteellisen kosteuden mitta

Betonin suhteellisella kosteudella tarkoitetaan betonin huokosten ilmatilan suhteellista kosteutta. Betoni pyrkii kosteutta luovuttamalla ja vastaanottamalla hygroskooppiseen tasapainokosteuteen ympäristön kanssa. Betonin suhteellista kosteutta mitataan porareikä- tai näytepalamenetelmällä. [6, s. 10–11.] Rakennustyömailla, myös tutkimuskohteissani, betonin suhteellisen kosteuden raja-arvon määrittelee usein lattiapäällyste tai -pinnoite. Betonin suhteellisen kosteuden mittauksilla pystytään seuraamaan, milloin betonirakenne on valmis päällystettäväksi tai pinnoitettavaksi. [8, s. 69.]

4.2.1 Kosteusmittausantureiden kalibrointi

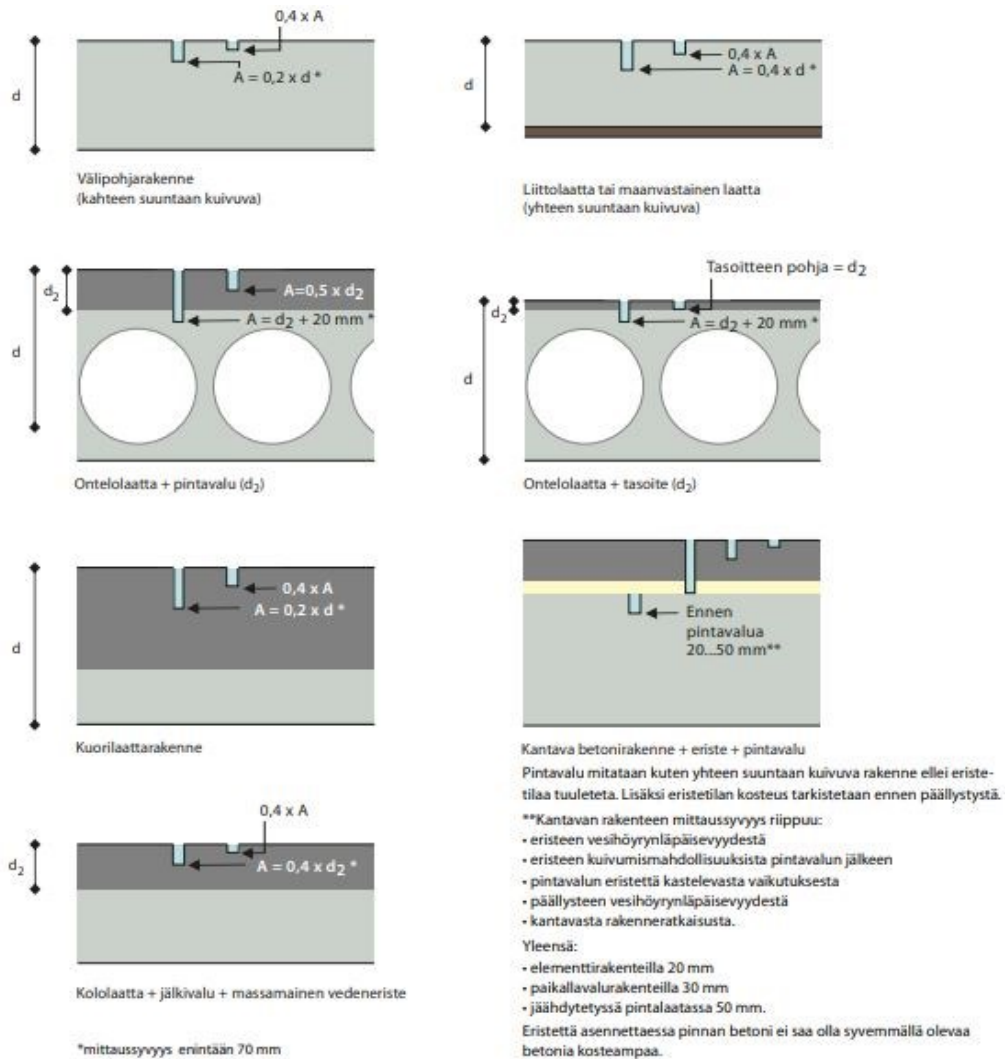
Antureiden likaantuminen ja vanheneminen voivat vaikuttaa merkittävästi mittaustuloksiin. Luotettavien suhteellisen kosteuden mittausten takaamiseksi kosteusmittausanturit on kalibroitava säännöllisin väliajoin, noin 1–2 kertaa vuodessa riippuen suoritettujen suhteellisen kosteuden mittausten määrästä. Kalibroinnissa kosteusmittausanturit asetetaan mittaamaan tunnettua kosteutta, yleensä suolaliuoksia, johon mittalaitteen tuloksia verrataan. Kalibrointi tehdään yli 90 % RH:n referenssikosteudessa. Mittalaitteiden mittaustarkkuus on mittalaitteiden valmistajien mukaan yleisesti ± 2 %. [6, s. 12–13.]

4.2.2 Porareikämenetelmä

Porareikämittauksessa betoniin porataan reikä, josta mitataan ilmatilan suhteellinen kosteus ja lämpötila. Reikien syvyys on oltava vähintään 10 mm ja betonin päällystettävyyssmittauksissa se määräytyy mitattavan betonirakenteen paksuuden mukaan. [9.] Jos kyseessä on kosteusvaurio-tutkimus, mittaussyvydet ovat tapauskohtaisia. [6, s. 13.]

Porareikämittaus aloitetaan poraamalla mitattavaan betonirakenteeseen reikä, yleensä 16 mm halkaisijaltaan ja vähintään 10 mm syvyydeltään. Porauksen jälkeen porareikä on puhdistettava huolellisesti imurilla ja annettava jäähtyä. Porareiän syvyyden on oltava millimetrin tarkkuudella

sama syvyys, josta suhteellinen kosteus halutaan selvittää. Esimerkiksi maanvaraisessa betonilaatassa kosteusmittausvyvydet ovat 0,4 x koko rakenteen paksuudesta sekä pinnasta 0,4 x syvempi porareikä. Kuvassa 5 esitetyt mittaussyvydet eri betonirakenteille. [9.]



Kuva 5. Porareikämenetelmän mittaussyvydet eri betonirakenteille. [9.]

Puhdistettuihin ja jäähtyneisiin porareikiin asennetaan mittaputket, jotka painetaan porareian pohjaan saakka. Mittaputken ja betonin yläpinnan rajakohta tiivistetään vesihöyrytiiviiksi esimerkiksi vesihöyrytiiviillä kitillä, tulpalla tai teipillä. Porareikien annetaan tasaantua vähintään kolme vuorokautta ennen mittauksia, jotta kosteustasapaino on ehtinyt tasaantua. [9.]

Mittausvaiheessa kosteusmittausantureiden annetaan tasaantua mittauskohdan ympäristön olosuhteisiin, jotta vältetään mahdolliselta kosteuden tiivistymiseltä kosteusmittausanturiin. Mittausputken tulppa poistetaan ja tasaantunut mittausanturi työnnetään putken pohjalle. Anturin ja mittausputken väli tiivistetään huolellisesti vesihöyrytiiviksi ja annetaan tasaantua mittausanturille määrätyn ajan, yleensä vähintään tunnin ajan, kuten projektikohteessani. Tämän jälkeen mittausanturin kiinnitetään näyttölaitteeseen, josta kosteus- ja lämpötila-arvot luetaan. Jos samasta porareistä tehdään useampia suhteellisen kosteuden mittauksia, tulee porareikä vaihtaa uuteen viimeistään kahden viikon seurannan jälkeen, sillä mittausputken toistuva avaaminen ja mahdolliset lämpötilamuutokset mittausputken kosteustilassa saattavat aiheuttaa mittauksien häiriötä. [9.] Kuvassa 6 betonin suhteellisen kosteuden mittaus tilanne porareikämenetelmällä.



