



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SAMU LAMMINEN
BETONIRAKENTEIDEN KUIVUMISEN AIKAMALLIEN TESTAUS

Diplomityö

Tarkastajat: tekniikan lisensiaatti Olli
Teriö ja DI Pertti Nupponen
Tarkastajat ja aihe hyväksytyt talou-
den ja rakentamisen tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 3.6.2015

TIIVISTELMÄ

SAMU LAMMINEN: Betonirakenteiden kuivumisen aikamallien testaus

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 83 sivua, 20 liitesivua

Toukokuu 2015

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto ja -talous

Tarkastaja: Tekniikan lisensiaatti Olli Teriö, DI Pertti Nupponen

Avainsanat: kosteudenhallinta, betonin kuivuminen, kuivattaminen, kuivatuksen suunnittelu, kuivumisaika-arvio, kosteusmittaus

Kosteus- ja homevaurioille on monia eri syitä, tai ne voivat johtua monen eri tekijän summasta. Terveydellisten seikkojen siivittämänä ovat erityisesti rakentamisen aikaisen kosteudenhallinnan puutteet nousseet esille mediassa, ja näin kaikkien tietoisuuteen. Rakennushankkeiden laadun- ja kosteudenhallinta vaihtelevat rakennushankkeissa suuresti. Joskus tehdään kaikki mahdollinen ja välillä ei alkeellisintakaan suojaamista vain toivoen parasta. Rakennustyömaan kosteudenhallinnan tulee aina olla osa työmaan tuotannosuunnittelua.

Usein virhe kosteudenhallinnassa syntyy rakenteen riittämättömästä kuivumisajasta. On erittäin tärkeää, että osan rakenteiden materiaalien pitää ehtiä kuivumaan ennen kuin seuraavaa työvaihetta voidaan aloittaa. Yleisimmät kuivumisesta vaativat rakenteet ovat betonirakenteet, joiden päälle tuleva materiaali vahingoittuu herkästi sen alle kertyneestä kosteudesta. Betonirakenteet sisältävät paljon rakennekosteutta, ja siksi niiden kuivattaminen vaaditussa ajassa voi olla hankalaa. Päälystemateriaalien valmistajat antavat yleensä kriittisen kosteusarvon, jota ennen ei päälylystämistä saa aloittaa. Tämä luku on yleensä suhteellisena kosteuspuhtaisuutena (RH %).

On olemassa paljon teoretietoa betonirakenteiden kuivattamisesta, ja on paljon myös kokeellista mittaustietoa. On kuitenkin vähemmän tietoa siitä, kuinka hyvin edellä mainitut kohtaavat. Työssä tutkitaan, miten betonirakenteiden kuivumisaika-arviot ja aikamallit joiden pohjalta ne ovat laadittu toteutuvat todellisuudessa.

Tutkimus suoritettiin case tutkimuksena. Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaalta valittiin kolme betonirakennetta, joiden kuivumisesta tutkittiin. Valituille kolmelle case kohteelle suunniteltiin kuivatus. Niille laskettiin kuivumisajat käyttäen laskentateoriaa, sekä siihen tarkoitettua valmista laskuria. Case kohteiden kuivuminen ja kuivumisolosuhteet mitattiin.

Tutkimuksen perusteella aikamallit betonirakenteiden kuivattamiseen vastasivat todellisuutta. Case kohteet kuivuivat hieman laskettua nopeammin johtuen keskimääräisesti paremmista kuivumisolosuhteista verrattuna laskennassa käytettyihin tavoiteolosuhteisiin. Laskurilla laskettuna saatiin lähes sama tulos kuin itse laskettuna käyttäen case kohteille sopivaa rakennetyyppeä. Tutkimuksen tulokset ovat vain suuntaa antavia, koska niihin liittyy paljon epävarmuustekijöitä. Siksi niistä vedettävien johtopäätösten tarkempi todistaminen pitää varmistaa lisätutkimuksin.

Kuivumisaika-arvioiden riittävän tarkka laskeminen tarjoaa teoreettisen aputyökalun, jolla kosteudenhallintaa ja mahdollisesti jo tarjousvaihetta pystytään tehostamaan. Tutkimuksessa testatulla laskurilla ne pystytään laatimaan vielä nopeammin verrattuna itse laskemiseen.

ABSTRACT

SAMU LAMMINEN: Testing of concrete structures drying time models

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 83 pages, 20 Appendix pages

May 2015

Master's Degree Program in Civil Engineering

Major: Construction management and economics

Examiner: Licentiate in Technology Olli Teriö, MSc. Pertti Nupponen

Keywords: moisture management, drying of concrete, drying, drainage planning, drying time estimate, humidity measurement

There are many reasons for moisture and mold damages. Because of the health aspects, moisture management, especially during construction projects, has come up in the media for our awareness. Construction sites' quality and humidity management can differ from one other considerably. Sometimes everything possible is done and some other cases, not even the most basic protection just hoping for the best. Construction site's moisture management must always be a part of the construction site's production planning.

Often the error in moisture management is because of the inadequate drying of the structure. It is very important that some structures dry sufficiently before they are coated. The most common structures that require properly drying are concrete structures, which are coated with materials that can easily damage from the moisture that accrues under them. Concrete structures contain a lot of moisture in the structure, and therefore they may be difficult to dry in due time. The coating material manufacturers usually give a critical moisture value, before which no coating should be done. This number is usually announced as relative humidity (%).

There is a lot of theoretical knowledge about drying of concrete structures, and there is also a lot of experimental measurement data. However there is less information how these two encounter. In this thesis we examine how the drying time estimates of concrete structures and time models, which they based on, are realized in reality.

The study was conducted as a case study. We selected three concrete structures from Lemminkäinen's Iimalanrinne 1 construction site and studied their drying. We planned drainage to those three selected cases. We calculated drying times using calculating theory and counter, which is designed for that. We also measured drying conditions of the case targets.

According to this study, time models of concrete structures for drying corresponded to reality. Case objects dried a little faster than calculated due to the better drying conditions compared to target conditions that were used in calculations. Using the counter we got almost the same results as self-calculated if suitable structure type were used in calculations. The results of the survey are only indicative, because they involve a lot of uncertainties. Therefore, we can't draw firm conclusions and the matter requires further study.

A Sufficiently accurate calculation of the drying estimates provides a theoretical auxiliary tool, which improves moisture management and even the offer phase of the construction project. With the counter, which was tested in the study, they can be done more quickly compared to self-calculated calculations.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksen rakennustuotannon ja –talouden yksikköön. Tutkimuksen ohjaajina ja tarkastajina toimivat diplomi-insinööri Pertti Nupponen Lemminkäiseltä ja tekniikan lisensiaatti Olli Teriö Rakennustekniikan laitokselta.

Haluan erityisesti kiittää työni ohjaajia avuista ja neuvoista tämän työn toteuttamiseksi. Haluan kiittää Lemminkäistä yrityksenä siitä, että minulle sallittiin mahdollisuus toteuttaa tämä työ. Haluan kiittää myös työkavereitani arvokkaista neuvoista ja tietämyksestä rakentamisesta.

Helsingissä, 19.5.2015

Samu Lamminen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tavoitteet ja rajaukset	3
1.3	Tutkimuksen suoritus	4
1.4	Tutkimusraportin rakenne	5
2.	BETONIRAKENTEIDEN KUIVATTAMINEN	6
2.1	Rakennustyömaan kosteudenhallinta yleisesti	8
2.1.1	Kosteudenhallintasuunnitelma	10
2.1.2	Kosteudenhallinnan ohjeet työnjohdolle.....	11
2.2	Kuivatuksen suunnitteleminen	12
2.2.1	Kuivattamismenetelmät	16
2.2.2	Avoin järjestelmä	16
2.2.3	Suljettu järjestelmä.....	19
2.2.4	Pikakuivatus	23
2.3	Kuivumisaikojen arvioiminen	23
2.4	Betonin suhteellisen kosteuden mittaus	29
2.4.1	Mittauskohtien valinta.....	29
2.4.2	Mittauksen suoritus	31
2.4.3	Mittaustarkkuus.....	33
2.5	Pintakosteusmittaus	33
3.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN SUORITUS.....	34
3.1	Case esimerkit	34
3.2	Mittausten suoritus	45
4.	AINEISTO	47
4.1	Kuivatuksen mitoitus.....	47
4.2	Kuivumisaika-arvioiden laskeminen.....	50
4.3	Mittaustulokset.....	52
4.3.1	Case 1	53
4.3.2	Case 2.....	57
4.3.3	Case 3.....	60
4.3.4	Betonin suhteellisen kosteuden mittausten tulokset.....	63
5.	TULOKSET	66
6.	POHDINTA	78
6.1	Tulosten tarkastelu	78
6.2	Tutkimuksen tarkastelu	79
6.3	Jatkotutkimusehdotukset	79
	LÄHTEET.....	81

LIITE 1: LEMMINKÄISEN ILMALANRINNE 1 TYÖMAAN KOSTEUDENHAL-
LINTASUUNNITELMA

LIITE 2: SEURANTAMITTAUSPÖYTÄKIRJA BETONIN SUHTEELLISEN KOS-
TEUDEN MITTAUKSISTA

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1. Tutkimuksen päätavoite ja osatavoitteet</i>	4
<i>Kuva 2. Eri rakennetyyppien kuivumissuuntia (RT 14-10675 1998, s. 2).</i>	7
<i>Kuva 3. Kuivattamisen periaate (Merikallio 2002 s. 551)</i>	8
<i>Kuva 4. Paikalla valetun tb-välipohjan kuivumisaikoja eri olosuhteissa (Merikallio 2003, s. 8)</i>	9
<i>Kuva 5. Laskennallisia kuivumisaikoja eri rakenteille (Niemi 2013, s. 7).</i>	10
<i>Kuva 6. Kosteuden jakautuminen välipohjalaatassa (Lahdensivu 2013, s. 23)</i>	13
<i>Kuva 7. Ulkoilman kosteus ja vesimäärä (Tampereen teknillinen yliopisto b, s.3).</i>	15
<i>Kuva 8. Kaukolämpöverkossa oleva lämpöpuhallin (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa 3.2.2015)</i>	17
<i>Kuva 9. Sähköpuhallin (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa 9.2.2015)</i>	18
<i>Kuva 10. Polttoöljylämmitin eli Heatmobil (Lemminkäisen työmaa Ilmalanrinne 1, 4.3.2015)</i>	19
<i>Kuva 11. Kuivaustekniikan valinta kondenssikuivaimen ja adsorptiokuivaimen välillä ilmankosteuden ja lämpötilan mukaan (Gles 2012, s. 4)</i>	20
<i>Kuva 12. Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate (Astq supply house Oy)</i>	21
<i>Kuva 13. Esimerkki adsorptiokuivaimesta (Vuokra-peat Oy)</i>	21
<i>Kuva 14. Kondenssikuivaimen toimintaperiaate (Tampereen teknillinen yliopisto b, s. 7)</i>	22
<i>Kuva 15. Esimerkki kondenssikuivaimesta (Strong Finland Oy)</i>	23
<i>Kuva 16. Kuivumisaika-arvion laskentakaava (Merikallio 2002 a, s. 39)</i>	25
<i>Kuva 17. Pintabetonilaatan peruskuivumiskäyrä (Merikallio 2002 a, s. 56)</i>	25
<i>Kuva 18. Kelluvan pintabetonilaatan kuivumisaika-arvion laskemisessa käytettävät kertoimet (Merikallio 2002 a, s. 56)</i>	26
<i>Kuva 19. Maanvastaisen laatan peruskuivumiskäyrä (Merikallio 2002 a, s. 39)</i>	27
<i>Kuva 20. Maanvastaisen laatan kuivumisaika-arvion laskemisessa käytettävät kertoimet (Merikallio 2002 a, s. 39)</i>	28
<i>Kuva 21. Esimerkki rakenteen kosteusjakaumasta (RT 14-10675 1998)</i>	29
<i>Kuva 22. Mittaussyvyyden määrittäminen ala- tai välipohjatyyppin ja betonilaatan paksuuden mukaan (RT 14-10675 1998, s. 2)</i>	30
<i>Kuva 23. Esimerkki betonilaatan kosteuden mittauspisteiden valinnasta (RT 14-10675 1989, s. 3)</i>	31
<i>Kuva 24. Kosteudenmittauksen mittaussyvyys (RT 14-10675 1998, s. 4)</i>	32
<i>Kuva 25. Kosteudenmittauksen suoritus (RT 14-10675 1998, s. 4)</i>	32
<i>Kuva 26. C-talon, 3. krs:n tasokuva. Case 1 alue on merkitty kuvaan punaisella suorakulmiolla (Ilmalanrinne 1)</i>	37
<i>Kuva 27. Case 1 valun jälkeisenä päivänä (Ilmalanrinne 1, C-talo, 3.krs, eteläpuoli, 3.2.2015)</i>	38
<i>Kuva 28. Välipohjatyyppi 1 (VP1) poikkileikkaus (Ilmalanrinne 1 suunnitelmat)</i>	39

<i>Kuva 29. C-talon 4.krs:en tasokuva. Case 2 alue on merkitty kuvaan punaisella suorakulmiolla (Ilmalanrinne 1).</i>	42
<i>Kuva 30. Case 2 neljä päivää valun jälkeen (Ilmalanrinne 1, C-talo, 4.krs, eteläpuoli).</i>	43
<i>Kuva 31. C-talon 5.krs:en tasokuva. Case 3 alue on merkitty kuvaan punaisella suorakulmiolla (Ilmalanrinne 1).</i>	44
<i>Kuva 32. Case 3 kolme päivää valun jälkeen (Ilmalanrinne 1, C-talo, 5.krs, eteläpuoli).</i>	45
<i>Kuva 33. Valmis taulukkotyökalu kuivatuksen ja lämmityksen suunnitteluun (Tampereen teknillinen yliopisto, a).</i>	48
<i>Kuva 34. Valmis laskuri betonirakenteiden kuivumisajan arviointiin (Merikallio 2002 a).</i>	51
<i>Kuva 35. C-talo, 3.krs, case 1 alueen wc-tiloihin kohdistettu sähköpuhaltimet nopeuttamaan kuivumista (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa).</i>	67
<i>Kuva 36. C-talo, 3.krs, case 1 alue saanut lisäkosteutta (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa).</i>	69
<i>Kuva 37. C-talo, 4.krs, case 2 alue saanut lisäkosteutta (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa).</i>	69
<i>Kuva 38. C-talo, 5.krs, case 3 alue saanut lisäkosteutta (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa).</i>	70
<i>Kuva 39. C-talo, 5.krs, case 3 alueen lämpötilaa nostettu eristämällä alue muoveilla ja sähkölämmittimellä (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa).</i>	74

TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1. Betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvo käyttölämpötilassa (20-22 C) päällystemateriaalin mukaan (Sisäilmayhdistys Ry b).....</i>	<i>36</i>
<i>Taulukko 2. Käytetyn betonin ominaisuudet.....</i>	<i>40</i>
<i>Taulukko 3. Kelluvan pintabetonilaatan kuivumisajan laskeminen (Merikallio 2002 a, s. 56).....</i>	<i>52</i>
<i>Taulukko 4. Maanvastaisen laatan kuivumisajan laskeminen (Merikallio 2002 a, s. 39).....</i>	<i>52</i>
<i>Taulukko 5. Case 1 kohteen mittaustulokset.....</i>	<i>53</i>
<i>Taulukko 6. Case 2 kohteen mittaustulokset.....</i>	<i>57</i>
<i>Taulukko 7. Case 3 kohteen mittaustulokset.....</i>	<i>60</i>
<i>Taulukko 8. Ensimmäiset case kohteiden betonin suhteellisen kosteuden mittaustulokset (Liite 2).....</i>	<i>63</i>
<i>Taulukko 9. Toiset case kohteiden betonin suhteellisen kosteuden mittaustulokset (Liite 2).....</i>	<i>64</i>
<i>Taulukko 10. Kolmannet case kohteiden betonin suhteellisen kosteuden mittaustulokset (Liite 2).....</i>	<i>64</i>
<i>Taulukko 11. Kastumisajan vaikutus laskennassa kuivumisaikaan muiden lähtöarvojen pysyessä vakiona.....</i>	<i>71</i>
<i>Taulukko 12. Case kohteiden sisäilman lämpötilojen keskiarvot.....</i>	<i>73</i>
<i>Taulukko 13. Case kohteiden sisäilman kosteuksien keskiarvot.....</i>	<i>75</i>

KAAVIOLUETTELO

<i>Kaavio 1. Mitatut ulkolämpötilat.</i>	<i>54</i>
<i>Kaavio 2. Mitatut ulkoilmankosteudet.</i>	<i>54</i>
<i>Kaavio 3. Mitatut case 1 kohteen betonin pintakosteudet.....</i>	<i>55</i>
<i>Kaavio 4. Mitatut case 1 kohteen betonin lämpötilat.</i>	<i>55</i>
<i>Kaavio 5. Mitatut case 1 kohteen sisäilman kosteudet.</i>	<i>56</i>
<i>Kaavio 6. Mitatut case 1 kohteen sisäilman lämpötilat.</i>	<i>56</i>
<i>Kaavio 7. Mitatut case 2 kohteen betonin pintakosteudet.....</i>	<i>58</i>
<i>Kaavio 8. Mitatut case 2 kohteen betonin lämpötilat.</i>	<i>58</i>
<i>Kaavio 9. Mitatut case 2 kohteen sisäilman kosteudet.</i>	<i>59</i>
<i>Kaavio 10. Mitatut case 2 kohteen sisäilman lämpötilat.</i>	<i>59</i>
<i>Kaavio 11. Mitatut case 3 kohteen betonin pintakosteudet.....</i>	<i>61</i>
<i>Kaavio 12. Mitatut case 3 kohteen betonin lämpötilat.</i>	<i>61</i>
<i>Kaavio 13. Mitatut case 3 kohteen sisäilman kosteudet.</i>	<i>62</i>
<i>Kaavio 14. Mitatut case 3 kohteen sisäilman lämpötilat.</i>	<i>62</i>
<i>Kaavio 15. Mitatut betonin suhteelliset kosteudet.</i>	<i>65</i>

Termit ja määritelmät

Absoluuttinen kosteus	Ilmaisee montako grammaa vesihöyryä sisältyy kuutiometriin ilmaa (Ilmatieteen laitos a).
Diffuusio	Diffuusiassa aineet (molekyylit) pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan tasoittaen mahdollisesti esiintyneet pitoisuuserot. Energiansa diffuusio saa molekyyliden lämpöliikkeestä (Solunetti 2006)
Kastepiste	Kastepiste tai tarkemmin kastepistelämpötila on se ilman lämpötila, jossa ilman sisältämän vesihöyryn tiivistyminen alkaa. Tähän lämpötilaan ilman lämpötilan tulee siis laskea, jotta tiivistyminen käynnistyy. (Ilmatieteen laitos b)
Suhteellinen kosteus	Prosenttiluku, joka ilmaisee, kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä siihen nähden, mitä kyseisessä lämpötilassa voi enimmillään olla vesihöyryä (Ilmatieteen laitos a).

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Kosteudenhallinnan ongelmat ovat olleet paljon esillä viime aikoina, ja ne jakavat paljon mielipiteitä nykyaikaisen rakentamisen ja kiinteistönpidon laadun kehityksestä. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat ovat rakentamisen ja kiinteistönpidon suurimpia laatuongelmia. Kyseiset ongelmat ovat erityisen vakavia, koska ne eivät ole vain teknisiä sekä lisäkustannuksia aiheuttavia, vaan niistä voi olla myös vakavia haittoja ihmisten terveydelle. (RIL 250-2011, s. 3)

Kosteudenhallinta on tärkeä osa rakennusten kosteusteknistä toimivuutta. Ihmiset viettävät lähes koko elämänsä rakennetussa ympäristössä, ja suurimman osan ajastaan he oleskelevat rakennusten sisällä. Suomen asuntokannasta noin puolessa on kosteusvaurioita, mikä selviää työterveyslaitoksen tilastoista (Laakkonen 1996). Määrä on suuri ja huolestuttava. Jokaisella on oikeus asua, ja toimia rakennuksissa, joissa ei esiinny terveydelle vaarallisia kosteusvaurioita. Varsinkin julkisen sektorin omistamissa kouluissa esiintyy laajasti home- ja kosteusvaurioita. Vaurioiden aiheuttamien ongelmien hoitaminen vie paljon rahaa, ja siksi onkin järkevämpää kohdistaa varoja rakennuskannan laadun ja kosteuden sietokyvyn parantamiseen. (Seppälä 2013, s. 3)

Terveydellisten seikkojen siivittämänä ovat erityisesti rakentamisen aikaisen kosteudenhallinnan puutteet nousseet esille mediassa, ja näin kaikkien tietoisuuteen. Rakennushankkeiden laadun- ja kosteudenhallinta vaihtelevat rakennushankkeissa suuresti. Joskus tehdään kaikki mahdollinen ja välillä ei alkeellisintakaan suojaamista vain toivoen parasta. Rakennustyömaan kosteudenhallinnan tulee aina olla osa työmaan tuotannon suunnittelua. (Niemi 2013, s. 7)

Tämä tutkimus lähtee liikkeelle Lemminkäinen Talo Oy:n halusta kehittää yrityksen kosteudenhallintaa. Kosteudenhallinta on yksi tärkeä tekijä, mikä vaikuttaa rakentamisen laatuun. Parantamalla rakentamisen laatua saadaan tuotettua enemmän lisäarvoa asiakkaille, mikä parantaa Lemminkäisen liiketoimintaa pitkällä tähtäimellä. Rakennus-alalla pitääkin enemmän siirtyä hintakilpailusta kilpailemaan rakentamisen laadulla. Kosteudenhallinnalla tarkoitetaan sitä, että luodaan kaikin puolin sellaiset olosuhteet ja mahdollisuudet, että rakenteet pääsevät kuivumaan.

Kosteudenhallinnan ongelmat esiintyvät koko rakentamisen ketjussa:

- Rakennuttajat tekevät business-vetoisia liian kireitä aikatauluja, joissa suunnittelun ohjaus saattaa olla puutteellista.

- Tietynlaiset urakkamallit jotka suosivat halvempia ratkaisuja.
- Suunnittelijat eivät välttämättä mieti suunnitteluvaiheessa riittävän tarkasti työmaan aikaista kosteudenhallintaa, vaan he valitsevat pitkään auki olevia rakenneratkaisuja kuten korkeita aulatiloja.
- Materiaalitoimittajat keskittyvät välillä liikaa omaan tuotteeseensa, eivätkä mieti mitä ympärillä tapahtuu.
- Kuljetusliikkeiden kuormien suojaamisessa on välillä puutteita.
- Aliurakoitsijat saattavat keskittyä noudattamaan urakkarajoja liian tarkasti, eikä välitetä mitä viereinen urakoitsija tekee.

Tässä tutkimuksessa keskityn enimmäkseen rakennusliikkeen toimintaan ja sen kosteudenhallinnan kehittämiseen, mutta toivon tutkimukseni havainnoivan kosteudenhallintaa ja sen tärkeyttä myös muille osapuolille rakentamisen ketjussa.

Kosteus- ja homevaurioille on monia eri syitä, tai ne voivat johtua monen eri tekijän summasta. Ongelma johtuu aina virheestä/virheistä rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa. Virheitä aiheuttavat monet eri seikat, kuten yleensä esimerkiksi asenne, ymmärtämättömyys ja tiedonpuute. (Seppälä 2013, s. 4) Usein virhe syntyy rakenteen riittämättömästä kuivumisajasta, mikä aiheutuu edellä mainituista. Aiheuttajana voi myös olla kiireellinen aikataulu. Kiireaikataulu hankaloittaa hyvän kosteudenhallinnan toteutumista. Rakentamisaikatauluissa tulee tällöin miettiä ”kosteustekninen kriittinen polku” sekä millä keinoin työmaalla mahdollistetaan lopputuotteen kannalta riittävä kosteudenhallinta.

On erittäin tärkeää, että osan rakenteiden materiaalien pitää ehtiä kuivumaan ennen kuin seuraavaa työvaihetta voidaan aloittaa. Nämä materiaalit sisältävät rakennekosteutta. Näitä rakenteita ovat yleisimmin betoniseinät ja -lattiat, joiden päälle tuleva materiaali vahingoittuu herkästi sen alle kertyneestä kosteudesta. Päälystemateriaalien valmistajat antavat yleensä kriittisen kosteusarvon, jota ennen ei päällystämistä saa aloittaa. Tämä luku on yleensä suhteellisenä kosteuspitoisuutena (RH %). (Merikallio 2002 a)

Esimerkkejä betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvoista käyttölämpötilassa (20-22 C) päällystemateriaalin mukaan:

- mosaiikkiparketti 80 - 85 %
- erilaiset muovimatot 85 %
- epoksimassa 85 - 97 %
- märkätilojen vedeneristeet 90 %. (Sisäilmäyhdistys Ry b)

Kuivumisaikojen laiminlyönti aiheuttaa melkein poikkeuksetta kosteusvaurioita. Poikkeaminen kuivumisajoista johtuu suurimmaksi osaksi kiireestä, mutta myös välinpitämättömyys, ammattitaidoton ja tietämätön työvoima on syyllisenä. (RIL 250 2011)

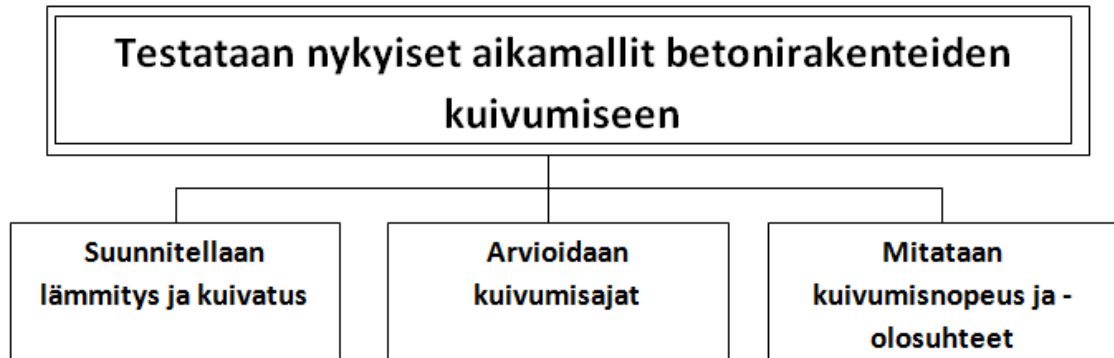
Kuivumisaikojen laiminlyöntiin vaikuttaa oleellisesti myös puutteet työmaan olosuhteiden hallinnassa. Betonin kuivumisen kannalta on tärkeää betonin riittävä suojaus mahdolliselta lisäkosteudelta, ja että lämpötila sekä ilmankosteus ovat otollisia kuivumiselle. Betonin altistuessa lisäkosteudelle kuivumisaika luonnollisesti pitenee. Jos lämpötila ei ole riittävä tai ilmankosteus suurempi kuin alun perin laskettu, niin betoni ei tule kuivumaan lasketussa ajassa. Työmaalla näkee paljon puutteita olosuhteiden hallinnassa, ja tuntuu, että asiaan ei panosteta työnjohtotasolla riittävästi. Työnjohtajat joutuvat monesti priorisoimaan tehtäviään, sillä työmäärät ovat muuten liian suuret. Kosteudenhallinta ja erityisesti rakenteiden kuivattaminen, johon liittyy oleellisesti olosuhteiden hallinta, ovat asioita, joista ei pidä tinkiä. Asioiden tärkeyttä on korostettava. Pitää siis testata nykyiset aikamallit rakenteiden kuivumiseen, jolloin saadaan poistettua kosteudenhallinnan ongelmien syitä. Lisätiedolla betonirakenteiden kuivumisesta pystytään tehostamaan kosteudenhallintaa ja korostamaan sen tärkeyttä työnjohtotasolla, jolloin se on helpompi asettaa prioriteettilistan yläpäähän. Kosteudenhallinta on ehdottomasti asia, jota pitää kehittää. Kosteudenhallinnan laiminlyönti aiheuttaa aina ongelmia tulevaisuudessa.

Rakennusvalvonnat ovat tiukentaneet määräyksiään kosteudenhallinnasta ja ne ovat kiristymässä entisestään. Määräykset ovat hyviä varmistamaan kosteudenhallinnan toteutumista, mutta niissä on paljon eroja paikkakunnittain sekä niiden oleellisuutta kyseenalaistetaan. Meillä on paljon teoriatietoa betonirakenteiden kuivattamisesta, ja meillä on paljon myös kokeellista mittaustietoa. Meillä on kuitenkin vähemmän tietoa siitä, kuinka hyvin edellä mainitut kohtaavat. Tämä tarkoittaa, että pitää enemmän tutkia betonirakenteiden kuivumis- ja kuivattamissuunnitelmia, ja sitä miten kuivumisaika-arviot kohtaavat todellisuuden kanssa. Samalla saadaan myös tietoa kuivumisaika-arvioiden eroamiseen todellisuudesta vaikuttavista tekijöistä, ja että miten olosuhteiden hallinta toteutuu työmaalla. Saadun datan avulla pystytään testaamaan nykyisten kuivumis- ja kuivattamisaikamallien toteutuminen todellisuudessa. Lisätiedolla betonirakenteiden kuivattamisesta pystytään laatimaan tarkempia kuivumisaika-arvioita sekä noudattamaan ohjeita rakenteiden kuivattamiseen tarkemmin. Näin kehitetään automaattisesti kosteudenhallintaa. Lisätiedon avulla pystytään tekemään parempia kosteudenhallintasuunnitelmia, ja näin saadaan kosteudenhallintaan käytettävät rahat optimoitua ja kosteudenhallintaa tehostettua. Lisäksi kosteudenhallinnan kehittäminen parantaa rakentamisen laatua, ja sillä ehkäistään ongelmia tulevaisuudessa.

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Diplomityöni päätavoitteena on testata nykyiset aikamallit betonirakenteiden kuivumiseen. Osatavoitteina ovat valituille case esimerkeille kuivatuksen suunnitteleminen, kuivumisaikojen arviointi ja kuivumisnopeuksien ja -olosuhteiden mittaaminen. Päätavoite ja osatavoitteet on esitetty kuvassa 1. Lisätiedot aikamalleista betonirakenteiden kuivumiseen parantavat kosteudenhallinnan ydintoimintoa. Lisätiedot helpottavat kos-

teudenhallintasuunnitelman tekemistä ja parantavat sen tarkkuutta. Ne priorisoivat kosteudenhallintaa, ja tehostavat siihen käytettyä aikaa. Ne myös parantavat työnjohdon tekemää olosuhteiden hallintaa, mikä on avain asemassa kosteudenhallinnassa. Lisätietojen avulla pystytään korostamaan oikeiden olosuhteiden tärkeyttä, mitkä työnjohdon on järjestettävä kohteelle, jotta saadaan haluttu kuivumisnopeus.



Kuva 1. Tutkimuksen päätavoite ja osatavoitteet.

Tutkimus käsittelee toimitilarakentamista sen monimuotoisuuden vuoksi. Toimitilakohteet ovat monimuotoisempia rutiininomaisempaan asuntotuotantoon verrattuna, ja näin myös kosteudenhallinnan ongelmat monimuotoistuvat. Vaikka kosteudenhallintaa voidaan pitää jopa vielä tärkeämpänä asuntotuotannossa, avautuu toimitilarakentamisessa aivan uusia ulottuvuuksia kosteudenhallinnassa ja sen ongelmissa. Tutkimuksen suorittaja työskentelee Lemminkäisen toimitilakohteella Ilmalanrinne 1, josta case esimerkit ovat otettu. Tutkimus rajataan tavallisiin rakennebetoneihin, koska ne sisältävät paljon vettä, minkä vuoksi näiden rakenteiden kuivumisaikataulu on suhteellisen pitkä verrattuna nykyisiin rakentamisaikatauluihin. Esimerkiksi betonisandwichelementistä voi poistua valun jälkeen vielä noin 80kg kosteutta betonikuutiota kohden (Pentti, Hyyppöläinen 1999, s. 24). Lisäksi betoni on eniten käytetty rakennusmateriaali. Näistä syistä tarkastelukohteeksi valittaessa betonirakenteet, saadaan tutkimuksella tuotettua eniten lisäarvoa.

1.3 Tutkimuksen suoritus

Tutkimuksessa hyödynnetään alan kirjallisuutta ja jo tehtyjä tutkimuksia aiheesta. Lisäksi hyödynnetään Lemminkäisen henkilöstön ammattitaitoa ja tietämystä kosteudenhallinnasta ja betonin kuivumisesta sekä kuivattamisesta. Tutkimus suoritetaan case tutkimuksena, ja siihen valitaan kolme case esimerkkiä Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaalta. Case esimerkeille suunnitellaan kuivatus, jonka jälkeen arvioidaan niiden kuivumisajat. Esimerkkien todelliset kuivumisnopeudet ja olosuhteet mitataan, jolloin nähdään miten ne kohtaavat arvioitujen kuivumisaikojen kanssa. Myös olosuhteista pidetään kirjaa, jolloin saadaan tietoa kuivumisaikoihin vaikuttavista tekijöistä. Näin saa-

daan kvantitatiivisin menetelmin testattua nykyisiä aikamalleja betonirakenteiden kuivattamiseen.

Kuivatuksen suunnittelussa sekä kuivumisaikojen arvioinneissa käytetään kirjallisuusselvityksen lisäksi apuna valmiita Excel taulukoita. Tarkemmat kosteusmittaukset suoritetaan riittävällä syklillä. Pintakosteusmittaukset ja olosuhdemittaukset kohteille suoritetaan vähintään kolme kertaa viikossa. Betonin pintakosteuden lisäksi mitataan aina sisäilman kosteus, sisäilman lämpötila ja betonin lämpötila. Samalla kirjataan ulkoilman kosteus ja ulkoilman lämpötila säätiedoista. Saaduista mittaustuloksista täytetään aina mittauspöytäkirja mittauspäivittäin. Mittauspöytäkirjaan kirjataan myös huomiot ja muutokset olosuhteissa. Mittauspöytäkirjoista tulokset kirjataan mittauspäiväkirjaan.

1.4 Tutkimusraportin rakenne

Tutkimus koostuu johdannosta, kirjallisuusselvityksestä, kuivatuksen suunnittelusta esimerkeille, esimerkkien kuivumisaikojen laskemisesta, esimerkkien kuivumisaikojen ja -olosuhteiden mittaamisesta, tutkimuksen tuloksista ja pohdinnasta. Työnsuorittaja analysoi tutkimusaineiston työnvalvojen valvonnan alla.

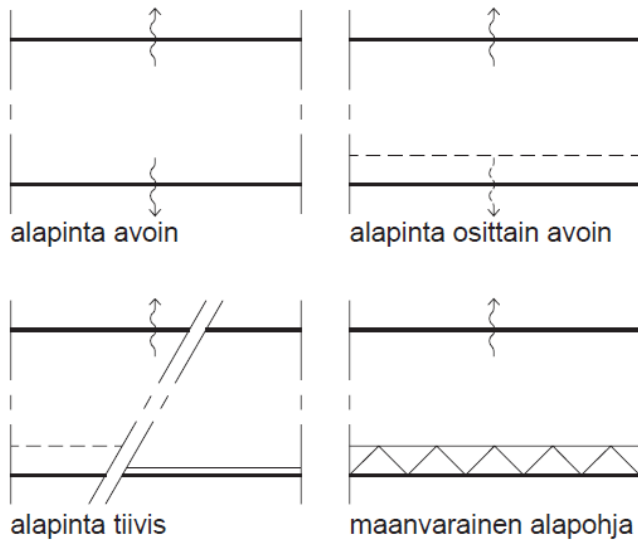
2. BETONIRAKENTEIDEN KUIVATTAMINEN

Betonin kuivuminen tarkoittaa sitä, että rakenteissa oleva vapaa huokosvesi poistuu. Sementti tarvitsee vettä kovettuakseen, mutta sementin kemiallisesti sitoma vesimäärä on vain noin 25 % sementin painosta. Betonin työstettävyyden takia betoniin tarvitaan kuitenkin vettä enemmän, 40 - 80 % sementin painosta. Tämä ylimääräinen vesi eli rakennekosteus jää vapaaksi vedeksi betonin huokosiin, ja sen on kuivuttava riittävästi ennen betonin päällystämistä. (Lahdensivu 2013, s.21)

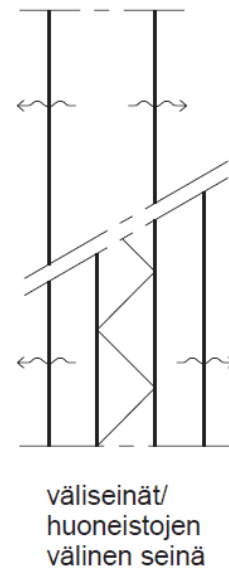
Rakenteiden kuivuminen tapahtuu eri kosteudensiirtoilmiöiden vaikutuksesta. Painovoiman ansiosta osa materiaalin ylimääräisestä vedestä valuu pois. Materiaalin suhteellisen kosteuden ollessa yli 98RH, niin kosteus siirtyy kapillaarisesti rakenteen pinnoille, jolloin ilmavirtaukset saavat sen kuivumaan. Jos materiaalin suhteellinen kosteus on pienempi kuin 98RH, niin kosteus poistuu materiaalien sisältä diffuusiolla ja ilmavirtausten mukana. (Sisäilmayhdistys Ry a)

Kuivuminen alkaa itsestään olosuhteiden ollessa oikeita, koska rakenteiden kosteuspi-toisuudet pyrkivät tasapainoon ympäröivän ilmankosteuden kanssa, mutta ilman erityistä tehostamista se saattaa olla hidasta. Kuivumiseen ja sen nopeuteen vaikuttavat oleellisesti lämpötila, ilmankosteus ja materiaalin pysyminen kuivana. (Sisäilmayhdistys Ry a) Kuivumisnopeuteen vaikuttaa myös kuivumissuuntien määrä. Jos rakenne pääsee kuivumaan yhden sijasta kahteen suuntaan, on kuivuminen luonnollisesti nopeampaa. Eri rakennetyyppien kuivumissuuntia on esitetty kuvassa 2 (RT 14-10675 1998, s. 2). Myös tuuletus on tärkeää, että ilmankosteus ei pääse kasvamaan liian suureksi haihtuvan vesihöyryn vuoksi. Lisäksi tehostuneet ilmavirtaukset poistavat tehokkaammin kosteutta materiaalien pinnoilta, jolloin kuivuminen on nopeampaa. Yleensä normaali kuivuminen ei tapahdu riittävän nopeasti ilman erillisiä toimenpiteitä.

