



# Rakennustyömaan olosuhdehallinnan seuranta

Lauri Nousiainen

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Rakennustuotanto

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Rakennustuotanto

NOUSIAINEN, LAURI:  
Rakennustyömaan olosuhdehallinnan seuranta

Opinnäytetyö 39 sivua  
Toukokuu 2020

---

Ongelmat betonirakenteiden kuivumisessa voivat aiheuttaa viivästyksiä rakennustyömaan aikataulussa, mikä aiheuttaa myös kustannusten kasvua sekä riskejä esimerkiksi päällysterakenteiden vaurioitumiseen. Betonin ominaisuuksilla, kuten betonilaadulla, rakenteen paksuudella ja kuivumissuunnilla, on suuri merkitys betonin kuivumisen kannalta. Rakennustyömaalla betonin kuivumiseen voidaan vaikuttaa olosuhdehallinnalla. Oikeanlaisilla olosuhteilla edistetään betonin kuivumista huomattavasti. Työmaan olosuhteet korreloivat kuitenkin vahvasti vallitsevaan vuodenaikaan ja sen myötä ulkoilman olosuhteisiin. Kuivatusmenetelmä valitaan lähtökohtaisesti vuodenajan mukaan. Yleensä olosuhteiden hallinta toteutetaan fysikaalisten ilmiöiden avulla, mutta esimerkiksi kesällä kuivumisolosuhteiden ollessa huonot, on kuivatusta tehostettava muulla tavalla.

Tässä opinnäytetyössä tehtiin tutkimusta työmaan olosuhteita sekä betonin kuivumista mittaavalla kalustolla. Mittauslaitteisto toimi langattomasti ja mittaukselliset tulokset olivat jatkuvia, etäluettavia sekä reaaliaikaisia. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia tutkimuksessa käytettävän laitteiston luotettavuutta ja käytettävyyttä. Käytettävyydessä pyrittiin tutkimaan laitteiston käytön hyödyllisyyttä työnjohdon näkökulmasta sekä selittämään saatuja mittauksellisia tuloksia työmaan olosuhteiden avulla.

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Skanska Talonrakennus Oy:n kanssa eräällä uudiskerrostalotyömaalla Tampereella. Tutkimuksen avulla ei vielä täysin voitu varmistua laitteiston luotettavuudesta. Suuntaa antavina mittauksina laitteisto kuitenkin vaikutti olevan riittävän hyvä. Käytettävyydeltään mittauslaitteisto osoittautui helppokäyttöiseksi sekä tulosten avulla saatiin hyödyllistä tietoa, jonka avulla tehtiin muutoksia työmaalla vallitseviin olosuhteisiin.

---

Asiasanat: betoni, kuivuminen, olosuhdehallinta, mittauslaitteisto, luotettavuus, käytettävyys.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme of Construction Engineering  
Building Production

NOUSIAINEN, LAURI:  
Condition Control Surveillance at Construction Site

Bachelor's thesis 39 pages  
May 2020

---

Problems with the drying of concrete structures can cause delays in the construction site schedule, which can cause an increase in costs as well as risks of damage to the coating structures, for example. The properties of the concrete, such as the quality of the concrete, the thickness of the structure, and the drying directions, are of great importance for the drying of the concrete. At the construction site, the drying of the concrete can be influenced by condition control. Under the right conditions, the drying of the concrete is greatly promoted. However, the conditions at the construction site strongly correlate with the prevailing season and with it the conditions of the air outside. The drying method is basically chosen according to the season. In general, the control of the conditions is carried out by means of physical phenomena, but in summer, for example, when the drying conditions are poor, the drying must be intensified in other ways.

In this thesis, research was carried out with equipment for measuring site conditions and the drying of the concrete. The measurement equipment was operated wirelessly and the measurement results were continuous, remotely readable and real-time. The aim of the study was to investigate the reliability and usability of the equipment used in the study. Also the goal was to study the usefulness of the equipment from the point of view of site management and to explain the obtained measurement results with the help of site conditions.

The study was carried out in collaboration with Skanska Talonrakennus Oy at an apartment building site in Tampere. The study did not yet fully confirm the reliability of the equipment. But according to indicative measurements, the measurement equipment appeared to be good enough. In terms of usability, the measuring equipment proved to be easy to use, and the results provided useful information that could be used to make changes to the conditions prevailing on the site.