Kuva 6. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä.

Porareikämittauksissa betonin lämpötilalla on suuri merkitys. Jos tarkoituksena on mitata betonirakenteen suhteellinen kosteus normaalissa huoneenlämmössä, suosituslämpötilat porareikämittauksille on 18–25 °C. Betonin päällystettävyyksmittauksia tehdessä porareikämittauksille suositeltu betonin ja ilman lämpötila on 18–25 °C ± 5 °C. [9.]

4.2.3 Näytepalamenetelmä

Näytepalamittauksessa betonin suhteellinen kosteus mitataan betonirakenteesta tietyltä syvyydeltä otetuista betonipaloista. Ympäröivän ilman ja mitattavan rakenteen kosteus eivät pääse vaikuttamaan merkittävästi mittauksiin, joten näytepalamittausta pidetään tarkimpana menetelmänä betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen. Näytepalamittaus on luotettava kosteusmittausmenetelmä myös alhaisissa ja korkeissa lämpötiloissa, - 20 °C–80 °C. Näytepalamittauksen luotettavuutta voi heikentää kuitenkin näytepalojen ottaminen väärältä syvyydeltä, liian vähäinen näytteiden määrä tai näytteenotto betonista, johon poraus on vaikuttanut. Lisäksi näytepalamittaus on nopeampi menetelmä kuin esimerkiksi porareikämittaus, mutta syvältä tehtävät betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaukset voivat olla haastavia näytepalamenetelmällä. [9; 7, s. 30.]

Mittaukset aloitetaan poraamalla betonirakenteeseen halkaisijaltaan 50–100 mm:n ympyräura esimerkiksi kuivaporauskruunulla. Tämän jälkeen poratun ympyräuran keskelle jäänyt mittaussyvyyden yläpuolinen betoni poistetaan haluttuun syvyyteen esimerkiksi pienellä piikkauskoneella. Haluttuun mittaussyvyyteen voidaan päästä myös käyttämällä pelkkää piikkauskonetta. Näytteenottopinta on noin 5 mm ylempänä kuin haluttu mittaussyvyys, sillä tavoitteena on saada noin 5 mm paksuja näytepaloja halutusta mittaussyvyydestä. Jos mittaussyvyyden saavuttamiseksi on käytetty poraa, näytepalat otetaan vähintään 5 mm:n etäisyydeltä porauksen sisäreunasta. Näin saadaan minimoitua porauksen vaikutus mittaustuloksiin. [9.] Kuvassa 7 kuivaporauskruunulla porattu näytteenottopintaan, josta piikataan näytepalat halutusta mittaussyvyydestä.



Kuva 7. Näytteenottopinta näytepalamittauksessa. [9.]

Näytepalat laitetaan irrottamisen jälkeen koeputkeen. Näytteitä otetaan useita samalta syvyydeltä, vähintään kolmasosa koeputken tilavuudesta. Koeputken asennetaan betonin suhteellisen kosteuden mittausanturi. Koeputken ja mittausanturin väli tiivistetään vesihöyrytiiviiksi ja koeputki siirretään vakioämpötilaan tasaantumaan mittausanturin vaatimaksi tasaantumisaikaksi, vähintään 5–12 tunniksi. Yli 45 MPa lujuusluokan betoneilla tulee tasaantumisaika olla vähintään 12 tuntia. [9.] Kuvassa 8 näytepalat ja suhteellisen kosteuden mittausanturi asennettu vesihöyrytiiviisti koeputkeen.



Kuva 8. Näytepalamittauksessa irrotetut näytepalat koeputkessa. [9.]

Tasaantumisaajan jälkeen mittausanturi asennetaan näyttölaitteeseen, josta luetaan betonin suhteellinen kosteus ja lämpötila. Tämän lisäksi tiedossa pitää olla myös näytteenotto hetkellä vallinnut ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä koeputken säilytysolosuhteet. [9.]

5 Betonin kuivumisajan arviointi

Betonirakenteiden kuivuminen on usein tahdistava tekijä rakennustyömaan aikataulutuksessa. Betonin kuivumisaika riippuu useasta eri tekijästä, kuten betonin ominaisuuksista, vallitsevasta olosuhteesta ja betonoitavasta rakenteesta. Betonin kuivumisajan arviointiin on kehitelty laskentakaavoja ja ohjelmistoja, joilla pystytään edellä mainittujen tekijöiden tietoja hyväksi käyttäen arvioimaan betonin kuivumiseen kuluva aika. Lisäksi arviointimenetelmien avulla voidaan selvittää, miten kuivumisaikaan vaikuttavia tekijöitä, kuten olosuhdetta, tulee säädellä, jotta kuivuminen tapahtuisi tavoiteaikataulun mukaisesti. [6, s. 32.] Käytän tässä opinnäytetyössä Tarja Merikallion kuivumisajan arvioinnin laskentamenetelmää ja Betoniyhdistyksen by2020 Betonin kuivumisajan arviointiohjelmaa.

Merikallion laskentamenetelmä perustuu mitattavan rakenteen mukaan määritellystä peruskuivumisajasta sekä betonin vesi-sideainesuhteelle, rakenteen paksuudelle, alustan kosteudelle, kastumisajalle ja kuivumisolosuhteelle määritellyistä kertoimista. Peruskuivumisajan määrittää betonille vaadittu suhteellisen kosteuden raja-arvo.

Selvennyksenä esimerkki betonirakenteen kuivumisaikaan, kuinka paljon Merikallion laskentamenetelmässä on vaikutusta, onko lattiabetoni kuivunut kosteassa vai kuivassa olosuhteessa. Kuvitellaan, että maanvaraiselle lattiabetonille on määrätty kosteus raja-arvoksi 85 %, vesisideainesuhde on 0,5, rakenteen paksuus 100 mm, alustan kosteus kuiva, kastumista ei ole tapahtunut, ilman suhteellinen kosteus on ollut 80 % ja lämpötila 18°C.

$$17 \times 0,5 \times 1,6 \times 1,0 \times 0,9 \times 1,2 = 14,688 = 14,7 \text{ viikkoa} = \text{noin } 103 \text{ päivää}$$

Vertailuna, kertoimet muuten samat mutta ilman suhteellinen kosteus on ollut 35 %:

$$17 \times 0,5 \times 1,6 \times 1,0 \times 0,9 \times 0,8 = 9,792 = 9,8 \text{ viikkoa} = \text{noin } 69 \text{ päivää}$$

Betoniyhdistyksen by2020 kuivumisajan arviointiohjelma perustuu mitattavaan rakenteeseen, vallitsevaan olosuhteeseen, ajankohtaan, sijaintiin sekä kastumis- ja kuivatusjaksojen pituuteen. Syöttämällä ohjelmaan edellä mainitut tiedot ja kriittisen suhteellisen kosteuden raja-arvon, ohjelma laskee kuivumisaika-arvion kyseiselle betonirakenteelle. [10.] Kuvassa 9 Merikallion menetelmän laskentakaava ja kertoimet maanvaraiselle teräsbetonilaatalle.

Laskentakaava:



Peruskuivumiskäyrä:



Kertoimet:

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

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhte (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	Vesisideainesuhte			
	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

RH (%)	Olosuhteet			
	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 9. Merikallion menetelmän kertoimet maanvaraiselle teräsbetonilaatalle. [6, s. 39.]