Kuivumissuunta
laatat

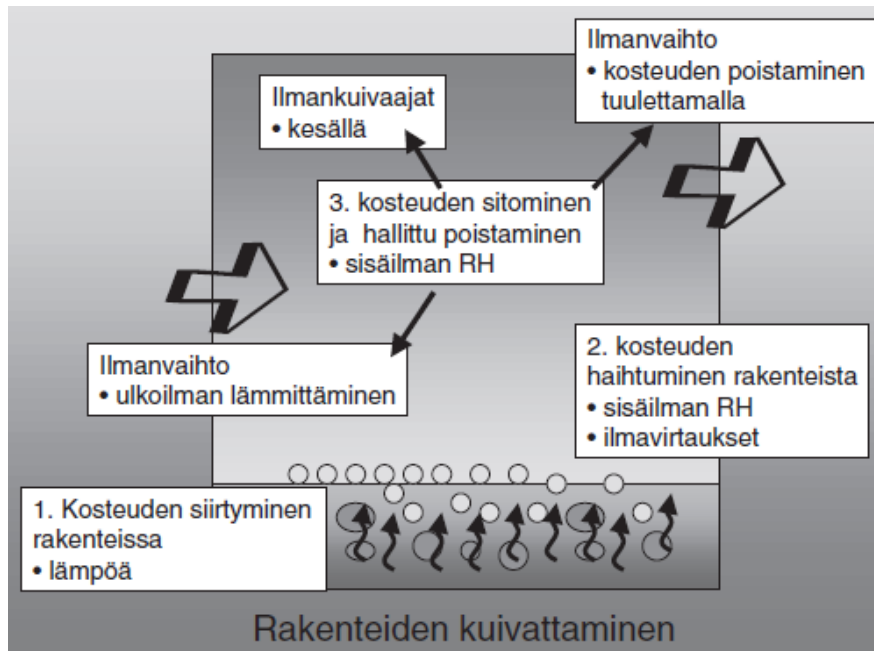


seinät



Kuva 2. Eri rakennetyyppien kuivumissuuntia (RT 14-10675 1998, s. 2).

Kuivumisolosuhteiden parantamisella tarkoitetaan rakenteiden kuivattamista. Sen tarkoituksena on rakenteen ja rakennetta ympäröivän ilman lämmittäminen, rakennetta ympäröivän ilmankosteuden alentaminen eri menetelmin tai ilmavirtausten lisääminen, jotta rakenne pystyy luovuttamaan haihtuvaa vesihöyryä nopeammin. Samalla tietysti varmistetaan, ettei rakenteeseen pääse lisää vettä suojaamalla rakenteet. (Sisäilmayhdistys Ry a) Kuivattamisen periaate on esitetty kuvassa 3 (Merikallio 2002 s. 551).



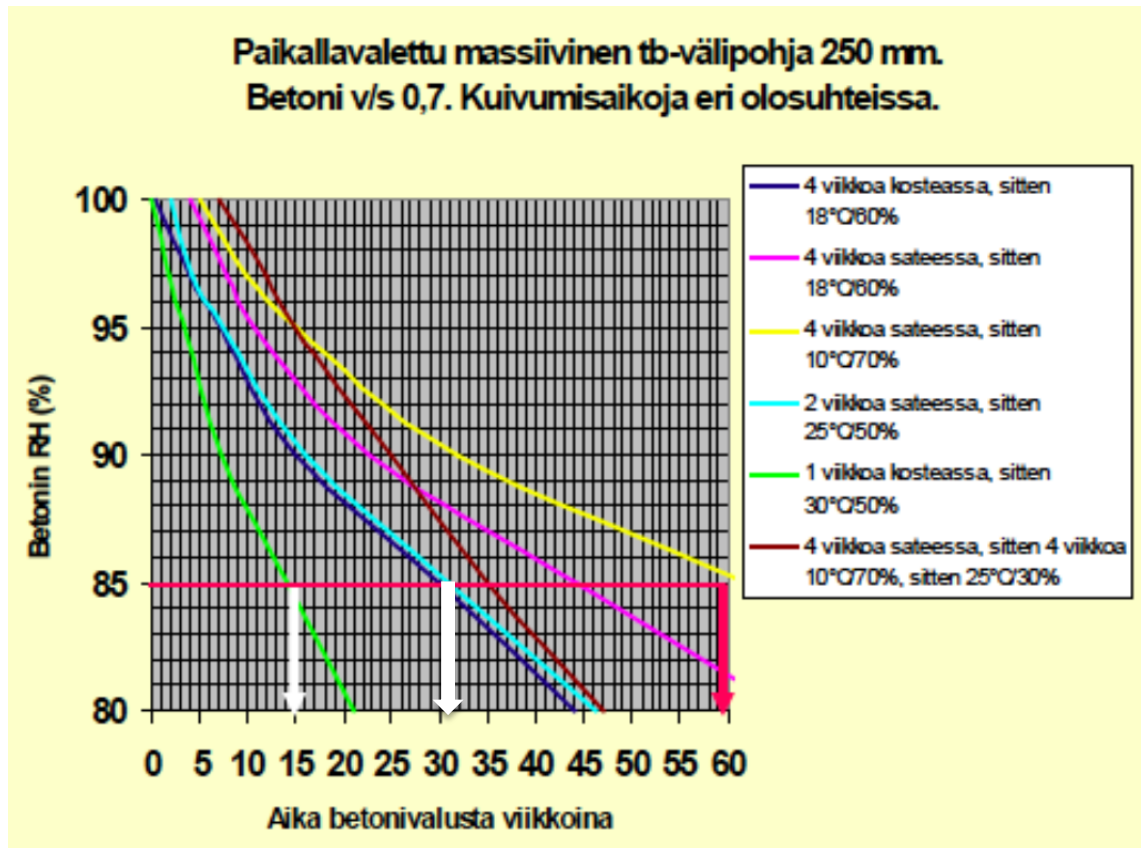
Kuva 3. Kuivattamisen periaate (Merikallio 2002 s. 551).

Vaikka betonirakenteiden kuivumista nopeutetaan kuivumisolosuhteita parantamalla, on alussa muistettava myös niiden jälkihoito. Jälkihoidossa kuivumista puolestaan hidastetaan betonin pinnalle laitettavalla muovilla tai jälkihoitoaineella. Kuivumista on alkuun myös hidastettava, koska muuten juuri valettu betoni kuivuu halutuissa kuivumisolosuhteissa liian nopeasti, jolloin syntyy betonin pinnalle plastista halkeilua tai rakenteeseen kutistumahalkeilua. Riittävä lämpötila valun jälkeen on tärkeää betonin lujuuden kehityksen kannalta.

2.1 Rakennustyömaan kosteudenhallinta yleisesti

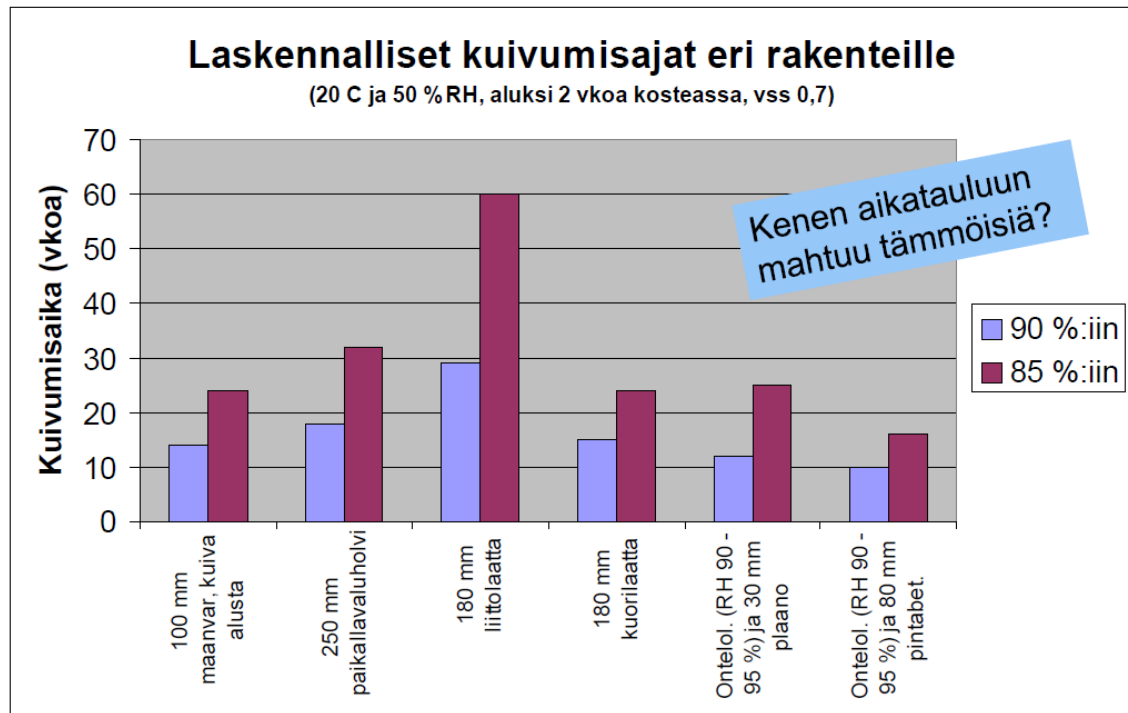
Rakennustyömaan kosteudenhallinnan tavoitteena on ennaltaehkäistä kosteusvaurioiden synty, varmistaa että rakenteet kuivuvat tavoitekosteustilaansa aikataulussa sekä pienentää rakennuksen kuivatustarvetta ja materiaalihukkaa. Hyvällä kosteudenhallinnan suunnittelulla ja toteutuksella saadaan suoria säästöjä rakennuskustannuksiin esimerkiksi lämmitysenergian vähenemisenä. (Teriö 2003, s. 9)

Kastuminen ja kuivumisolosuhteet vaikuttavat betonin kuivumisnopeuteen huomattavasti. Esimerkiksi kuvasta 4 nähdään, että tavoitekosteuden ollessa 85 RH, kahden viikon lisäkastumisella ja lämpötilan pienentymisellä viisi celsiusasta, kuivumisaika kasvaa noin 16 viikkoa. (Merikallio 2003, s.8)



Kuva 4. Paikalla valetun tb-välipohjan kuivumisaikoja eri olosuhteissa (Merikallio 2003, s. 8).

Kuvasta 5 nähdään laskennallisia kuivumisaikoja eri rakenteille (Niemi 2013, s. 7). Ki-reissä yleisaikatauluissa ei yleensä ole ylimääräistä kastumisesta aiheutuvaa lisäaikaa betonin kuivumiselle, ja siksi rakenteiden suojaus on erittäin tärkeässä roolissa lämpötilan ja ilmankosteuden kanssa rakenteiden kuivumiselle.



Kuva 5. Laskennallisia kuivumisaikoja eri rakenteille (Niemi 2013, s. 7).

Betoniin jäänyt rakennekosteus voi kertyä pinnoitteen alle. Jos pinnoitteen alle jäänyt kosteus on suurempi, kuin mitä sen pinnoitteen kiinnitys kestää, alkaa pinnoite luonnollisesti irrota. Siksi rakenteiden riittävä kuivuminen on yksi kosteudenhallinnan tärkeimmistä tekijöistä. Myös muut kosteuden aiheuttamat muodonmuutokset vähentyvät rakenteiden paremman kuivumisen vuoksi. Lisäksi hyvä kosteudenhallinta parantaa työskentelyolosuhteita kaikissa sääolosuhteissa, mikä nopeuttaa työn etenemistä ja parantaa laatua. Hyvin hoidetulla kosteudenhallinnalla myös rakentamisen ja yrityksen imago paranevat, koska rakennusvirheet ja takuu-aikaiset korjaukset vähenevät. (Teriö 2003, s. 9.)

2.1.1 Kosteudenhallintasuunnitelma

Hyvän kosteudenhallinnan suunnittelun ja toteutumisen varmistamiseksi pitää kohteelle tehdä kosteudenhallintasuunnitelma. Jokaiselle työmaalle pitää tehdä oma kosteudenhallintasuunnitelma, sillä työmaat ja niiden olosuhteet voivat erota paljon toisistaan. Yrityksillä on yleensä valmiita pohjia kosteudenhallintasuunnitelman laadintaan, joita voidaan sovelletusti hyödyntää eri työmaille (katso Liite 1). Kosteudenhallintasuunnitelman toteutumista seurataan työmaan palavereissa ja vastuuhenkilöt kuittaavat kosteudenhallinnan toimenpiteet suoritetuiksi niiden toteutumisen mukaan. Kosteudenhallintasuunnitelman tulee käsitellä:

- kosteusriskien kartoittamisen

- rakenteiden kuivumisaika-arviot
- työmaolosuhteiden hallinnan suunnittelun
- kosteusmittaus suunnitelman
- organisoinnin, seurannan ja valvonnan järjestämisen

Kosteudenhallintasuunnitelman tulee huomioida:

- kosteusteknisten riskien kartoitus
- märkätilat
- päällyste- ja pinnoitemateriaalien kosteusraja-arvot
- aikataulusuunnittelu
- LVIS-sopimukset
- materiaalivalinnat
- materiaalien suojaus
- runkorakenteiden suojaus
- työnaikaisten vesivahinkojen torjunta
- rakennuksen kuivatus
- LVI-laitteet
- kosteusvalvonnan organisointi
- kosteusmittaukset
- kosteudenhallinnan dokumentointi
- rakennuksen käyttöohjeet (Sisäilmayhdistys Ry).

Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaan kosteudenhallintasuunnitelma on esitetty liitteessä 1.

2.1.2 Kosteudenhallinnan ohjeet työnjohdolle

- Kosteudenhallintasuunnitelma
 - tutustu suunnitelmiin
 - listaa mahdolliset riskirakenteet ja ongelmakohdat
 - työmaalogistiikan järjestäminen ja varastointialueet (aluesuunnitelma)
 - toimitusten oikea-aikaisuus
 - kosteusmittausten oikea-aikaisuus
 - dokumentointi mittauksista ja laadunvarmistus kokeista
- Kuivumisajat ja Aikataulu
 - estä lisäkosteuden pääsy kuivatettavaan tilaan
 - lämmitysjärjestelmän saaminen toimintakuntoon mahdollisimman varhaisessa vaiheessa

- selvittää pinnoitteiden vaatimat alusrakenteiden enimmäiskosteuspitoisuudet
 - varataan laadunvarmistuskokeille riittävästi aikaa ja tarvittaville korjauksille.
 - huolehditaan riittävästä hallitusta tuuletuksesta
 - varataan lämmittimiä riittävästi
 - riskialttiista ja vaikeasti toteuttavista rakenteista tehtäväsuunnitelman luominen.
- Valvo, vaadi ja reagoi poikkeamiin
 - materiaalit suojattu asianmukaisesti kuljetuksen aikana ja työmaalueella
 - järjestä hyvät kuivumisolosuhteet rakennustyömaalle
 - ehkäise kohteen kastuminen (esim. ikkunoiden asennus)
 - puutu virheisiin heti. (Riihijärvi 2014, s 33)

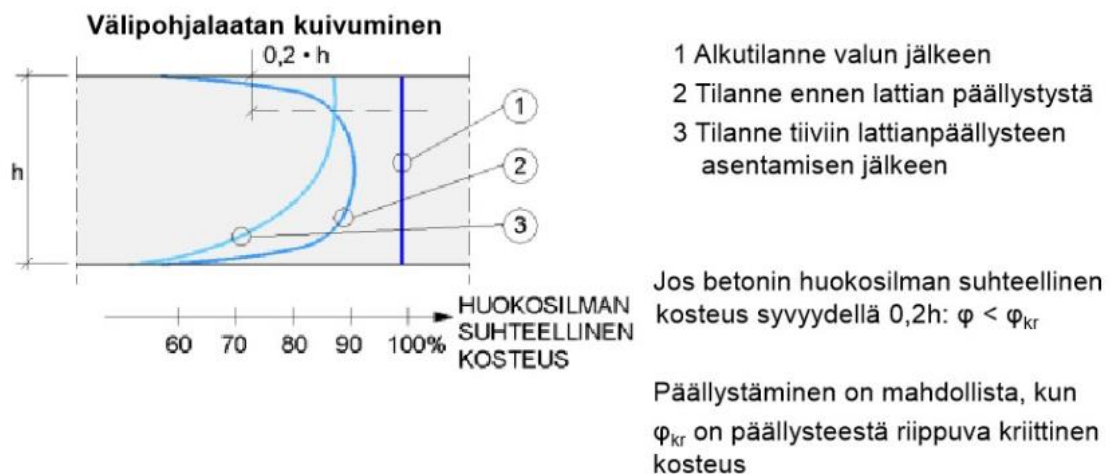
2.2 Kuivatuksen suunnitteleminen

Kuivatuksen suunnittelun ja hallinnan suurimpia haasteita ovat muuttuvat olosuhteet. Rakenteet on suojattava, jotta rakenne ei pääse kastumaan, ja että saadaan pidettyä olosuhteet halutulla tasolla riittävän kuivumisnopeuden varmistamiseksi. Olosuhteista poikkeaminen muuttaa aina laskettua kuivumisaikaa. Tämä aiheuttaa omat haasteensa varsinkin Suomen muuttuvassa säässä. Suomessa talvella voi olla yli -20 C pakkasta ja seuraavana päivänä +2 C plussaa. Säässä on siis suuret vaihtelut, mutta olosuhteet kuivattavalle rakenteelle tulee pitää koko ajan suunnitelmien mukaisina, jotta varmistetaan rakenteiden riittävä kuivuminen tietyssä ajassa, ja myös sen toteuttaminen kustannustehokkaasti. Lisäksi kuivatus aloitetaan yleensä rakennuksen vaipan ollessa vielä auki, jolloin joudutaan käyttämään suojaseiniä vuotoilman pitämiseksi sallitulla tasolla, ettei lämpöenergiaa kulu turhaan. Myös tämä aiheuttaa omia haasteita olosuhteiden hallintaan.

Kuivatuksen suunnittelun tavoitteena on varmistaa rakenteelle riittävä kuivuminen ennen rakennuksen sisävalmistusvaihetta, että rakenteiden pinnoittaminen pystytään aloittamaan yleisaikataulun mukaan. Sillä siis pyritään nopeuttamaan kuivumista, ja näin aikaistamaan erilaisten kosteudelle alttiiden sisävalmistusvaiheiden aloittamista. Yleisaikataulut ovat kireitä, ja kuivuminen hidasta, joten sitä on yleensä aina nopeutettava. Toisena tärkeänä lähtökohtana lämmityksen ja kuivatuksen suunnittelulle on kustannustehokkuus. Se pyritään toteuttamaan mahdollisimman kustannustehokkaasti, jotta ei käytetä rahaa turhaan. Kuivatuksen suunnittelu toteutetaan tekemällä kuivattamissuunnitelmat ja kuivumisaika-arviot kuivatettaville rakenteille. (Kone-Ratu 1996, s. 1)

Kuivatuksen suunnittelu otetaan huomioon jo työjärjestystä suunniteltaessa. Työjärjestys tulee suunnitella niin, että rakennuksen vesikatto saadaan mahdollisimman nopeasti vedenpitäväksi, jotta rakenteiden suojaaminen helpottuu. Rakennuksen vaippa tulee myös ummistaa mahdollisimman nopeasti, jotta lisäkosteutta ei pääse rakennukseen auki olevista rakenteista. Rakennuksen julkisivuratkaisu luo tähän omat haasteensa, ja siksi välillä joudutaan käyttämään suojaseiniä pitkään auki olevien rakenteiden vuoksi. On myös tärkeää, että lämmitysjärjestelmä saadaan mahdollisimman nopeasti toimintakuntoon, jotta rakenteiden kuivatus alkaa heti kun mahdollista. Näin saadaan varmistettua mahdollisimman paljon aikaa kuivumiselle. On kiinnitettävä erityishuomiota alueisiin, joiden pinnoitustyöt alkavat ensimmäiseksi, koska niiden kuivumisaika on yleensä lyhin.

Rakenteiden lämmitys ja kuivatus on suunniteltava niin, että rakenteet pääsevät kuivumaan ennen seuraavaa työvaihetta. Kosteita rakenteita ei saa ruveta pinnoittamaan, sillä se aiheuttaa melkein poikkeuksetta kosteusvaurioita. Kuvassa 6 on esitetty kosteuden jakautuminen välipohjalaatassa valun jälkeen, ennen lattian pinnoitusta ja tiiviin lattianpäällysteen asentamisen jälkeen (Lahdensivu 2013 s. 23). Pinnoitus- ja päällystemateriaalien valmistajat määräävät niiden vaatimat raja-arvot kuivumiselle, jotka ilmoitetaan yleensä suhteellisena kosteutena (RH). Kuivumiselle vaaditusta raja-arvosta, yleisaikataulussa varatusta ajasta ennen pinnoittamista ja kustannustehokkuudesta saadaan lähtökohdat kuivatuksen suunnittelulle. Suunniteltuja kuivatusolosuhteita on myös tarkkailtava, sillä poikkeaminen niistä muuttaa laskettuja kuivumisaikoja. Tämä korostaa olosuhteiden hallinnan tärkeyttä kuivatuksen toteuttamisessa.



Kuva 6. Kosteuden jakautuminen välipohjalaatassa (Lahdensivu 2013, s. 23).

Kuivatuksen suunnitteluun on myös olemassa valmis Excel-pohja, jolla pystytään laskemaan kustannukset ja tarvittu lämmitysteho kuivatustarpeen mukaan. Taulukkoon on valmiiksi syötetty tilastoja säätiedoista, jolla se huomioi ulkolämpötilan vaihtelut las-

kennassa. Taulukkoon syötetään kuivatettavan alueen tilavuus, kuivatustarve eli kuivatettava vesimäärä, sisälämpötila, ilmankosteus sekä käytetyn energian hinta. Lisäksi taulukosta valitaan kuukaudet milloin käytetään runkovaiheen tai sisävaiheen lämmitystä. Taulukosta nähdään lämmityksen kokonaiskustannukset siihen vaaditun energian hinnan mukaan. Taulukosta nähdään myös kuivumisnopeus eri kuukausina eri ilmanvaihtokertoimilla. Taulukon avulla pystytään laskemaan tietyn kuukauden aikana poistuva vesimäärä taulukkoon syötetyillä vakio-olosuhteilla ja itse arvioidulla ilmanvaihtokertoimella. Jäljelle jääneestä vesimäärästä lasketaan poistuva vesimäärä seuraavan kuukauden mukaan. Tätä jatketaan kunnes haluttu vesimäärä on poistunut. Näin nähdään poistuuko haluttu vesimäärä yleisaikataulussa varattuna aikana kyseisillä vakio-olosuhteilla. Lisäksi nähdään lämmitystehon tarve kuukauden muukaan, mikä vaaditaan pitämään olosuhteet haluttuina. Taulukkoa on käytetty kohdassa 4.1.

Kaikille rakenteille, jotka päällystetään materiaaleilla, jotka voivat vaurioitua niiden alle kertyneestä kosteudesta pitää tehdä kuivattamissuunnitelma ja kuivumisaika-arvio. Kuivattamissuunnitelman merkittävänä osana on rakenteelle luodut kuivumisolosuhteet. Kuivumisolosuhteiden huolellisella suunnittelulla ja seurannalla voidaan rakenteet pinnoittaa tai päällystää aikataulussa. Kun rakenne on tiedossa, voidaan sen perusteella laskea rakenteen kuivumisaika. Hyvin tehdystä yleisaikataulusta nähdään, paljonko rakenteella on aikaa kuivua ennen kuin voidaan aloittaa pinnoittaminen. Tämä aika katsotaan siitä, kun rakenteeseen ei enää pääse lisäkosteutta ja kohteessa on tarvittava lämpötila. Tämän perusteella voidaan myös katsoa, millaiset olosuhteet tulee kohteeseen luoda, jotta rakenne kuivuu. Jos rakenteen kuivumisaika ylittää aikataulussa varatun ajan, voidaan sitä nopeuttaa seuraavilla toimenpiteillä:

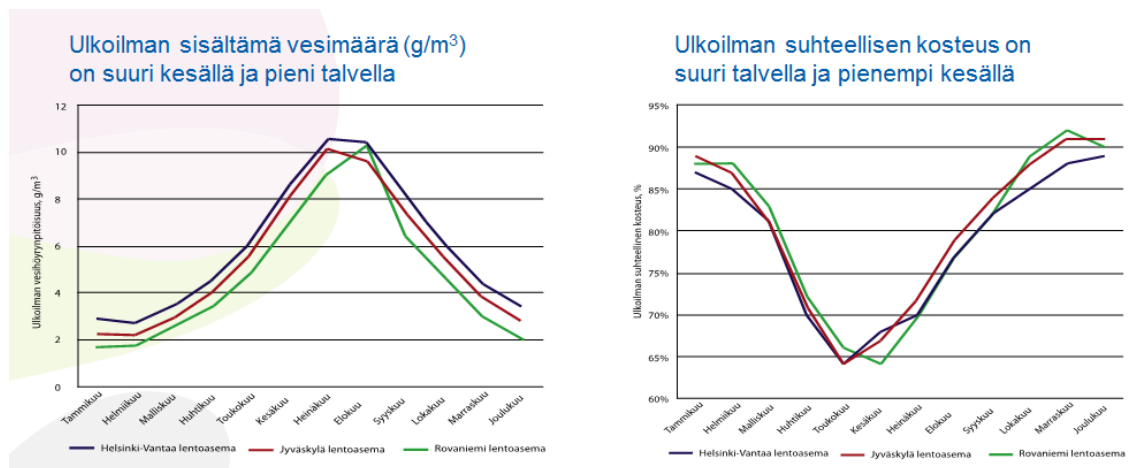
- kuivumisolosuhteiden parantaminen
- pintamateriaalin vaihtaminen paremmin kosteutta kestäväksi
- betonirakenteissa betonin vaihtaminen nopeammin kuivuvaan betoniin. (Merikallio 2002 b, s. 547-549)

Kuivumisolosuhteiden parantaminen pitää sisällään rakenteen ja rakennetta ympäröivän ilman lämmittämisen, rakennetta ympäröivän ilmankosteuden pienentämisen ja ilmavirtausten lisäämisen. Rakenteen lämmitessä materiaaleihin sitoutuneet vesimolekyylit irtoavat materiaalin huokosten pinnoilta ja kosteusvirta materiaalin sisältä voimistuu. Lämpimämpi rakennetta ympäröivä ilma pystyy myös imemään itseensä enemmän kosteutta. Rakennetta ympäröivän ilmankosteuden pienentäminen lisää rakenteen ja ilman vesihöyrypitoisuuden tasapainotilan eroa, jolloin kuivuminen voimistuu rakenteen luovuttaessa kosteutta nopeammin ilmaan tasapainotilan saavuttamiseksi. Ilmankosteutta voidaan lämpötilan nostamisen lisäksi pienentää tehostamalla tuuletusta tai käyttämällä erilaisia ilmankuivaimia. Ilmavirtausten lisäämisellä virtaukset poistavat nopeammin rakenteen pinnalle kapillaarisesti tai diffuusiolla noussutta kosteutta, mikä nopeuttaa

kuivumista. Ilmavirtauksia voidaan lisätä käyttämällä esimerkiksi erilaisia puhaltimia. (Sisäilmayhdistys Ry a)

Betonirakenteiden ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden tulee olla välillä 30 % - 60 %. Yli 60 % suhteellinen ilmankosteus pidentää kuivumisaikaa huomattavasti. Kuitenkaan alle 50 % suhteellinen ilmankosteus ei lyhennä betonirakenteiden kuivumista merkittävästi. Jos suhteellinen ilmankosteus on alle 30 %, niin lämmitysenergiaa kuluu turhaan. (Sisäilmayhdistys Ry a)

Suomessa ulkoilman suhteellinen kosteus pysyttelee läpi vuoden noin välillä 65 % - 90 %. Kuitenkin absoluuttinen kosteus vaihtelee huomattavasti lämpötilaerojen vuoksi verrattaessa talvea ja kesää keskenään. Talvella kylmä ulkoilma ei pysty sitomaan itseensä kosteutta läheskään niin paljoa kuin lämmin kesäilma. Talviajalla ilman absoluuttinen kosteus vaihtelee välillä 1-3 g/m³ ja kesällä sekä syksyllä välillä 8 -10 g/m³. Ulkoilman kosteus ja vesimäärä vuodenajan mukaan on esitetty kuvassa 7 (Tampereen teknillinen yliopisto b, s.3). Tästä johtuen on rakenteiden kuivaus järjestettävä eri tavalla vuodenajasta riippuen. Talvella kuivatettavan sisäilman kosteus onnistutaan pudottamalla tasolle 30 % - 50 % vain kuivatettavan alueen sisäilman lämpötilaa nostamalla. Kunhan tuuletus on kunnossa, rakenteet kuivuvat kustannustehokkaasti. Kesällä kuivaus pelkästään lämmittämällä ei ole kustannustehokasta, koska rakennukseen pääsevä ulkoilma on jo valmiiksi kostea. Tämän takia kesällä sisäilmaa on myös kuivatettava. Samalla rakennus eristetään, jolloin ilmanvaihto on vain vähäistä, että lämpöenergiaa ei kulu kostean ulkoilman kuivattamiseen. (Sisäilmayhdistys Ry a)



Kuva 7. Ulkoilman kosteus ja vesimäärä (Tampereen teknillinen yliopisto b, s.3).

Vuodenajasta riippumatta taloudellisen kuivatuksen ehtona on rakennuksen eristäminen ainakin osittain, jotta ilmanvaihtoa voidaan hallita. Tehoa lisää, jos rakennuksessa on tiiviit ulkoseinät ja ikkunat. Suojaseiniä käytettäessä on oltava tarkkana, että rakennukseen ei tule liian suurta vuotoilmaa. (Sisäilmayhdistys Ry)

Lisäksi betonitekniset ominaisuudet vaikuttavat betonin kuivumisaikaan. Betonin maksimiraekoon kasvattaminen pienentää vesimäärää ja siksi se vähentää kuivumisaikaa. Vesi-sementtisuhteen pienentäminen ei lyhennä kuivumisaikaa merkittävästi, koska se tekee betonista samalla tiiviimpää. Vaikka vesimäärä alenee, niin tiiviuden lisääntyessä veden poistumisnopeus pienenee. Betonin huokoisuuden lisäämisellä on merkittävä vaikutus betonin kuivumiseen, mutta huokoisuuden lisääminen pienentää betoninlujuutta, ja siksi sitä pystytään hyödyntämään vain rajallisesti. (Sisäilmayhdistys Ry a)

Kuivumisaikaan vaikuttaa myös, että missä betoni tehdään. Ilmalanrinne 1 on elementti-työmaa, joten betonirakenteiden kuivumisessa on vähemmän haasteita verrattuna paikallavalu-työmaahan. Luonnollisesti kuitenkin osa betonirakenteista tehdään paikallavaluna kuten pintabetonilattiat. Betonielementtirakenteissa on kuivumisessa vähemmän haasteita, koska elementit pääsevät jo osaksi kuivumaan lämpimissä tehdasolosuhteissa ja sisällä tehtaissa ne ovat hyvin suojattuna lisäkosteudelta. Betonielementtirakenteissa yksi haasteellinen tekijä kuivumisessa on ontelolaattojen osalta ontelotilaan kertynyt vesi. Ontelovesistä yritetään päästä eroon poraamalla reikiä laattojen alapintaan. Seinäelementeissä haasteellista on riittävä eristetilän suojaaminen lisäkosteudelta.

2.2.1 Kuivattamismenetelmät

Kuivatuksen toteuttamiseen on olemassa muutama eri vaihtoehto. Kuivatusvaihtoehdon valintaan vaikuttaa vuodenaika ja kuivatukselle varattu kesto. Kuivatus voidaan toteuttaa joko rakennuksen oman tai suunnitellun lisälämmityksen avulla tai ilmankuivaimien avulla pudottamalla ilman suhteellista kosteutta. Kuivuminen tehostuu, koska rakenteet pyrkivät tasapainoon ympäröivän ilmassa kanssa, ja se mahdollistaa tehokkaamman kosteuden luovutuksen ympäröivään ilmaan. Jos kuivumisella on kiire, voidaan sitä tehostaa lämmittämällä suoraan kuivattavaa rakennetta. Tällä saadaan nopeutettua kuivumista huomattavasti. Nopein kuivatustapa on lämmittää rakennetta sisältäpäin esimerkiksi betonin sisään valettavilla lankalämmittimillä. Rakennuksen kuivattamistapoja on kolme:

- Avoin järjestelmä
- Suljettu järjestelmä
- Pikakuivatus. (Gles Oy 2012; Björkholtz 1990 s. 52.)

2.2.2 Avoin järjestelmä

Avoimessa järjestelmässä rakennuksen sisäilma lämmitetään, joko rakennuksen omalla lämmitysjärjestelmällä ja/tai lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmällä. Lämminilma pysyy imemään itseensä enemmän kosteutta, jolloin rakenteet kuivuvat. Samalla on myös huolehdittava rakennuksen tuuleutuksesta, jotta saadaan vaihdettua lämmin kostea sisäilma kuivempaan ulkoilmaan, ettei kuivuminen pysähdy. Järjestelmä soveltuu käytettäväksi talvisin, koska kylmempi ulkoilma on kuivempaa verrattuna lämpimämpään

sisäilmaan. Kylmä kuiva ilma tulee rakennuksen sisälle aukoista ja vuotokohdista, ja kun se lämpenee, pystyy se taas imemään itseensä enemmän kosteutta, jonka betonirakenteet luovuttavat. Kosteaa ilmaa voidaan johtaa ulos alipaineistamalla tai ylipaineistamalla. (Björkholtz 1990, s. 52–54; Kone-Ratu 07-3032 1996, s. 4) Kuvassa 8 on esitetty Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaalla oleva kaukolämpöverkkoon kytketty lämpöpuhallin, jota käytetään rakennuksen sisäilman lämpötilan nostamiseen.



Kuva 8. Kaukolämpöverkossa oleva lämpöpuhallin (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa 3.2.2015).

Kuvassa 9 on esitetty Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaalla käytetty sähköpuhallin, jota myös käytetään sisäilman lämmittämiseen.



Kuva 9. Sähköpuhallin (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa 9.2.2015).

Kuvassa 10 on esitetty Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaalla käytetty polttoöljylämmitin eli Heatmobil.



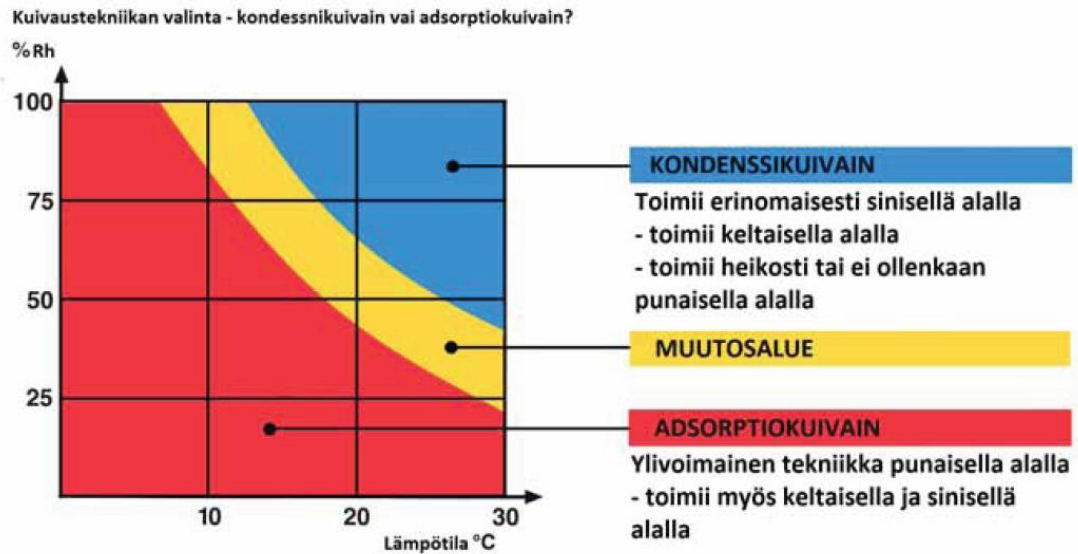
Kuva 10. Polttoöjlämmitin eli Heatmobil (Lemminkäisen työmaa Ilmalanrinne 1, 4.3.2015)

2.2.3 Suljettu järjestelmä

Suljetussa järjestelmässä rakennus tiivistetään, että rakennuksen sisällä pääsee ilma vaihtumaan vain minimaalisesti. Rakennuksen ilmaa lämmitetään, ja rakennuksen huoneistoihin sijoitetut ilmankuivaajat keräävät ylimääräisen haihtuvan kosteuden pois. Ilmankuivaimien keräämä ylimääräinen kosteus poistetaan joko astioilla tai erillisellä viemärointi järjestelmällä. Suljettu järjestelmä sopii hyvin käytettäväksi kesällä ja erityisesti syksyllä, koska silloin ympäröivän ulkoilman kosteus on myös suuri, joten avoin järjestelmä ei ole tehokas. Rakennuksen tiivistämisellä huolehditaan, että ulkopuolista kosteutta ei pääse rakennukseen, koska muuten lämpöenergiaa kuluu turhaan myös kostean ulkoilman kuivaamiseen. (Björkholtz 1990, s. 52–54; Kone-Ratu 07-3032 1996, s. 4) Rakennustyömaaloissa suljettu järjestelmä on yleensä mahdotonta toteuttaa, koska rakennusvaiheessa rakennuksen vaippaa on erittäin vaikea saada tarpeeksi tiiviiksi. Tästä syystä yleensä rakennushankkeet pyritään ajoittamaan niin, että kuivattaminen onnistuu avoimella järjestelmällä.