---

Key words: concrete, drying, conditions, measurement equipment, reliability, usability.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	Olosuhdehallinta .....	6
2.1	Kosteudenhallinta.....	6
2.2	Kuivaketju10 .....	7
3	Rakennusfysiikka .....	9
3.1	Ilmankosteus ja lämpötila .....	9
3.2	Betonin kuivuminen.....	10
4	Olosuhdehallinta työmaalla.....	12
4.1	Kuivatus .....	12
4.2	Rakenteiden kuivumisaika .....	14
4.3	Vuodenajat.....	14
4.4	Kuivatuksen toteutus.....	16
5	Jatkuvat olosuhde- ja kosteusmittaukset .....	18
5.1	Porareikämittaus .....	18
5.2	Mittausvyvyys.....	19
5.3	Luotettavuuden arviointi .....	20
5.3.1	Lämpötilavaihtelut.....	20
5.4	Mittauspalvelut .....	22
5.4.1	Cramo eGate .....	22
5.4.2	Skanska Konevuokraus Oy .....	24
5.5	Mittauspalveluiden vertailu.....	25
6	Tutkimus .....	27
6.1	Tutkimuskohde.....	27
6.1.1	Rakenteet .....	27
6.1.2	Lämmitys ja kuivatus .....	28
6.2	Mittaukset tutkimuskohteessa .....	30
7	Tulokset .....	33
7.1	Tulosten esittely .....	33
7.2	Betoniantureiden luotettavuus.....	33
7.3	Huoneilma-antureiden luotettavuus.....	36
7.4	Käytettävyys.....	37
8	Pohdinta.....	38
	LÄHTEET .....	39

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö toteutetaan yhteistyössä Skanska Talonrakennus Oy:n kanssa. Työn aiheena on työmaan olosuhdehallinnan seuranta, jolla tarkoitetaan tässä työssä rakennustyömaan rakennusaikaisen sisäilman kosteuden ja lämpötilan sekä betonin kuivumisen seurantaa mittausten avulla.

Betonirakenteiden kuivumisen kannalta on tärkeää, että rakennetta ympäröivän ilman olosuhteet voivat mahdollistaa betonin kuivumisen. Oikeanlaisilla kuivumisolosuhteilla varmistetaan, että betonirakenteet kuivuvat suunnitellussa ajassa, jolloin pysytään aikataulussa ja säästetään kustannuksissa ilman, että otetaan riskejä betonirakenteiden päällystettävyyden kannalta.

Lähtökohtana työssä on seurata eräällä kerrostalotyömaalla käytettävän olosuhdemittausjärjestelmän avulla työmaan sisäilman olosuhteita ja selittää betonin kuivumiskäyttäytymistä olosuhteiden avulla. Tarkoitus on myös pohtia olosuhdemittausten hyödyllisyyttä työnjohtajan näkökulmasta. Tavoitteena on myös löytää samankaltaisia vaihtoehtoisia mittausjärjestelmiä. Teoria-osuudessa käsitellään rakennustyömaan olosuhdehallintaa kosteudenhallinnan osalta sekä pohjustetaan betonin kuivumista ja mittauksilla saatavia mittaustuloksia rakennusfysiikan näkökulmasta.

Tutkimuksessa käytetään erään olosuhdemittauspalvelun mittauslaitteita, jotka ovat jo aiemmin olleet käytössä Skanskan työmailla. Mittauslaitteet ovat etäluettavia sekä tuottavat mittausdataa jatkuvasti ja reaaliajassa. Mittaustulokset ovat helposti luettavissa tietokoneelta, tabletilta tai puhelimelta.

## 2 Olosuhdehallinta

### 2.1 Kosteudenhallinta

Rakennustyömaalla esiintyy aina kosteutta. Tärkeää on siis ymmärtää, miten riskitekijät syntyvät sekä miten niitä pystytään hallitsemaan ja eliminoimaan parhaalla mahdollisella tavalla. Riskitekijöiden hallinnan tärkein tehtävä on varmistaa, että rakennus on valmistuessaan terve ja pysyy sellaisena koko elinkaarensa ajan. Kosteudenhallinnalla varmistetaan myös rakennusaikana aikataulussa pysyminen ja kustannusten hallinta. Maankäyttö- ja rakennuslakiin perustuva ympäristöministeriön asetus rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta tuli voimaan 1.1.2018. Asetuksen pohjalta on julkaistu 28.2.2020 ympäristöministeriön ohje rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta, joka täydentää tuota aikaisemmin julkaistua saman nimistä asetusta.