6 Betonin kosteus seuranta opinnäytetyössä

Opinnäytetyössä vertaillaan kahden eri rakennushankkeen lattiabetonin kuivumisaikaa. Lattiabetonin kosteus seuranta on toteutettu Vaisala SHM40 -rakennekosteusmittarilla porareikämenetelmällä minun toimestani. Kosteus seuranta on aloitettu kummassakin kohteessa noin kaksi ja puoli (2,5) kuukautta betonivalun jälkeen. Kuvassa 10 tilannekuva kosteusmittaustulosten lukemisesta. Käytän vertailukohteena toimivasta peruskorjauskohteesta nimitystä Kesäkohde, jossa betonivalu on suoritettu kesäkuussa 2022 ja kosteus seuranta toteutettu elokuusta lokakuuhun 2022. Olosuhde tällä työmaalla oli kostea ja olosuhdevaihtelu oli merkittävää. Uudisrakennuskohdeesta käytän nimitystä Talvikohde. Tässä kohteessa betonivalu suoritettiin joulukuussa 2022 ja kosteus seuranta toteutettiin helmikuusta huhtikuuhun 2023. Kosteus seurannan viimeiset mitaukset toteutettiin kummassakin kohteessa Cramo Finland Oy:n toimesta näytepalamenetelmällä. Taulukossa 1 yhteenveto rakennuskohteiden betonivalun ja kosteus seurannan ajankohdista, sekä tiedot olosuhteista.



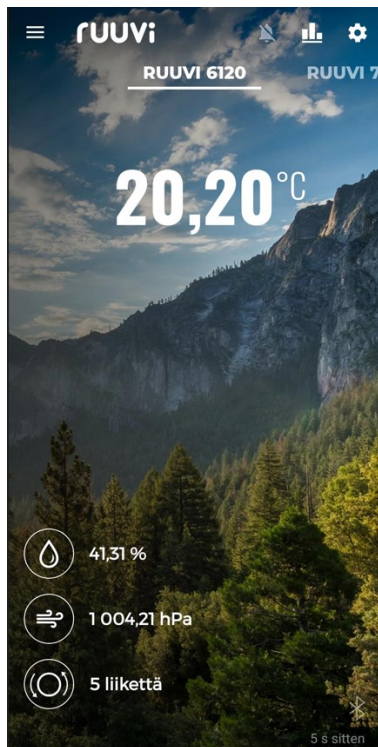
Kuva 10. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen porareikämenetelmällä

	Kesäkohde, peruskorjauskohde	Talvikohde, uudisrakennuskohde
Betonivalun ajankohta	06/2022	12/2022
Kosteusseurannan ajankohta	08-10/2022	02-04/2023
Olosuhde	Kostea	Kuiva
Olosuhteen vaihtelu	Merkittävä	Vähäinen

Taulukko 1. Tiedot betonivalun ja kosteus seurannan ajankohdista, sekä olosuhteista.

Maanvaraisen teräsbetoni laatan suhteellisen kosteuden raja-arvo 85 % mittaussyvyydeltä 40 mm saatiin pintamateriaalin valmistajan ohjeista. Rakennustyöselostuksen mukaisesti kosteusmittauksissa on huomioitava mittausanturin kokonaismittausepäätarkkuus $\pm 2\%$, joten betonin suhteellisen kosteuden lopulliseksi raja-arvoksi määritettiin 82 %.

Kohteiden olosuhdeseuranta toteutettiin Ruuvi-olosuhdeantureilla. Anturit mittaavat ilman suhteellisen kosteuden, ilman lämpötilan, ilmanpaineen ja anturin liikkeet betonin kosteusseurannan ajan. Tässä seurannassa oleellisia tietoja olivat ilman suhteellinen kosteus ja ilman lämpötila. Antureiden tulokset luettiin matkapuhelimella Bluetoothin välityksellä satunnaisina ajankohtina. Olosuhdeseurannan avulla pystyimme havaitsemaan olosuhteen muutokset tekemään tarvittaessa toimenpiteitä esimerkiksi ilman suhteellisen kosteuden pienentämiseksi. Kuvassa 11 havainnekuva Ruuvi-olosuhdeanturin mittaamien tulosten lukemisesta.



Kuva 11. Näkymä Ruuvi-olosuhdeanturin mittaamista tuloksista

7 Lattiabetonin kosteus seuranta

7.1 Kesäkohte, peruskorjauskohde

Kesäkohteen maanvarainen teräsbetoni laatta oli 100 mm paksu, joten porareikämenetelmällä tehdyn kosteus seurannan syvempi porausreikä on $0,4 \times 100 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$. Toinen porausreikä on pinnasta. Kosteus seurannan lopussa tehdyt lopulliset lattiabetonin rakennekosteusmittaukset tehtiin näytepalamenetelmällä. Näytepalamittaukset tehtiin 40 mm syvyydestä, sekä pinnasta 16 mm syvyydestä Cramo Finland Oy:n toimesta. Kesäkohteen lattiabetonin kosteus seurannan tulokset ja liitteinä (liitteet 1–3).

7.2 Talvikohde, uudisrakennuskohde

Talvikohteen maanvarainen teräsbetoni laatta oli myös 100 mm paksu, joten porareikämenetelmällä tehdyn kosteus seurannan syvempi porausreikä on $0,4 \times 100 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$. Toinen porausreikä on pinnasta. Kosteus seurannan lopussa tehdyt lopulliset lattiabetonin rakennekosteusmittaukset tehtiin näytepalamenetelmällä. Näytepalamittaukset tehtiin 40 mm syvyydestä, sekä pinnasta 16 mm syvyydestä Cramo Finland Oy:n toimesta. Talvikohteen lattiabetonin kosteus seurannan tulokset liitteinä (liitteet 4–7).

7.3 Kosteus seurannan tulokset

Vertailukohteen toimivan Kesäkohteen maanvaraisen lattiabetonin kosteus seuranta aloitettiin elokuussa ja lopetettiin lokakuussa, joten olosuhde oli pääsääntöisesti hyvin kostea. Ilman suhteellinen kosteus oli kosteus seurannan alussa 67,0 %, enimmillään jopa 70,3 %. Ilman suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 52,8 % ja ilman lämpötilan keskiarvo 19,0 °C. Keskiarvot on laskettu kosteusmittaus seurannan aikaisilta satunnaisilta päiviltä, betonin kosteusmittaus hetkillä vallinneen olosuhteen arvojen mukaan. Ilman suhteellinen kosteus oli keskiarvoltaan lähellä betonin kuivumisen kannalta täydellisenä pidettyä ilman suhteellista kosteutta 50 % [6, s. 35.] Peruskorjaus-

kohteen lattiabetonin kosteus seurannan aikana ilman suhteellisen kosteuden vaihtelu oli voimakasta. Betonin kuivumisolosuhdetta parannettiin lämpöpuhaltimilla, mikä on havaittavissa 26.9 mitatuista olosuhdearvoista. Lämpöpuhaltimilla saatiin lisättyä ilmavirtoja, mikä niin ikään edesauttoi ja nopeutti lattiabetonin kuivumista. Lattiabetonin suhteellisen kosteuden seuranta aloitettiin noin 10 viikkoa betonivalusta. Lattiabetonin suhteellinen kosteus oli kosteus seurannan alussa mittauskohdassa 1.1 91,0 % ja mittauskohdassa 1.2 88,4 %. (Liitteet 1–3).