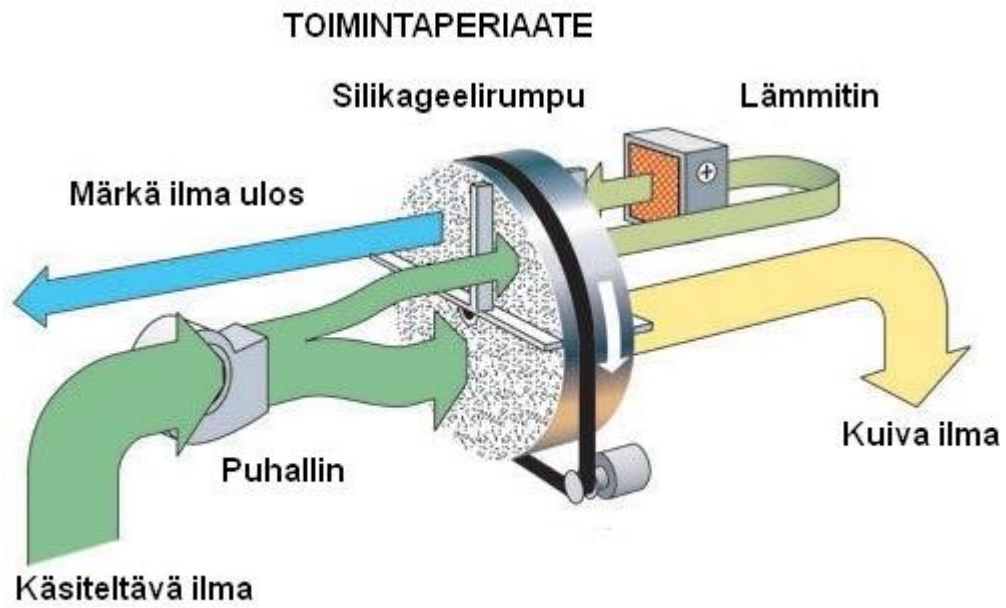
Ilmankuivaamiseen voidaan käyttää esimerkiksi adsorptiokuivainta tai kondenssi-kuivainta. Kuivaimen valinta riippuu niiden toimintaperiaatteiden suosimista olosuhteista. Kuivaimen valintaan vaikuttavat siis oleellisesti vallitsevat olosuhteet kuten ilman-

kosteus ja lämpötila, jotta saadaan toteutettua kuivattaminen riittävän tehokkaasti. Kuvassa 11 on esitetty kuivaustekniikan valinta kondenssikuivaimen ja adsorptiokuivaimen välillä ilmankosteuden ja lämpötilan mukaan. (Gles 2012, s. 1-7)



Kuva 11. Kuivaustekniikan valinta kondenssikuivaimen ja adsorptiokuivaimen välillä ilmankosteuden ja lämpötilan mukaan (Gles 2012, s. 4).

Adsorptiokuivain poistaa kosteutta kaasusta kemikaalien avulla. Se soveltuu käytettäväksi hyvin silloin, kun kastepisteen on oltava erittäin alhainen. Adsorptiokuivaimessa ilma kulkee huokoisen vesimolekyylejä sitovan kuivausaineen läpi, jolloin suurin osa ilman sisältämästä vesihöyrystä sitoutuu kuivausaineeseen. Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 12.



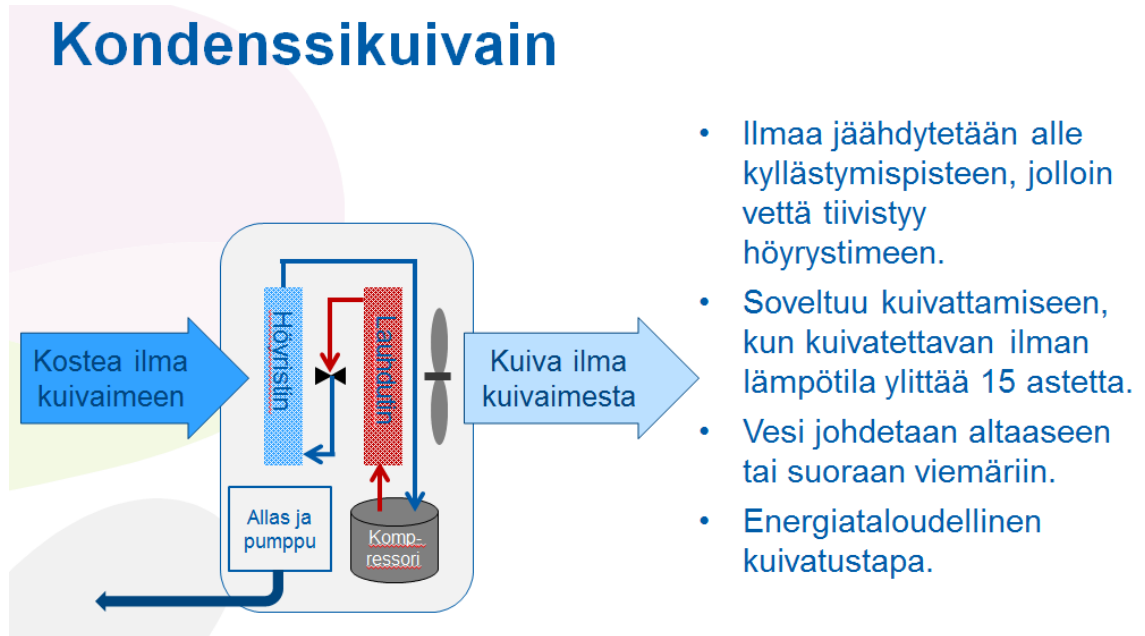
Kuva 12. Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate (Astq supply house Oy).

Kuvassa 13 on esitetty esimerkki adsorptiokuivaimesta.



Kuva 13. Esimerkki adsorptiokuivaimesta (Vuokra-pekat Oy).

Kondenssikuivain on kuivain, jonka toiminta perustuu kosteuden erotteluun ilmasta. Sen toiminta perustuu laitepuhaltimeen, laitekompressoriin, kylmäaineputkiin sekä kylmäaineeseen ja sulatusjärjestelmään. Kondenssikuivaimen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Kondenssikuivaimen toimintaperiaate (Tampereen teknillinen yliopisto b, s. 7).

Kondenssikuivain soveltuu hyvin erityisesti kosteisiin ja lämpimiin tiloihin. Kuvassa 15 on esitetty esimerkki kondenssikuivaimesta.



Kuva 15. Esimerkki kondenssikuivaimesta (Strong Finland Oy).

2.2.4 Pikakuivatus

Pikakuivatuksessa lämmitetään suoraan kuivattavaa rakennetta. Lämmityksen kohdistaminen onnistuu esimerkiksi käyttämällä erilaisia lämpösäteilijöitä tai valun sisään valettavilla lankalämmittimillä. Kuivumisnopeus kiihtyy kun rakenteen lämpötila nousee. Myös pikakuivatuksessa rakennuksen ilmanvaihto avoimen järjestelmän tavoin on erittäin tärkeää. Toinen vaihtoehto on kuivata kostea sisäilma käyttämällä ilman-kuivaimia, kuten suljetussa järjestelmässä. Ulkolämpötila ratkaisee, että kumpi tapa on tehokkaampi. Talvella avoin järjestelmä on kustannustehokkaampi kylmän ja kuivan ulkoilman vuoksi. Kesällä tarvitaan suljettua järjestelmää, koska lämmin ulkoilma on valmiiksi kostea, eikä haluta tuhjata lämmitysenergiaa kostean ulkoilman kuivaamiseen. Jos rakennuksen ilmankosteus kasvaa liian suureksi, eivät rakenteet pääse kuivumaan tehostetusta lämmityksestä huolimatta. (Björkholtz 1990, s. 52–54.)

2.3 Kuivumisaikojen arvioiminen

Betonirakenteille, jotka päällystetään tai pinnoitetaan kosteuserkällä materiaalilla, pitää aina laatia kuivumisaika-arvio riittävän kuivumisen varmistamiseksi ennen päällystämistä tai pinnoittamista. Kuivumisaika-arvioita tehtäessä on syytä muistaa, että ne ovat kuitenkin vain arvioita eivätkä absoluuttisia totuuksia. Ne ovat lähinnä tarkoitettu käytettäväksi rakentamisaikataulujen, työmaan kosteudenhallinnan ja kuivatuksen

suunnitteluun. Todellinen varmuus rakenteen riittävästä kuivumisesta saadaan vain mitaamalla betonin kosteus. (Merikallio 2002 a, s. 32)

Betonirakenteiden kuivumisaika-arvion laadinnassa huomioitavia tekijöitä ovat:

- tavoitekosteus (riippuu päällystemateriaalin kosteuden sietokyvystä)
- rakenneratkaisu (rakenteen paksuus, haihtumispinta-ala eli pääseekö kuivumista tapahtumaan yhteen vai kahteen suuntaan)
- betonilaatu (vesi-sementtisuhde, maksimiraekoko, notkeus)
- kuivumisolosuhteet (kastumisaika, lämpötila, ilman suhteellinen kosteus) (Merikallio 2003, s. 23).

Yleisimmille sisätiloille rajoituville betonilattia- ja seinärakenteille on kuivumisaika-arvioiden laadintaan olemassa ohjeisto. Ohjeistossa on peruskuivumiskäyrät ja muunnoskertoimet:

- maanvastaiselle teräsbetonilaatalle
- massiiviselle teräsbetonirakenteelle käytettäväksi sekä lattioihin että seiniin
- liittolaattarakenteille
- kuorilaattarakenteille
- ontelolaattaväli pohjille
- kelluville pintabetonilaatoille

Ohjeita voidaan käyttää myös sovelletusti muille rakenteille. (Merikallio 2002 a s.38)

Ohjeiden käyttö etenee seuraavasti:

1. Valitse rakenne.
2. Määritä betonin tavoitekosteus suhteellisena kosteutena (RH).
3. Katso peruskuivumiskäyrästä tavoitekosteutta vastaava aika viikkoina.
4. Kerro peruskuivumisaika eri kertoimilla (vesisideainesuhde, rakenteen paksuus, kastumisaika ja kuivumisolosuhteet).
5. Tuloksena saadaan arvioitu kuivumisaika viikkoina.

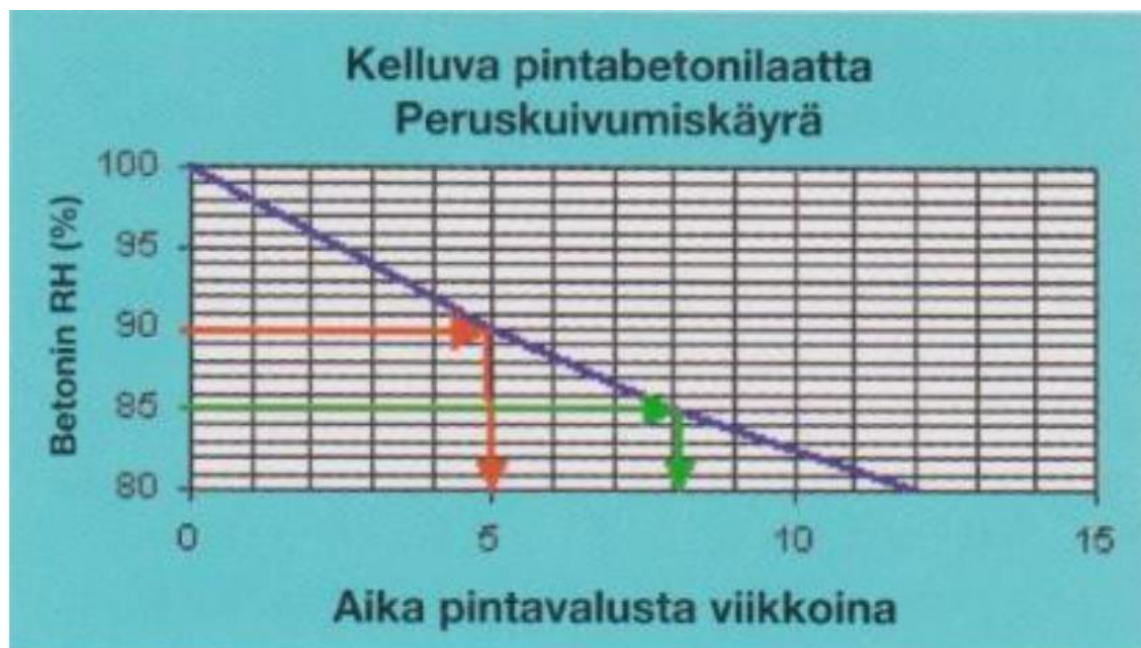
Kuivumisen katsotaan alkavan siitä, kun rakenne ei enää saa lisäkosteutta. Kuivumisaika-arvion laskentakaava on esitetty kuvassa 16.

Laskentakaava:



Kuva 16. Kuivumisaika-arvion laskentakaava (Merikallio 2002 a, s. 39).

Kuvassa 17 on esitetty kelluvan pintabetonilaatan peruskuivumiskäyrä.



Kuva 17. Pintabetonilaatan peruskuivumiskäyrä (Merikallio 2002 a, s. 56).

Kuvassa 18 on esitetty kelluvan pintabetonilaatan kuivumisaika-arvion laskennassa käytettäviä kertoimia.

Runkolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin	Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
Alle 90 %	1,0	0,7	1,0
90-95 %	1,1	0,6	0,7
yli 95 %	1,5	0,5	0,5

Kelluvan laatan paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)		
	0,7	0,6	0,5
50	0,8	0,7	0,7
70	1,0	0,8	0,8
90	1,2	1,1	1,1
100	1,5	1,3	1,3

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

Kastuminen	Pintabetonin vesisideainesuhde		
	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0

Kuva 18. Kelluvan pintabetonilaatan kuivumisaika-arvion laskemisessa käytettävät kertoimet (Merikallio 2002 a, s. 56).

Kuvassa 19 on esitetty maanvastaisen laatan peruskuivumiskäyrä.



Kuva 19. Maanvastaisen laatan peruskuivumiskäyrä (Merikallio 2002 a, s. 39).

Kuvassa 20 on esitetty maanvastaisen laatan kuivumisaika-arvion laskennassa käytettäviä kertoimia.

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 20. Maanvastaisen laatan kuivumisaika-arvion laskemisessa käytettävät kertoimet (Merikallio 2002 a, s. 39).

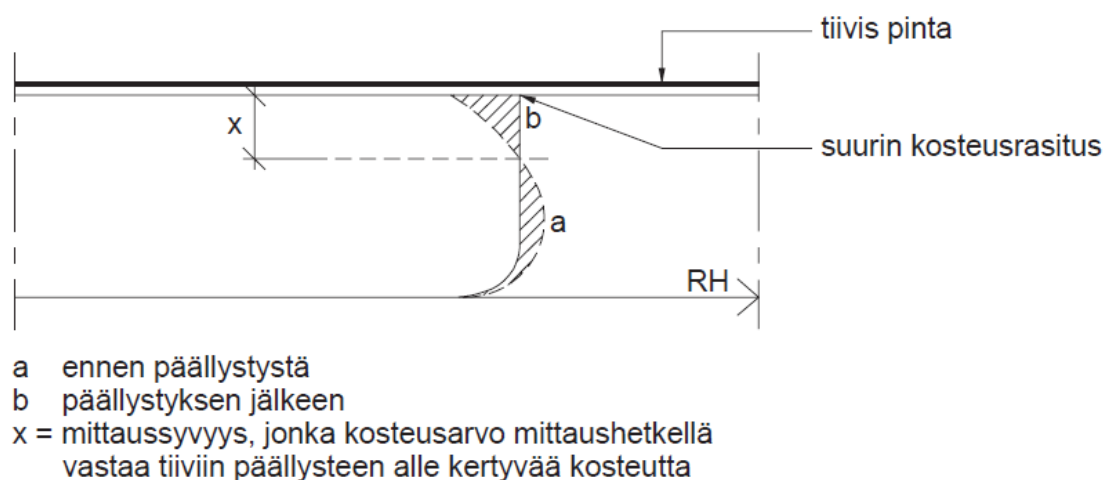
Betonirakenteille on olemassa yleisimmille eri rakennetyypeille myös oma valmis laskuri kuivumisaika-arvion laskemista varten. Ensiksi laskurista valitaan oikea rakennetyyppi. Laskuriin syötetään arvot tavoitekosteudelle, vesi-sideainesuhteelle ja rakennetyypin paksuudelle. Laskurista valitaan alustan kosteus, rakenteen kastumisaika sekä kuivumisolosuhteiden ilmankosteus ja lämpötila. Tietojen syöttämisen ja valintojen jälkeen laskurista nähdään arvio kuivumisajalle viikkoina. (Merikallio 2002 a) Laskurista saatu kuivumisaika-arvio on myös nimensä mukaisesti vain arvio, eikä sen tarkkuudesta ole varmuutta. Laskurissa on esimerkiksi kokeilemalla mahdollista löytää lähtöarvoja muuttamalla epäjatkuvuuskohtia, joiden molemmin puolin kuivumisaikat eroavat liikaa toisistaan, vaikka käytännössä eron ei pidä kyseisellä lähtöarvojen muutoksella olla niin paljoa. Laskuria on käytetty kohdassa 4.2.

2.4 Betonin suhteellisen kosteuden mittausta

Päällystettävän tai pinnoitettavan betonirakenteen riittävä kuivuminen on varmistettava betonin suhteellisen kosteuden mittaamisella. Yleisimmin mittaukseen käytetään sähköistä suhteellisen kosteuden mittalaitetta. Suhteellisen kosteuden mittaustapaa voidaan käyttää betonin rakennusaikaisen kosteuden kuivumisen seurannassa ja betonin kuivumisen seurannassa vesivuotojen ja muiden kosteusvaurioiden jälkeen. Betonin kosteuden enimmäisarvona sovelletaan ensisijaisesti päällysteen, verhoustarvikkeiden tai maalin valmistajan ohjetta kyseiselle tarvikkeelle. (RT 14-10675 1998, s. 1)

2.4.1 Mittauskohtien valinta

Mittauskohtien valintaan vaikuttavat mitattavan rakenteen tyyppi ja mitat, betonin ominaisuudet, mittalaitteen ominaisuudet ja ympäröivät olosuhteet. Mittaussyvyys valitaan, joko betonirakenteen paksuuden mukaan tai selvittämällä betonin kosteusjakauma eri syvyisillä mittauksilla. Esimerkki rakenteen kosteusjakaumasta on esitetty kuvassa 21.

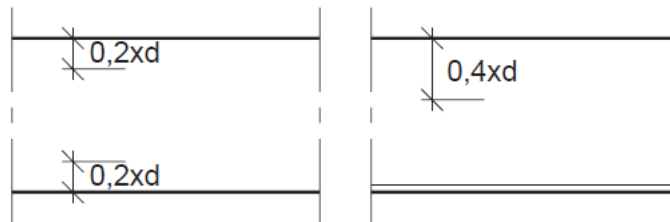


Kuva 21. Esimerkki rakenteen kosteusjakaumasta (RT 14-10675 1998).

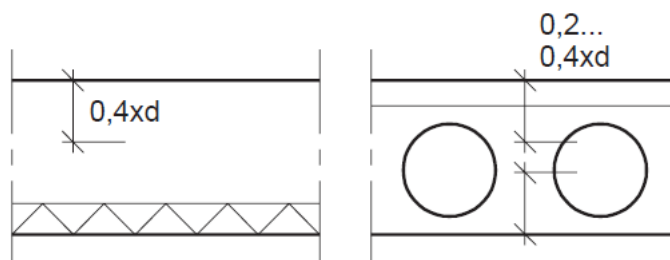
Mittaussyvyyden määrittäminen rakenteen tyypin ja paksuuden mukaan on esitetty kuvassa 22. Mittauksen tarkoituksena on saada selville suurin kosteusmäärä, joka betonista voi kertyä päällystämisen jälkeen tiiviin päällysteen alle. (RT 14-10675 1998, s. 2)

Mittaussyvyys laatat

lattiapinta

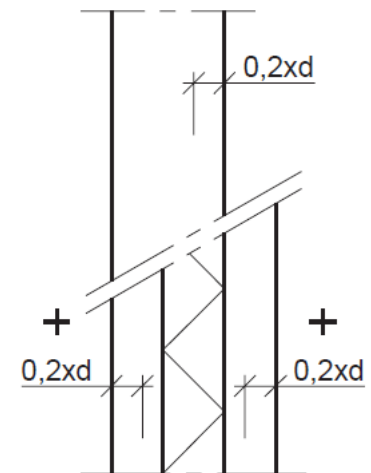


kattopinta



mittaussyvyys riippuu
alapinnan tiiviyydestä

seinät



väliseinät/
huoneistojen
välinen seinä

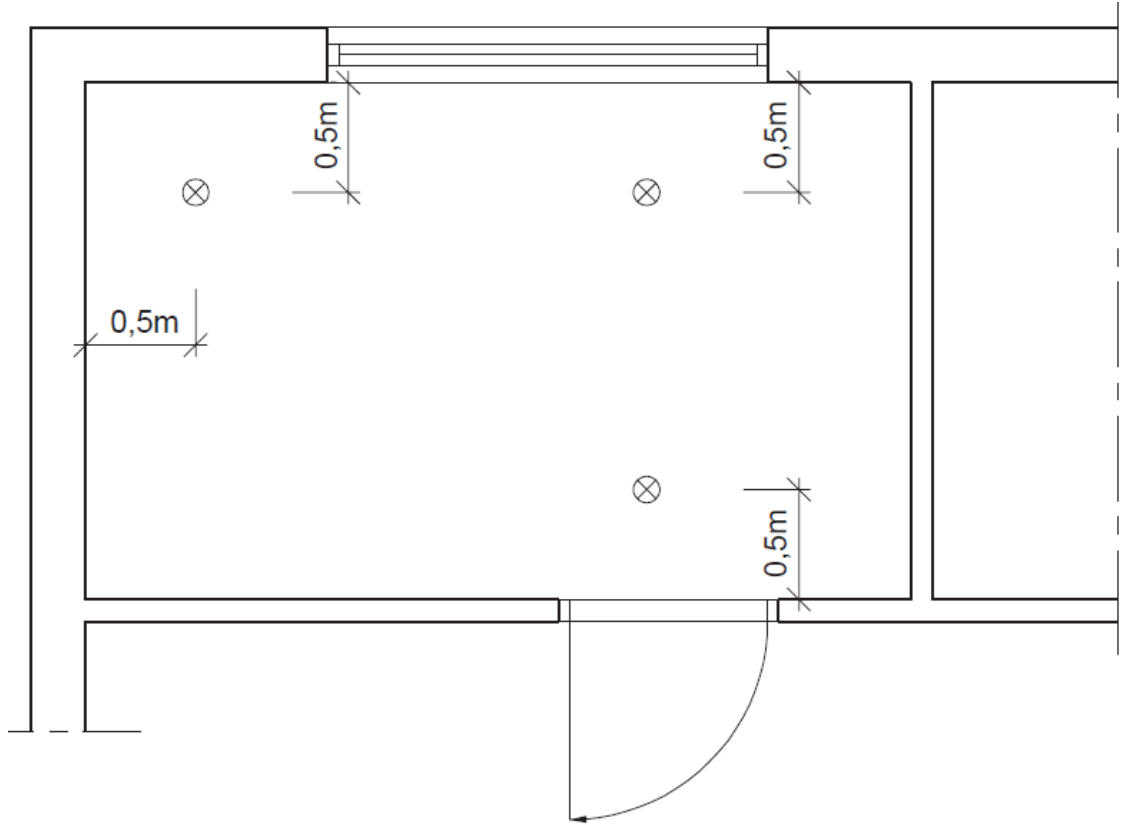
Kuva 22. Mittaussyvyyden määrittäminen ala- tai välipohjatyyppin ja betonilaatan paksuuden mukaan (RT 14-10675 1998, s. 2).

Mittausspaikan valintaan vaikuttavat myös:

- esijännitetyn betonirakenteen ennakkokorotuksesta aiheutuva tasoite- tai pinta-betonikerroksen paksuuden muutos
- betonielementtien varastoinnin jälkivalujen kautta rakenteeseen tai onteloon mahdollisesti joutunut kosteus tai vesi
- elementtien välisten saumojen kohdat, koska ne ovat muuta rakennetta kosteampia
- lämmittimien sijainti tilassa. (RT 14-10675 1998, s. 2)

Mitattavasta tilasta valitaan tutkittavasta rakenteesta mitaustisteitä 1-3 kohdasta. Esimerkki mitattavien pisteiden valinnasta on esitetty kuvassa 23. Jokaisesta mitaustisteistä määritetään kosteus vähintään kahdesta rinnakkaisesta porareistä, joi-

den keskinäinen etäisyys on välillä 100-300mm. Mittauspaikkojen valinnassa on myös luonnollisesti huomioitava rakenteiden valmistumisjärjestys, ja rakentamistyöstä mahdollisesti aiheutuneet ylimääräiset kosteusaltistukset, kuten esimerkiksi tavaroiden siirroista valunut vesi. (RT 14-10675 1998, s. 2-3)

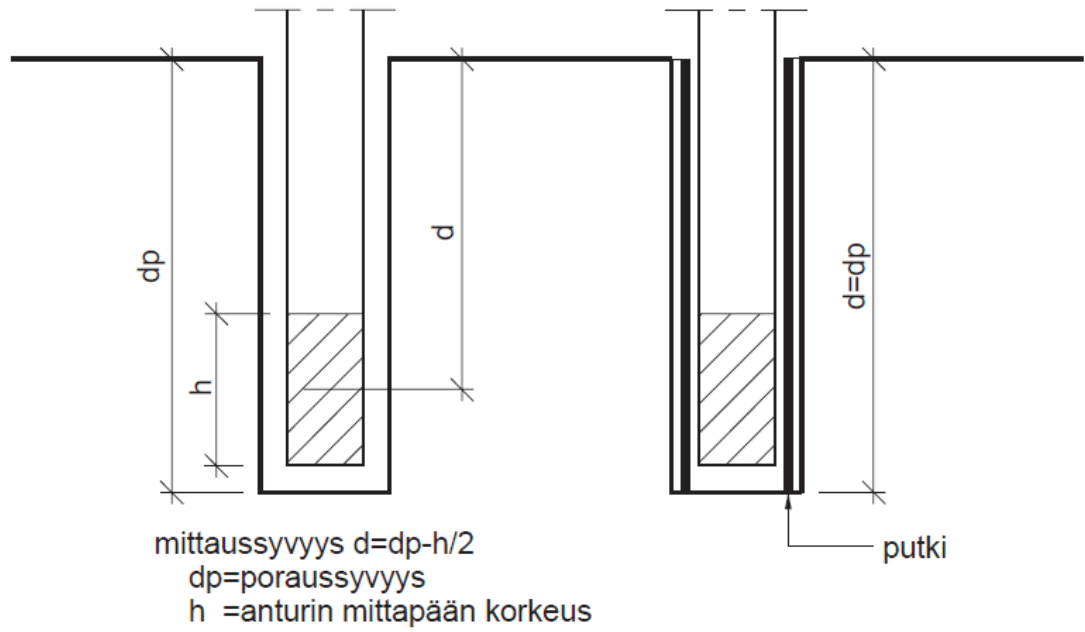


Kuva 23. Esimerkki betonilaatan kosteuden mittauspisteiden valinnasta (RT 14-10675 1989, s. 3).

2.4.2 Mittauksen suoritus

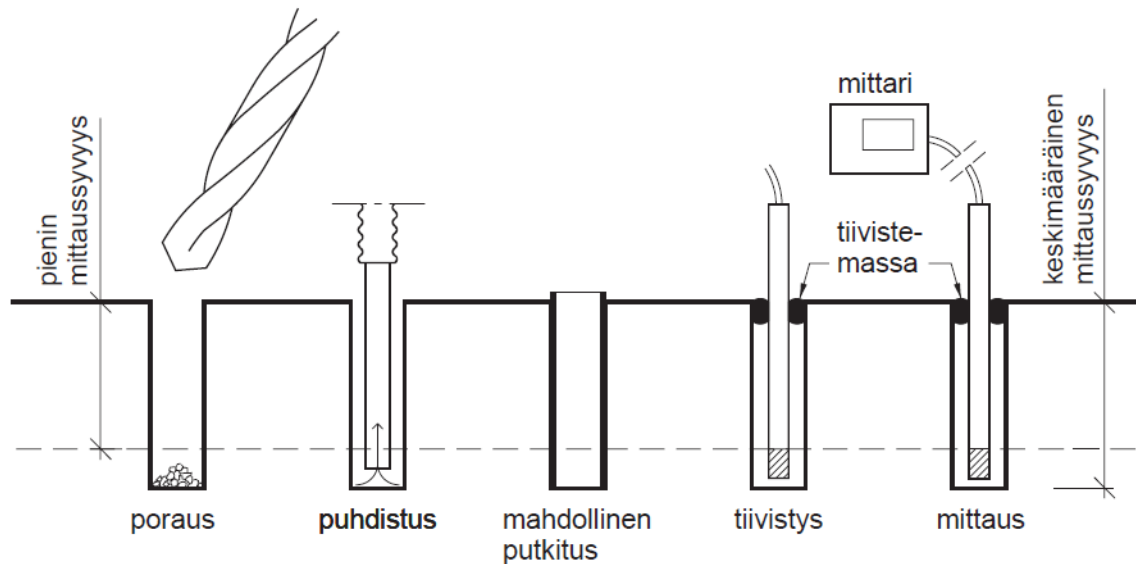
Kosteusmittauksia varten porataan reiät 3-7 vuorokautta ennen mittauksia, jotta kosteus ehtii tasaantumaan. Porausreikä täytyy puhdistaa heti porauksen jälkeen. Mikäli kosteudentasaantumista ei odoteta riittävää aikaa, saadaan tuloksina todellisuutta suurempia kosteudenarvoja. Betonin kosteuden lisäksi mittaushetkellä mitataan ilmankosteus, ilman lämpötila ja porausreiän lämpötila. Porareissä olevan mitta-anturin annetaan tasaantua mitattavan huoneen olosuhteissa, ja mittaushetkellä anturin lämpötilan pitää olla sama kuin betonin. Mittausolosuhteiden vaihdellessa voimakkaasti pitää niitä pystyä vakinaistamaan suojaamalla mittauskohtaa. Toinen vaihtoehto on ottaa näytekappale ja suorittaa mittaukset laboratorio-olosuhteissa. (RT 14-10675 1998, s. 4)

Laboratoriossa ja työmaalla mittauslämpötilan pitää olla rakennuksen käyttölämpötilaa vastaava. Mittauksessa anturi pitää jättää hieman irti pohjasta, kuten on esitetty kuvassa 24. Kuvasta 24 nähdään mittaussyvyys putkituksella ja ilman.



Kuva 24. Kosteudenmittauksen mittaussyvyys (RT 14-10675 1998, s. 4).

Suhteellisen kosteuden mittauksen suoritus on esitetty kuvassa 25. (RT 14-10675 1998, s. 4)



Kuva 25. Kosteudenmittauksen suoritus (RT 14-10675 1998, s. 4).

2.4.3 Mittaustarkkuus

Mittauksen luotettavuuteen vaikuttavia perustekijöitä ovat:

- mittalaitteiden tarkkuus
- mittauksen suoritustavasta aiheutuvat epätarkkuustekijät
- olosuhdetekijät (Niemi 2008, s. 421).

Mittalaitteiden tarkkuus pystytään parhaiten varmistamaan testaamalla niiden toiminta tunnetussa vertailukosteuspitoisuudessa. Suoritustavan tulee olla ohjeiden mukainen. Esimerkiksi kosteuden mittaaminen alle 3 vrk:n ikäisestä porareista saattaa aiheuttaa 1-10 RH yksikköä todellista korkeampia kosteusarvoja. Olosuhteet saattavat aiheuttaa porareikämittauksen täydellisen epäonnistumisen. Viileästä betonista saadaan yleensä normaalilämpötilaan (20 C) nähden alhaisempia RH-arvoja ja normaalia lämpimästä betonista korkeampia arvoja. RH:n muuttuminen lämpötilan mukaan ei ole suoraviivaista, joten tarkkoja porareikämittauksia voidaan tehdä vain 15-25 C:n lämpöisistä rakenteista. Joskus ei ole tarpeellista, eikä aina edes mahdollista mitata suhteellisia kosteuksia kovin tarkasti. Tällöin tehdään niin sanottuja suuntaa antavia mittauksia, jotka voivat olla riittäviä, kunhan niiden suuri epätarkkuus tiedostetaan ja huomioidaan tulosten tulokinnassa. (Niemi 2008, s. 421-422)

2.5 Pintakosteusmittaus

Pintakosteusmittaus on suuntaa antava menetelmä, jolla voidaan tunnistaa rakenteiden välisiä kosteuseroja. Sillä ei voida luotettavasti varmistaa rakenteiden sisäistä kosteuspitoisuutta, koska mittaukseen sisältyy paljon epävarmuustekijöitä. Sen toimintaperiaate perustuu tutkittavan rakenteen sähkönjohtavuuden tai dielektrisyiden mittaamiseen. Pintakosteusmittari reagoi rakenteen pintaosissa olevaan kosteuteen, mutta mittari ei kerro millä syvyydellä kosteutta on. Mittaustulokset ovat suuntaa antavia, joten niiden perusteella ei voida todeta rakenteen riittävää kuivumista ennen päällystämistä. (Sisäilmäyhdistys Ry)

3. TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN SUORITUS

Tutkimus suoritetaan case tutkimuksena, ja siihen valitaan kolme case esimerkkiä Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaalta. Case esimerkit on esitelty kohdassa 3.1. Case esimerkeille suunnitellaan kuivatus (4.1), jonka jälkeen lasketaan niiden kuivumisaajat (4.2). Esimerkkien todelliset kuivumisnopeudet ja olosuhteet mitataan, jolloin nähdään miten kuivumisaika-arviot kohtaavat todellisten kuivumisaikojen kanssa. Kirjaamalla kuivumisolosuhteet (4.3) saadaan tietoa kuivumisaikoihin vaikuttavista tekijöistä. Näin saadaan kvantitatiivisin menetelmin testattua nykyisiä aikamalleja betonirakenteiden kuivattamiseen. Tutkimuksessa hyödynnetään alan kirjallisuutta ja jo tehtyjä tutkimuksia aiheesta. Lisäksi hyödynnetään Lemminkäisen henkilöstön ammattitaitoa ja tietämystä kosteudenhallinnasta ja betonin kuivumisesta sekä kuivattamisesta.

Kuivatuksen suunnittelussa käytetään apuna valmista taulukkotyökalua, jonka avulla saadaan laskelmia teorian tueksi (4.1). Kuivumisaika-arviot lasketaan kohdan 2.3 teorian mukaan sekä siihen erikseen tarkoitettulla laskurilla (4.2). Betonin suhteelliset kosteudet mitataan soveltaen kohdan 2.4 teoriaa. Kohdassa 3.2 esitetään kosteuksien ja kuivumisolosuhteiden mittausten suoritus käytännössä. Tulokset kosteuksien ja kuivumisolosuhteiden mittauksista esitetään kohdassa 4.3.

3.1 Case esimerkit

Työn case esimerkit valittiin Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaalta, koska tämän tutkimuksen tekijä työskentelee kohteessa samalla tuotantoinsinöörinä. Lisäksi kohde on sen verran iso, että saimme kaikki case esimerkit otettua samalta työmaalta. Eli kyseinen kohde on iso toimitilarakennus yrityksille. Kohde koostuu kolmesta (A, B ja C) 6-7 kerroksisesta kerrostalosta, jotka ovat yhdistetty toisiinsa nivelosilla. Kerrokseen tulee toimistotiloja, jotka sisältävät suljettuja toimistoja, tilat avokonttoreille ja neuvotteluhuoneita. Lisäksi A-taloon tulee pohjakerrokseen ravintola ja ylimpään kerrokseen ilmanvaihdonkonehuoneen lisäksi virkistymistila. Pohjakerroksen alapuolelle tulee lisäksi kaksi kerrosta parkkihallitilaa. Kohteeseen tehdään myös varaukset D- ja E-taloille.

Case esimerkeiksi valittiin C-talosta 3-, 4- ja 5.krs:n pintabetonilattiat. Kyseiset kerrokset valittiin, koska ne sopivat aikataulullisesti tutkimukseen hyvin ja C-talon sisävalmistusvaiheen aikataulu on lyhin, joten kuivumiselle on myös vähiten aikaa. Lisäksi tiedetään, että kaikki kerroksen pintabetonilattialle tulevat pintamateriaalit omaavat suhteel-

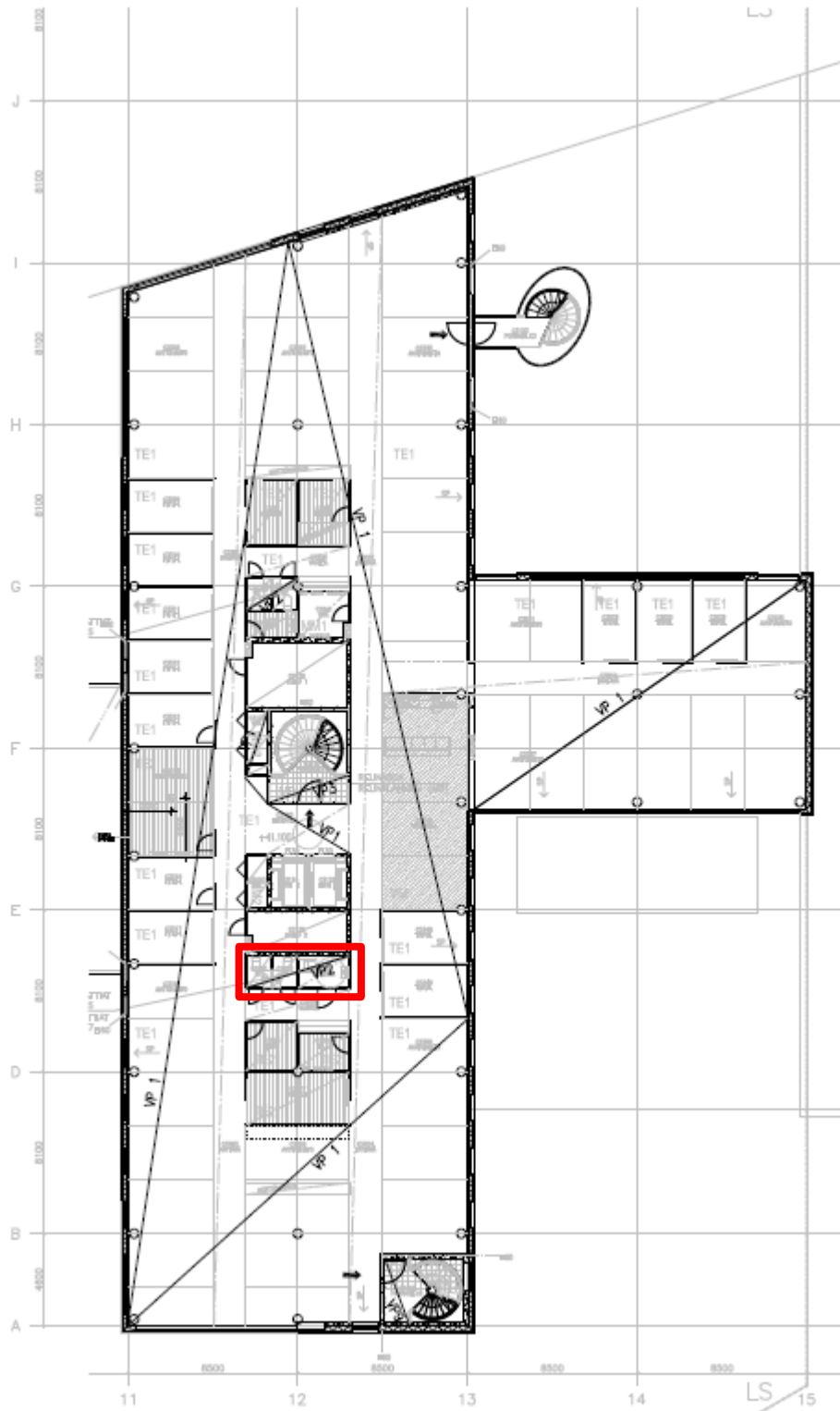
lisen kovan raja-arvon kuivumiselle. Kerrokset ovat samasta talosta, koska se helpottaa melkein päivittäin tehtäviä mittauksia huomattavasti. Esimerkkien rakennetyypit ovat myös samoja (VP1). Muuttuvat työmaaolosuhteet aiheuttavat paljon epävarmuustekijöitä tutkimuksessa, joten näin saamme paremmin analysoitua muuttuvien olosuhteiden vaikutuksen. Näin saadaan paremmin vertailukelpoista dataa muiden tekijöiden kuin sijainnin ja rakennetyypin vaikutusta kuivumiseen, ja pystytään testaamaan erityisesti pintabetonilattioiden kuivumisaikamallien toteutuminen käytännössä. Tämän perusteella pystytään tekemään johtopäätökset mallien toimivuudesta. 4- ja 5.krs ovat pinta-alaltaan hieman pienempiä kuin 3.krs, joten sillä lisätään muuttuvia tekijöitä kuivatuksen suunnitteluun. Ero pinta-aloissa nähdään vertailemalla kuvia 25, 28 ja 30. Myös korkeusasema kohteilla on tietysti eri, mikä auttaa meitä havainnollistamaan korkeusaseman vaikutusta kuivatuksen suunnittelemisessa. Päätimme yhdessä diplomityöni valvojan kanssa, että kolme case esimerkkiä on riittävä määrä diplomityöni laajuutta ajatellen. Ideana on tutkia nämä kolme case esimerkkiä perusteellisesti hyödyllisen datan saamiseksi.

Kyseisistä kerroksista valittiin tarkasteltaviksi alueiksi eteläpuolen wc-tilojen alueet. Kuivumisen raja-arvo wc-tilojen päälle tulevalle veden eristeelle ja keraamiselle laatalle on suhteellisen tiukka ja samaa luokkaa kuin esimerkiksi avokonttorin kohdalle tulevalle tekstiililaatalle (taulukko 1). Valitsimme kuitenkin wc-tilojen kohdat, koska jos myöhemmin kosteusvaurioita esiintyy, maksaa niiden kohdalta korjaaminen eniten. Lisäksi laatoitustyöt alkavat ennen mattotöitä, joten kyseisillä rakenteilla on vähemmän aikaa kuivua. Kaikiksi kohteiksi otettiin eteläpuolen wc-tilojen kohdat, jotta tutkimuksen suoritus pysyy mahdollisimman selkeänä. Käytännössä ei ole väliä tutkitaanko eteläpuolen wc-tilojen kohtaa vai pohjoispuolen, koska kyseiset alueet ovat lähes identtiset.

Taulukko 1. Betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvo käyttölämpötilassa (20-22 C) päällystemateriaalin mukaan (Sisäilmayhdistys Ry b).

Betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvo käyttölämpötilassa 20...22°C, RH %	Päällyste / materiaaliominaisuuksia	Huomautuksia
80 ? 85 % Betonin pintaosien (2-3 cm) oltava alle 75%	Mosaikkiparketti	Puulajikohtainen /esim. pyökki 80%, tammi 85%)
85% Betonin pintaosien (2-3 cm) oltava päällystyshetkellä alle 75%	Alustaan kiinnittämättömät puulattiat ja kelluvat parketit (päällysteen ja betonin välissä vesihöyryä läpäisevä materiaali, joka irrottaa betonin ja päällysteen toisistaan)	
85 % Betonin pintaosien (2-3 cm) oltava päällystyshetkellä alle 75 %	Vesiliukoisella liimalla kiinnitettävät ja kelluvat päällystemateriaalit kuten: - Erilaiset muovimatot - Linoleummatto - Korkkimatot - Kumimatot - Tekstiilimatot, joissa tiivis alusmateriaali	Määräävä tekijä liiman kosteuden kestäkyky
90 %	Alustaan kiinnittämättömät muovi- ja linoleummatot Päällysteet, joissa kiinnitykseen on käytetty vähintään 90%:n kosteuspitoisuuden kestävää liimaa Klinkkerilaatat Polyuretaanimuovimassat Täyssynteettiset tekstiilimatot	Liiman valmistajan ohjeet
85 ? 97%	Epoksi-, akryyli ja polyesterimuovimassat	Tuotteen valmistajan antamat raja-arvot. Betonin pinnan oltava päällystysvaiheessa kuiva ja riittävän lämmin.
Muut arvot	Tapauskohtaisesti eri materiaalit	Materiaalin valmistaja voi antaa näistä ohjeista poikkeavia tuotekohtaisia arvoja.
90%	Kemieristykset	Materiaalivalmistajan ohjeet

Case 1 kohteeksi valittiin Ilmalanrinne 1 C-talon 3.krs:en eteläpuolelle tulevien WC-tilojen alue. WC-tiloihin tuleva pinnoite on vedeneriste ja keraaminen laatta. Sen kosteuden raja-arvo on 90 %, eli betonin suhteellisen kosteuden pitää olla alle 90RH ennen pinnoittamista. Case 1:en sijainti on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. C-talon, 3. krs:n tasokuva. Case 1 alue on merkitty kuvaan punaisella suorakulmiolla (Ilmalanrinne 1).

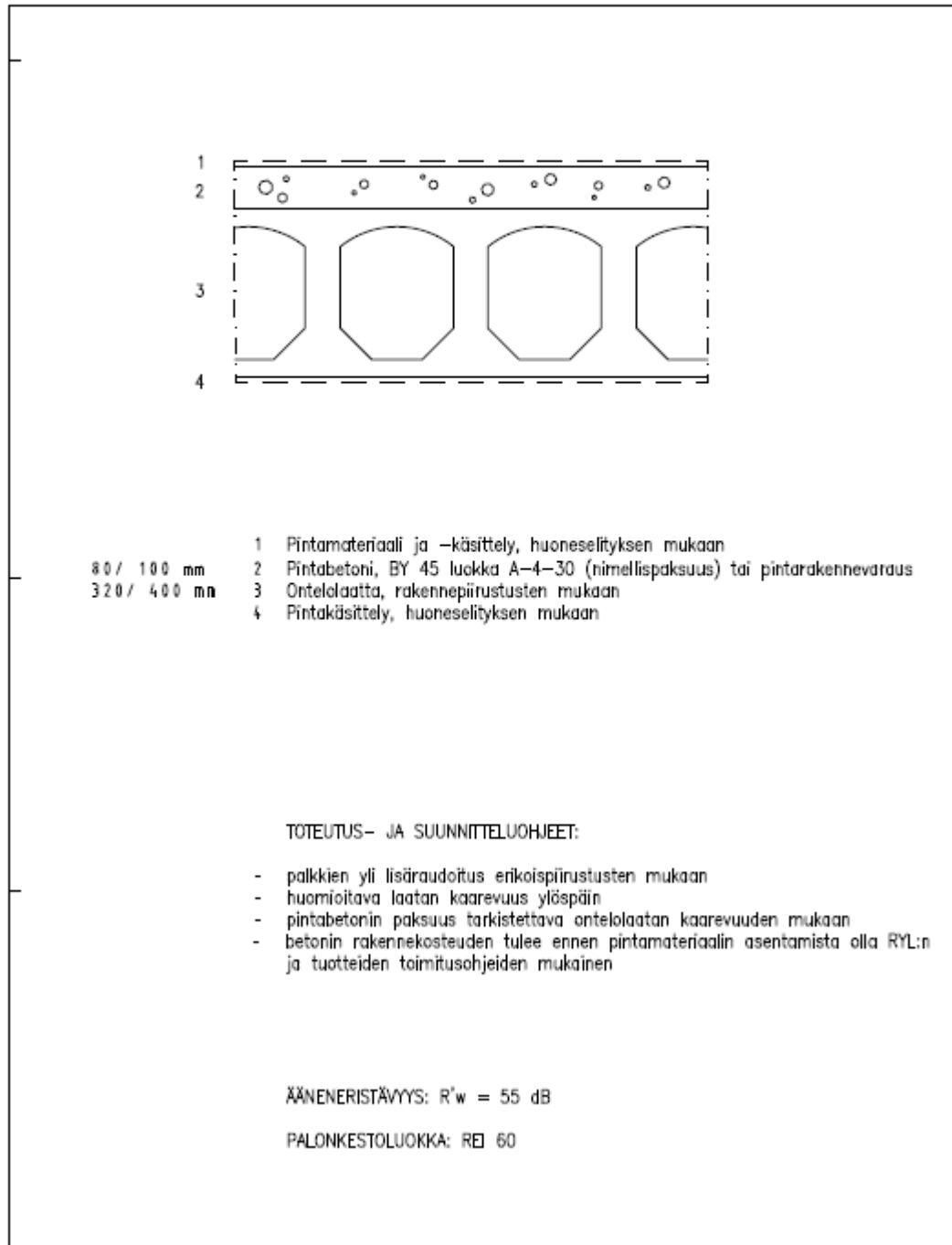
Valokuva case 1 kohteesta on esitetty kuvassa 27.



Kuva 27. Case 1 valun jälkeisenä päivänä (Ilmalanrinne 1, C-talo, 3.krs, eteläpuoli, 3.2.2015).

Case 1 kohteen rakennetyyppi on esitetty kuvassa 28. Tarkasteltavana kohteena on rakenteen pintabetonivalu.

Finnmap Consulting <small>FMC GROUP</small>	Työn nro 52976	VP1
	Päiväys	
Rakennuskohde/Käyttökohde ILMALANRINNE Ilmalanrinne 1 00240 Helsinki	Sisältö Ontelolaattavälipohja Pintabetoni Välipohja yleensä	



Kuva 28. Välipohjatyypin 1 (VP1) poikkileikkaus (Ilmalanrinne 1 suunnitelmat).

Käytetty betoni: Betoni 16mm C25/30 S3 XC1 100V Rapid.

Käytetyt sementit (suhde 50:50):

1. Plussasementti CEM 2/B-M (S-LL) 42,5 N
2. Pikasementti CEM 1 52,5 R

Taulukko 2. Käytetyn betonin ominaisuudet.

Tasaisuus	A
Kulutuksenkestävyys:	4
Lujuusluokka:	25
Vesisementtisuhde:	0,7
Sementin määrä	300kg/m ³
Max raekoko	16 mm
Lisäaineet:	Notkistin
Jälkihoito	Jälkihoitoaine
Halkeilu	Pientä verkostomaista pintahalkeilua havaittu parissa kohtaa.
Korkkaaminen	Ei havaittu
Esikäsitteily	Kiviaineksen lämmitys
Notkeusluokka	S3

BETONOIMISPÖYTÄKIRJA No:36

Tilaaaja: Lemminkäinen Talo Oy

Työmaa: Ilmalanportti

Urakoitsija: Megalattiat Oy

Valu-alue:osa C-Talo 3 krs

Betoni: C25/30 XC1 S 3 ,max raekoko 16mm Rabid

Betonin määrä 61,5 m3 Lämmitys 25 C Pikasementtiä

lisätty 20kg/m3

Toimittaja: Lohjan Rudus

Sää: klo 7.00 , Ontelon pinta +2 - + 9 pouta sade

Valu alkoi klo 8.15 päättyi klo 13.45

Hiertäminen alkoi klo 12.05 päättyi klo 21,35

Muut asiat : Sulamisvesiä katolta valualueelle n.470m2

vesivahinkoalueet yhteensä.

Päiväys: Helsingissä 2.2.2015

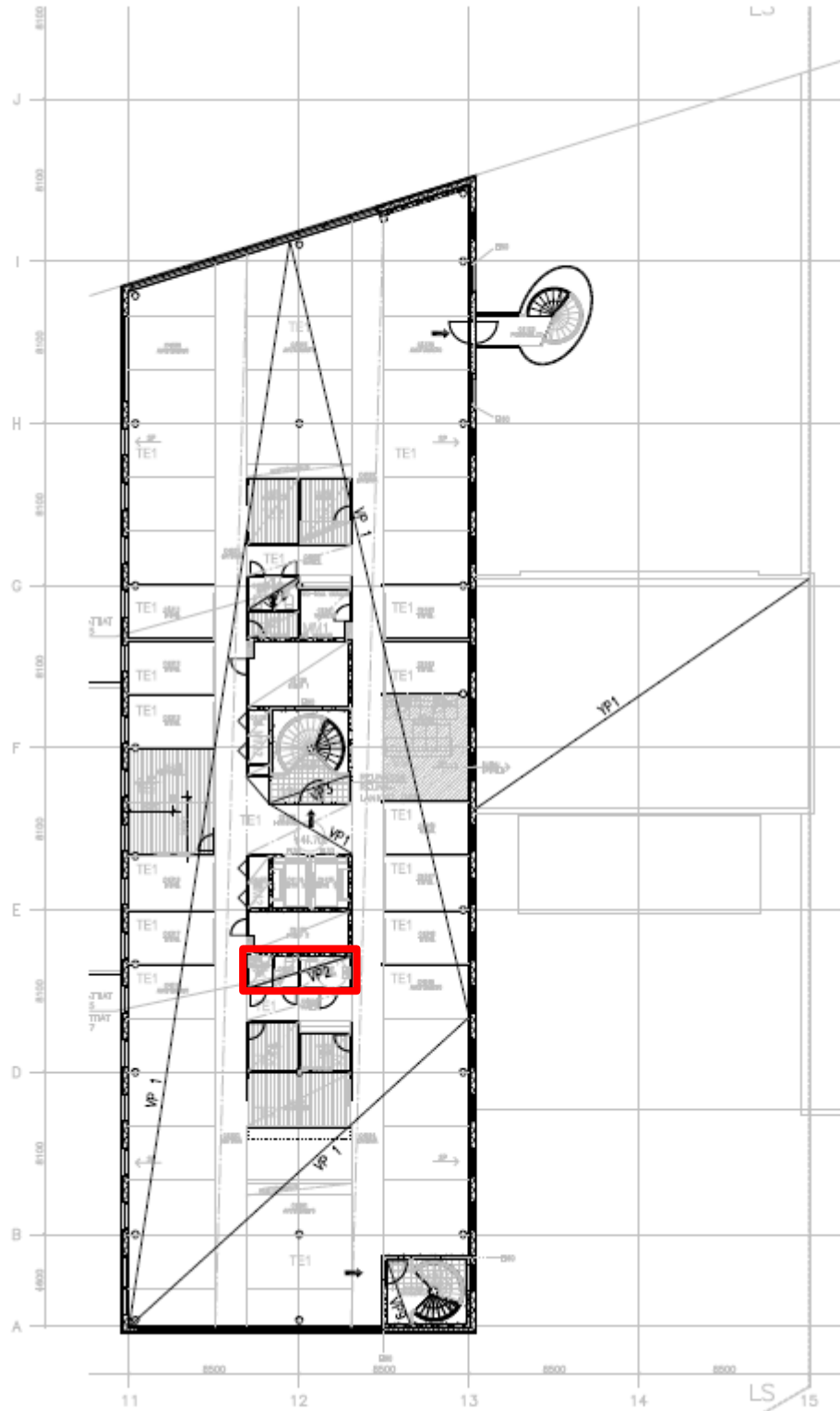
Tilaaaja:


Hannu Marttinen

Urakoitsija:



Case 2 kohteeksi valittiin Ilmalanrinne 1 C-talon 4.krs:en eteläpuolelle tulevien WC-tilojen alue. WC-tiloihin tuleva pinnoite on vedeneriste ja keraaminen laatta. Sen kosteuden raja-arvo on 90 %, eli betonin suhteellisen kosteuden pitää olla alle 90RH ennen pinnoittamista. Case 2:en sijainti on esitetty kuvassa 29.



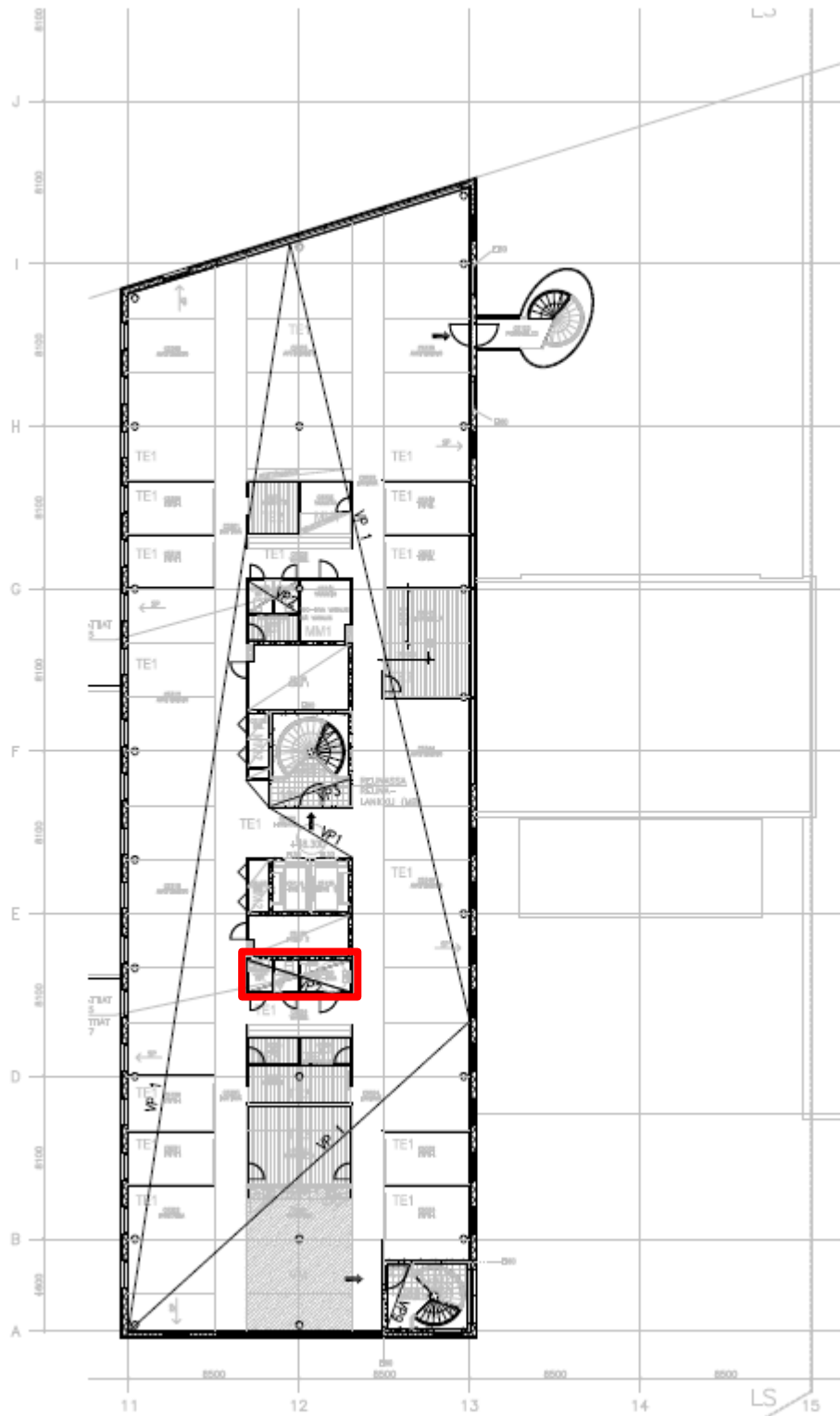
Kuva 29. C-talon 4.krs:en tasokuva. Case 2 alue on merkitty kuvaan punaisella suorakulmiolla (Ilmalanrinne 1).

Valokuva case 2 kohteesta on esitetty kuvassa 30. Case 2 kohteen rakennetyyppi on esitetty kuvassa 28. Tarkasteltavana kohteena on rakenteen pintabetonivalu. Käytetty pintabetoni ja sen ominaisuudet on esitetty taulukossa 2.



Kuva 30. Case 2 neljä päivää valun jälkeen (Ilmalanrinne 1, C-talo, 4.krs, eteläpuoli).

Case 3 kohteeksi valittiin Ilmalanrinne 1 C-talon 5.krs:en eteläpuolelle tulevien WC-tilojen alue. WC-tiloihin tuleva pinnoite on vedeneriste ja keraaminen laatta. Sen kosteuden raja-arvo on 90 %, eli betonin suhteellisen kosteuden pitää olla alle 90RH ennen pinnoittamista. Case 3:en sijainti on esitetty kuvassa 31.



Kuva 31. C-talon 5.krs:en tasokuva. Case 3 alue on merkitty kuvaan punaisella suorakulmiolla (Ilmalanrinne 1).

Valokuva case 3 kohteesta on esitetty kuvassa 32. Case 3 kohteen rakennetyyppi on esitetty kuvassa 28. Tarkasteltavana kohteena on rakenteen pintabetonivalu. Käytetty pintabetoni ja sen ominaisuudet on esitetty taulukossa 2.



Kuva 32. Case 3 kolme päivää valun jälkeen (Ilmalanrinne 1, C-talo, 5.krs, eteläpuoli).

3.2 Mittausten suoritus

Case esimerkki kohteista mitataan betonin lämpötila, ilman lämpötila ja sisäilman kosteus, jotta saadaan dataa olosuhteiden vaihteluista ja niiden vaikutuksesta betonin kuivumiseen. Lisäksi betonin pintakosteus mitataan samalla viidestä eri kohtaa. Vaikka pintakosteusmittari on epäluotettava, eikä se kerro tarkasti betonin sisäistä kosteutta tai millä syvyydellä kosteus on, niin sillä saamme dataa betonin kosteusvaihteluista. Pintakosteusmittauksilla nähdään, onko betoni saanut lisäkosteutta, mikä on suurin epävarmuustekijä tutkimuksessa. Samalla kirjataan ulkoilman lämpötila ja ulkoilman kosteus, jotka katsotaan Forecan säätiedoista. Ensimmäisten kahden kuukauden aikana mittaus-taajuus on vähintään kolme kertaa viikossa. Viimeisen eli kolmannen kuukauden aikana riittää mittausaajuudeksi kaksi kertaa viikossa. Jokaisesta mittauspäivästä täytetään mittauspöytäkirja tietojen tarkkaa dokumentointia varten. Mittauspöytäkirjaan kirjataan myös huomiot ja muutokset olosuhteissa. Mittaustiedot kootaan mittauspöytäkirjoista Exceliin omiin taulukoihinsa.

Kohteille tilataan myös tarkemmat betonin sisäisen kosteuden mittaukset. Ensimmäiset tarkemmat mittaukset tilataan neljän viikon päästä viimeisen kohteen eli 5.krs:en valusta. Kohteista ensimmäisenä valettava 3.krs valetaan viikkoa aikaisemmin kuin 5.krs, joten sen valusta on mittaushetkellä viisi viikkoa. Tarkempien sisäisen kosteuden mittausten mittaustaajuus yritetään pitää neljässä viikossa, eli ne ehditään suorittamaan kolme kertaa kuivumisaikana. Tarkoilla sisäisen kosteuden mittauksilla saamme tarkkaa tietoa betonin todellisesta kuivumisesta. Tarkemmat kosteusmittaukset tilataan ulkopuoliselta osapuolelta mittausrvirheiden minimoimiseksi. Tarkempien mittausten suorittajalla pitää olla pätevyys mittausten suorittamiseen. Kaikkia mittauksia jatketaan kunnes lattioiden betonipinnat ovat riittävän kuivia pinnoittamiseen. 3.krs:sen wc-ryhmien laatoitustyöt on suunniteltu alkavaksi 4.5.2015.

Tarkemmat kosteusmittaukset pyritään ottamaan esimerkkikohteiden märimmistä kohdista ja kuivista kohdista vertailukelpoisen datan saamiseksi. On tärkeää suorittaa tarkemmat mittaukset ainakin kosteimmista kohdista, jotta tiedetään myös niiden kohtien riittävä kuivuminen ennen pinnoittamista. Tarkemmat kosteusmittaukset suoritetaan laatan paksuuden puolesta välistä (40mm), koska kyseessä on ohut laatta (80mm), niin maksimikosteusjakauma on lähellä laatan paksuuden puoltaväliä. Ohuessa laatussa kosteusjakauman vaihtelut laatan puolivälin puolin ja toisin eivät ole suuria.

Kosteusmittausten suorittaminen käytännössä eroaa hieman ohjeista käytännön ongelmien huomioimiseksi. Porareiät tulpataan, ja ilman annetaan tasaantua porausreiässä minimissään kolmen päivän ajan. Mitta-anturit porareikiin asennetaan vasta mittauspäivänä, ja niiden annetaan tasaantua noin 30 minuuttia. Mitta-antureita ei asenneta heti puhdistuksen jälkeen, että antureita ei potkita vahingossa rikki vilkkailla työmailla. Tutkimuksissa on huomattu, että tämä ei vaikuta mittaustuloksiin merkittävästi. 30 minuuttia anturin näyttämän tuloksen tasaantumiseen on riittävä. Lisäksi yhdestä mittauskohdasta otetaan vain yksi mittaus ohjeissa olevan kahden mittauksen sijaan vertailua varten. Riittää, että tutkittavan rakenteen eri mittauskohtien tuloksia pystytään vertaamaan keskenään. Näin saamme useampia mittauskohtia. Eri mittauskohteiden tuloksien vertailu riittää varmistamaan betonin riittävän kuivumisen. Jos mittauksia tehdessä esiintyy epätarkkuustekijöitä, on tärkeää huomioida ne tuloksia tulkitessa.

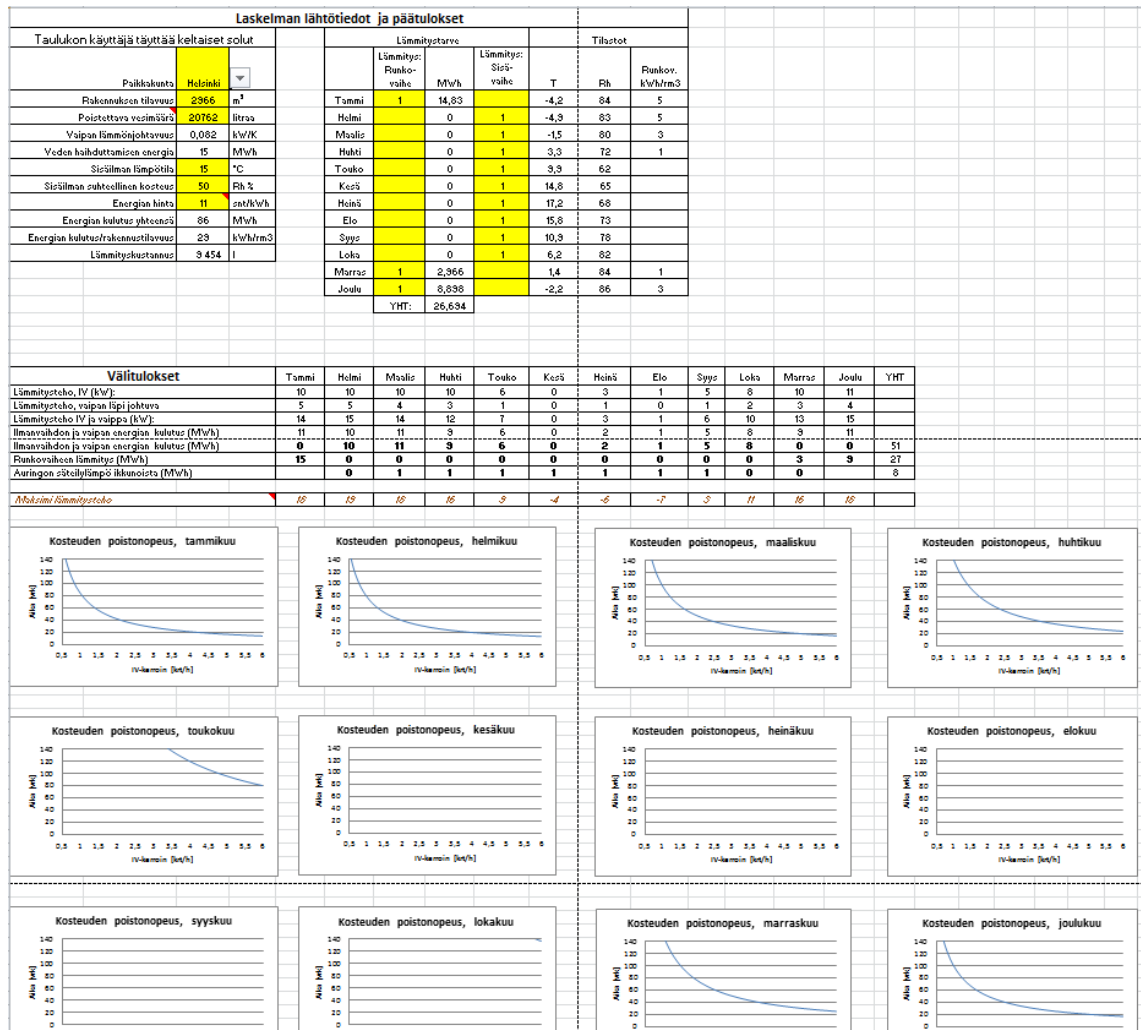
Sisäilman kosteus ja lämpötila mitataan Testo 605-H1 kosteus- ja lämpötilamittarilla. Betonin lämpötila mitataan anturallisella Testo 925 lämpömittarilla. Betonin pintakosteus mitataan Mastech MS6900 pintakosteusmittarilla. Tarkemmat betonin sisäisen kosteuden mittaukset suoritetaan Vaisala HMP42 mittaasantureilla ja Vaisala HMI41 lukulaitteella.

4. AINEISTO

4.1 Kuivatuksen mitoitus

Koepaikkojen kuivatus alkaa helmikuussa ja kestää toukokuun alkuun, joten kuivatus pystytään järjestämään pelkällä lisälämmityksellä tehokkaasti. Tämä perustellaan kohdassa 2.2.2, ja kuvasta 7 nähdään, että kylmä ulkoilma on paljon kuivempaa kuin lämmin sisäilma kyseisenä aikana. Ensimmäinen kohde valetaan 2.2.2015 ja sen pinnoittaminen alkaa 4.5.2015. Aikaa kuivumiselle on varattu kolme kuukautta. Toiselle ja kolmannelle case esimerkille kuivumisaika on sama kolme kuukautta. Kuivatuksen alkaessa helmikuussa kerroksissa on kaksinkertaiset suojaseinät kunnes rakennuksen vaippa valmistuu, joten kaikkina kolmena kuukautena voidaan ajatella kyseessä olevan sisävaiheen lämmitys. Kaksinkertaisilla suojaseinillä pystytään olosuhteet pitämään mahdollisimman optimeina, vaikka rakennuksen vaippa ei ole vielä valmis. Suojaseinien käytöstä aiheutuvasta vuotoilmasta johtuen, ilmanvaihto pysyy riittävänä ilman erillisiä toimenpiteitä. Suojaseinien riittävä tiiveys on varmistettava, jotta lämmitysenergiaa ei kulu turhaan. Ilmanvaihtokertoimeksi kyseisenä vuodenaikana ja kyseisillä olosuhteilla voidaan olettaa olevan 1-2, joten käytetään keskiarvoa 1,5.

Lasketaan vaadittu lämmitysteho valmiin taulukon avulla. 4- ja 5.krs:n pinta-alat ovat 927 m² ja 3.krs:n pinta-ala on 1027 m². Kerroskorkeus on kaikilla kohteilla 3,2 m. Taulukosta nähdään, että poistettava kerroskohtainen vesimäärä litroina on kerroksen tilavuus (m³) * 7. Tästä saadaan laskettua, että 4- ja 5.krs:esta, vettä pitää poistaa $927 * 3,2 * 7 = 20765$ litraa. 3.krs:en poistettava vesimäärä samalla kaavalla on 23005 litraa. Taulukko on kuitenkin laadittu asuinkerrostalokohteelle. Todellisuudessa poistettava vesimäärä on pienempi, koska toimistorakennuksessa ei ole betonisia ulkoseiniä eikä huoneistojen välisiä seiniä. Lämmitystä tehostetaan betonivalun aluksi laskelmista poiketen, jotta varmistetaan betonin riittävä ja nopeampi lujittuminen heti valun jälkeen. Tämä puolestaan nopeuttaa hieman kuivumista kuivatuksen alussa. Valitaan tavoite kuivatusolosuhteiksi kohteille 15 C ja 50 RH. Käytetty taulukko on esitetty kuvassa 33.



Kuva 33. Valmis taulukkotyökalu kuivatuksen ja lämmityksen suunnitteluun (Tampereen teknillinen yliopisto, a).

Taulukosta nähdään vaaditut kuukausittaiset maksimilämmitystehot halutuille olosuhteille. Lisäksi taulukon avulla pystytään laskemaan onko kuivuminen riittävän nopeaa, sille varattuna aikana kuukausittaisten kosteuden poistonopeuksien avulla.

Tarkistetaan riittävä kosteudenpoisto nopeus kerrokselle 3. Helmikuussa kosteuden poistonopeus IV-kertoimella 1,5 on 50 vrk. Helmikuussa kohteella on 26 päivää aikaa kuivua, eli jäljelle jäävä kosteus on $23005 - (23005/50 * 26) = 11042$ litraa.

Maaliskuussa kosteuden poistonopeus on 70 vrk. Maaliskuussa jäljelle jäävä kosteus on $11042 - (23005/70 * 31) = 854$ litraa.

Huhtikuussa kosteuden poistonopeus on 100 vrk. Huhtikuussa jäljelle jäävä kosteus on $854 - (23005/100 * 31) = -6278$

Tuloksesta nähdään, että kosteuden poistonopeus on teoriassa riittävä ilmanvaihdon kyvyn mukaan poistaa kosteutta. Kosteuden poistonopeus on riittävä myös kerroksille 4. ja 5., koska niissä kuivumisolosuhteet ovat samat ja poistettava vesimäärä pienempi.

Olosuhteita ei kuitenkaan kannata huonontaa, että on ylimääräistä aikaa myös mahdollisen lisäkosteuden kuivumiselle.