Lattian pintamateriaaliksi tuli keraaminen laatta, joten lattiabetonin suhteellisen kosteuden raja-arvoksi 40 mm syvyydeltä määritettiin materiaalinvalmistajan ohjeiden mukaisesti 82,0 %. Mittauskohdassa 1.1 raja-arvo alitettiin 3.10 suoritettussa näytepalamittauksessa, noin 110 päivää betonivalusta. Porareikämenetelmällä mitattu (3.10) betonin suhteellinen kosteus 40 mm syvyydeltä oli 83,2 %, kun samana päivänä samalta syvyydeltä näytepalamenetelmällä mitattu tulos oli 77,0 % ja 75,0 %. Mittausmenetelmien välisen mittaustulosten eron ollessa näin suuri päätettiin, että porareikämittauksissa oli tapahtunut mittausvirhe, joka on vaikuttanut kosteusmittaustuloksiin. Virhe on voinut olla esimerkiksi porareikien riittämätön puhdistus betonipölystä. Näytepalamenetelmän luotettavuus suhteessa porareikämenetelmään on suurempi, joten todennäköisemmin virhe on tapahtunut porareikämittauksessa. Mittauskohdassa 1.2 raja-arvo alitettiin noin 102 päivää betonivalusta. (Liitteet 1–3).

Talvikohteen lattiabetonin kuivumisolosuhde on huomattavasti Kesäkohdetta kuivempi johtuen vuodenajasta. Ulkoilman kosteussisältö on talvella pienempi kuin kesällä ja syksyllä. Talvella ulkoilman lämpötila on alhaisempi, joten rakennustyömaalla oli lämpöpuhaltimet käytössä jatkuvasti. Kosteus seurannan alussa ilman suhteellinen kosteus oli noin 30 %, mikä on 37 %-yksikköä vähemmän kuin Kesäkohteen kosteus seurannan alussa. Talvikohteen sisäilman suhteellisen kosteuden keskiarvo mittauskohdassa 2.1 oli 28,2 % ja ilman lämpötilan keskiarvo oli 17,2°C. Mittauskohdan 2.3 sisäilman suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 27,5 % ja ilman lämpötilan keskiarvo oli 21,1 °C. Ilman lämpötilaan ja ilmavirtoihin vaikutettiin lämpöpuhaltimilla. Mittauskohta 2.1 sijaitsi ilmanvaihdon konehuoneessa, jossa lämpötila oli muihin tiloihin verrattuna alhaisempi. Mittauskohdan 2.1 vieressä noin viiden metrin päässä oli työmaanaikainen uloskäynti, jonka vuoksi mittauskohta oli usein vaikutuksessa ulkoilman kanssa. Mittauskohtaan 2.3 verrattuna alhaisempi ilman lämpötila hidasti betonin kuivumisnopeutta mittauskohdassa 2.1. Talvikohteen lattiabetonin suhteellisen kosteuden seuranta on aloitettu noin 11 viikkoa betonivalusta. Mittaus-

kohdassa 2.1 maanvaraisen teräsbetoniastian suhteellisen kosteuden raja-arvo 82 % mittaus-
syvyydeltä 40 mm alitettiin noin 95 päivää betonivalusta. (Liitteet 4–7). Mittauskohdissa 2.2 ja 2.3
tavoitekosteus alitettiin jo ennen kosteus seurannan alkamista (77 päivää betonivalusta).

8 Lattiabetonin kuivumisaika-arviot

Kuivumisaika-arviot laskettiin kumpaankin kohteeseen sekä manuaalisesti Merikallion laskenta-menetelmää käyttäen, että by2020 betonin kuivumisajan arviointi ohjelmalla. Analysoin laskelmien tuloksia suhteessa kohteiden todellisiin kuivumisaikoihin. Näin saatiin vertailtua kahden erityyppisen rakennuskohteen, erilaisissa olosuhteissa kuivuneiden lattiabetonin kuivumisaikoja, sekä kahta eri betonin kuivumisajan arviointiin kehiteltyä menetelmää. Kuivumisaika-arviot laskettiin sekä kosteus seurannan alussa mitatuilla olosuhdearvoilla, että kosteusmittaushetkillä mitattujen olosuhdearvojen keskiarvolla. Tällä saatiin vertailua myös arvioidulla olosuhteella laskettua ja olosuhteen keskiarvolla laskettua kuivumisaika-arviota. Olosuhdearvojen keskiarvolla lasketuilla kuivumisajan arvioilla päästään lähemmäksi todellista kosteus seurannan aikana vallinnutta olosuhdetta. Taulukoissa 2 ja 3 tiivistetysti kummankin kohteen kuivumisajan arviot laskettuna sekä Merikallion menetelmällä, että by2020-ohjelmalla.

Mittauskohta	Kesäkohte				Kosteus seurannalla todettu todellinen kuivumisaika
	Merikallion menetelmä		By2020-ohjelma		
	Alkuolosuhteilla laskettaessa	Keskiarvo olosuhteilla laskettaessa	Alkuolosuhteilla laskettaessa	Keskiarvo olosuhteilla laskettaessa	
1.1	111 päivää	91 päivää	178 päivää	122 päivää	Noin 110 päivää
1.2	111 päivää	91 päivää	178 päivää	122 päivää	Noin 102 päivää

Taulukko 2. Kesäkohteen kuivumisajan arvioiden tulokset.

Mittauskohta	Talvikohde				Kosteusseurannalla todettu todellinen kuivumisaika
	Merikallion menetelmä		By2020-ohjelma		
	Alkuolosuhteilla laskettaessa	Keskiarvo olosuhteilla laskettaessa	Alkuolosuhteilla laskettaessa	Keskiarvo olosuhteilla laskettaessa	
2.1	81 päivää	81 päivää	109 päivää	108 päivää	Noin 95 päivää
2.3	81 päivää	71 päivää	97 päivää	87 päivää	Tavoitekosteus alitettu jo ennen kosteusseurannan aloitusta (77 päivää betonivalusta)

Taulukko 3. Talvikohteen kuivumisajan arvioiden tulokset.

8.1 Merikallion laskentamenetelmä

Kesäkohde: Peruskorjauskohde

Pohjakerroksen maanvarainen teräsbetonilaatta, mittauskohdat 1.1 ja 1.2. Rakenne on yhteen suuntaan kuivuva, 100 mm paksu nopeasti pinnoitettavalla (NP) K30 betonimassalla valettu teräsbetonilaatta. Betonilaatta ollut kuivassa, ei kastunut, kuivatuksen alettua olosuhde 19°C / 68 % RH. Tavoitekosteus 82 %, joten Merikallion menetelmässä peruskuivumisaika 20 viikkoa.

Arvioitu kuivumisaika kosteusseurannan alussa: $20 \times 0,5 \times 1,6 \times 1,0 \times 0,9 \times 1,1 = 15,84$ viikkoa = noin 111 päivää

Arvioitu kuivumisaika olosuhdearvojen keskiarvolla: $20 \times 0,5 \times 1,6 \times 1,0 \times 0,9 \times 0,9 = 12,96$ viikkoa = noin 91 päivää

Talvikohde: Uudisrakennuskohde

Pohjakerroksen maanvarainen teräsbetonilaatta, mittauskohdat 2.1, 2.2 ja 2.3. Rakenne on pääosin yhteen suuntaan kuivuva, 100 mm paksu nopeasti pinnoitettavalla K30 betonimassalla valettu teräsbetonilaatta. Betonilaatta ollut kuivassa, ei kastunut, kuivatuksen alettua olosuhde mittauskohdalla 2.1 17°C / 30 % RH ja mittauskohdissa 2.2 ja 2.3 22°C / 29 % RH. Tavoitekosteus 82 %, joten Merikallion menetelmässä peruskuivumisaika 20 viikkoa.