Taulukon mukaan kuukausittaiset maksimilämmitystehot halutuille kuivumisolosuhteille ovat:

- Helmikuu, 19 kW
- Maaliskuu, 18 kW
- Huhtikuu, 16 kW

Taulukko on kuitenkin tarkoitettu sandwich elementeillä tehtävään kohteeseen, jossa julkisivu valmistuu samassa tahdissa rakennuksen rungon kanssa. Sandwich-julkisivuratkaisussa ei jouduta avonaisia julkisivuja suojaamaan aluksi suojaseinillä, kuten tutkimuksen kohteessa käytettyjen termorankaelementtien vuoksi tehdään. Julkisivuratkaisun on valinnut kohteen tilaaja. Taulukko ei maksimilämmitystehoja laskiessa huomioi suojaseinien vaikutusta, vaan taulukon ilmoittavat maksimilämmitystehot olettavat, että rakennuksen vaippa on kokonaan valmis. Rakennuksen vaippa ei ole kokonaan valmis ja suojaseinillä rakennusta ei saada yhtä tiiviiksi kuin valmiilla vaipalla, joten todelliset maksimilämmitystehot ovat huomattavasti suuremmat. Lisäksi taulukosta nähdään esimerkiksi, että paljon kuluu energiaa, jos oletetaan, että kuivatus kuukaudet ovat runkovaiheen lämmitystä. Jakamalla kuluva energia ajalla saadaan keskimääräinen lämmitysteho, mutta se on paljon suurempi kuin todellisuudessa, koska se ei taas puolestaan huomioi suojaseinien eristävyyttä.

Kohteemme työnjohdon aikaisemmasta kokemuksesta tiedetään arvio tarvittavalle lämmitysteholle, mikä on luokkaa 60-108 kW kerrosta kohden. Suuruus vaihtelee kerroksen, tilanteen ja erityisesti ulkolämpötilojen mukaan. Siksi pitääkin varata myös helposti liikuteltavia lämmittämiä, joita vaihdellaan tilanteen mukaan. 3.krs:ssa käytetään kolmea kaukolämpöverkkoon kytkettyä lämpöpuhallinta. 4- ja 5.krs:ssa käytetään kahta kaukolämpöverkkoon kytkettyä lämpöpuhallinta. Kerroksissa käytetään mahdollisesti myös 1-2 sähköpuhallinta tarpeen mukaan. Lämmitystehon tarve on hieman pienempi 4- ja 5.krs:ssa verrattuna 3.krs:een, koska niiden tilavuus on pienempi. 3.krs:essa lämmitysteho on välillä 90-108 kW sekä 4- ja 5.krs:essa lämmitysteho on välillä 60-78 kW. Lisäksi käytössä on polttoöljylämmitin eli Heatmobil. Aluksi käytetään myös polttoöljylämmitintä, jotta varmistetaan betonin riittävä lujouden kehitys heti valun jälkeen. Suunniteltua lämmitystä ja kuivumisolosuhteita pitää tarkkailla ja muuttaa tilanteen mukaan, jotta saadaan pidettyä ne halutulla tasolla. Kuivumisolosuhteiden pitäminen halutulla tasolla on erittäin tärkeää, jotta rakenteet ehtivät kuivua siihen varattuna aikana. Toisaalta liian suuri lämmittäminen lisää lämmityskuluja turhaan.

4.2 Kuivumisaika-arvioiden laskeminen

Kuivumisaika-arviot tutkimuksen eri kerroksille ovat samoja, koska rakennetyyppi, tavoitekosteus, vesi-sideainesuhde, oletettu alustan kosteus ja tavoite kuivumisolosuhteet eri kerroksille ovat samoja. Kuivumisaika-arvio on ensiksi laskettu valmiilla laskurilla (kuva 34), josta tulokseksi saadaan 11,7 viikkoa. Itse laskettuna teorian (2.3) mukaan joudutaan soveltamaan, koska kohteidemme rakennetyypille (VP1) ei ole määritelty suoraan peruskuivumiskäyrää ja kertoimia. Käyttäen maanvastaisen laatan peruskuivumiskäyrää ja kertoimia saadaan tulokseksi 12 viikkoa (taulukko 4), eli käytännössä sama kuin laskurilla. Käyttäen kelluvan pintabetonilaatan peruskuivumiskäyrää ja kertoimia saadaan tulokseksi 6,7 viikkoa (taulukko 3).

Laskettuna käyttäen kelluvan pintabetonilaatan peruskuivumiskäyrää ja kertoimia on tulos huomattavasti pienempi. Tämä johtuu siitä, että kelluvan rakenteen pintaosalle kuivuminen on nopeampaa verrattuna ei-kelluvaan rakenteeseen, koska kelluvan rakenteen pintaosa pääsee kuivumaan molempiin suuntiin (Petrov et al., s. 497). Tutkimuksen kohteissa pintabetonilaatta tulee suoraan ontelolaatan päälle, ja siksi rakenne ei ole kyllä. Kohteidemme rakennetyyppi pääsee kuivumaan vain yhteen suuntaan, ja näin ollen rakenne muistuttaa enemmän alapohjan yhteen suuntaan kuivuvaa maanvastaista rakennetta kuin kahteen suuntaan kuivuvaa välipohjan kelluvaa rakennetta, vaikka kyseessä on myös välipohjarakenne.

Betonirakenteiden kuivuminen

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

Kohde: **Ilmalanrinne 1**

Ontelolaatta + pintabetonivalu

Kun olet ensin valinnut haluamasi rakennetyypin sivun alareunan taulukoista, syötä sitten arvot tavoitekosteudelle, vesi-sideainesuhteelle ja pintabetonin paksuudelle. Valitse lisäksi ontelolaatan kosteus, kastumisaika sekä kuivumisolosuhteista kosteus ja lämpötila. Kuivumisaika ilmoitetaan viikkoina. Kuivumisaajan lasketaan alkavan siitä kun rakenne ei enää saa lisäkosteutta. Jos jälkihoito tehdään kastelemalla, lasketaan aika kastelun lopettamisen jälkeen. Jos jälkihoito tehdään peittämällä, lasketaan aika valusta.

	Syöttöarvot	Haja-arvo	Peruskuivumisaika
Tavoitekosteus	90,0 %	"80-100"	9,0
Vesi-sideainesuhde:	0,70	"0,5-0,7"	Kerroin 1,00
Pintabetonin paksuus	80,0 mm	"30-80"	Kerroin 1,30

Ontelolaatan kosteus

< 90 %

90 - 95 %

> 95 %

Kastumisaika

Kuivassa

Kosteassa yli 2 viikkoa

Kastunut yli 2 viikkoa

Kuivumisolosuhteet

Kosteus

35 %

50 %

60 %

70 %

80 %

Lämpötila

10 C

15 C

20 C

25 C

30 C

BY1021

Kuivumisaika viikkoina: 11,7

Kuva 34. Valmis laskuri betonirakenteiden kuivumisaajan arviointiin (Merikallio 2002 a).

Taulukossa 3 on esitetty kelluvan pintabetonilaatan laskentateorian (2.3) mukaan saatu kuivumisaika. Peruskuivumisaika kerrotaan taulukossa esitetyillä kertoimilla, jolloin saadaan rakenteen kuivumisaika viikkoina.

Taulukko 3. Kelluvan pintabetonilaatan kuivumisajan laskeminen (Merikallio 2002 a, s. 56).

Peruskuivumisaika (vk)	5
Runkolaatan kosteus 90-95%	1,1
Vesisideainesuhde 0,7	1
Laatan paksuus: 80 mm	1,1
RH50% / 15C	1,1
Kosteassa	1
Kuivumisaika (VK)	6,7

Taulukossa 4 on esitetty maanvastaisen laatan laskentateorian (2.3) mukaan saatu kuivumisaika. Peruskuivumisaika kerrotaan taulukossa esitetyillä kertoimilla, jolloin saadaan rakenteen kuivumisaika viikkoina.

Taulukko 4. Maanvastaisen laatan kuivumisajan laskeminen (Merikallio 2002 a, s. 39).

Peruskuivumisaika (vk)	10
Runkolaatan kosteus 90-95%	1,0
Vesisideainesuhde 0,7	1
Laatan paksuus: 80 mm	1,2
RH50% /15C	1,0
Kosteassa	1
Kuivumisaika (VK)	12

4.3 Mittaustulokset

Tässä osiossa on esitetty tutkimuksessa saadut mittaustulokset. Itse suoritettujen mittausten tulokset on esitetty case kohteittain taulukoissaan, sekä tuloksista piirretyillä kaa-

vioilla (kaaviot 1-14). Case kohteiden suhteellisen kosteuden mittausten tulokset on esitetty yhtenäisesti kohdassa 4.3.4 sekä tuloksista piirretyllä kaaviolla (kaavio 15).

4.3.1 Case 1

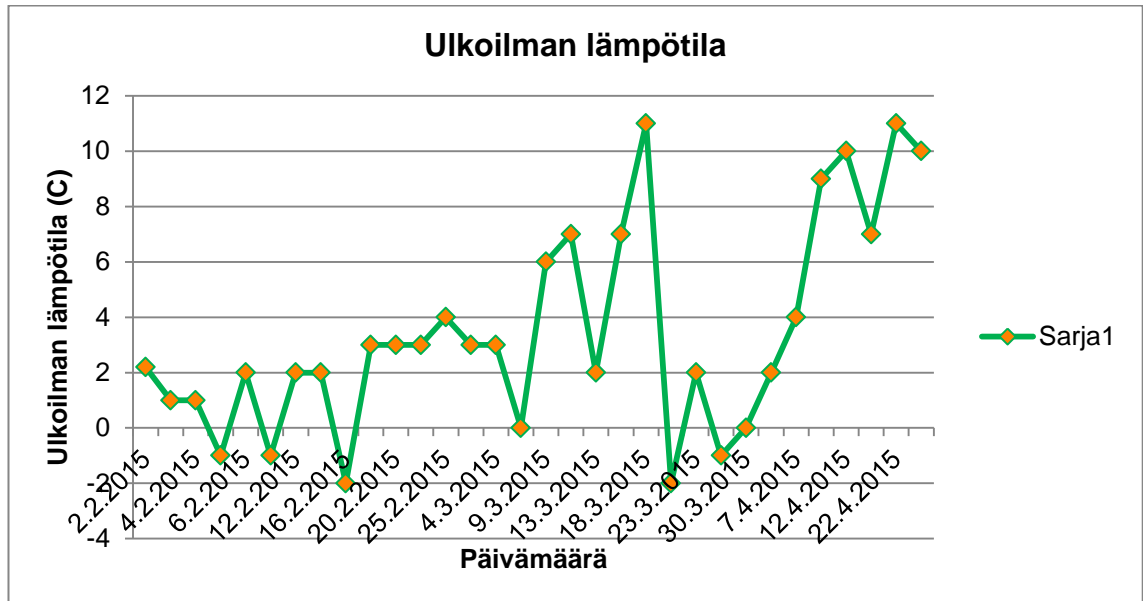
Case 1 kohteelle itse suoritettujen mittausten tulokset on esitetty taulukossa 5. Taulukossa 5 on myös kirjattu havaitut muutokset ja huomiot kohteen olosuhteissa.

Taulukko 5. Case 1 kohteen mittaustulokset.

Case 1							Betonin Pintakosteus (%)					Huomiot/ Muutokset olosuhteissa
PVM	Klo	Ulkoilman lämpötila (°C)	Ulkoilman kosteus (RH)	Sisäilman lämpötila (°C)	Sisäilman kosteus (RH)	Betonin lämpötila (°C)	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3	Mittaus 4	Mittaus 5	
2.2.2015	14:26	2,2	80,7	9		10,1						Valupäivä
3.2.2015	14:39	1	88	14,3	51,7	13,8	12,3	15,3	11,8	12,1	16	Tate-reiästä valunut ylimääräistä vettä rakenteelle
4.2.2015	13:01	1	89,1	10,5	43,2	11,2	10,6	11,2	10,9	11,1	17,3	Tate-reiät tukittu. Porausreiästä valui vielä vähän vettä
5.2.2015	13:50	-1	93	20,2	39	16,3	9,6	2,7	3,7	12,9	2,6	Ylemmässä kerroksessa pintavalu, mikä nostaa alemman kerroksen lämpötilaa
6.2.2015	10:21	2	97	15,5	40	16,8	10	11,3	2,7	15,2	2,2	Alueella oleva kaukolämpöpuhallin tiputtaa vettä. Tate-reiästä ei enää tipu vettä
9.2.2015	16:36	-1	100	15,3	35,9	14	1,7	9,3	1,7	1,7	1,7	Ei vesi lätäköitä
12.2.2015	13:30	2	88	14,6	41,8	15,7	9,1	1,7	15,6	1,7	9,7	Lattialle tippunut vettä.
13.2.2015	14:26	2	94	15,3	46	14,8	1,7	1,7	3	1,5	2,6	
16.2.2015	14:19	-2	44	12,1	23,7	13,5	2	1,6	1,6	1,5	1,7	
18.2.2015	13:01	3	77	13,3	39	14,2	1,6	2	2	1,6	2,2	Pintaa hierretty
20.2.2015	13:06	3	97	14,2	44,5	15	1,6	1,6	2,2	1,7	1,7	
23.2.2015	16:01	3	84	14,6	44,5	14,9	1,7	1,7	1,5	2	1,7	
25.2.2015	15:53	4	83	13,6	45	14,6	1,7	1,5	1,7	1,7	1,6	
2.3.2015	14:51	3	98	16	41,6	12,2	1,7	1,7	1,7	2,4	2	
4.3.2015	14:02	3	96	14	47,5	13,3	9,4	1,7	13,4	1,7	13,7	Alueelle valunut laajasti vettä, joka poistettu vesi-imurilla
7.3.2015	9:34	0	100	13,6	44,6	13,4	1,7	2,1	2	1,7	2,2	
9.3.2015	10:05	6	92	16,9	43,7	15,1	1,7	2,2	1,7	2,2	2,2	Mitattu myös suhteellinen kosteus
11.3.2015	14:05	7	53	16,4	31,5	15,3	1,6	1,6	1,8	1,6	1,7	
13.3.2015	10:15	2	80	13,3	36,8	15,3	1,8	1,7	1,7	1,7	1,8	Lämmitin kytketty pois työskentelyn ajaksi
16.3.2015	14:31	7	36	16,8	19	15,4	1,4	1,6	1,6	1,7	1,6	
18.3.2015	13:55	11	24	18,1	19,3	17,7	1,3	1,6	1,6	1,6	1,7	
21.3.2015	7:16	-2	47	7,3	27,1	9,9	1,5	1,5	1,7	1,6	1,7	Alueelle alettu rakentamaan väliseiniä
23.3.2015	14:28	2	97	12	43,6	10,8	1,8	1,6	1,7	1,7	1,6	
25.3.2015	11:25	-1	96	9,1	61,1	10,1	1,6	1,7	1,7	1,7	1,6	
30.3.2015	14:35	0	100	8,3	56,2	8,1	1,6	1,7	3	2	1,7	Sähkökeskus syttynyt tuleen, talosta ollut sähköt pois
2.4.2015	10:21	2	90	10,3	51,2	9,8	2,2	2,5	1,6	1,7	2,1	Porattu reiät tarkempia kosteusmittauksia varten
7.4.2015	8:45	4	89	23,3	28,2	23,6	1,5	1,6	1,7	1,5	1,5	Lämpötilaa nostettu suhteellisen kosteuden mittausta varten jotka myös mitattu
9.4.2015	13:56	9	48	18,7	28,7	18,9	1,7	1,5	1,6	1,7	1,6	
12.4.2015	11:46	10	59	21,2	31,4	19,3	1,6	1,7	1,7	1,5	1,5	
16.4.2015	13:42	7	64	18,7	27,5	18	1,7	1,5	1,7	1,6	1,5	Lisätty sähköpuhaltimet nopeuttamaan
22.4.2015	13:43	11	48	21,9	26,4	19	1,5	1,6	1,8	1,5	1,5	kuivumista WC-tiloihin
23.4.2015	13:21	10	33	21,3	21,9	18,9	1,5	1,2	1,7	1,5	1,2	Mitattu myös suhteellinen kosteus

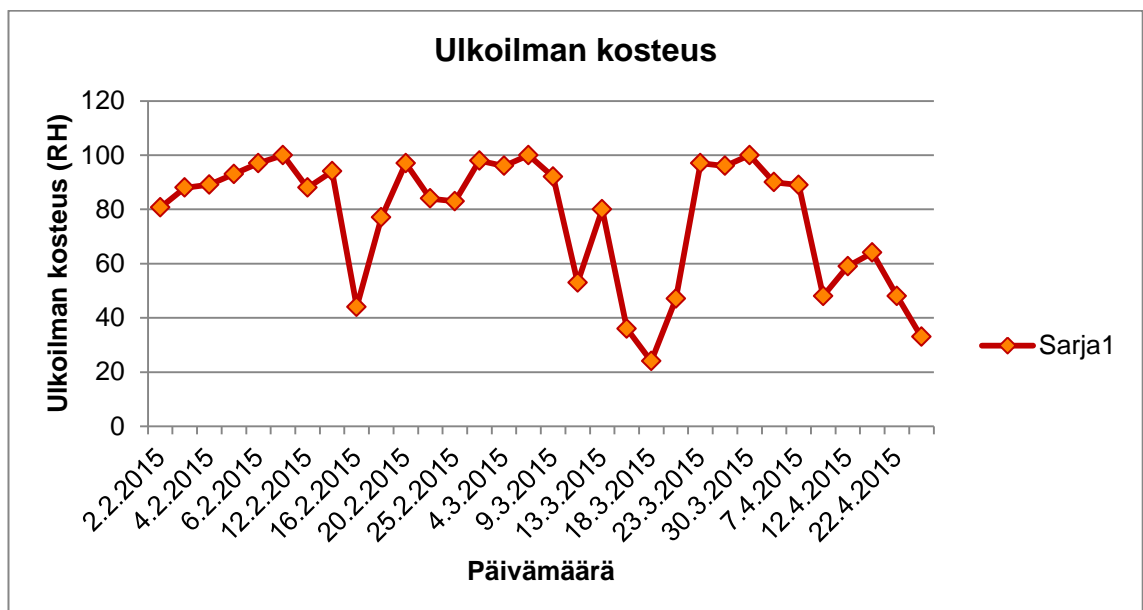
Ulkoilman lämpötilassa (kaavio 1) nähdään voimakkaita vaihteluita, mikä on normaalia Suomen muuttuvassa säässä. Tämä aiheuttaa omat haasteensa rakenteiden kuivattami-

seen, koska olosuhteet tulee pitää tavoitteiden mukaisina halutun kuivumisnopeuden varmistamiseksi.



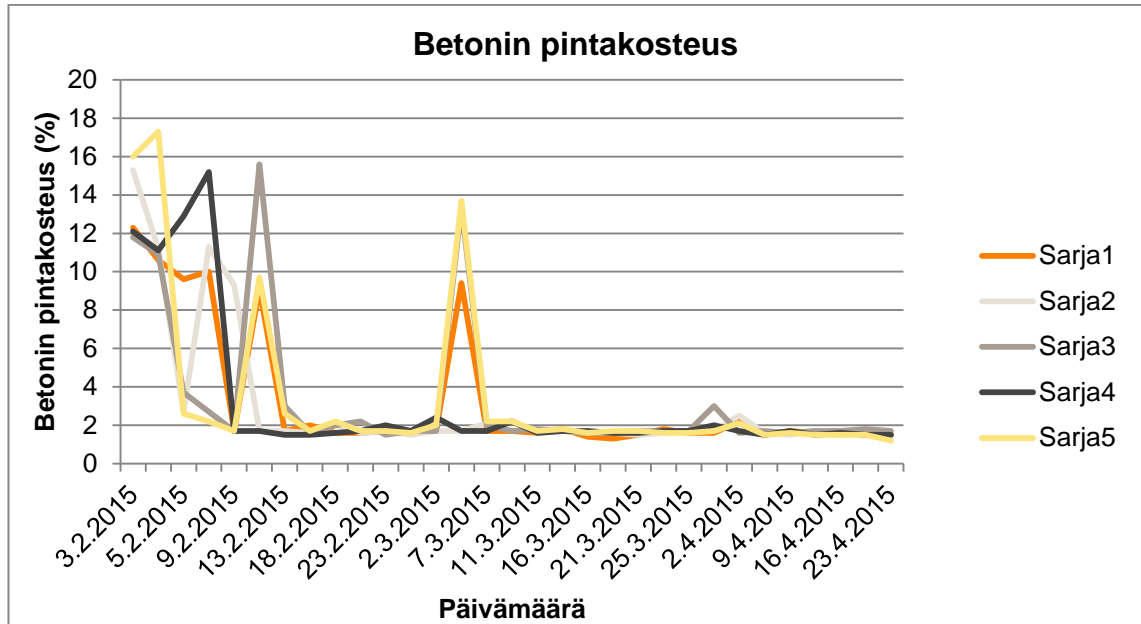
Kaavio 1. Mitatut ulkolämpötilat.

Myös ulkoilman suhteellinen kosteus (kaavio 2) vaihtelee välillä radikaalisti äkillisten lämpötilan muutosten takia. Erityisesti tämä aiheuttaa haasteita kuivattamiseen, sillä ulkoilman kosteuden voimakas nousu saattaa nostaa myös sisäilman kosteutta, jos tuuletus ei ole riittävää. Varsinkin jos sisäilmankosteus nousee yli RH 60, niin teorian 2.2 mukaan kuivuminen hidastuu merkittävästi.



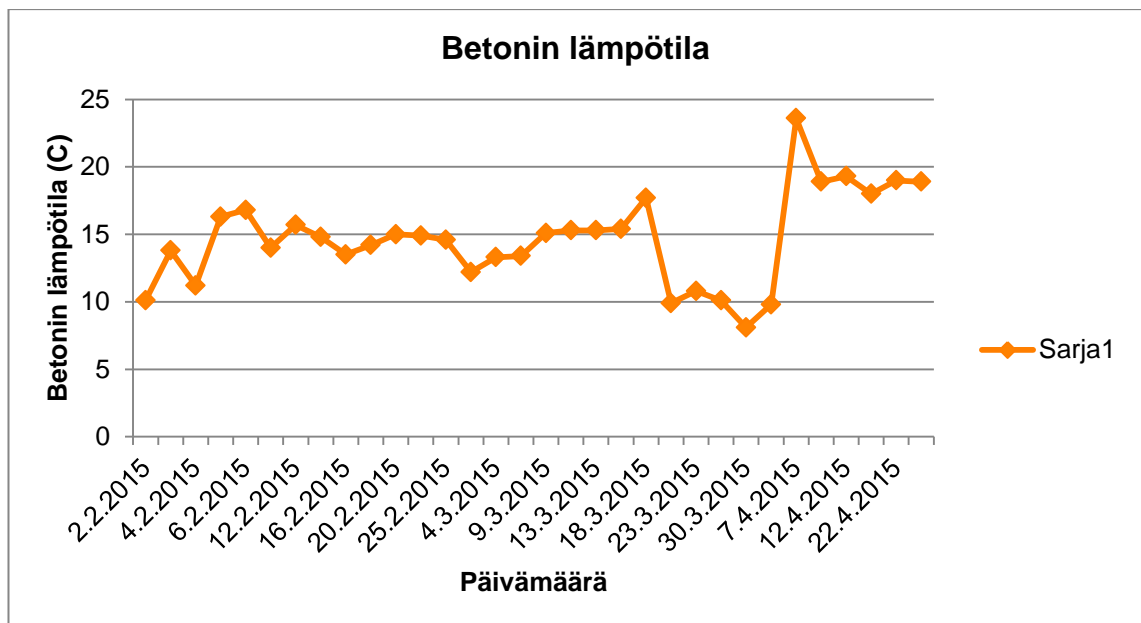
Kaavio 2. Mitatut ulkoilmankosteudet.

Betonin pintakosteusmittauksista (kaavio 3) nähdään, että milloin case 1 kohde on ainakin altistunut ylimääräiselle kosteusrasitukselle. Mittauksista huomataan suurimman osan ylimääräisestä kosteusrasituksesta ajoittuvan kuivatuksen alkuun, mikä on luonnollista, koska vesikatto ei vielä ollut vedenpitävä.



Kaavio 3. Mitatut case 1 kohteen betonin pintakosteudet.

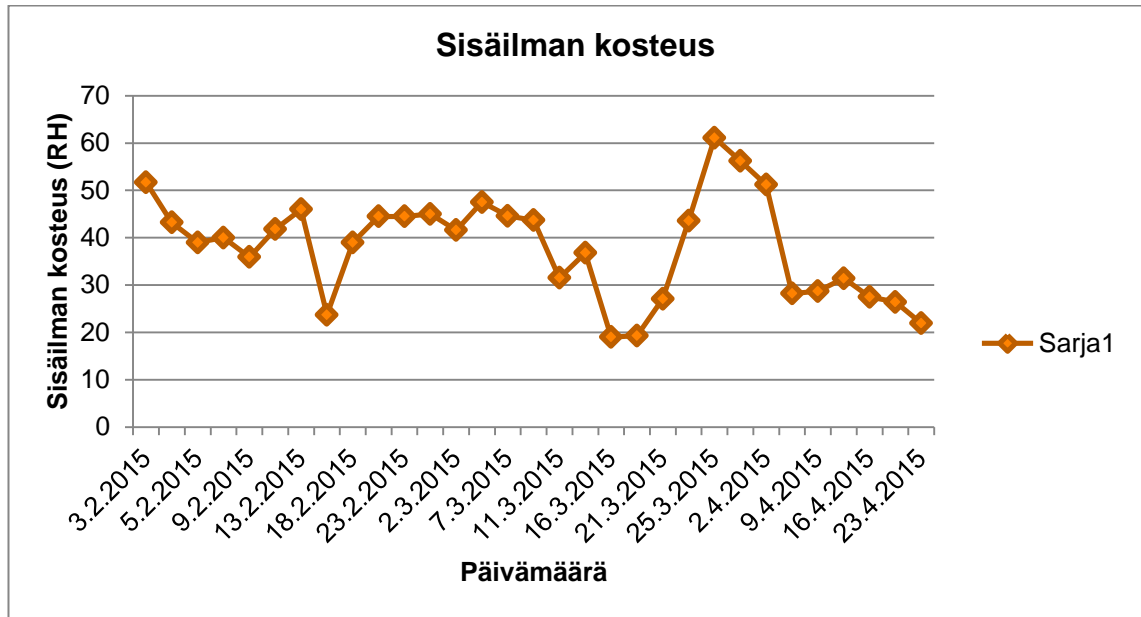
Betonin lämpötila (kaavio 4) käyttäytyi luonnollisesti sisäilman lämpötilan mukaan.



Kaavio 4. Mitatut case 1 kohteen betonin lämpötilat.

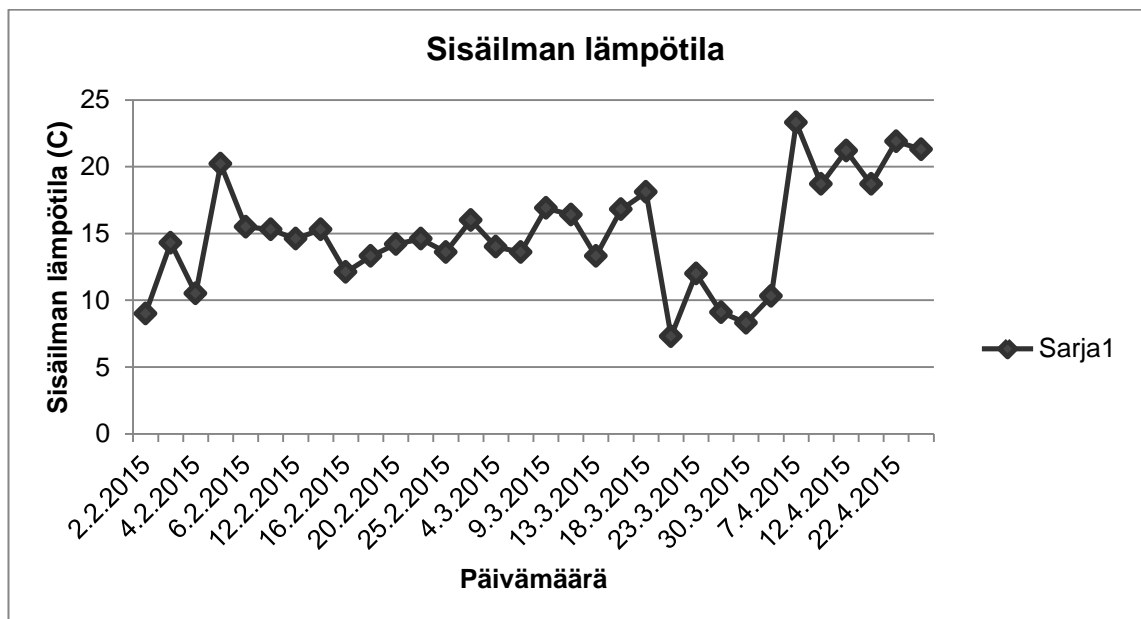
Sisäilman kosteudessa (kaavio 5) nähdään myös muutamia voimakkaita vaihteluita. Vaihtelut johtuivat ulkoilman kosteuden vaihteluista (kaavio 2) ja taulukkoon 5 kirja-

tuista muutoksista/huomioista olosuhteissa. Sisäilman kosteuden vaihteluita on analysoitu tarkemmin kohdassa 5.



Kaavio 5. Mitatut case 1 kohteen sisäilman kosteudet.

Samoin sisäilman lämpötilassa (kaavio 6) nähdään muutamia voimakkaita vaihteluita. Vaihtelut johtuivat ulkoilman lämpötilan vaihteluista (kaavio 1) ja taulukkoon 5 kirjatusta muutoksista/huomioista olosuhteissa. Sisäilman lämpötilan vaihteluita on analysoitu tarkemmin kohdassa 5. Suurimmat vaikuttaneet tekijät sisäilman lämpötilaan ja ulkoilman kosteuteen olivat välillä äkillisesti vaihdelleet ulkoilman lämpötila (kaavio 1) ja ulkoilman kosteus (kaavio 2).



Kaavio 6. Mitatut case 1 kohteen sisäilman lämpötilat.

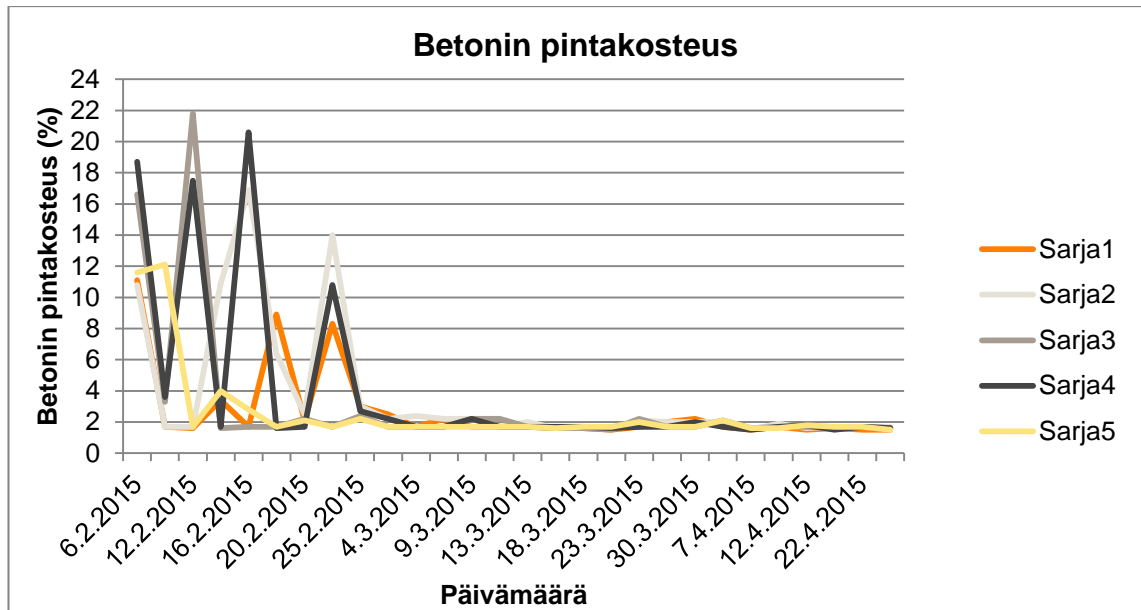
4.3.2 Case 2

Case 2 kohteelle itse suoritettujen mittausten tulokset on esitetty taulukossa 6. Taulukossa 6 on myös kirjattu havaitut muutokset ja huomiot kohteen olosuhteissa.

Taulukko 6. Case 2 kohteen mittaustulokset.

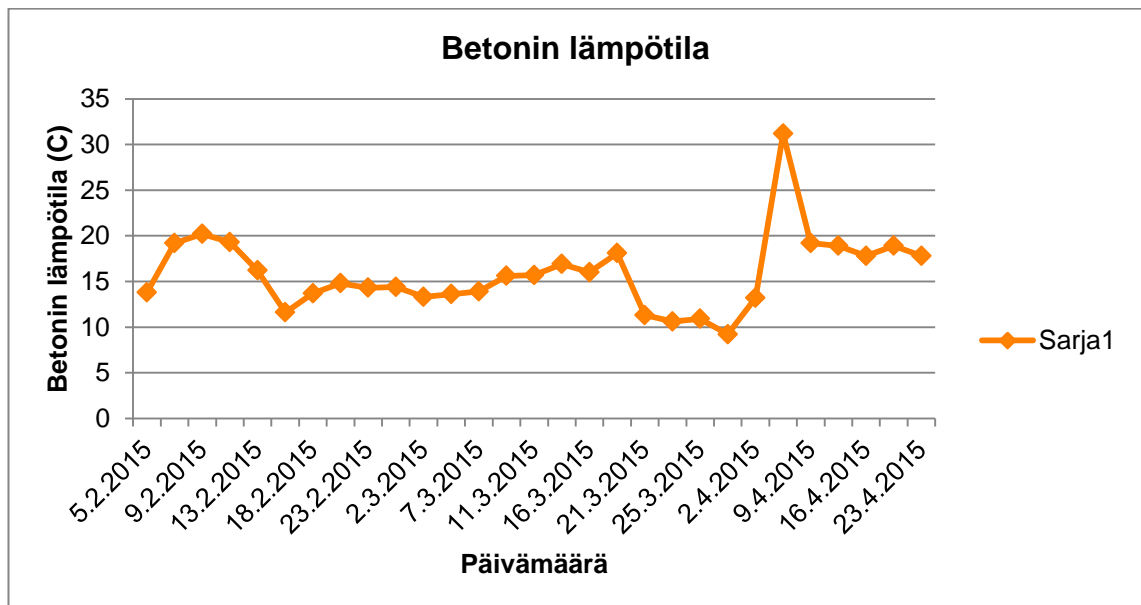
Case 2													
PVM	Klo	Ulkoilman lämpötila (°C)	Ulkoilman kosteus (RH)	Sisäilman lämpötila (°C)	Sisäilman kosteus (RH)	Betonin lämpötila (°C)	Betonin Pintakosteus (%)					Huomiot/ Muutokset olosuhteissa	
							Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3	Mittaus 4	Mittaus 5		
5.2.2015	13:50	-1	93	15,7		13,8							
6.2.2015	10:21	2	97	19,2	54,3	19,2	11,1	10,8	16,6	18,7	11,6	Tate-reiät tukittu mutta alueelle tippunut vettä	
9.2.2015	16:36	-1	100	21	28,1	20,2	1,7	1,7	3,3	3,6	12,1	Heat-mobilin letku vedetty myös kerrokseen lämmitämään	
12.2.2015	13:30	2	88	17,6	38,2	19,3	1,6	1,7	21,8	17,5	1,7	Lattialla märkiä läiskä, ei enää lammikoita.	
13.2.2015	14:26	2	94	17,4	38,8	16,2	3,4	10,9	1,6	1,7	4		
16.2.2015	14:19	-2	44	12,3	23,1	11,6	1,7	16,9	1,7	20,6	2,8	Tate-reiistä valunut vettä lammikoksi.	
18.2.2015	13:01	3	77	15,8	34,7	13,7	8,9	6,4	1,7	1,6	1,7		
20.2.2015	13:06	3	97	17,5	43,7	14,8	2,1	2,5	2,2	1,7	2,1		
23.2.2015	16:01	3	84	15,3	38,7	14,3	8,3	14	1,7	10,8	1,7	Tate-reiistä valunut vettä	
25.2.2015	15:53	4	83	13,9	46	14,4	3	3	2,4	2,7	2,2		
2.3.2015	14:51	3	98	15,5	40,7	13,3	2,5	2,2	1,7	2,2	1,7		
4.3.2015	14:02	3	96	13,7	46,6	13,6	1,7	2,4	1,7	1,7	1,7	Alueella märkiä läiskä	
7.3.2015	9:34	0	100	13,5	45,3	13,9	2,2	2,2	1,7	1,7	1,7		
9.3.2015	10:05	6	92	16,7	44,5	15,6	1,7	2,2	2,2	2,2	1,7	Mitattu myös suhteellinen kosteus	
11.3.2015	14:05	7	53	15,6	32,6	15,7	1,7	1,7	2,2	1,7	1,7		
13.3.2015	10:15	2	80	16,1	20,6	16,9	1,7	2	1,7	1,7	1,7		
16.3.2015	14:31	7	36	14,9	21,2	16	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6		
18.3.2015	13:55	11	24	18,5	23,9	18,1	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7		
21.3.2015	7:16	-2	47	8,3	24,1	11,3	1,5	1,6	1,5	1,6	1,7		
23.3.2015	14:28	2	97	11,2	46,6	10,6	1,7	2,1	2,2	1,7	2		
25.3.2015	11:25	-1	96	9,3	40,6	10,9	2	2	1,7	1,7	1,7		
30.3.2015	14:35	0	100	11,1	47,5	9,2	2,2	2	1,7	2	1,7	Sähkökeskus syttynyt tuleen, talosta ollut sähköt pois	
2.4.2015	10:21	2	90	12	44,9	13,2	1,7	2	2,1	1,7	2,1	Porattu reiät tarkempia kosteusmittauksia varten	
7.4.2015	8:45	4	89	26	25,8	31,2	1,5	1,5	1,6	1,5	1,6	Lämpötilaa nostettu suhteellisen kosteuden mittausta varten jotka myös mitattu	
9.4.2015	13:56	9	48	19,8	26,1	19,2	1,7	1,9	1,7	1,7	1,6		
12.4.2015	11:46	10	59	18,8	34,8	18,9	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8		
16.4.2015	13:42	7	64	17,6	28,5	17,8	1,6	1,7	1,6	1,5	1,7	Lisätty sähköpuhaltimet nopeuttamaan	
22.4.2015	13:43	11	48	21	26,9	18,9	1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	kuivumista WC-tiloihin	
23.4.2015	13:21	10	33	17,1	24,7	17,8	1,5	1,7	1,6	1,6	1,5	Mitattu myös suhteellinen kosteus	

Betonin pintakosteusmittauksista (kaavio 7) nähdään, että milloin case 2 kohde on ainakin altistunut ylimääräiselle kosteusrasitukselle. Mittauksista huomataan suurimman osan ylimääräisestä kosteusrasituksesta ajoittuvan kuivatuksen alkuun, mikä on luonnollista, koska vesikatko ei vielä ollut vedenpitävä.