Arvioitu kuivumisaika kosteus seurannan alussa, kohta 2.1: $20 \times 0,5 \times 1,6 \times 1,0 \times 0,9 \times 0,8 = 11,52$
viikkoa = noin 81 päivää

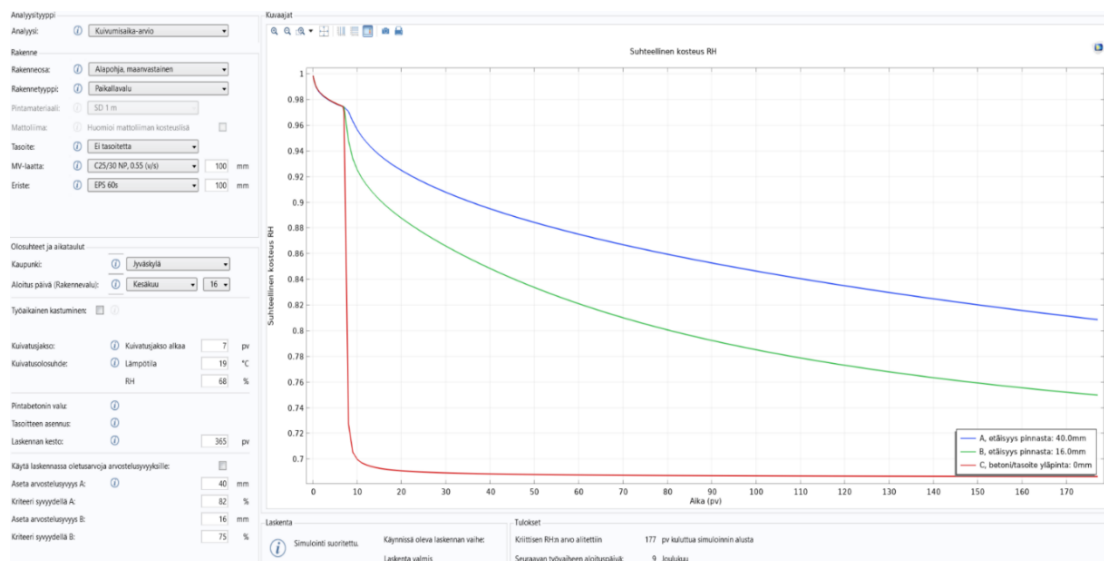
Arvioitu kuivumisaika olosuhde arvojen keskiarvolla, kohta 2.1: $20 \times 0,5 \times 1,6 \times 1,0 \times 0,9 \times 0,8 =$
 $11,52$ viikkoa = noin 81 päivää

Arvioitu kuivumisaika kosteus seurannan alussa, mittauskohdat 2.2 ja 2.3: $20 \times 0,5 \times 1,6 \times 1,0 \times 0,9$
 $\times 0,8 = 11,52$ viikkoa = noin 81 päivää

Arvioitu kuivumisaika olosuhde arvojen keskiarvolla, mittauskohdat 2.2 ja 2.3: $20 \times 0,5 \times 1,6 \times 1,0$
 $\times 0,9 \times 0,8 = 10,08$ viikkoa = noin 71 päivää

8.2 By2020 betonin kuivumisajan arviointi ohjelma

By2020 betonin kuivumisajan arviointiohjelma on Betoniyhdistyksen kehittäämä, rakennustyömaan kosteudenhallinnan suunnitteluun tarkoitettu ohjelma. Ohjelman avulla voidaan arvioida betonirakenteiden kuivumisaikaa ja näin ollen hyödyntää ohjelman laskelmia työmaan aikataulusta suunniteltaessa. By2020-ohjelmaan syötetään näkymän vasempaan reunaan tiedot mitattavasta rakenteesta ja olosuhteesta. Ohjelmaan syötetään tiedot rakenneosasta ja rakennetypistä, eli tässä tapauksessa paikalla valettu alapohjan maanvarainen teräsbetonilaatta. Ohjelmalla voi laskea myös kuivumisaika-arviot tasoitteelle, mutta tässä tutkimuksessa tasoitetta ei ollut. Tämän jälkeen syötetään tiedot betonin laadusta ja laatan paksuudesta, sekä eriste materiaalista ja eristeen paksuudesta. Lisäksi ohjelmaan syötetään tiedot sijainnista ja kuivatusolosuhteesta. Lopuksi ohjelmaan syötetään tiedot betonin tavoitekosteuksista ja mittaussyvyyksistä. Ohjelma ilmoittaa kuivumisaika-arviot kaavioon eri värisillä viivoilla. Pystysuuntaiset arvot ovat betonin suhteellisen kosteuden arvoja ja vaakatasossa kuvataan kulunutta aikaa päivinä. **Sininen viiva** kuvaa betonin kuivumisajan arviota mittaussyvyydeltä 40 mm, **vihreä viiva** kuvaa kuivumisajan arviota pinnasta syvyydeltä 16 mm ja **punainen viiva** kuvaa tasoitteen kuivumisajan arviota. Tasoitetta ei ollut, joten punaisen viiva ei ole tässä tutkimuksessa relevantti. Ohjelma ilmoittaa kaavion alapuolelle päivien lukumäärän, milloin betonin tavoitekosteus alitetaan. Kuvassa 12 näkymä by2020-ohjelmalla lasketusta kuivumisaika-arviosta. Tutkimuksessa by2020-ohjelmalla lasketut kuivumisaika-arviot liitteinä (liitteet 8–13).



Kuva 12. By2020-ohjelmiston laskelma kuivumisaika-arvio.

8.3 Kuivumisaika-arvioiden tulokset

8.3.1 Kosteusseurannan alussa mitatuilla olosuhdearvoilla laskettuna

Kesäkohde: Merikallion laskentamenetelmän mukaan maanvarainen teräsbetonilaatta saavutti tavoitekosteuden 82 % 111 päivässä. By2020-ohjelmalla maanvarainen teräsbetonilaatta saavutti tavoitekosteuden 82 % 178 päivässä. Työmaan aikaisissa rakennekosteusmittauksiin perustuvassa kosteudenseurannassa maanvarainen teräsbetonilaatta alitti tavoitekosteuden mittauskohdassa 1.1 noin 110 päivää betonivalusta ja mittauskohdassa 1.2 noin 102 päivää valusta. (Liitteet 8–13).

Talvikohde: Merikallion laskentamenetelmän mukaan maanvarainen teräsbetonilaatta saavutti tavoitekosteuden 82 % mittauskohdan 2.1 (iv-konehuone) osalta 81 päivässä ja mittauskohdissa 2.2 ja 2.3 71 päivässä. By2020-ohjelmalla mittauskohta 2.1:n maanvarainen teräsbetonilaatta saavutti tavoitekosteuden 82 % 110 päivää betonivalusta ja mittauskohdassa 2.3 tavoitekosteus saavutettiin 95 päivää valusta. Betonin suhteellinen kosteus kosteusseurannan alussa mittauskohdassa 2.1 oli 84,6 % ja tavoitekosteus alittui noin 95 päivää betonivalusta. (Liitteet 8–13). Mittauskohdissa 2.2 ja 2.3 tavoitekosteus oli alittunut jo ennen kosteusseurannan aloittamista. Betonin suhteellinen kosteus kosteusseurannan alussa oli mittaus kohdassa 2.2 81,7 % ja mittauskohdassa 2.3 80,2 %.

8.3.2 Olosuhdearvojen keskiarvolla laskettuna

Olosuhdearvojen keskiarvolla laskettuna päästiin lähemmäksi kosteusseurannan aikaista todellista olosuhdetta. Kuivumisajan arvioista selvisi, että Tarja Merikallion menetelmällä laskettaessa pienillä olosuhdevaihteluilla ei ollut merkitystä kuivumisajan arvioon, mutta by2020-ohjelmalla pienetkin olosuhdemuutokset vaikuttivat arvioon.

Kesäkohde: Merikallion menetelmällä maanvarainen teräsbetonilaatta saavutti suhteellisen kosteuden raja-arvon 82 % 91 päivässä betonivalusta olosuhdearvojen keskiarvolla laskettaessa.

Tämä erosi olosuhdeseurannan alku olosuhteella lasketusta kuivumisajan arviosta aikaistaen suhteellisen kosteuden raja-arvon saavuttamista 20 päivää. By2020-ohjelmalla olosuhdearvojen keskiarvolla laskettaessa betoni saavutti tavoitekosteuden 122 päivässä. Ero alku olosuhteella lasketusta kuivumisajan arviosta on 55 päivää. (Liitteet 8–13).

Talvikohde: Merikallion menetelmällä, olosuhdearvojen keskiarvolla laskettaessa, mittauskohdan 2.1 lattiabetoni saavutti tavoitekosteuden 82 % mittaussyvyydeltä 40 mm 81 päivässä eli samassa ajassa kuin alku olosuhteella laskettuna. Pienellä olosuhdevaihtelulla ei ollut merkitystä arvioon Merikallion menetelmällä laskettaessa. By2020-ohjelmalla betonin suhteellisen kosteuden raja-arvo saavutettiin 108 päivässä, eli päivää aikaisemmin kuin alku olosuhteen arvoilla arvioituna. Mittauskohdan 2.3 lattiabetonin suhteellisen kosteuden mittaussyvyuden 40 mm raja-arvo 82 % alitettiin 81 päivässä eli 10 päivää myöhemmin kuin alku olosuhde arvoilla arvioituna. By2020-ohjelmalla arvioituna mittauskohdan 2.3 lattiabetoni saavutti tavoitekosteuden 87 päivässä eli 10 päivää aikaisemmin kuin alku olosuhdearvoilla arvioituna. (Liitteet 8–13).

8.4 Kuivumisaika-arvioiden analysointi

Merikallion menetelmällä laskettu kuivumisaika-arvio Kesäkohteessa oli melko lähellä lattiabetonin todellista kuivumisaikaa eroten mittauskohdan 1.2 betonin todellisesta kuivumisajasta noin 9 päivää. Talvikohteessa ero Merikallion menetelmän arvion ja betonin todellisen kuivumisnopeuden välillä oli suurempi. Tässä on huomioitava se, että Merikallion menetelmän kuivumisolosuhte kertoimissa alhaisin ilman suhteellinen kosteus on 35 %. Näin ollen ero Talvikohteen todelliseen ilman suhteellisen kosteuden keskiarvoon on enimmillään 7,5 % keskiarvon ollessa mittauskohdassa 2.3 27,5 %. Merikallion menetelmällä voidaan laskea suuntaa antavia kuivumisajan arvioita ja tässä tutkimuksessa arviot olivat lähellä betonin todellista kuivumisaikaa etenkin Kesäkohteen osalta.

By2020-ohjelman betonin kuivumisajan arvioihin Kesäkohteessa vaikutti suuresti, laskettiin arviot kosteus seurannan alussa vallinneella olosuhteella vai olosuhdearvojen keskiarvolla. Näiden arvioiden ero oli 55 päivää. Tähän vaikuttavin tekijä oli se, että Kesäkohteen ilman suhteellisen kosteuden vaihtelu oli merkittävää. Kosteus seurannan alussa ilman suhteellinen kosteus oli ver-

rattain suurta. Olosuhdearvojen keskiarvolla laskettuna by2020-ohjelman arvio Kesäkohteen kuivumisajasta oli melko lähellä todellista kuivumisaikaa. Talvikohteen osalta by2020-ohjelman arvioissa ei ollut suurta eroa, laskettiin arviot kosteus seurannan alussa vallinneella olosuhteella vai olosuhdearvojen keskiarvolla. Mittauskohdassa 2.1 eroa arvioilla oli 10 päivää, mutta mittauskohdassa 2.3 eroa oli vain 1 päivä. Tämä kertoo, että olosuhde on pysynyt melko samanlaisena koko kosteus seurannan ajan. By2020-ohjelman arvio Talvikohteen kuivumisajalle mittauskohdassa 2.1 oli melko lähellä todellista kuivumisaikaa. Mittauskohdan 2.3 osalta tarkkaa vertailua ei voida tehdä, sillä betonin suhteellisen kosteuden raja-arvo oli alittunut jo enne kosteus seurannan alkamista. Voidaan kuitenkin todeta, että by2020 kuivumisajan arvio mittauskohdassa 2.3 erosi melko selkeästi todellisesta kuivumisajasta betonin suhteellisen kosteuden mittaussyvyydellä 40 mm ollessa mittausten alussa 80,2 %. Mittaukset alkoivat 77 päivää betonivalusta ja by2020-ohjelman arvio alussa vallinneella olosuhteella laskettuna oli 97 päivää ja olosuhdearvojen keskiarvolla laskettuna 87 päivää. Näin ollen Talvikohteen mittauskohdan 2.3 lattiabetonin todellisen kuivumisajan ja by2020-ohjelmalla lasketun arvion ero voidaan todeta olevan merkittävä. (Liitteet 8–13).

9 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, kuinka paljon eri olosuhteella on vaikutusta maanvaraisen teräsbetonilaatan kuivumiseen. Tutkimuksessa käytettiin kahta eri betonin suhteellisen kosteuden mittausta menetelmää, porareikä- ja näytepalamittausta. Tutkimuksessa selvisi, että porareikämenetelmässä riski mittausvirheelle on näytepalamenetelmää suurempi. Työssä suoritettujen olosuhde- ja betonin kosteus seurannan perusteella voidaan todeta, että olosuhteen vaikutus betonin kuivumisnopeuteen on merkittävä, vaikka käytössä oli pienen vesi-sideainesuhteen omaavia nopeammin pinnoitettavia betonimassoja. Etenkin ilman suhteellisessa kosteudessa oli suuri ero kohteiden välillä. Se, että talvella valettu ja kuivatettu maanvarainen teräsbetonilaatta kuivui nopeammin ei tarkoita, että kuivuminen olisi tapahtunut laadukkaammin. Liian nopeasti kuivuvan betonin ominaisuudet voivat kärsiä ja riski plastisen kutistuman aiheuttamiin halkeamiin kasvaa.

Lisäksi opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon betonin kuivumisajan arviointiin suunniteltujen menetelmien arviot eroavat toisistaan ja mittaamistani betonin todellisesta kuivumisajasta. Työssä käytettiin Merikallion betonin kuivumisaika-arvio menetelmää, sekä by2020 betonin kuivumisajan arviointi ohjelmaa. Laskin työssäni kuivumisajan arviot myös betonin kosteusmittaushetkillä vallinneiden olosuhdearvojen keskiarvolla, jotta kuivumisaika-arvio menetelmien vertailu suhteessa todelliseen kuivumisaikaan olisi mahdollisimman realistista. Olosuhdearvojen keskiarvolla lasketut kuivumisajan arviot olivat varsin lähellä betonin todellista kuivumisaikaa.