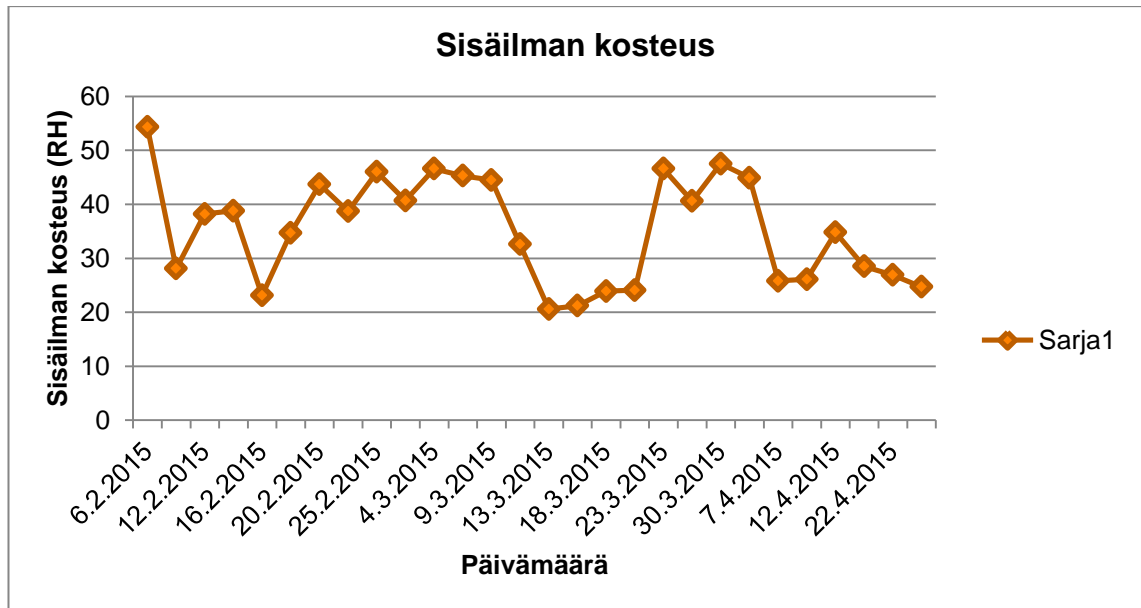
Kaavio 7. Mitatut case 2 kohteen betonin pintakosteudet.

Betoin lämpötila (kaavio 8) käyttäytyi luonnollisesti sisäilman lämpötilan mukaan.



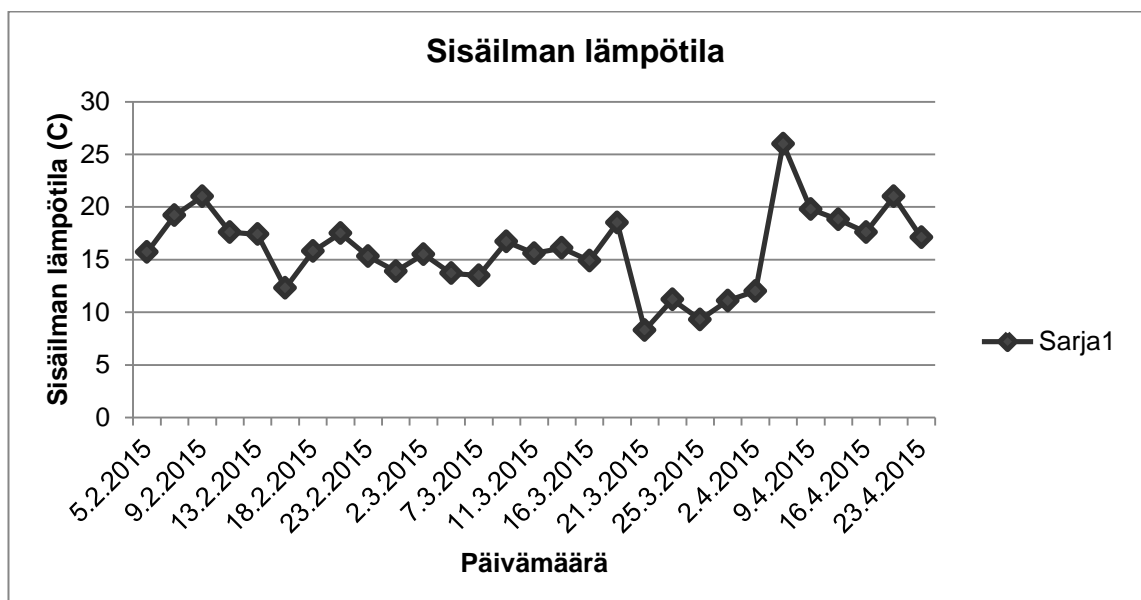
Kaavio 8. Mitatut case 2 kohteen betonin lämpötilat.

Sisäilman kosteudessa (kaavio 9) nähdään myös muutamia voimakkaita vaihteluita. Vaihtelut johtuivat ulkoilman kosteuden vaihteluista (kaavio 2) ja taulukkoon 6 kirja- tuista muutoksista/huomioista olosuhteissa. Sisäilman kosteuden vaihteluita on analysoitu tarkemmin kohdassa 5.



Kaavio 9. Mitatut case 2 kohteen sisäilman kosteudet.

Samoin sisäilman lämpötilassa (kaavio 10) nähdään muutamia voimakkaita vaihteluita. Vaihtelut johtuivat ulkoilman lämpötilan vaihteluista (kaavio 1) ja taulukkoon 6 kirjatusta muutoksista/huomioista olosuhteissa. Sisäilman lämpötilan vaihteluita on analysoitu tarkemmin kohdassa 5. Suurimmat vaikuttaneet tekijät sisäilman lämpötilaan ja ulkoilman kosteuteen olivat välillä äkillisesti vaihdelleet ulkoilman lämpötila (kaavio 1) ja ulkoilman kosteus (kaavio 2).



Kaavio 10. Mitatut case 2 kohteen sisäilman lämpötilat.

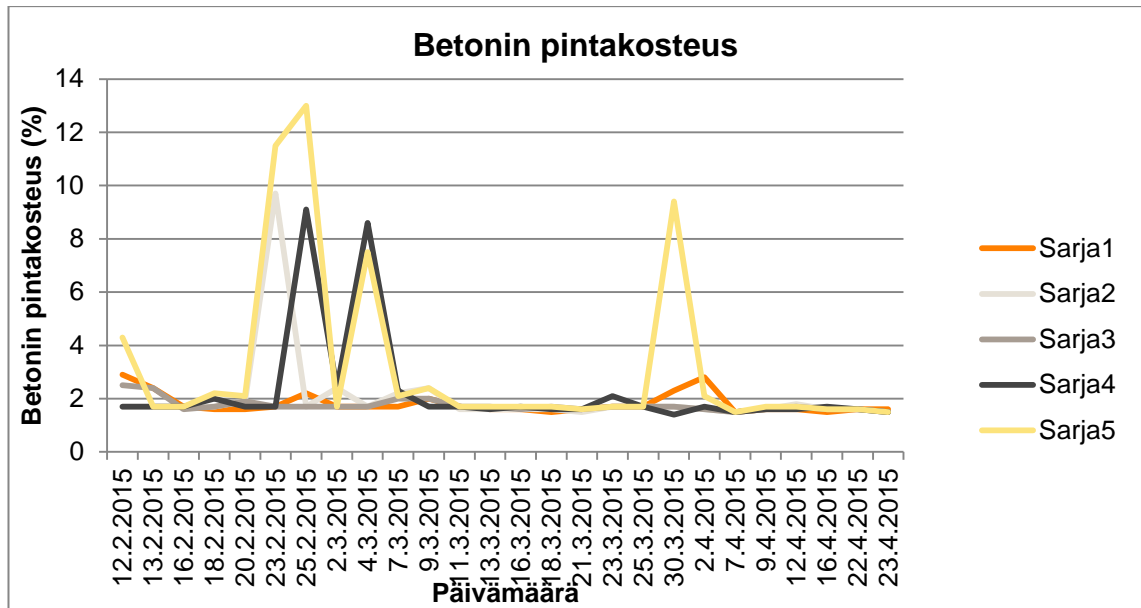
4.3.3 Case 3

Case 3 kohteelle itse suoritettujen mittausten tulokset on esitetty taulukossa 7. Taulukossa 7 on myös kirjattu havaitut muutokset ja huomiot kohteen olosuhteissa.

Taulukko 7. Case 3 kohteen mittaustulokset.

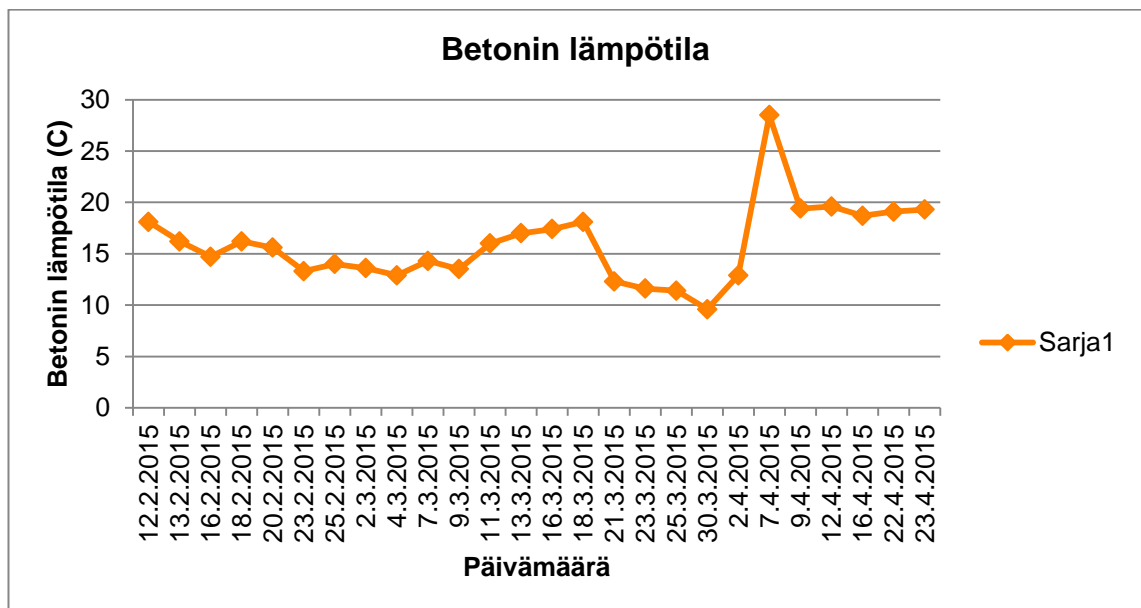
Case 3													
PVM	Klo	Ulkoilman lämpötila (°C)	Ulkoilman kosteus (RH)	Sisäilman lämpötila (°C)	Sisäilman kosteus (RH)	Betonin lämpötila (°C)	Betonin Pintakosteus (%)					Huomiot/ Muutokset olosuhteissa	
							Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3	Mittaus 4	Mittaus 5		
12.2.2015	13:30	2	88	20,3	37,3	18,1	2,9	1,7	2,5	1,7	4,3	Ei märkiä läiskää. Heatmobiliin letku vedetty kerrokseen	
13.2.2015	14:26	2	94	20,3	38,8	16,2	2,4	1,7	2,4	1,7	1,7		
16.2.2015	14:19	-2	44	19,5	15,1	14,7	1,7	1,7	1,6	1,7	1,7		
18.2.2015	13:01	3	77	18,3	32,1	16,2	1,6	1,7	1,7	2	2,2	Case alueen ulkopuolella vesilammikko	
20.2.2015	13:06	3	97	17,5	39	15,6	1,6	1,9	1,9	1,7	2,1	Heat-mobilin letku poistettu	
23.2.2015	16:01	3	84	16,2	39,6	13,3	1,7	9,7	1,7	1,7	11,5	Alueelle tippunut paljon vettä	
25.2.2015	15:53	4	83	16,6	45,8	14	2,2	1,7	1,7	9,1	13	Vasemman puoleisimmat tate-reiästä tiputtelua	
2.3.2015	14:51	3	98	16,7	39,8	13,6	1,7	2,4	1,7	2,4	1,7		
4.3.2015	14:02	3	96	15,3	42,3	12,9	1,7	1,7	1,7	8,6	7,5	Alueelle valunut vettä, suurin osa poistettu vesimurilla	
7.3.2015	9:34	0	100	16,6	40,3	14,3	1,7	2,2	2	2,3	2,1		
9.3.2015	10:05	6	92	15,1	48,9	13,5	2	2,4	2	1,7	2,4	Mitattu myös suhteellinen kosteus	
11.3.2015	14:05	7	53	16,7	31,2	16	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7		
13.3.2015	10:15	2	80	17,8	26,1	17	1,6	1,6	1,7	1,6	1,7		
16.3.2015	14:31	7	36	18,6	20,6	17,4	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7		
18.3.2015	13:55	11	24	17,8	22,3	18,1	1,5	1,6	1,7	1,6	1,7		
21.3.2015	7:16	-2	47	9,9	22,6	12,3	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6		
23.3.2015	14:28	2	97	12,6	45,3	11,6	1,7	1,7	1,7	2,1	1,7		
25.3.2015	11:25	-1	96	10,7	36,6	11,4	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7		
30.3.2015	14:35	0	100	9,8	52,4	9,6	2,3	1,7	1,7	1,4	9,4	Sähkökeskus syttynyt tuleen, talosta ollut sähköt pois; alueelle valunut laajasti vettä	
2.4.2015	10:21	2	90	13,5	40,3	12,9	2,8	1,6	1,6	1,7	2,1	Porattu reiät tarkempia kosteusmittauksia varten	
7.4.2015	8:45	4	89	27,6	24,2	28,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	Lämpötilaa nostettu suhteellisen kosteuden mittausta varten jotka myös mitattu	
9.4.2015	13:56	9	48	20,1	26,6	19,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7		
12.4.2015	11:46	10	59	20,2	32,4	19,6	1,6	1,8	1,7	1,6	1,7		
16.4.2015	13:42	7	64	18,4	27,8	18,7	1,5	1,6	1,6	1,7	1,6	Lisätty sähköpuhaltimet nopeuttamaan	
22.4.2015	13:43	11	48	19,8	29,8	19,1	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	kuivumista WC-tiloihin
23.4.2015	13:21	10	33	20,8	23,4	19,3	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	Mitattu myös suhteellinen kosteus

Betonin pintakosteusmittauksista (kaavio 11) nähdään, että milloin case 3 kohde on ainakin altistunut ylimääräiselle kosteusrasitukselle. Mittauksista huomataan suurimman osan ylimääräisestä kosteusrasituksesta ajoittuvan kuivatuksen alkuun, mikä on luonnollista, koska vesikatto ei vielä ollut vedenpitävä.



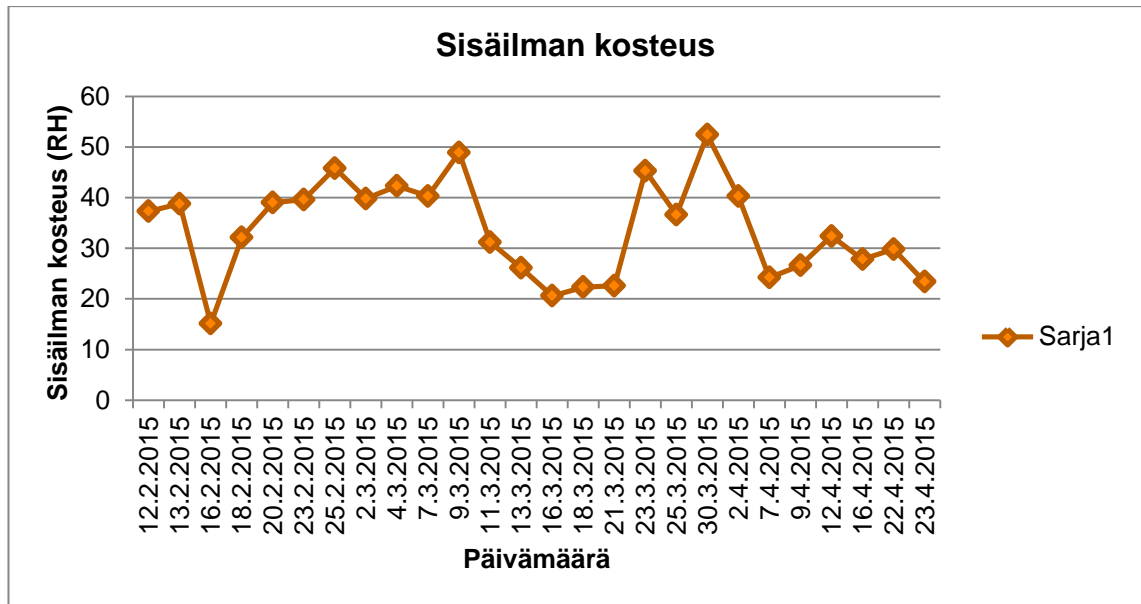
Kaavio 11. Mitatut case 3 kohteen betonin pintakosteudet.

Betonin lämpötila (kaavio 12) käyttäytyi luonnollisesti sisäilman lämpötilan mukaan.



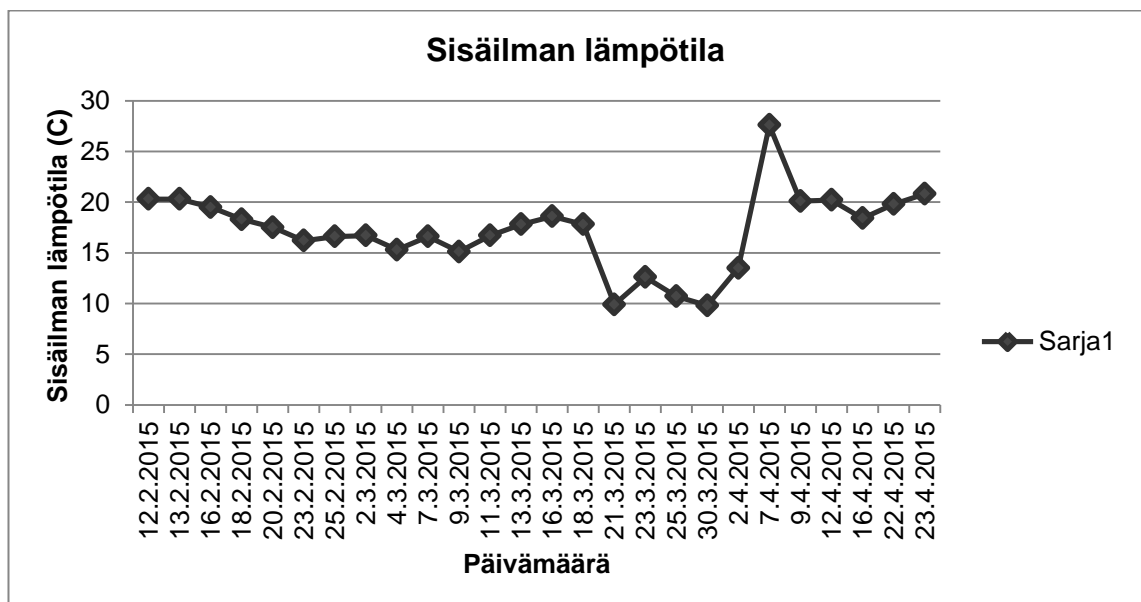
Kaavio 12. Mitatut case 3 kohteen betonin lämpötilat.

Sisäilman kosteudessa (kaavio 13) nähdään myös muutamia voimakkaita vaihteluita. Vaihtelut johtuivat ulkoilman kosteuden vaihteluista (kaavio 2) ja taulukkoon 7 kirja- tuista muutoksista/huomioista olosuhteissa. Sisäilman kosteuden vaihteluita on analy- soitu tarkemmin kohdassa 7.



Kaavio 13. Mitatut case 3 kohteen sisäilman kosteudet.

Samoin sisäilman lämpötilassa (kaavio 14) nähdään muutamia voimakkaita vaihteluita. Vaihtelut johtuivat ulkoilman lämpötilan vaihteluista (kaavio 1) ja taulukkoon 7 kirja-
tuista muutoksista/huomioista olosuhteissa. Sisäilman lämpötilan vaihteluita on analy-
soitu tarkemmin kohdassa 5. Suurimmat vaikuttaneet tekijät sisäilman lämpötilaan ja
ulkoilman kosteuteen olivat välillä äkillisesti vaihdelleet ulkoilman lämpötila (kaavio 1)
ja ulkoilman kosteus (kaavio 2).



Kaavio 14. Mitatut case 3 kohteen sisäilman lämpötilat.

4.3.4 Betonin suhteellisen kosteuden mittausten tulokset

Pöytäkirja betonin suhteellisista kosteuden mittauksista on työssä liitteenä 2. Pöytäkirjassa näkyvät mittapisteiden tarkat sijainnit tasokuvissa sekä valokuvissa. Mittapisteet MP1 ja MP2 ovat case 1 kohteesta. MP3 ja MP4 ovat case 2 kohteesta. MP5 ja MP6 ovat case 3 kohteesta. Mittaukset mittapisteille suoritettiin yhteensä kolme kertaa. Taulukossa 8 on esitetty tulokset case kohteiden ensimmäisistä suhteellisen kosteuksien mittauksista. Huomioi myös tuloksissa taulukossa esitetty mittaushetken lämpötila, joka vaikuttaa tulokseen.

Taulukko 8. Ensimmäiset case kohteiden betonin suhteellisen kosteuden mittaustulokset (Liite 2).

RAKENTEEN KOSTEUS

Mittaus suoritettiin Vaisala HMI 41 - rakennekosteuden mittarilla.

09.03.2015 kello 10.00						
Mitta- piste	Materiaali	Seinä (S) Lattia (L) Katto (K)	Mittaus syvyys (mm)	RH (%)	Lämpö- tila (°C)	Vesihöyry pitoisuus (g / m ³)
MP 1	betoni	L	40	88,2	13,6	
MP 2	betoni	L	40	93,0	13,5	
MP 3	betoni	L	40	97,0	16,6	
MP 4	betoni	L	40	87,4	14,9	
MP 5	betoni	L	40	99,4	15,3	
MP 6	betoni	L	40	99,4	15,1	
Sisäilma				48,5	16,4	6,5
Ulkoilma				80,3	7,6	6,5

Taulukossa 9 on esitetty tulokset case kohteiden toisista suhteellisen kosteuksien mittauksista. Huomioi myös tuloksissa taulukossa esitetty mittaushetken lämpötila, joka vaikuttaa tulokseen.

Taulukko 9. Toiset case kohteiden betonin suhteellisen kosteuden mittaustulokset (Liite 2).

RAKENTEEN KOSTEUS

Mittaus suoritettiin Vaisala HMI 41 - rakennekosteuden mittarilla.

07.04.2015		kello 11.30 -->				
Mitta-piste	Materiaali/tila	Seinä (S) Lattia (L) Katto (K)	Mittaus syvyys (mm)	RH (%)	Lämpötila (°C)	Vesihöyry pitoisuus (g / m ³)
MP 1	betoni / 3. krs.inva wc C 3253	L	40	85,2	22,5	
MP 2	betoni / 3. krs. vaatesäilytys C 3254	L	40	98,3	22,7	
MP 3	betoni / 4. krs. siiv. kom. C 4251	L	40	95,5	28,6	
MP 4	betoni / 5. krs. vaatesäilytys C 5254	L	40	96,5	28,2	
MP 5	betoni / 5. krs. wc C 5253	L	40	99,0	27,4	
MP 6	betoni / 5. krs. vaatesäilytys C 5254	L	40	95,8	28,1	
Sisäilma	1. krs			28,7	20,2	5,0
Ulkoilma				81,0	6,1	5,9

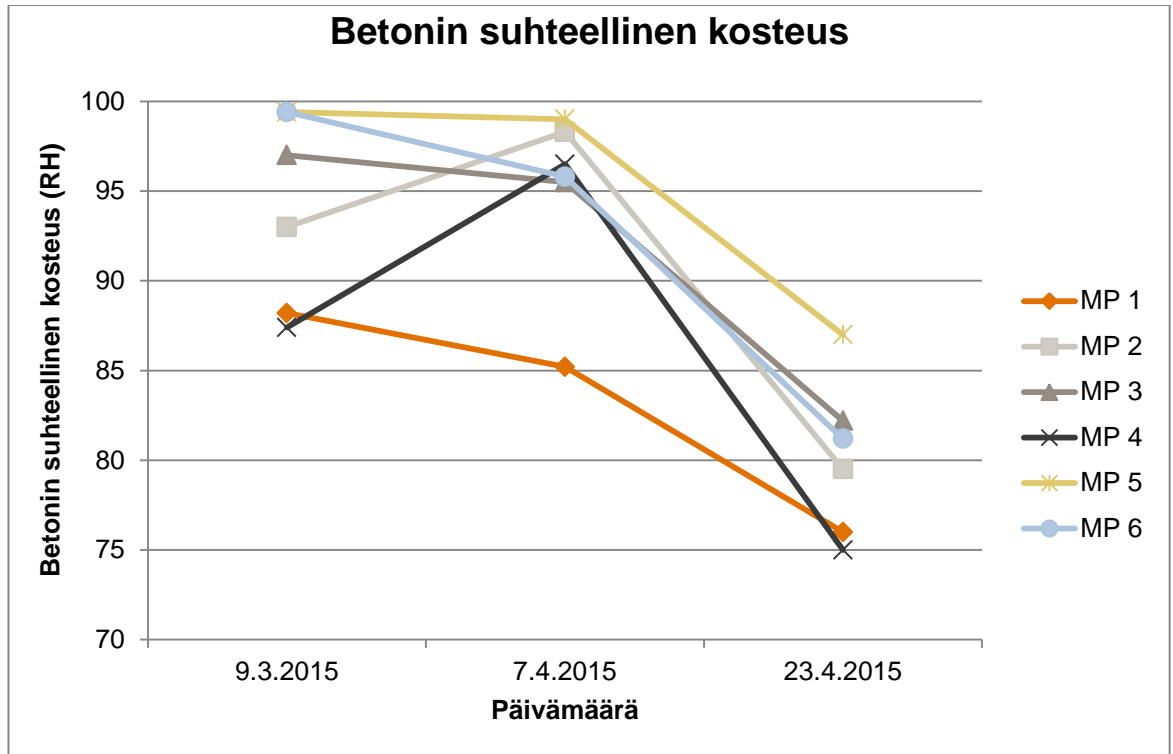
Taulukossa 10 on esitetty tulokset case kohteiden kolmansista suhteellisen kosteuksien mittauksista. Huomioi myös tuloksissa taulukossa esitetty mittaushetken lämpötila, joka vaikuttaa tulokseen.

Taulukko 10. Kolmannet case kohteiden betonin suhteellisen kosteuden mittaustulokset (Liite 2).

23.04.2015		kello 14.00 -->				
Mitta-piste	Materiaali/tila	Seinä (S) Lattia (L) Katto (K)	Mittaus syvyys (mm)	RH (%)	Lämpötila (°C)	Vesihöyry pitoisuus (g / m ³)
MP 1	betoni / 3. krs.inva wc C 3253	L	40	76,0	18,5	
MP 2	betoni / 3. krs. vaatesäilytys C 3254	L	40	79,5	19,4	
MP 3	betoni / 4. krs. siiv. kom. C 4251	L	40	82,2	20,4	
MP 4	betoni / 5. krs. vaatesäilytys C 5254	L	40	75,0	19,7	
MP 5	betoni / 5. krs. wc C 5253	L	40	87,0	19,5	
MP 6	betoni / 5. krs. vaatesäilytys C 5254	L	40	81,2	19,9	
Sisäilma	3. krs			20,2	21,2	3,7
Sisäilma	5. krs			26,0	19,3	4,3
Ulkoilma				27,5	12,0	2,9

Kaavio 15 on tehty suhteellisen kosteuden mittauksien tuloksista. Tästä nähdään betonin suhteellisen kosteuden kehitys. Tuloksiin vaikuttaa oleellisesti mittauskohtien mittaus-

hetkien lämpötilat, jotka on esitetty taulukoissa 8, 9 ja 10. Mittauspisteillä MP 2 ja MP 4 betonin suhteellinen kosteus nousi ensimmäisen ja toisen mittauksen välillä. Tuloksiin vaikutti ja niitä saattoi vääristää mittaushetkien suuri lämpötilaero, ja mittaushetkien lämpötilan poikkeaminen paikoitellen teorian 2.4 mukaisista ohjeista (15-25C). Tuloksia on analysoitu tarkemmin kohdassa 5.



Kaavio 15. Mitatut betonin suhteelliset kosteudet.

5. TULOKSET

Tuloksista nähdään, että valitut kohteet kuivuivat aikataulussa, ja laatoitustyöt päästiin aloittamaan ajallaan. Kohteiden suhteelliset kosteudet kuivatuksen eri vaiheissa on esitetty kohdassa 4.3.4. Viimeisimmistä mittauksista nähdään (taulukko 10), että suhteelliset kosteudet ennen laatoitustöitä olivat alle kohteisiin tulevan keraamisen laatan ja veden eristeen vaatiman raja-arvon (90RH).

7.4.2015 suoritetuista suhteellisen kosteuden mittauksista huomasimme, että kuivuminen ei ollut ihan haluamallamme tasolla ajankohtaan nähden. Ensimmäisissä suhteellisen kosteuden mittauksissa (katso taulukko 8) kohteiden lämpötilat olivat olleet paikoitellen alle mittausohjeen minilämpötilan (15C), joten 7.4.2015 suoritettuihin mittauksiin päätimme nostaa kohteiden lämpötiloja (katso taulukko 9). Paikoitellen lämpötila nousi yli mittausohjeen maksimilämpötilan (25C), mikä saattoi nostaa osan mitattujen kosteuksien arvoja todellisuudesta.

Kaaviosta 15 huomataan, että mittauspisteillä 2 ja 4 betonin suhteellinen kosteus nousi ensimmäisen ja toisen mittauksen välillä. Tuloksia todennäköisesti väärästi teorian 2.4.3 mukaan suuri lämpötilaero mittauksien välillä, ja paikoitellen mittauksissa lämpötilan poikkeaminen ohjeista (15-25C). Pintakosteusmittauksien mukaan case 1 ja case 2 kohteet eivät saaneet lisäkosteutta merkittävästi ensimmäisten ja toisten mittauksien välillä, joten todennäköisesti kohteiden suhteelliset kosteudet ovat välillä pienentyneet. Asiasta ei voida olla varmoja.

Kohteiden riittävä kuivuminen aikataulussa haluttiin varmistaa, joten kuivatusta tehostettiin kuivatusajan loppuvaiheessa. Kohteiden wc-tiloihin lisättiin puhaltimet (katso kuva 35), koska lisääntyneet ilmavirtaukset poistavat kosteutta betonin pinnalta nopeammin ja näin nopeuttavat kuivumista. Lämmitysteho kohteilla pidettiin samana, jotta nousseen ulkolämpötilan (katso kohta 4.3 ja kaavio 1) johdosta myös kohteiden sisäilman lämpötilat nousivat noin 20 C tasolle. Kaaviosta 15 nähdään voimakas lasku kahden viikon aikana kuivatuksen lopussa betonin suhteellisissa kosteuksissa jokaisella mittauspisteellä. Tämä johtui tehostuneista ilmavirtauksista ja nousseesta lämpötilasta sekä muutamalla mittauspisteellä mahdollisesti todellisuutta korkeammista edeltävistä mittaustuloksista.



Kuva 35. C-talo, 3.krs, case 1 alueen wc-tiloihin kohdistettu sähköpuhaltimet nopeuttamaan kuivumista (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa).

Case 3:lla kuivuminen arvoon 87RH kesti 10,5 viikkoa. Case 2:lla kuivuminen arvoon 82RH kesti 11 viikkoa. Case 1:llä kuivuminen arvoon 80RH kesti 11,5 viikkoa. Case 3:lla kuivuminen oli juuri mittaustarkkuuden huomioiden alle raja-arvon viimeisiä mit-

tauksia tehtäessä. Case 1 ja case 2 kohteilla kuivuminen oli jo reilummin alle vaaditun raja-arvon. Riittävää kuivumista varmistettaessa tulosten tulee olla riittävästi alle raja-arvon, jotta huomioidaan myös mittaustarkeus sekä kosteusvaihtelu rakenteissa. Mittaustulokset tulee aina pyrkiä ottamaan rakenteen määrimistä kohdista, jotta varmistetaan myös niiden riittävä kuivuminen. Kohteilla mittauspisteet pyrittiin valitsemaan teorian 2.4.1 mukaisista paikoista, jotka ainakin olivat saaneet lisäkosteusrasitusta sekä paikoista, jotka olivat pysyneet mahdollisimman kuivina. Kuivatuksen aikana huomattiin, että kaikki mittauskohdat saivat ainakin vähän lisäkosteusrasitusta.

Kaikilla tutkimuksen kohteilla kuivuminen oli viimeisiin mittauksiin mennessä riittävää. Lisäksi kohteilla oli vielä 1,5 - 2,5 viikkoa aikaa ennen kuin rakenteita aloitettiin pinnoittamaan. Voidaan varmuudella sanoa kohteiden olleen riittävän kuivia ennen pinnoittamisen aloittamista, jos rakenteet eivät enää altistuneet lisäkosteudelle mittausten jälkeen.

Kuivumisajat olivat lähellä valmiilla laskurilla sekä itse laskettuna maanvastaisen laatan rakennetyypillä saatuja arvoja (katso kohta 4.2). On luonnollista, että laskettaessa kuivumisaika-arvio kellovalle pintabetonilaatalle, on laskentatulokset pienempi kuin todellinen kuivumisaika kohteillamme. Tämä johtuu siitä, että kellova rakenne pääsee kuivumaan kahteen suuntaan, kun taas case kohteidemme rakennetyyppi pääsee kuivumaan maanvastaisen laatan tapaan vain yhteen suuntaan. Todelliset kuivumisajat olivat hieman lyhyempiä kuin lasketut. Tämä selittyy hieman tavoitteita paremmilla kuivumisolosuhteilla pois lukien rakenteiden saama lisäkosteus.

Suurin epätarkkuustekijä tuloksia analysoitaessa on kohteiden kuivatuksen aikana saama lisäkosteus. Pintakosteusmittauksista (kohta 4.3) sekä esimerkiksi kuvista 36, 37 ja 38 nähdään, että rakenteet saivat lisäkosteutta kuivatuksen aikana. Vettä kohteille valui avoimista talotekniikka- ja porareijästä. Tämä on yleistä varsinkin isoissa toimitilakohteissa. Kuivatus täytyy aloittaa, vaikka vesikatto ei vielä ole täysin vedenpitävä, koska rakentamisaikataulut ovat tiukkoja, muuten kuivuminen ei ole tarpeeksi nopeaa. Lisäksi kuivatuksen käytettävä lämmitys on tärkeässä roolissa paikalla valettujen betonien lujuuden kehityksessä.



Kuva 36. C-talo, 3.krs, case 1 alue saanut lisäkosteutta (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa).



Kuva 37. C-talo, 4.krs, case 2 alue saanut lisäkosteutta (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa).



Kuva 38. C-talo, 5.krs, case 3 alue saanut lisäkosteutta (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa).

Laskuri, ja itse laskettaessa teoria, eivät huomioi rakenteen saamaa ylimääräistä kosteusrasitusta kuivatuksen aikana, vaan ne olettavat kuivumisen alkavan, kun ylimääräistä kosteusrasitusta ei enää tule. Käytännössä todellisuus usein eroaa teoriasta, niin kuin tutkimuksessakin. Tutkimuksen kohteet saivat reilusti vielä lisäkosteutta kuivatuksen aikana, koska vesikatto ei vielä kuivatusta aloitettaessa ollut täysin vedenpitävä.