By2020-ohjelmalla saadaan arviot laskettua yksityiskohtaisemmin eri rakenteille. Merikallion menetelmässäkin huomioidaan eri rakenteet, mutta by2020 ohjelmassa pystyy vaikuttamaan rakennetyyppien lisäksi esimerkiksi eristeen materiaaliin ja paksuuteen. Lisäksi olosuhteet ja kastumisjaksot pystyy by2020-ohjelmassa määrittelemään huomattavasti Merikallion menetelmää tarkemmin.

Tutkimuksessa selvisi, että työssä käytetyillä betonin kuivumisajan arvioimiseen kehitellyillä menetelmillä voidaan saada varsin realistisia tuloksia, kunhan olosuhdearvot eivät poikkea merkittävästi todellisista betonin kuivumisajan olosuhteista. Esimerkiksi rakennustyömaan aikataulua suunnitellessa työssäni käytetyillä menetelmillä pystytään saaman helposti suuntaa antavia kuivumisajan arvioita, joiden pohjalta tulevien työvaiheiden ajankohdat on hyvä suunnitella.

10 Pohdinta

Lattiat ovat kuivuneet tavoitekosteuteen. Siihen päästiin rakennekosteusmittausten ja kuivumisen arvioinnin kautta. Opinnäytetyöprosessi opetti, kuinka paljon olosuhde vaikuttaa betonin kuivumisaikaan ja millä tavoin betonin kuivumiseen pystytään vaikuttamaan. Olosuhteen merkitys alhaisen vesi-sideainesuhteen omaavien, nopeasti pinnoitettavien lattiabetonien kuivumisaikaan oli yllättävän suuri. Kesäkohteen kosteat olosuhteet pidensivät maanvaraisen betonilaatan kuivumisaikaa usealla viikolla suhteessa kuivissa olosuhteissa kuivuneen Talvikohteen betonilaataan. Lämpötilaa nostamalla ja ilmavirtoja lisäämällä saatiin parannettua kuivumisolosuhdetta ja näin nopeutettua betonilattioiden kuivumista.

Tutkimus opetti ymmärtämään porareikä- ja näytepalamenetelmän eroja betonin suhteellisen kosteuden mittauksessa. Porareikämenetelmällä on hyvä tehdä tutkimuksen kaltaista betonin suhteellisen kosteuden seuranta pidemmältä aikaväliltä. Tutkimus osoitti, että porareikämenetelmän käyttö on olosuhdevaatimusten ja tarkkojen tasaantumisaikojen vuoksi melko suppea ja näin ollen voi tulla helpommin virhetulkintoja. Sen sijaan näytepalamenetelmällä mitattaessa olosuhteilla ei ole niin paljoa merkitystä ja mittaustulokset saadaan porareikämenetelmää nopeammin. Tässä tutkimuksessa näytepalamenetelmällä varmistettiin, että lattiabetoni oli alittanut raja-arvon.

Työssä käytettiin kahta hyvin erilaista betonin kuivumisajan arviointiin kehiteltyä menetelmää, joilla pystytään saamaan lähelle todenmukaisia kuivumisaika-arvioita. Haastavaa kuivumisajan arvioinnista tekee sen, että ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta ei voi tietää etukäteen. Etenkin by2020-ohjelmassa kuivumisaika-arvio muuttui merkittävästi olosuhdearvojen vaihtuessa. Kuivumisaika-arvioita verrattaessa lattiabetonin todellisiin kuivumisaikoihin käytin olosuhdearvoina sekä kosteus seurannan alussa vallinnutta olosuhdetta, että mittaushetkillä mitattujen olosuhdearvojen keskiarvolla. Keskiarvolla laskettaessa päästiin lähemmäksi kosteus seurannan aikaista todellista olosuhdetta. Vielä tarkemman ja luotettavamman vertailun olisi saanut, jos olosuhdetta olisi mitattu koko kosteus seurannan ajan taukoamatta ja näin saatu todellinen olosuhteen keskiarvo selville.

Lähteet

- 1 Suomen Betoniyhdistys ry. By 201 Betonitekniikan oppikirja. Vaasa: BY-Koulutus Oy; 2019.
- 2 Siikanen, Leena, Siikanen, Unto. Rakennusaineoppi. Viro: Rakennustieto Oy; 2023.
- 3 Suomen Betoniyhdistys ry. [Internet]. [viitattu 10.4.2023]. Saatavilla: <https://www.betonitieto.fi>
- 4 Suomen Betoniyhdistys ry. Betonilattiat 2002. Jyväskylä: Suomen Betonitieto Oy; 2011.
- 5 Merikallio Tarja, Niemi Simo, Komonen Juha. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Lahti: Suomen Betonitieto Oy; 2007.
- 6 Merikallio, Tarja. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Jyväskylä: Rakennustieto Oy; 2015.
- 7 Suomen Betoniyhdistys ry. Betonilattioiden pinnoitusohjeet. Lahti: Betonova Oy; 2010.
- 8 Suomen Betoniyhdistys ry. Betonirakentamisen laatuohjeet. Vaasa: BY-Koulutus Oy; 2019.
- 9 RT 10-3333. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. RT-ohjekortti. Rakennustieto 2021.
- 10 Suomen Betoniyhdistys ry. By2020 betonin kuivumisaika-arvio -ohjelma. 2020.

Liitteet

Liite 1 Maanvaraisen teräsbetoni­laatan kosteus­seurannan tulokset Kesäkohteen mittauskohtassa 1.1

Liite 2 Maanvaraisen teräsbetoni­laatan kosteus­seurannan tulokset Kesäkohteen mittauskohtassa 1.2

Liite 3 Maanvaraisen teräsbetoni­laatan kosteusmittaustulokset kosteus­seurannan lopussa Kesäkohteessa.

Liite 4 Maanvaraisen teräsbetoni­laatan kosteus­seurannan tulokset Talvikohteen mittauskohtassa 2.1

Liite 5 Maanvaraisen teräsbetoni­laatan kosteus­seurannan tulokset Talvikohteen mittauskohtassa 2.2

Liite 6 Maanvaraisen teräsbetoni­laatan kosteus­seurannan tulokset Talvikohteen mittauskohtassa 2.3

Liite 7 Maanvaraisen teräsbetoni­laatan kosteusmittaustulokset kosteus­seurannan lopussa Talvikohteessa

Liite 8 By2020-ohjelmiston laskelma Kesäkohteen mittauskohtien 1.1 ja 1.2 osalta.

Liite 9 By2020-ohjelmiston laskelma Kesäkohteen mittauskohtien 1.1 ja 1.2 osalta olosuhdearvojen keskiarvolla laskettuna.

Liite 10 By2020-ohjelmiston laskelma Talvikohteen mittauskohdan 2.1 osalta.

Liite 11 By2020-ohjelmiston laskelma Talvikohteen mittauskohdan 2.1 osalta olosuhdearvojen keskiarvolla laskettuna.

Liite 12 By2020-ohjelmiston laskelma Talvikohteen mittauskohdan 2.3 osalta

Liite 13 By2020-ohjelmiston laskelma Talvikohteen mittauskohdan 2.3 osalta olosuhdearvojen keskiarvolla laskettuna

Mittaustulokset (kohta 1.1, pohjakerros)

Mittausk ohta	Porareij än syvyys (cm)	Betonin suhteellin en kosteus (% RH)	Betonin lämpötila (°C)	Ilman lämpötila (°C)	Ilman suhteellin en kosteus (% RH)	Päivämäärä ja aika
1.1	4	88,4	18,1	19,2	67,8	23.8.2022
1.1	2	83	18,2	19,2	67,8	23.8.2022
1.1	4	85,4	17,2	17,6	66,7	29.8.2022
1.1	2	83	17	17,6	66,7	29.8.2022
1.1	4	82,2	14,4	18,9	51,9	12.9.2022
1.1	2	73,6	14,3	18,9	51,9	12.9.2022
1.1	4	82,4	14,3	14	70,3	19.9.2022
1.1	4	81,4	21	21	40,3	26.9.2022
1.1	4	79,6	18	21,2	41,9	27.9.2022
1.1	2	73,4	18,1	21,2	41,9	27.9.2022
1.1	4	79,9	19,2	19,8	40,9	29.9.2022

Mittaustulokset (kohta 1.2, pohjakerros)

Mittauskohda	Porareijän syvyys (cm)	Betonin suhteellinen kosteus (% RH)	Betonin lämpötila (°C)	Ilman lämpötila (°C)	Ilman suhteellinen kosteus (% RH)	Päivämäärä ja aika
1.2	4	91	18,4	19,2	67,8	23.8.2022
1.2	2	87,9	18,4	19,2	67,8	23.8.2022
1.2	4	91,3	15,8	17,6	66,7	29.8.2022
1.2	2	90	15,4	17,6	66,7	29.8.2022
1.2	4	86,1	16,7	18,9	51,9	12.9.2022
1.2	2	80,2	16,7	18,9	51,9	12.9.2022
1.2	4	86,4	14,2	14	70,3	19.9.2022
1.2	2	82,6	14,2	14	70,3	19.9.2022
1.2	4	85,4	20	21	40,3	26.9.2022
1.2	4	86	22	21,2	41,9	27.9.2022
1.2	2	81,2	22	21,2	41,9	27.9.2022
1.2	4	87,3	23,7	19,8	40,9	29.9.2022
1.2	2	83	23,7	19,8	40,9	29.9.2022
1.2	4	83,2	21,8	20,4	42,4	3.10.2022
1.2	2	79,3	21,7	20,4	42,4	3.10.2022

Lopulliset mittaukset 3.10.2022, näytepalamenetelmä

Mittauskohta	Porareijän syvyys (cm)	Betonin suhteellinen kosteus (% RH)	Betonin lämpötila (°C)	Ilman lämpötila (°C)	Ilman suhteellinen kosteus (%RH)	Päivämäärä ja aika
1.1	1,6	69	21	20	43	3.10.2022
1.1	4	78	21	20	43	3.10.2022
1.1	4	79	21	20	43	3.10.2022
1.2	1,6	70	21	20	43	3.10.2022
1.2	4	77	21	20	43	3.10.2022
1.2	4	75	21	20	43	3.10.2022

Mittaustulokset (kohta 2.1, IVKH)

Mittausk ohta	Porareij än syvyys (mm)	Betonin suhteellin en kosteus (% RH)	Betonin lämpötila (°C)	Ilman lämpötila (°C)	Ilman suhteellin en kosteus (% RH)	Päivämäärä ja aika
2.1	4	84,6	10,4	17,3	30,1	23.2.2023 klo 12
2.1	2	80,7	10,7	17,3	30,1	23.2.2023 klo 12
2.1	4	85	12,1	18,7	26,9	27.2.2023 klo 13
2.1	2	79,8	12,2	18,7	26,9	27.2.2023 klo 13
2.1	4	86,4	16,5	21,2	32,6	3.3.2023 klo 12
2.1	2	79,8	16,5	21,2	32,6	3.3.2023 klo 12
2.1	4	85,2	15,2	15,6	25,8	6.3.2023 klo 12
2.1	2	81,5	14,6	15,6	25,8	6.3.2023 klo 12
2.1	4	83,8	12,7	14,6	27,1	10.3.2023 klo 12
2.1	2	77,6	13	14,6	27,1	10.3.2023 klo 12
2.1	4	81,6	14,3	15,5	26,8	13.3.2023 klo 12
2.1	2	77,2	14	15,5	26,8	13.3.2023 klo 12

Mittaustulokset (kohta 2.2, tila 021)

Mittauskohta	Porareijän syvyys (cm)	Betonin suhteellinen kosteus (% RH)	Betonin lämpötila (°C)	Ilman lämpötila (°C)	Ilman suhteellinen kosteus (% RH)	Päivämäärä ja aika
2.2	4	81,7	15	17,8	30,1	23.2.2023 klo 12
2.2	2	71,8	15,2	17,8	30,1	23.2.2023 klo 12
2.2	4	82,8	17,2	18,6	26	27.2.2023 klo 13
2.2	2	73,4	17,2	18,6	26	27.2.2023 klo 13
Anturit siirretty mittauskohtaan kohtaan 0.4 27.2.2023						

Mittaustulokset (kohta 2.3, tila 013)

Mittausk ohta	Porareij än syvyys (cm)	Betonin suhteellin en kosteus (% RH)	Betonin lämpötila (°C)	Ilman lämpötila (°C)	Ilman suhteellin en kosteus (% RH)	Päivämäärä ja aika
2.3	4	80,2	16	19,3	28,7	23.2.2023 klo 12
2.3	2	70,2	16,2	19,3	28,7	23.2.2023 klo 12
2.3	4	80,3	19,2	26,6	24,7	27.2.2023 klo 13
2.3	2	71,1	19,3	26,6	24,7	27.2.2023 klo 13
2.3	4	80	19,7	21,2	32,6	3.3.2023 klo 12
2.3	2	71,3	19,8	21,2	32,6	3.3.2023 klo 12
2.3	4	80,5	19,3	18	26,8	6.3.2023 klo 12
2.3	2	71,2	19	18	26,8	6.3.2023 klo 12
2.3	4	77,5	18,7	20	25,3	10.3.2023 klo 12
2.3	2	67,1	18,8	20	25,3	10.3.2023 klo 12
2.3	4	77,3	20,3	21,4	26,9	13.3.2023 klo 12
2.3	2	67,5	20,5	21,4	26,9	13.3.2023 klo 12

Lopulliset mittaukset 14.3.2023, näytepalamenetelmä

Mittauskohta	Porareijän syvyys (cm)	Betonin suhteellinen kosteus (% RH)	Betonin lämpötila (°C)	Ilman lämpötila (°C)	Ilman suhteellinen kosteus (%RH)	Päivämäärä ja aika
2.1	1,6	70	20	12	52	14.3.2023
2.1	4	83	20	12	52	14.3.2023
2.1	4	83	20	12	52	14.3.2023
2.2	1,6	66	20	17	42	14.3.2023
2.2	4	78	20	17	42	14.3.2023
2.2	4	78	20	17	42	14.3.2023
2.3	1,6	64	20	19	46	14.3.2023
2.3	4	76	20	19	46	14.3.2023
2.3	4	75	20	19	46	14.3.2023

Analyysityyppi
 Analyysi:

Rakenne
 Rakennesosa:
 Rakennetyyppi:
 Pintamateriaali:
 Mattoliima: Huomioi mattoliiman kosteussisä
 Tasoite:
 MV-laatta: mm
 Eriste: mm

Olosuhteet ja aikataulut
 Kaupunki:
 Aloitus päivä (Rakennevalu):

Työaikainen kastuminen:

Kuivatusjakso: pv
 Kuivatusolosuhte: °C
 RH %

Pintabetonin valur:
 Tasoitteen asennus:
 Laskennan kesto: pv

Käytä laskennassa oletusarvoja arvosteluyksiköille:

Aseta arvosteluyvyys A: mm
 Kriteeri syydydellä A: %
 Aseta arvosteluyvyys B: mm
 Kriteeri syydydellä B: %