Kuivumisaika-arvioita laskettaessa oletettiin, että rakenteiden kastumisaika ennen kuivatusta oli ollut kosteassa yli kaksi viikkoa. Todellisuudessa rakenteella ei ollut kastumisaikaa ennen kuivatusta, koska kuivatus aloitettiin heti valun jälkeen. Todellista kuivatuksen aikaista kastumisaikaa on etukäteen todella vaikea arvioida. Jälkikäteenkin kastumisen arvioiminen on vaikeaa, koska rakenteet saivat satunnaisia kosteusrasituksia, kunnes vesikatto saatiin vedenpitäväksi. Suoritetuista pintakosteusmittauksista nähdään milloin rakenteet ainakin saivat lisäkosteutta, mutta koska pintakosteusmittauksia ei suoritettu päivittäin, niin ovat rakenteet voineet saada lisäkosteutta myös toisina päivinä.

Tiedettiin, että rakenteet tulevat kuivatuksen aikana saamaan lisäkosteutta ja tämä on käytännössä yleistä, joten laskennassa oletettiin rakenteiden olleen kosteassa yli 2 viik-

koa ennen kuivatusta. Tällä kompensoitiin arvioitua lisäkosteusrasitusta. Mielestäni tuloksia tulkitessa laskennan oletama kastumisesta osui hyvin oikeaan ja olettamalla rakenteiden olleen kosteassa yli kaksi viikkoa saatiin parannettua laskelmien tarkkuutta, koska kaksi muuta vaihtoehtoa kastumiselle eroavat varmuudella todellisuudesta. Kuivatuksen aikaisen lisäkosteusrasituksen kompensointia lisäämällä kastumisaika ennen kuivatusta tukee se, että pintakosteusmittauksien mukaan suurin osa kohteiden saamasta lisäkosteusrasituksesta sijoittui kuivatuksen ensimmäiselle kuukaudelle.

Jos kuivumisen aloitushetki oletetaan siihen kun vesikatto on vedenpitävä, niin ei tiedetä betonin sen hetkistä kosteuspitoisuutta ilman ylimääräisiä kosteusmittauksia, mikä hankaloittaa kuivumisaika-arvioiden laskemista. Laskurilla käyttäessä kohteemme rakennetyyppejä ei pintabetonin lähtökosteutta voi valita, vaan oletetaan kuivatuksen alkavan heti pintabetonin valun jälkeen. Heti valun jälkeen tiedetään betonin sisäisen kosteuden olevan 100RH. Lisäksi vesikatto ei aina todellisuudessa ole vielä täysin vedenpitävä, vaikka niin luullaan. On myös mahdollista, että rakenteet saavat ylimääräistä kosteutta muuta kautta, kuten esimerkiksi tavaroiden siirroista.

Laskurin ja laskentateorian epätarkkuutta lisäävät niiden epäjatkuvuuskohdat. Taulukossa 11 esitetään myös kuivumisajat, jotka laskennassa saadaan jos lisäkosteus arvioidaan suuremmaksi tai jos sitä ei ole lainkaan. Epäjatkuvuuskohdissa laskuri ja laskentateoria antavat virheellisiä arvoja. Jos oletetaan, että rakenne kastuu 15 päivän ajan, saadaan laskennassa kuivumisajaksi 17,6 - 18 viikkoa. Jos oletetaan, että rakenne kastuu 13 päivää, saadaan laskennassa kuivumisajaksi tutkimuksen tavoin 11,7 - 12 viikkoa. Parin päivän erolla kastumisessa ei todellisuudessa ole kuuden viikon eroa kuivumisajassa. Laskuria ja laskentateoriaa tuleekin käyttää esimerkiksi niin, että vaikka kastumisen oletetaan olevan vähän alle kaksi viikkoa, niin valitaan lähtöarvoista kastunut yli kaksi viikkoa, koska se on todellisuutta lähempänä. Tästä nähdään, että lähtöarvojen sijoituksessa lähelle epäjatkuvuuskohtia laskentateorian ja laskurin tarkkuus heikkenee. Laskentateorian ja laskurin epäjatkuvuus kohdat vaativat lisätutkimuksia. Laskentateorian tarkkuutta parannetaan, jos määritetään lisää muunnoskertoimia eri olosuhteisiin. Sama pätee laskurin valittavien lähtötietojen määrän lisäämiseen.

Taulukko 11. Kastumisajan vaikutus laskennassa kuivumisaikaan muiden lähtöarvojen pysyessä vakiona.

Kastuminen ennen kuivatusta	Kuivumisaika laskurilla (vk)	Kuivumisaika itse laskettuna (vk) (maanvastainen laatta)
Kuivassa	9,4	9,6

Kosteassa yli kaksi viikkoa	11,7	12
Kastunut yli kaksi viikkoa	17,6	18

Ennen kuivatusta arvioidun kastumisajan oletaminen välille yli kaksi viikkoa kosteassa – alle kaksi viikkoa kastunut on varmasti realistisin vaihtoehto kohteellamme laskelmia tehdessä. Jälkikäteen tarkasteltuna pintakosteusmittaukset tukevat tätä väitettä. Todellista veden määrää on mahdoton määrittää, mutta karkeasti arvioituna se osuu kyseiselle välille. Vaikka lisäkosteusrasitus oli todellisuudessa kuivatuksen aikana, näin se saatiin huomioitua laskennassa.

Tutkimuksessa oikein laadittujen kuivumisaika-arvioiden laskemiseen käytetyt aikamallit toteutuivat todellisuudessa huomioiden, että keskimääräisesti kuivumisolosuhteet olivat tavoitteita paremmat, jolloin myös todellisen kuivumisen kuului olla laskettua nopeampaa. Tutkimuksen mukaan valmiilla laskurilla ja itse oikein soveltamalla laskentateoriaa pystytään laatimaan riittävän tarkkoja kuivumisaika-arvioita, vaikka asia vielä lisätutkimuksia vaatiikin. Tutkimuksen perusteella betonirakenteiden kuivumisen aikamallit toimivat todellisuudessa, mutta diplomityön laajuus huomioiden valitut kolme kohdetta eivät ole riittävä määrä asian todistamiseksi.

Kuivatuksen suunnitteluun avuksi tarkoitettu valmis Excel-taulukko ei sovellu kohteellamme lämmitystehtojen mitoittamiseen kohteemme pitkään auki olevan julkisivuratkaisun vaatimien suojaseinien käytön vuoksi (katso kohta 4.1). Taulukon käyttämiin aikamalleihin kosteuden poistonopeuksista on tutkimuksen perusteella erittäin vaikea ottaa kantaa. Kosteus poistui riittävästi, kuten taulukon mukaan todettiin, että kuivuminen on mahdollista kyseisessä ajassa kosteuden poistonopeuksien mukaan. Kuitenkaan tarkkaa poistuneen kosteuden määrää ei tiedetä. Taulukkotyökalun onkin tarkoitus olla vain suuntaa antava apuväline. Taulukon laskennassa on jouduttu tekemään yksinkertaistuksia ja pelkistyskiä. Sen isoimpana ongelmana on, että se ei huomioi betonin kykyä kosteuden luovutukseen. Käytännössä betonin kyky kosteuden luovutukseen on hitaampaa kuin ilmanvaihdon kyky poistaa kosteutta.

Ylimääräinen kosteusrasitus luonnollisesti pidensi kuivumisaikaa verrattaessa tilanteeseen, jossa sitä ei ole. Tärkeää on, että mahdollisiin kosteusrasituksiin reagoidaan nopeasti poistamalla vesi esimerkiksi vesi-imurilla ja asettamalla vedenkeräysastioita selkeisiin vuotokohtiin, joista vesi valuu rakenteelle. Näin toimittiin, ja tällä tavoin saatiin vähennettyä ylimääräisen kosteusrasituksen vaikutusta kuivumiseen. Tässä asiassa pystytään silti vielä parantamaan, ja reagoiminen kosteusrasituksiin voi olla nopeampaa, jolloin kuivumisaikaa saadaan vielä lyhennettyä. Koska rakenteet kuivuivat hyvin siihen yleisaikataulussa varattuna aikana, niin oli asiaan panostaminen riittävää. Reagointiaikaa pidensivät työnjohdon työtehtävien priorisointi suuren työmäärän takia sekä aliurakoitsijoiden välinpitämättömyys. Tiukemmissa aikatauluissa asian tärkeyttä tulee koros-

taa entisestään. Vuotokohtien vedenkeräysastiat ja ylimääräisen kosteuden mekaaninen poistaminen lyhentävät aina kuivumisaikaa. Kireimmissä aikatauluissa ei välinpitämättömyyteen ole varaa.

Mittauksista nähdään, että kohteiden sisäilman lämpötilat pysyivät keskimääräisesti 15 C lähettyvillä, mikä oli asetettu tavoitelämpötilaksi (katso taulukko 12 ja kohta 4.3). Lämmitysteho oli mitoitettu hyvin ja tavoitteeseen päästiin sähköpuhaltimia vaihtelemalla tilanteen mukaan. Lämmitystehon mitoitustarkkuutta paransi olettamamme leuto talvi (katso ulkolämpötilat kohta 4.3 ja kaavio 1). Leudon talven takia meillä oli lämmityskalustoa koko ajan riittävästi. Kuivatuksen suunnittelussa olettamamme leudon talven ansiosta ei lämmitystehoa tarvinnut radikaalisti lisätä missään vaiheessa.

Taulukko 12. Case kohteiden sisäilman lämpötilojen keskiarvot.

	Case 1	Case 2	Case 3
Sisäilman lämpötilan keskiarvo (C)	15,0	15,9	17,2

Suurimmat poikkeamat sisäilman tavoitelämpötilasta aiheutuivat valun jälkeen tehostetusta lämmityksestä ja muutamissa radikaaleissa nopeissa muutoksissa ulkolämpötilassa sekä sisäilman lämpötilojen tarkoituksellisesta nostamisesta suhteellisen kosteuden mittausta varten (4.3). Lisäksi kuivatuksen loppuvaiheilla sisäilman lämpötilat olivat 20 C tietämällä, koska ulkoilmat lämpenivät ja rakennuksen vaippa saatiin pääosin ummistettua emmekä radikaalisti pienentäneet lämmitystehoa, koska halusimme varmistaa riittävän kuivumisen.

23.3.2015 – 30.3.2015 välillä sisäilman lämpötila oli lähellä 10 astetta. Tämä johtui siitä, että ulkolämpötila laski välillä pakkaselle ja sunnuntaina 29.3.2015 tuleen syttynyt sähkökeskus katkaisi talosta sähköt väliaikaisesti, jonka johdosta lämmitys oli pois päältä. Lämmitys kytkettiin luonnollisesti heti takaisin päälle kun sähkökeskus saatiin vaihdettua, mutta ulkolämpötilan tippumiseen ei reagoitu lämmitystehoa lisäämällä, vaan oletettiin sisäilman lämpötilan taas nousevan ulkoilman lämmitessä, niin kuin tapahtuikin. Lämpötilan lasku alle tavoitteen varmasti hidasti kuivumista, mutta se kesti vain viikon, joten vaikutus ei voi olla merkittävä. Keskimääräisesti kuivumisolosuhteet olivat laskennassa käytettyjä tavoiteolosuhteita paremmat (taulukko 12 ja kohta 4.3). Keski- viikkona 1.4.2015 case kohteiden lämpötilaa ruvettiin nostamaan suhteellisen kosteuden mittauksia varten. Lämpötilan nostaminen toteutettiin eristämällä alue muoveilla, ja asettamalla alueille sähköpuhaltimet (katso kuva 39). Muovit poistettiin mittausten jälkeen.



Kuva 39. C-talo, 5.krs, case 3 alueen lämpötilaa nostettu eristämällä alue muoveilla ja sähkölämmittimellä (Lemminkäisen Ilmalanrinne 1 työmaa).

Sisäilmankosteudet (katso kohta 4.3) pysyivät pääosin hyvin alle tavoitteen (50RH). Valupäivän jälkeen oli case 1 ja case 2 kohteilla sisäilman kosteus hieman yli 50RH. Sisäilman kosteudet nousivat myös parina muuna päivänä kohteilla yli 50RH sisäilman

lämpötilan laskemisen johdosta, mikä aiheutui aikaisemmin mainituista seikoista, sekä ulkoilman kosteuden noususta välillä lähelle 100RH. Hieman yli 60RH:n sisäilman kosteus nousi mittausten mukaan vain kerran case 1 kohteella. Teorian 2.3 mukaan yli 60RH:n sisäilmankosteus hidastaa kuivumista merkittävästi, joten kuivatuksen kannalta oli erittäin otollista kyseistä pienempi sisäilman kosteus. Kuivatuksen lopulla sisäilman kosteudet laskivat 30RH:n tietämille, koska kohteille lisättiin puhaltimet kierrättämään ilmaa ja sisäilman lämpötilat olivat nousseet myös hieman yli tavoitteen.

Keskimääräisesti kuivatusolosuhteet olivat tavoitteita paremmat enimmäkseen juuri kuivempien sisäilman kosteuksien vuoksi (taulukko 13 ja kohta 4.3). Suurin syy kuivempaan sisäilmaan oli tehostunut tuuletus, mikä aiheutui suojaseinien käytöstä sekä loppuvaiheessa puhaltimista. Suojaseiniä on vaikea saada tiiviimmiksi, ja niitä korjailtiin liian suuria vuotokohtia havaittaessa. Tavoitetta kuivempi sisäilman kosteus nopeutti kuivumista verrattuna laskentaan. Teorian 2.2 mukaan alle 50RH ei nopeuta kuivatus- ta merkittävästi. Tutkimuksen kohteet kuivuivat noin 1,5 viikkoa laskettua nopeammin, ja kohteilla oli loppuvaiheessa myös tavoitetta korkeampi lämpötila ja tehostuneet ilma- virtaukset. Näin tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että pelkästään tavoitetta kuivemmat sisäilman kosteudet eivät nopeuttaneet kuivumista merkittävästi. Asia vaatii lisätutkimuksia.

Taulukko 13. Case kohteiden sisäilman kosteuksien keskiarvot.

	Case 1	Case 2	Case 3
Sisäilman kosteuden keskiarvo (RH)	38,1	35,4	33,9

Jos rakennus saadaan tiiviimmäksi, niin saavutetaan tavoitelämpötila pienemmällä lämmitysteholla, mutta ilman kosteuden kasvaessa kuivuminen hidastuu. Tiiviimmässä rakennuksessa saavutetaan korkeampi lämpötila pienemmällä lämmitysteholla, jolloin kuivuminen voi suuremman lämpötilan johdosta olla mahdollista aikataulussa, jos ilman kosteus pysyy riittävän alhaisena.

Spekulaatio optimista lämmitystehosta on kuitenkin turhaa, koska käytännössä suojaseiniä on mahdoton saada tiiviimmiksi. Meidän oli kohteellamme pakko käyttää suojaseiniä pitkään auki olevien rakenteiden vuoksi, jotka aiheutuivat tilaajan vaatimasta julkisivuratkaisusta, joka koostui betonielementtien lisäksi pääosin termorankaelementeistä. Lisäksi kohteet kuivuivat aika tarkasti aikataulun mukaan, vaikka kuivumista tehostettiin loppuvaiheilla varmuuden vuoksi. Riittävä lämpötila oli myös tärkeää betonin lujuuden kehityksessä. Näin voidaan karkeasti ajatella, että kuivatuksessa ei kulunut ainakaan merkittävästi lämmitysenergiaa turhaan olosuhteet huomioiden, koska

lämmityskalusto valittiin myös kustannustehokkuuden mukaan. Betonin saama lisäkos- teus pidensi kuivumisaikaa, mutta rakennusta on vaikea saada vedenpitäväksi ennen vesikaton valmistumista. Yksi vaihtoehto on käyttää sääsuojausta, mutta se aiheuttaa myös omat haasteensa ja kustannuksensa, jolloin sen käyttö kohteemme kaltaisissa olo- suhteissa on todennäköisesti kalliimpaa.

Pintakosteusmittauksien tuloksista (kohta 4.3) nähdään milloin kohteet ainakin ovat saneet lisäkosteusrasitusta. Pintakosteusmittausten tulokset pienenevät loppua kohden erityisesti, koska vesikatto saatiin vedenpitäväksi, joten rakenne ei enää saanut lisäkos- teutta ainakaan merkittävästi. Kohteen sisäistä kosteutta ei pintakosteusmittarilla pystytä määrittämään. Pintakosteusmittauksista nähdään suuria kosteuden vaihteluita kohteilla, jotka aiheutuivat lisäkosteusrasituksista. Luonnollisesti eliminoimalla nämä saadaan kuivumisaikaa lyhennettyä.

Tutkimuksen perusteella pintakosteusmittarilla voidaan työmailla tutkia ovatko raken- teet saaneet ylimääräistä kosteusrasitusta, jos asiaa ei suoraan silmämääräisesti havaita. Kohteet saivat eniten ylimääräistä kosteusrasitusta kuivatuksen alussa ja tämä näkyy pintakosteusmittausten tuloksissa. Ylimääräisen kosteusrasituksen määrää on kuitenkin pintakosteusmittarilla mahdoton määrittää. Pintakosteusmittausten tulosten perusteella voidaan esimerkiksi kuivumisaikoja arvioida uudestaan, jos huomataan, että ylimääräis- tä kosteusrasitusta on esiintynyt useana päivänä. Riittävien tulosten saaminen vaatii useita säännöllisesti suoritettavia mittauksia. Yleensä työmailla ei ole tähän vaadittavia erillisiä resursseja ja pienien hyötyjen takia ei resursseja mittauksiin kannata sitoa. Li- säksi mittauksiin ja niiden tulkintaan liittyy paljon epävarmuustekijöitä. Tutkimuksessa ei havaittu pintakosteusmittarille muuta käyttöä työmailla.

Ohjeista poiketen todellisuudessa kuivumisaika-arvioita ei yleensä lasketa, mikä näh- dään liitteestä 1. Kuivumisaika-arvioiksi ja tavoitekosteuksiksi kosteudenhallintasuunni- telmaan kirjataan yleensä vain, että materiaalin toimittajan mukaan. Kosteudenhallinta ja kuivumisaikojen suunnittelu perustuu yleensä vain aikaisempaan kokemukseen ja intuitioon. Riittävä kuivuminen varmistetaan ennen pinnoittamista mittauksilla, joten oman arvion oletetaan riittävän, varsinkin jos kyseessä on kokenut henkilö. Mielestäni Merikallion laskuri antaa hyvän työkalun kuivumisaika-arvioiden laskemiseen, vaikka laskurin tarkkuus vielä lisätutkimuksia vaatiikin.

Mielestäni kuivumisaika-arviot tulee aina laskea. Näin nähdään, että osuuko oma arvio edes lähelle, ja pystytään asettamaan oikeat tavoiteolosuhteet. Laskurilla kuivumisaika- arvioiden laskeminen pystytään tekemään nopeasti. Kuivumisolosuhteet saattavat poi- keta tavoitteista usein radikaalisti muuttuvan ulkolämpötilan ja mahdollisen lisäkosteus- rasituksen vuoksi. Jos kuivumisolosuhteet muuttuvat radikaalisti, niin tiedetään, että laskettu kuivumisaika tulee kasvamaan. Jos yleisaikataulussa ei ylimääräistä aikaa kui- vumiselle ole, on suoritettava toimenpiteitä kuivumisen tehostamiseksi. Kuivumisaiko- jen laskeminen ja kirjaaminen vähentää ajatusvirheitä verrattuna omaan kokemukseen ja

intuitioon perustuviin arvioihin. Laskelmissa käytetyt tavoiteolosuhteet korostavat kuivatettavilla kohteilla olevien olosuhteiden tärkeyttä, että kuivuminen tapahtuu aikataulun mukaan. Näin vältetään yllätyksiltä riittävää kuivumista varmistaessa mittauksin, eikä jouduta tekemään viime hetken paniikki kuivatuksia tai vaihtoehtoisesti pidentämään urakka-aikaa riittävän kuivumisen aikaansaamiseksi.

Täytyy muistaa, että kuivumisaika-arviot ovat vain arvioita, eikä niitä ole tarkoitus laskea päivántarkkuudella. Kuitenkin niiden suhteellisen tarkka määrittäminen tarjoaa paljon hyötyjä. Vaikka laskentaa verrattaessa todellisuuteen huomataan paljon epävarmuustekijöitä, voidaan kuivumisolosuhteita tarkkailemalla myös kuivumisaika-arvioita muuttaa kuivatuksen aikana, jos kuivumisolosuhteet poikkeavat radikaalisti laskennassa käytetyistä olosuhteista.

Mikäli laskentateorian ja laskurin tarkkuus varmistetaan lisätutkimuksin, niin pystytään niitä käyttämään apuna myös parempien yleisaikataulujen laadinnassa. Riittävän tarkkoja kuivumisaika-arvioita voidaan mahdollisesti myös hyödyntää jo tarjousvaiheessa, jolloin nähdään aiheuttaako hankkeelle varattu aika yhdessä vuodenajan kanssa johon kuivatus kohdistuu epärealistiset mahdollisuudet rakenteiden kuivumiselle, jolloin kohde voidaan sen perusteella jättää kokonaan tarjoamatta.

6. POHDINTA

6.1 Tulosten tarkastelu

Betonirakenteiden kuivattamiseen on olemassa paljon teoretietoa ja ohjeita. Käytännössä todellisuus eroaa hieman niistä. Yleisaikataulun suunnittelu rakenteiden riittävän kuivumisen osalta ja kosteusaika-arvioiden laadinta perustuvat käytännössä vain aikaisempaan kokemukseen ja intuitioon. Kuivumisaika-arvioita ei ohjeista poiketen yleensä edes erikseen lasketa. Riittävä kuivuminen varmistetaan kuitenkin ennen pinnoittamista mittauksin. Mittausten suoritus todellisuudesta poikkeaa hieman ohjeista. Tärkeintä on, että suuntaa antavia mittauksia tulkitaan oikein riittävän kuivumisen varmistamiseksi. Lemminkäisen työmaalla suhteellisen kosteuden mittauksia suoritettiin reilusti. Huomattiin, että Lemminkäisen työmailla todella panostetaan rakenteiden riittävän kuivumisen varmistamiseen. Asia on tärkeä. Märälle rakenteelle pinnoittaminen aiheuttaa lähes poikkeuksetta kosteusvaurioita tulevaisuudessa. Riittävän kuivumisen varmistaminen vähentää takuuajan töitä. Vähentyneet takuutyöt tarkoittavat laadun parantumista ja se parantaa yrityksen imagoa.

Kuivattaminen tulee ajoittaa ennen tai jälkeen kesän ja syksyn, koska silloin se pystytään toteuttamaan avoimella järjestelmällä, eli kuivatus pystytään järjestämään vain lämmittämällä ja ilmanvaihdolla. Tällä tavoin kuivatus on kustannustehokkainta. Suljettu järjestelmä voi työmaaloissa olla mahdoton toteuttaa. Jos kohteen kuivatuksessa joudutaan käyttämään suljettua järjestelmää, tulee asia huomioida jo tarjousvaiheessa. On tarkasti mietittävä, että onko kuivatus mahdollista toteuttaa siihen varattuna aikana ja kustannuksilla, että kohde kannattaa tarjota. Kuivatus on huomioitava myös yleisaikataulua suunniteltaessa. On siis mietittävä kosteusteknisten töiden kriittinen polku, joka on yksi peruste, jonka mukaan yleisaikataulu laaditaan.

Aikamallit betonirakenteiden kuivumiseen vastasivat tutkimuksen perusteella todellisuutta. Case kohteet kuivuivat hieman laskentaa nopeammin johtuen keskimääräisesti tavoitteita paremmista kuivumisolosuhteista. Laskurilla laskettuna saatiin lähes sama tulos kuin itse laskettuna käyttäen kohteille sopivaa rakennetyyppeä. Tuloksista voidaan olettaa, että laskuri on laadittu käyttäen ainakin pääosin työssäni esittelemää laskentateoriaa. Jos kohteen rakennetyypille ei suoraan ole omaa laskentateoriaa, niin joudutaan soveltamaan sitä muistuttavaa rakennetyyppeä. Kuivumisaika-arvioiden riittävän tarkka laskeminen tarjoaa teoreettisen aputyökalun, jolla kosteudenhallintaa ja mahdollisesti jo tarjousvaihetta pystytään tehostamaan. Tutkimuksessa testatulla laskurilla ne pystytään laskemaan vielä nopeammin verrattuna itse laskemiseen.

Tuloksiin liittyy paljon epävarmuustekijöitä, joista suurimpana on rakenteiden kuivatuksen aikana saama lisäkosteus. Veden määrää on mahdoton määrittää tarkkaan. Lisäksi laskentateorian ja laskurin epäjatkuvuuskohdat heikentävät niiden tarkkuutta, ja niitä pitää tutkia lisää. Epävarmuustekijöitä ovat myös mittalaitteiden tarkkuus ja mittaussuoritusten tarkkuus. Betonin suhteellisen kosteuden mittalaitteiston kalibrointitodistukset on esitetty liitteessä 2, joten niitä voidaan pitää luotettavina. Ilmankosteus- ja lämpötilamittari testattiin betonin suhteellisen kosteuden mittalaitteistolla, joten sitä voidaan pitää tarkkana. Pintakosteusmittauksiin käytetyn mittarin tarkkuudesta ei ole varmuutta, joten sitä voidaan pitää epäluotettavimpana. Pintakosteusmittauksien tuloksia kuitenkin verrattiin vain keskenään, joten se vähentää tarvittavaa tarkkuutta. Itse mittaussuoritukset voivat sisältää aina virhettä esimerkiksi mittaajan suoritustekniikasta johtuen. Betonin suhteelliset kosteudet mittasi niihin tarkoitettuna pätevyyden omaava mittaaja, joten niitä voidaan pitää luotettavina. Kyseisten mittaustulosten analysoinnissa on huomioitava niissä vaihdellut lämpötila, joka vaikuttaa oleellisesti tuloksiin. Itse suoritettujen ilman kosteus ja lämpötilamittaukset ovat yksinkertaisia, joten mittalaitteen ollessa luotettava, voidaan mittauksia pitää luotettavina.

6.2 Tutkimuksen tarkastelu

Tutkimusmenetelmä soveltui tutkimusongelman ratkaisemiseen hyvin. Kvantitatiivisesti määritetyt aikamallit täytyy testata samalla menetelmällä. Betonin kuivumista pystytään testaamaan vain kokeellisesti. Tavoitteena oli testata aikamallit todellisissa muuttuvissa työmaaoloissa. Näin saatiin myös tietoa kuivumisaikoihin ja olosuhteisiin vaikuttavista tekijöistä verrattuna, että koe suoritetaan tarkkaan hallituissa laboratorio-olosuhteissa. Lisäksi tutkimuksen kohdetta on mahdoton saada simuloitua täysin samanlaiseksi laboratorio-olosuhteissa verrattuna todellisuuteen. Tämä kyseenalaistaa laboratorio-olosuhteissa suoritettua tutkimuksesta vedettävät johtopäätökset. Tutkimus ei suoraan paranna Lemminkäinen Talo Oy:n kosteudenhallintaa, mutta se tarjoaa siihen teoreettisen aputyökalun, jolla se onnistuu, mikäli aputyökalun tarkkuus varmistetaan lisätutkimuksin. Tutkimus tarjoaa myös tietoa ja ohjeita, joita oikein hyödyntämällä ja korostamalla kosteudenhallintaa saadaan parannettua.

Tutkimuksen tarkastelussa on huomioitava siihen liittyvät epävarmuustekijät. Tutkimuksen tulosten tarkempi todistaminen pitää tehdä suuremmalla otannalla, jotta epävarmuustekijät saadaan minimoitua. Tutkimuksen tuloksista saadaan kuitenkin hyvin suuntaa todellisuudesta. Tutkimukseen valittiin kolme case kohdetta, koska ideana oli, että ne tutkitaan perusteellisesti.

6.3 Jatkotutkimusehdotukset

Jatkotutkimus tulee suorittaa isommalla otannalla. Näin saadaan enemmän dataa ja tarkempia tuloksia, joita pystytään vertaamaan tämän tutkimuksen tulosten kanssa. Tar-

kempien tulosten avulla saadaan suurempi varmuus betonirakenteiden kuivattamisen aikamallien todellisuudesta, ja luotettavien tulosten avulla ne pystytään päivittämään entistä tarkemmiksi ja toimivammiksi. Jatkotutkimuksessa case kohteina voidaan käyttää myös eri rakennetyyppejä, jolloin nähdään myös rakennetyypin vaikutusta kuivumiseen, ja saadaan myös niiden aikamalleja tarkemmin testattua. Toinen jatkotutkimus voidaan tehdä simuloimalla tutkittavat rakenteet laboratorio-olosuhteisiin. Näin olosuhteita pystytään hallitsemaan tarkasti. Vertaamalla tuloksia saadaan lisää dataa olosuhteiden muuttumisen vaikutuksesta betonirakenteiden kuivumiseen, ja näin muuttuvat olosuhteet pystytään huomioimaan entistä paremmin tulosten analysoinnissa.

LÄHTEET

Astq supply house Oy. Tuotteet ja palvelut: kosteudenhallinta, jäähdytys, lämmitys ja JVT. [WWW]. [viitattu 3/20115]. Saatavissa:

<http://www.astq.fi/tuoteryhmat/adsorptiokuivaimet-at-30-adsorptiokuivain-t35>

Björkholtz, Dick. 1990. Rakennuksen kuivattaminen. Tampere, Suomen rakennusteollisuus ry. 76 s.

Gles Oy työmaapalvelut. 2012. Työmaapalvelut. Gles-kuivausohje. 7 s. Saatavissa: http://www.gles.fi/pdf/GLES_kuivausohje.pdf

Ilmatieteen laitos, a. Ilman kosteus. [WWW]. [viitattu 4/2015] Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>

Ilmatieteen laitos, b. Lämpötila ja kosteus. [WWW]. [viitattu 4/2015]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lampotila-ja-kosteus#16>

Kone-Ratu 07-3032. 1996. Rakenteiden lämmitys ja kuivatus. 8 s.

Laakkonen, A. 1996. Kosteusvaurio ja oireita – onko syynä homeallergia? Työterveyslaitos. Tiedonvälitys, verkkolehdet: Työterveiset 1996-03. Saatavissa: <https://archive.is/qTsMP>

Lahdensivu, J. 2013. Suomalaiset ilmasto-olosuhteet. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto. 38 s.

Merikallio, T. 2002 a. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki. Suomen Betonitieto Oy. 58 s.

Merikallio, T. 2002 b. Rakennustyömaan kosteudenhallinta ja sen suunnittelu. Rakentajan kalenteri 2002. s. 547-553. Helsinki, Rakennustieto Oy.

Merikallio, T. Rakennustyömaan kosteudenhallinta. Humittest Oy. s. 500-505, Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050502.pdf>

Merikallio, T. 2003. Rakennustyömaan olosuhdehallinta ohjeita ja esimerkkejä. Humittest Oy.

Niemi, M. 2013. Betoni ja työmaa: Miten toimii rakennusaikainen kosteudenhallinta. Vahanen: Betonipäivät 2013. 17 s. Saatavissa: <http://www.betoni.com/Download/24132/4.1%20Kosteudenhallinta%20-%20Sami%20Niemi.pdf>.

- Niemi, S. 2008. Betonirakenteiden kosteuden mittaaminen ja onnistunut päällystäminen. Rakennustieto Oy. s. 419-427 Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100401.pdf>
- Pentti, M., Hyypyläinen, T. 1999. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. 150 s.
- Petrov, S.; Rydenfelt, V-P.; Vuorinen, P. Betoninen kelluva lattia. s. 495-504. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020401.pdf>
- RIL – Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry. 2011. RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja home-vaurioiden estäminen. 237 s.
- Riihijärvi, H. 2014. Kosteudenhallinta työmailla. Savonia-ammattikorkeakoulu, Opin- näytetyö. 29 s. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/84930/Riihijarvi_Heikki.pdf.pdf?sequence=1
- RT kortti 14-10675 1998. Betonin suhteellisen kosteuden mittausta. 5 s. Saatavissa: http://www.termolog.fi/Kosteusmittaus_files/betonimittaus.pdf
- Sisäilmayhdistys Ry a. Rakenteiden kuivaus. [WWW]. [viitattu 1/2015]. Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kunnossapito-ja-korjaaminen/purku-kuivaus-ja-puhdistus/rakenteiden-kuivaus/>
- Sisäilmayhdistys Ry b. Työmaan kosteudenhallinta, Yleistä. [WWW]. [viitattu 1/2015]. Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/korjausten-laadunvarmistus/tyomaan-kosteudenhallinta/>
- Seppälä, P. 2013. Rakentamisprosessin kosteudenhallinta. Oulun yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut/ rakennusvalvonta. 34 s. Saatavissa: <http://www.rescaoulu.fi/wp-content/uploads/Rakentamisprosessin-kosteudenhallinta-Pekka-Sepp%C3%A41%C3%A4-11.11.2013.pdf>
- Solunetti, 2006. Solubiologia: Diffuusio. [WWW]. [viitattu 4/2015]. Saatavissa: <http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/diffuusio/2/>
- Strong Finland Oy. Kuivaimet: Kondenssikuivain. [WWW]. [viitattu 3/2015]. Saatavissa: <http://kuivain.fi/kuivaimet/kondenssikuivain/>
- Tampereen teknillinen yliopisto, a. Rakennustyömaan lämmitys ja olosuhteidenhallinta: Työmaan ilmanvaihdon ja lämmityksen suunnittelu. Saatavissa: <http://www.tut.fi/fi/tietoa-yliopistosta/laitokset/rakennustekniikka/tutkimus/rakennustuotanto-ja-talous/rakentamisen-prosessit/rakennustuotanto/site/index.htm>

Tampereen teknillinen yliopisto, b. Rakennustyömaan olosuhdehallinta ja rakenteiden kuivattaminen. Kalvosarja: Energiatehokas rakentaminen – Rakenteiden kuivattaminen. 14 s. Saatavissa:

http://motiva.fi/toimialueet/kansainvalinen_toiminta/build_up_skills_finland/build_up_skills_-koulutusmateriaalit

Teriö, O. 2003. Betonivalmisosarakentamisen kosteudenhallinta. Tampere. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 42 s. Saatavissa:

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/21955/Betonivalmisosarakentamisen+kosteudenhallinta.pdf>

Vuokra-peat Oy. Konevuokraus: tuotteet. [WWW]. [viitattu 2/2015]. Saatavissa:

<http://vuokra-peat.fi/konevuokraus/>

	TYÖMAALLA HUOMIOITAVAT VAATIMUKSET SEKÄ SOVITUT RATKAISUT JA TOIMENPITEET	KÄYTY LÄPI PVM. JA KUITTAUS
1.4	Veden pääsyn estämiseksi rakenteisiin, betoniulkoseinien saumaustyöhön ja liitosrakenteisiin tulee kiinnittää erityistä huomiota.	<input type="checkbox"/>
Julkisivut	=> <i>Suojauksen, saumausten ja liitosten tarkastaminen</i>	<input type="checkbox"/>
	Työnaikaisen kastumisen estämiseksi seinärakenteet tulee suojata kuljetuksen ja asennuksen aikana. Erityistä huomiota tulee kiinnittää kevyiden seinien sääsuojaamiseen asennusaikana.	<input type="checkbox"/>
	=> <i>Työn- ja kuljetuksen aikaisen suojauksen huomioiminen.</i>	<input type="checkbox"/>
	Keyyissä ulkoseinissä (lasijulkisivut) huolehditaan, että umpiosat eivät pääse kastumaan.	<input type="checkbox"/>
	=> <i>Työn- ja kuljetuksen aikaisen suojauksen huomioiminen.</i>	<input type="checkbox"/>
	Julkisivun seinien ja ikkunoiden yksityiskohdissa (vesipellitusten kaltevuus, kittaukset jne.) tulee olla erityisen huolellinen ettei viistosade pääse tunkeutumaan rakenteisiin.	<input type="checkbox"/>
	=> <i>Detaleiden läpikäynti aloituspalverin yhteydessä, malliasennus</i>	<input type="checkbox"/>
1.5	Ennen vedeneristeen/höyrynsulun asennusta tarkistetaan vesikaton kaatojen suunnitelmanmukaisuus.	<input type="checkbox"/>
Yläpohja ja vesikatto	=> <i>Kaatojen tarkastus ennen asennusten aloittamista</i>	<input type="checkbox"/>
	Vedeneristeen ehjyys, tiiveys ja liitosten limitys. Ennen vedeneristeen asennusta vesikaton betonin kosteusprosentin on oltava RIL 107-2000 ohjeen mukainen.	<input type="checkbox"/>
	=> <i>Tarkastetaan, että vedeneriste on ehjä. Työnaikainen vedenpoisto.</i>	<input type="checkbox"/>
	YP3; Höyrynsulun ehjyys, tiiveys ja liitosten limitys. Ennen höyrynsulun asennusta vesikaton betonin kosteusprosentin on oltava RIL 107-2000 ohjeen mukainen.	<input type="checkbox"/>
	=> <i>Tarkastetaan, että höyrynsulkumuovi on ehjä. Työnaikainen vedenpoisto.</i>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>
1.6	Ontelolaattoja, kellarissa kuorilaattoja	<input type="checkbox"/>
Väliohjat	=> <i>Huolehditaan että vesireijät on porattu auki.</i>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>
	Kosteiden tilojen kohdalla pintabetonilaatan tulee kuivua vedeneristeen edellyttämän RH-arvon alapuolelle ennen eristeen levitystä.	<input type="checkbox"/>
	=> <i>Kosteusmittauspisteiden merkitseminen ennen pintavalua, tilakohtainen kosteusmittaus</i>	<input type="checkbox"/>

3.1 Kastumisen estäminen / suojaukset		
Osa-alue	Työmaalla huomioitavat vaatimukset sekä sovitut ratkaisut ja toimenpiteet	Vastuuhenkilö / kuittaus
Materiaalien kastumisen estäminen	Sovitaan toimitusten oikea-aikaisuus, edellytetään kuljetuksen aikaista suojausta. Suunnitellaan varastointipaikat ja menetelmät ajoissa. Noudatetaan valmistajan antamia ohjeita varastoinnin suhteen.	<i>Hankinta, vastaava työnjohtaja ja työnjohtaja</i>
Keskeneräisten rakenteiden suojaus	Suojataan keskeneräiset rakenteet kastumiselta. Erityistä huomiota tulee kiinnittää ulkoseinien villoitusten ja kevytelelementtien työnaikaiseen suojaamiseen. Julkisivun sääsuojaus suunnitelman mukaan.	<i>Työnjohtaja</i>
Vesivahingot	Vesivahingon sattuessa rakenteisiin päässyt vesi poistetaan välittömästi. Työmaalle hankitaan vesi-imuri. Tutkitaan etukäteen mistä kuivauslaitteita tarvittaessa saa nopeasti työmaalle. Valistetaan työntekijöitä ja aliurakoitsijoita veden "vaarallisuudesta", jotta he kukin osaltaan huolehtisivat, ettei heidän työsuorituksensa seurauksena rakenteisiin pääse ylimääräistä kosteutta (esim. timanttikorauksesta). Tarkistetaan patteriverkoston liitosten vedenpitävyys pattereiden kiinnityksen jälkeen (etenkin väliaikaisen irroituksen jälkeen) sekä pattereiden tulppaus. Tehdään tarvittaessa työnaikaiset sadevesiviemärit vesikatolle.	<i>Vastaava työnjohtaja, Työnjohtaja</i>
3.2 Rakenteiden kuivatus		
Osa-alue	Työmaalla huomioitavat vaatimukset ja reunaehdot sekä sovitut ratkaisut ja toimenpiteet	Vastuuhenkilö / kuittaus
Tavoiteolosuhde	Kun rakennuksen vaippa on tiivis, pyritään saamaan huonetiloihin noin +20°C:n lämpötila ja alle 60%:n ilman suhteellinen kosteus.	<i>Vastaava mestari</i>
Ulkoilman olosuhteiden vaikutus	Kuivatusjakso ajoittuu loka-huhtikuulle Jakson aikana olosuhteet ulkona vaihtelevat merkittävästi. Taloon tehdään suojaseinät tiiveyden saavuttamiseksi, jonka jälkeen sisäalueita aloitetaan kerroksittain lämmittämään. Rungon tuuletus onnistuu luonnollista tietä painovoimaisesti kun kerroksiin saadaan lämpöä.	<i>Työnjohtaja</i>
Rakennuksen oman lämmitysjärjestelmän hyödyntäminen	Oma lämmitysjärjestelmä pyritään saamaan toimintakuntoon mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Sovitaan asia LVI-urakoitsijan kanssa. Kaukolämpöliittymät heinäkuussa. Rakennetaan työnaikaiset lämpöjohdot kuiluihin. Vuokrakonetoimittaja laatii lämmityssuunnitelman.	<i>Vastaava mestari</i>
Lisälämmitys- ja kuivauslaitteiden tarpeen määrittäminen	Seurataan mittauksin sisäilman RH:ta ja lämpötilaa. Lisälämmitystarvetta on kuivatusjakson aikana niin kauan ennen kuin talon oma lämmitysjärjestelmä saadaan käyttöön. Ilman kiertoa voidaan tarvittaessa lisätä erilaisilla puhaltimilla. Kuivaajien käyttötarve määritetään sisäilman kosteusmittaustulosten perusteella (jos RH:ta ei muuten saada lähelle tavoitetta).	<i>Vastaava mestari</i>
Kuivatussuunnitelma	Erillinen kuivatussuunnitelma laaditaan kohteeseen tarvittaessa.	

4. KOSTEUSMITTAUSSUUNNITELMA		
Toimenpide		Vastuuhenkilö / kuittaus
Suoritettavat mittaukset	Holvien kosteusmittaukset tarvittavilta osin pintamateriaalien perusteella. Kosteiden tilojen lattia kosteus noin 2 viikkoa ennen arvioitua vedeneristystyön aloitusta (seurantamittaus) sekä päällystettävyyssmittaus ennen vedeneristystyön aloittamista. Kosteiden tilojen betoniseinästä ennen vedeneristystyön aloittamista. Mahdollisesti kastuneiden rakenteiden mittaukset. Tarvittaessa tarkastetaan julkisivun eristykset lämpökameralla.	<i>Vastaava mestari</i>
Mittausmenetelmän ja laitteiston valinta	Sisäilmamittaukset ja rakennekosteusmittaukset tehdään suhteellisen kosteuden mittaukseen tarkoitetuilla laitteilla. Päällystettävyyssmittauksia ei tehdä pintakosteudenosoittimilla. Rakennekosteuden mittaukset RT 54 104-10675 mukaisesti.	<i>Ulkopuolinen sertifioitu kosteusmittaaja</i>
Mittalaitteiden kalibrointi Mittaustyöntekijä	kuukauden ikäinen todistus kalibroinnista. Mittaajalla tulee olla riittävät tiedot mittalaitteiden toimintaperiaatteista ja niihin vaikuttavista tekijöistä, mitattavan rakenteen toimivuudesta sekä mitattavan materiaalin ominaisuuksien vaikuttavista tekijöistä.	<i>Ulkopuolinen sertifioitu kosteusmittaaja</i>
Mittausten laajuus ja ajankohta	Ensimmäinen rakennekosteusmittaus tehdään pian sen jälkeen kun kohteen vaippa on ummessa ja lämpö päällä, jolloin saadaan käsitys rakenteiden kosteustilasta ja kuivatustarpeesta. Seuraava mittaus vähintään 2 viikkoa ennen aiottua päällystystyön aloitusta ja viimeinen mittaus vähän ennen päällystystyötä. Mahdollinen lämpökameramittaus suoritetaan pakkasjakson aikana vaipan ollessa ummessa.	<i>Vastaava mestari</i>
Tulosten käsittely	Mittaustulosten perusteella todetaan rakenteiden riittävä kuivuminen. Varmistetaan, että päällystettävien betonirakenteiden kosteus alittaa päällystemateriaalien edellyttämän suhteellisen kosteuden arvon. Mittausraportti liitetään työmaa-asiakirjoihin. Mittausraporteissa tulee tulosten lisäksi olla tarkka mittausmenetelmäkuvaus (mittalaitteet, mittausajat, mittauspisteet jne.)	<i>Vastaava mestari</i>
Suunnitelman hyväksyntä		
<hr/> <i>Paikka ja aika</i>		<hr/> <i>Roope Timonen</i>
<hr/> <i>Paikka ja aika</i>		<hr/> <i>Timo Kontio</i>
<hr/> <i>Paikka ja aika</i>		

LIITE 2: SEURANTAMITTAUSPÖYTÄKIRJA BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUKSISTA

SEURANTAMITTAUSPÖYTÄKIRJA Työnumero: 351 7331

Lisätty mittaustuloksia 23.04.2015 mittauskäynnin jälkeen

	Kohde:	Uudiskohde	
	Osoite:	Ilmalanrinne 1 C-talo 3- 5 kerrokset, Helsinki	
	Yhteys-henkilö:	Samu Lamminen samu.lamminen@lemminkainen.com p. 050 529 0114	
Toimeksianto:	Uudiskohde. Rakenteiden kosteusmittaus ennen pinnoitustöiden aloittamista		
Tilaus (pvm):	30.03.2015	Raportti (pvm):	09.04.2015
Tutkimus (pvm.):	02.04 ja 07.04.2015 21.04 ja 23.04.2015	Tutkija:	Juha Ollila, Vahinkokartoittaja Pätevöitynyt kosteuden mittaaja PKM VTT - C - 9350 - 24 - 13 040-313 0044 juha.ollila@recovernordic.fi
Tilaaja:	Samu Lamminen samu.lamminen@lemminkainen.com p. 050 529 0114		

Kohdetiedot, rakenteet ja Lvi - laitteet:

Kiinteistö:	Liiketila, uudisrakennus (toimistorakennus)
Rakenteet:	Ulkoseinät: betonia (kellarikerroksessa tb- seinä) Väliseinät: kipsilevyseiniä sekä kivirakenteisia Välipohja: ontelolaatta 320 mm, jonka päällä n. 80 mm:n betonilaattavalu Kellarikerroksen lattia massiivi tb-laatta
Pinnoitteet:	Rakenteet vielä pinnoittamatta
Käyttö-vesiputket:	Kuparia / muovia
Lämmitys:	Vesikeskuslämmitys
Lattiakaivo ja viemärit:	Muovia / valurautaa
Ilmanvaihto:	Koneellinen

Yleistä:

- Rakenteiden suhteellinen kosteus mitataan Vaisalan suhteellisen kosteuden mittareilla, (näyttölaite HMI41 ja mittapäät HMP42).

Tehdyt toimenpiteet:

Seurantamittaus:

- 02.04 mittareikien poraus, imurointi sekä tulppaus.
- 07.04 mittaus. Ennen mittausta mitta-anturit tasaantuneet vähintään noin 20 minuuttia. Huomio! Mittaushetkellä lämpötila oli hieman korkea 4 ja 5. kerroksissa!
- 21.04 mittareikien poraus, imurointi sekä tulppaus.
- 23.04 mittaus. Ennen mittausta mitta-anturit tasaantuneet vähintään noin 20 minuuttia.
- Mittaustulokset, katso mittauspöytäkirja.

MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Käytetty mittauskalusto:

SUHTEELLISEN <input checked="" type="checkbox"/> KOSTEUDEN MITTALAITTEISTO	Vaisala HMI 41 lukulaite	Sall. Max.: RH 75 % ± 5% / 20°C (ns. vanha betoni) RH 70 % ± 5% / 20°C (eristetila).	Suhteellisen kosteuden mittareiden mittausvirhe RH ± 5 %, (Mittarin virhe ja mittaustapahtuman virhe)
	Vaisala HMP42 mittausanturit: 1. U3250007 kalib. 11/2012 2. U4010010 kalib. 11/2012 3. X0130018 kalib. 11/2012 4. U0530004 kalib. 02/2013 5. U3250008 kalib. 02/2013 6. Y4810004 kalib. 02/2013		

RAKENTEEN KOSTEUS

Mittaus suoritettiin Vaisala HMI 41 - rakennekosteuden mittarilla. **(aiemmat mittaustulokset)**

Mittapiste	Materiaali/tila	Seinä (S) Lattia (L) Katto (K)	Mittaus syvyys (mm)	RH (%)	Lämpötila (°C)	Vesihöyry pitoisuus (g / m ³)	
09.09.2015	kello 10.00						
MP 1	betoni	L	40	88,2	13,6		
MP 2	betoni	L	40	93,0	13,5		
MP 3	betoni	L	40	97,0	16,6		
MP 4	betoni	L	40	87,4	14,9		
MP 5	betoni	L	40	99,4	15,3		
MP 6	betoni	L	40	99,4	15,1		
Sisäilma				48,5	16,4	6,5	
Ulkoilma				80,3	7,6	6,5	

RAKENTEEN KOSTEUS

Mittaus suoritettiin Vaisala HMI 41 - rakennekosteuden mittarilla.

07.04.2015		kello 11.30 -->					
Mitta-piste	Materiaali/tila	Seinä (S) Lattia (L) Katto (K)	Mittaus syvyys (mm)	RH (%)	Lämpötila (°C)	Vesihöyry pitoisuus (g / m ³)	
MP 1	betoni / 3. krs.inva wc C 3253	L	40	85,2	22,5		
MP 2	betoni / 3. krs. vaatesäilytys C 3254	L	40	98,3	22,7		
MP 3	betoni /4. krs. siiv. kom. C 4251	L	40	95,5	28,6		
MP 4	betoni / 5. krs. vaatesäilytys C 5254	L	40	96,5	28,2		
MP 5	betoni / 5. krs. wc C 5253	L	40	99,0	27,4		
MP 6	betoni / 5. krs. vaatesäilytys C 5254	L	40	95,8	28,1		
Sisäilma	1. krs			28,7	20,2	5,0	
Ulkoilma				81,0	6,1	5,9	

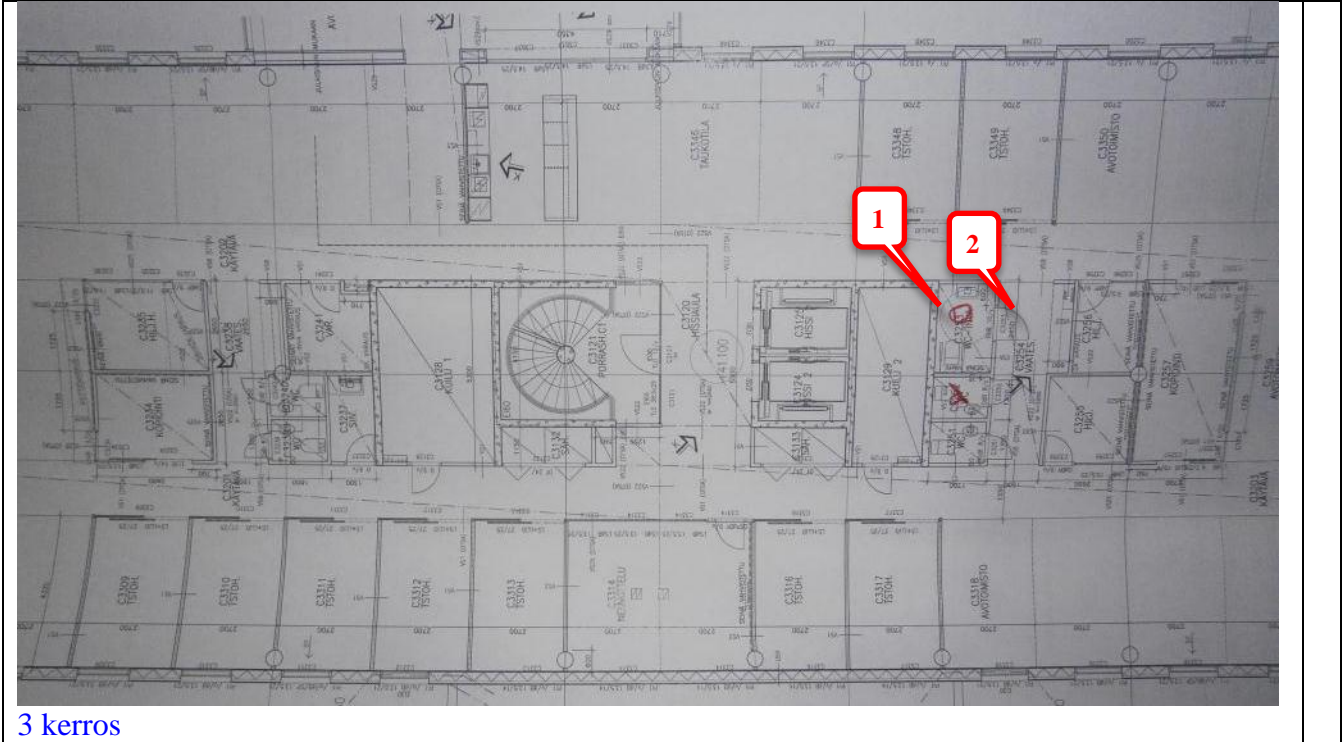
Lisätty mittaustuloksia 23.04.2015 mittauskäynnin jälkeen

23.04.2015		kello 14.00 -->					
Mitta-piste	Materiaali/tila	Seinä (S) Lattia (L) Katto (K)	Mittaus syvyys (mm)	RH (%)	Lämpötila (°C)	Vesihöyry pitoisuus (g / m ³)	
MP 1	betoni / 3. krs.inva wc C 3253	L	40	76,0	18,5		
MP 2	betoni / 3. krs. vaatesäilytys C 3254	L	40	79,5	19,4		
MP 3	betoni /4. krs. siiv. kom. C 4251	L	40	82,2	20,4		
MP 4	betoni / 5. krs. vaatesäilytys C 5254	L	40	75,0	19,7		
MP 5	betoni / 5. krs. wc C 5253	L	40	87,0	19,5		
MP 6	betoni / 5. krs. vaatesäilytys C 5254	L	40	81,2	19,9		
Sisäilma	3. krs			20,2	21,2	3,7	
Sisäilma	5. krs			26,0	19,3	4,3	
Ulkoilma				27,5	12,0	2,9	


RECOVER

Paluu sujuvaan arkeen. Niin nopeasti kuin mahdollista.

Pohjakuva: Kuva on ohjeellinen, eikä se ole mittakaavassa

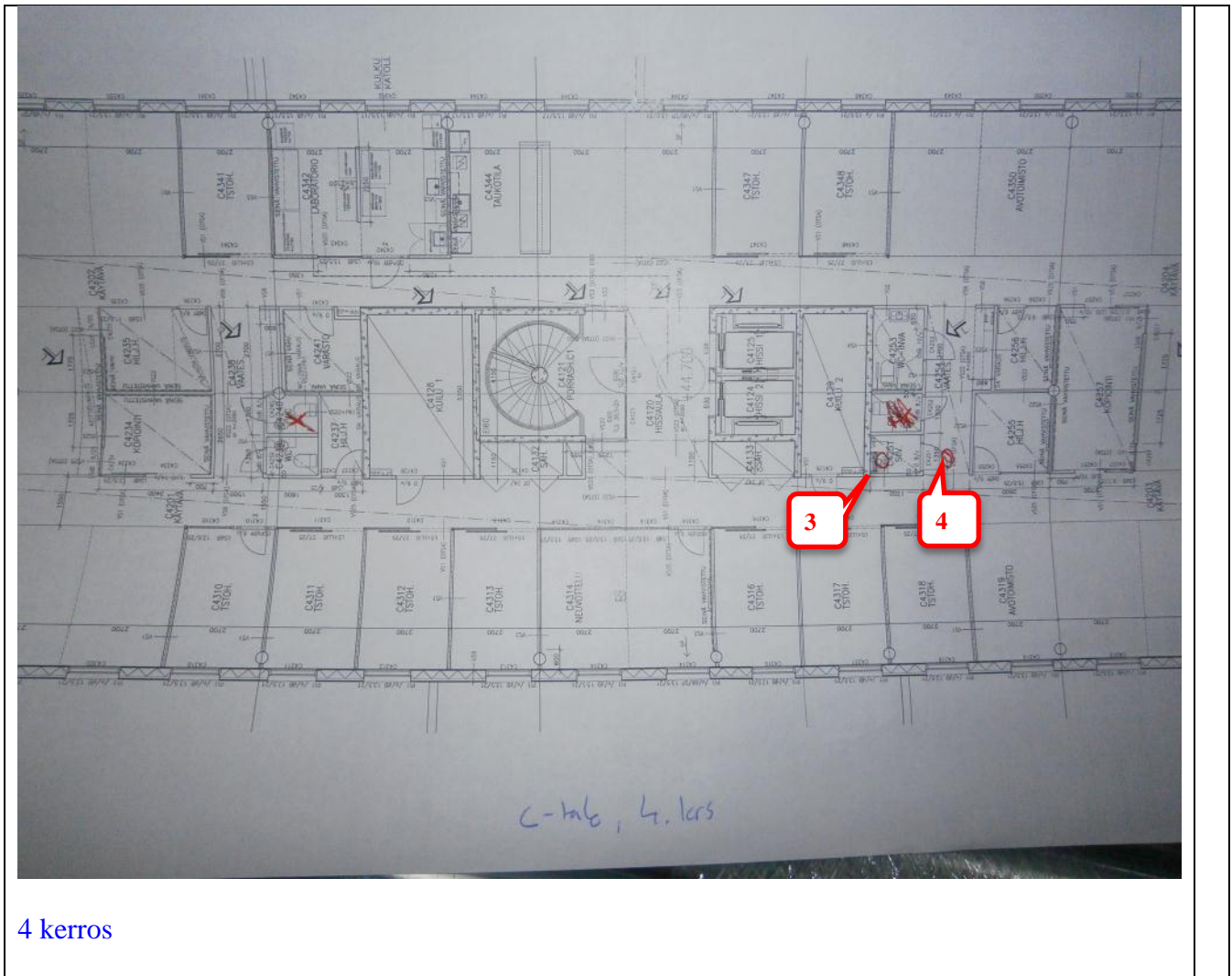


3 kerros

	Mittapiste lattiassa/seinässä		
-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------	--	--

RECOVER

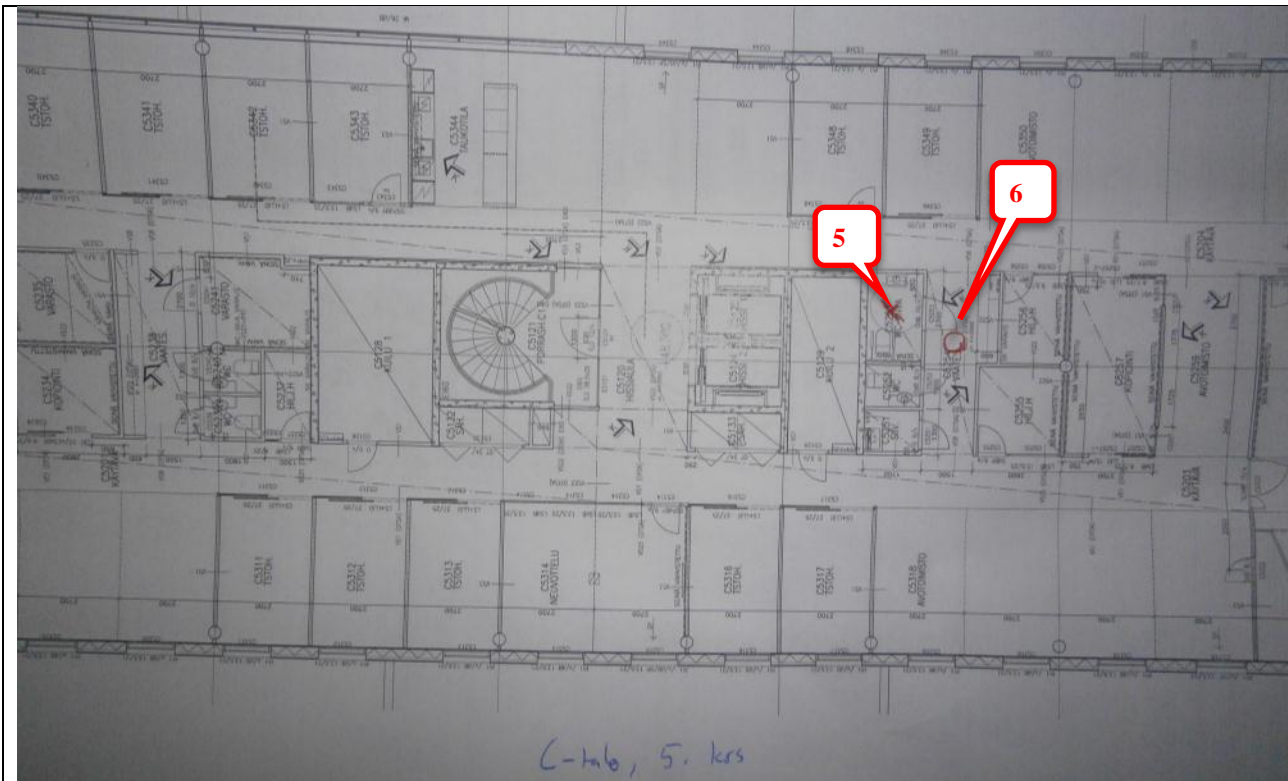
Paluu sujuvaan arkeen. Niin nopeasti kuin mahdollista.



	Mittapiste lattiasa		
--	---------------------	--	--

RECOVER

Paluu sujuvaan arkeen. Niin nopeasti kuin mahdollista.



5 kerros



Mittapiste lattiassa

Valokuvat kohteesta:



3. kerros

Tilan C 3253 Inva wc:n lattiassa mittapiste 1.



3 kerros

Vaatesäilytystilan C 3254 lattiassa mittapiste 2



3. kerros

Lähikuva mittapisteestä 2.



4. kerros

Mittapiste 3 on siivouskomeron C 4251 lattiassa

Mittapiste 4 on C 4254 vaatesäilytystilan lattiassa



5. kerros

Mittapiste 5 on tilan C 5253 vessan lattiassa



5. kerros

Mittapiste 6 on vaatesäilytystilan C 5254 lattiassa

Helsingissä 09.04.2015 [Mittaustulokset lisätty 23.04.2015](#)

Juha Ollila

Juha Ollila
Vahinkokartoittaja
Pätevöitynyt kosteudenmittaaja (PKM)
VTT-henkilösertifikaatti VTT-C-9350-24-13
Gsm 040 - 313 0044 juha.ollila@recovernordic.fi

Tämä raportti on laadittu tilaajan toimeksiannosta meille ilmoitetun epäillyn vahingon ja sen aiheuttamien vaurioiden selvittämiseksi. Vahinkokartoitus, kosteusmittaus tai muu raportissa yksilöity tarkastus rajautuu toimeksiannossa esitettyyn laajuuteen eikä sitä näin ollen voida käyttää koko kiinteistön tai sen osan arvon tai kunnan määrityksen perusteena

LIITTEENÄ KÄYTÖSSÄ OLLEIDEN MITTATIKKUIEN KALIBROINTI TODISTUKSET

RECOVER

Paluu sujuvaan arkeen. Niin nopeasti kuin mahdollista.

VAISALA

1 (1)
Certificate report no. H17-12450040

CALIBRATION CERTIFICATE

After adjustment

Instrument HMP42 Humidity and Temperature Probe
Serial number U4010010
Manufacturer Vaisala Oyj, Finland
Calibration date 7th November 2012

The above instrument was calibrated by comparing the readings to two factory working standards. The relative humidity readings of the two factory working standards have been calibrated at the Vaisala factory by using dewpoint transfer standard. Dewpoint transfer standard has been calibrated at Centre for Metrology and Accreditation (MIKES) by using primary standard traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST). The temperature readings of the two factory working standards have been calibrated at an ISO/IEC 17025 accredited calibration laboratory (FINAS), Vaisala Measurement Standards Laboratory (MSL) by using MSL working standards traceable to NIST.

Humidity calibration results

Reference humidity* %RH	Observed humidity %RH	Humidity difference %RH	Acceptance limit %RH
0.2	0.3	+0.1	±2.0
11.7	11.8	+0.1	±2.0
33.2	32.6	-0.6	±2.0
54.2	54.0	-0.2	±2.0
75.4	75.4	0.0	±2.0
90.4	90.3	-0.1	±3.0

Temperature calibration results

Reference temperature* °C	Observed temperature °C	Temperature difference °C	Acceptance limit °C
+21.2	+21.2	0.0	±0.2

*Average of two references

Equipment used in calibration

Type	Serial number	Calibration date	Certificate number
HMT337/RH	G0470118	2012-09-27	H17-12390044
HMT337/RH	G0470116	2012-09-27	H17-12390045
HMT337 / T	G0470118	2012-02-22	K008-V00315
HMT337 / T	G0470116	2012-02-22	K008-V00313
34970A	MY41005150	2012-04-27	K004-12S259

Uncertainties (95 % confidence level, k=2)

Humidity ±1.1%RH @ 0..15%RH, ±1.6%RH @ 15..78%RH, ±1.7%RH @ 78..93%RH
Temperature ±0.15°C

Ambient Conditions

Humidity 50 ± 5 %RH
Temperature 22 ± 1 °C
Pressure 983 ± 1 hPa



Technician

This report shall not be reproduced except in full, without the written approval of Vaisala.

DOC010024-L

Vaisala Oyj | PO Box 26, FI-00421 Helsinki, Finland
Phone +358 9 894 91 | Fax +358 9 8949 2227
Email firstname.lastname@vaisala.com | www.vaisala.com
Domicile Vantaa, Finland | VAT FI01244162 | Business ID 0124416-2

RECOVER

Paluu sujuvaan arkeen. Niin nopeasti kuin mahdollista.

VAISALA

1 (1)
Certificate report no. H17-12450053

CALIBRATION CERTIFICATE

After adjustment

Instrument HMP42 Humidity and Temperature Probe
Serial number X0130018
Manufacturer Vaisala Oyj, Finland
Calibration date 9th November 2012

The above instrument was calibrated by comparing the readings to two factory working standards. The relative humidity readings of the two factory working standards have been calibrated at the Vaisala factory by using dewpoint transfer standard. Dewpoint transfer standard has been calibrated at Centre for Metrology and Accreditation (MIKES) by using primary standard traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST). The temperature readings of the two factory working standards have been calibrated at an ISO/IEC 17025 accredited calibration laboratory (FINAS), Vaisala Measurement Standards Laboratory (MSL) by using MSL working standards traceable to NIST.

Humidity calibration results

Reference humidity* %RH	Observed humidity %RH	Humidity difference %RH	Acceptance limit %RH
0.2	0.5	+0.3	±2.0
11.3	11.8	+0.5	±2.0
33.2	33.0	-0.2	±2.0
54.2	54.3	+0.1	±2.0
75.3	75.4	+0.1	±2.0
90.6	90.5	-0.1	±3.0

Temperature calibration results

Reference temperature* °C	Observed temperature °C	Temperature difference °C	Acceptance limit °C
+21.1	+21.1	0.0	±0.2

*Average of two references

Equipment used in calibration

Type	Serial number	Calibration date	Certificate number
HMT337/RH	G0470118	2012-09-27	H17-12390044
HMT337/RH	G0470116	2012-09-27	H17-12390045
HMT337 / T	G0470118	2012-02-22	K008-V00315
HMT337 / T	G0470116	2012-02-22	K008-V00313
34970A	MY41005150	2012-04-27	K004-12S259

Uncertainties (95 % confidence level, k=2)

Humidity ±1.1%RH @ 0..15%RH, ±1.6%RH @ 15..78%RH, ±1.7%RH @ 78..93%RH
Temperature ±0.15°C

Ambient Conditions

Humidity 42 ± 5 %RH
Temperature 23 ± 1 °C
Pressure 1008 ± 1 hPa


Technician

This report shall not be reproduced except in full, without the written approval of Vaisala.

DOC010024-L

Vaisala Oyj | PO Box 26, FI-00421 Helsinki, Finland
Phone +358 9 894 91 | Fax +358 9 8949 2227
Email firstname.lastname@vaisala.com | www.vaisala.com
Domicile Vantaa, Finland | VAT FI01244162 | Business ID 0124416-2

RECOVER

Paluu sujuvaan arkeen. Niin nopeasti kuin mahdollista.

VAISALA

1 (1)
Certificate report no. H17-12450041



CALIBRATION CERTIFICATE

After adjustment

Instrument HMP42 Humidity and Temperature Probe
Serial number U3250007
Manufacturer Vaisala Oyj, Finland
Calibration date 7th November 2012

The above instrument was calibrated by comparing the readings to two factory working standards. The relative humidity readings of the two factory working standards have been calibrated at the Vaisala factory by using dewpoint transfer standard. Dewpoint transfer standard has been calibrated at Centre for Metrology and Accreditation (MIKES) by using primary standard traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST). The temperature readings of the two factory working standards have been calibrated at an ISO/IEC 17025 accredited calibration laboratory (FINAS), Vaisala Measurement Standards Laboratory (MSL) by using MSL working standards traceable to NIST.

Humidity calibration results

Reference humidity* %RH	Observed humidity %RH	Humidity difference %RH	Acceptance limit %RH
0.2	0.2	0.0	±2.0
11.7	11.8	+0.1	±2.0
33.2	32.5	-0.7	±2.0
54.2	54.0	-0.2	±2.0
75.4	75.3	-0.1	±2.0
90.4	90.4	0.0	±3.0

Temperature calibration results

Reference temperature* °C	Observed temperature °C	Temperature difference °C	Acceptance limit °C
+21.2	+21.2	0.0	±0.2

*Average of two references

Equipment used in calibration

Type	Serial number	Calibration date	Certificate number
HMT337/RH	G0470118	2012-09-27	H17-12390044
HMT337/RH	G0470116	2012-09-27	H17-12390045
HMT337 / T	G0470118	2012-02-22	K008-V00315
HMT337 / T	G0470116	2012-02-22	K008-V00313
34970A	MY41005150	2012-04-27	K004-12S259

Uncertainties (95 % confidence level, k=2)

Humidity ±1.1%RH @ 0..15%RH, ±1.6%RH @ 15..78%RH, ±1.7%RH @ 78..93%RH
Temperature ±0.15°C

Ambient Conditions

Humidity 50 ± 5 %RH
Temperature 22 ± 1 °C
Pressure 983 ± 1 hPa


Technician

This report shall not be reproduced except in full, without the written approval of Vaisala.

DOC010024-L

Vaisala Oyj | PO Box 26, FI-00421 Helsinki, Finland
Phone +358 9 894 91 | Fax +358 9 8949 2227
Email firstname.lastname@vaisala.com | www.vaisala.com
Domicile Vantaa, Finland | VAT FI01244162 | Business ID 0124416-2

VAHANEN

ISS Palvelut Oy
Vahinkosaneeraus
Takomotie 8, 00380 HELSINKI

KALIBROINTITODISTUS

Vaisala Oy:n valmistama kosteus- ja lämpötilamittapää kalibroitiin kolmessa eri suolaliuoksessa huoneenlämmössä Vaisala Oy:n valmistamalla HMK 13B kosteuskalibrointilaitteella, jonka oikeellisuus varmistetaan HMP233 kosteus- ja lämpötilalähettimillä. Lähettimet on kalibroitu Vaisala Oy:n mittanormaallaboratoriossa ja niiden oikeellisuutta seurataan Vaisala Oy:n valmistamalla HMK15 kosteuskalibraattorilla, jossa käytetään kalibroituja suolaliuoksia.

Mittarityyppi tai -numero: HMP42
Sarjanumero: Y4810004

Kosteuslukemat ennen säätöä:

referenssi RH	mittarin antama lukema
96,9 %	95,4 %
75,7 %	73,4 %
11,4 %	10,9 %

Lukemat säätöjen jälkeen:

referenssi RH	mittarin antama lukema
96,6 %	96,6 %
75,8 %	75,7 %
11,4 %	11,0 %

Lämpötila: 23,0 °C 23,5 °C

Espoossa 5.2.2013



Kyösti Nieminen
asiantuntija, laboratorio



RECOVER

Paluu sujuvaan arkeen. Niin nopeasti kuin mahdollista.

VAHANEN

ISS Palvelut Oy
Vahinkosaneeraus
Takomotie 8, 00380 HELSINKI

KALIBROINTITODISTUS

Vaisala Oy:n valmistama kosteus- ja lämpötilamittapää kalibroidiin kolmessa eri suolaliuoksessa huoneenlämmössä Vaisala Oy:n valmistamalla HMK 13B kosteuskalibrointilaitteella, jonka oikeellisuus varmistetaan HMP233 kosteus- ja lämpötilalähettimillä. Lähettimet on kalibroitu Vaisala Oy:n mittanormaallilaboratoriossa ja niiden oikeellisuutta seurataan Vaisala Oy:n valmistamalla HMK15 kosteuskalibraattorilla, jossa käytetään kalibroituja suolaliuoksia.

Mittarityyppi tai -numero: HMP42
Sarjanumero: U3250008

Kosteuslukemat ennen säätöä:

referenssi RH	mittarin antama lukema
96,9 %	97,9 %
75,7 %	74,4 %
11,4 %	10,9 %

Lukemat säätöjen jälkeen:

referenssi RH	mittarin antama lukema
96,6 %	96,6 %
75,8 %	74,8 %
11,4 %	11,0 %

Lämpötila: 23,0 °C 22,9 °C

Espoossa 5.2.2013



Kyösti Nieminen
asiantuntija, laboratorio

VAHANEN OY ■ Limnötustie 5, FI-02600 Espoo ■ +358 20 769 8698
www.vahanen.com ■ Y-tunnus | Business ID 1639563-3



RECOVER

Paluu sujuvaan arkeen. Niin nopeasti kuin mahdollista.

VAHANEN

ISS Palvelut Oy
Vahinkosaneeraus
Takomotie 8, 00380 HELSINKI

KALIBROINTITODISTUS

Vaisala Oy:n valmistama kosteus- ja lämpötilamittapää kalibroitiin kolmessa eri suolaliuoksessa huoneenlämmössä Vaisala Oy:n valmistamalla HMK 13B kosteuskalibrointilaitteella, jonka oikeellisuus varmistetaan HMP233 kosteus- ja lämpötilalähettimillä. Lähettimet on kalibroitu Vaisala Oy:n mittanormaallilaboratoriossa ja niiden oikeellisuutta seurataan Vaisala Oy:n valmistamalla HMK15 kosteuskalibraattorilla, jossa käytetään kalibroituja suolaliuoksia.

Mittarityyppi tai -numero: HMP42
Sarjanumero: U0530004

Kosteuslukemat ennen säätöä:

referenssi RH	mittarin antama lukema
96,9 %	94,2 %
75,7 %	69,4 %
11,4 %	10,9 %

Lukemat säätöjen jälkeen:

referenssi RH	mittarin antama lukema
96,6 %	96,6 %
75,8 %	73,9 %
11,4 %	11,0 %

Lämpötila: 23,0 °C 23,3 °C

Espoossa 5.2.2013



Kyösti Nieminen
asiantuntija, laboratorio

VAHANEN OY ■ Linnoitustie 5, FI-02600 Espoo ■ +358 20 769 8698
www.vahanen.com ■ Y-tunnus | Business ID 1639563-3



[Raportin alkuun](#)