Rakennusvaiheesta vastaavan henkilön tulee huolehtia, että rakenteissa oleva kosteus ja rakennekosteus eivät aiheuta vaurioita rakenteissa rakennusvaiheessa ja käytön aikana. Rakenteiden tulee olla riittävän kuivia ennen kuin ne päällystetään kuivumista hidastavilla pinnoitteilla tai materiaaleilla. Riittävän kuivumisasteen arviointi edellyttää rakenteiden ja rakenteiden päällystämiseen sekä pinnoittamiseen käytettävien materiaalien rakennusfysikaalisten ominaisuuksien, kuten kosteudensietokyvyn sekä esimerkiksi vesihöyryn läpäisevyyden tuntemista. (Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020, s.23)

Rakennusvaiheesta vastaavan henkilön tulee huolehtia kosteusmittauksin rakenteiden asianmukaisesta kosteuspitoisuudesta seuraavaan työvaiheeseen siirtymistä varten. Päällystettävyyssmittaukset tehdään kyseiseen tarkoitukseen ja olosuhteisiin soveltuvilla mittauslaitteilla. Mittauksen tekijän tulee olla perehtynyt mittalaitteiden käyttöön. Ensisijaisesti kosteusmittauksissa käytetään kohteesta riippuen sertifioitua kosteuden mittaajaa. Tavanomaisia mitattavia rakenneosia ovat päällystettävät betonirakenteet, vedeneristettävät betonirakenteet sekä runkobetonirakenteet ennen lämmön-/ ääneneristekerroksen ja sen päälle tulevan raken-

teen asentamista. Mittaustuloksissa huomioidaan päällystysmateriaaleille ominaiset alustan kriittiset kosteuspitoisuudet ja niiden vaikutusajat sekä päällystämateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet. (Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020, s.23-24)

## 2.2 Kuivaketju10

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava rakennuksen kosteudenhallintaselvityksen laatimisesta. Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen on sisällytettävä rakennushankkeen yleistiedot, vaatimukset kosteudenhallinnalle hankkeen eri vaiheissa, toimenpiteet ja menettelyt kosteudenhallinnan vaatimusten varmentamiseen sekä kosteudenhallinnan henkilöresurssit. Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen on sisällyttävä myös tieto hankkeen kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavasta henkilöstä. (ympäristöministeriön asetus rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta 2018, luku 3, 12§)

Kuivaketju10 on rakennusprosessin kosteudenhallinnan toimintamalli, jolla pyritään hallitsemaan kosteusvaurioiden riskejä koko rakennuksen elinkaaren ajalta. Kuivaketju10 käytetään yleisesti osana rakennushankkeen kosteudenhallintasuunnitelmaa. Toimintamalli sisältää toimintaohjeen sekä kuivaketju10 riskilistan, jossa on esitetty kymmenen keskeisintä kosteusriskiä. ([www.kuivaketju10.fi](http://www.kuivaketju10.fi))

Kuivaketju10 riskilista:

1. Rakennuksen ulkopuolelta tuleva kosteus vaurioittaa perustuksia ja lattiarakenteita.
2. Sadevesi pääsee tunkeutumaan ulkoseinärakenteen sisälle.
3. Vesikatteen läpäisevä vesi tunkeutuu aluskatteen vuotokohdista yläpohjaan.
4. Kosteutta siirtyy ilmansulkukerroksen vuotokohdista ulkoseinä- ja yläpohjarakenteisiin, jonne sitä tiivistyy vedeksi.
5. Väärin mitoitettu ja säädetty ilmanvaihto ei poista ylimääristä kosteutta vaan pakottaa sen siirtymään rakenteisiin.
6. Vesiputkien rikkoutumiset aiheuttavat kiinteistöön laajoja vesivahinkoja.
7. Huonosti toteutetussa märkätilassa kosteus vaurioittaa ympäröivät rakenteet.
8. Kosteiden betonirakenteiden päällystäminen aiheuttaa päällystämateriaalin turmeltumisen.

9. Materiaalien ja rakenteiden kastuminen vaurioittaa rakennuksen.

10. Huonolla ylläpidolla rakennus rapistuu hitaasti mutta varmasti.

Tämä opinnäytetyö käsittelee riskilistan kohtaa 8. Betonirakenteiden kosteus tulee olla kunkin päällystemateriaalin määräämän tason alapuolella, ennen kuin päällystystyöt voidaan aloittaa. Päällystettävyyys todetaan kosteusmittauksilla, jonka tekee alan pätevyyden omaava ammattilainen. Ennen kuin betoni saavuttaa riittävän alhaisen kosteuden työmaan työnjohdon tulee huolehtia työmaaolosuhteista niin, että betonin kuivuminen on mahdollista. Osana kuivumisen varmentamista voidaan työmaalla ottaa käyttöön jatkuvat olosuhde- ja kosteusmittaukset, jotka tukevat kosteudenhallinnan varmentamista sekä dokumentointia matkalla betonirakenteen valusta pinnoitettavuuteen.



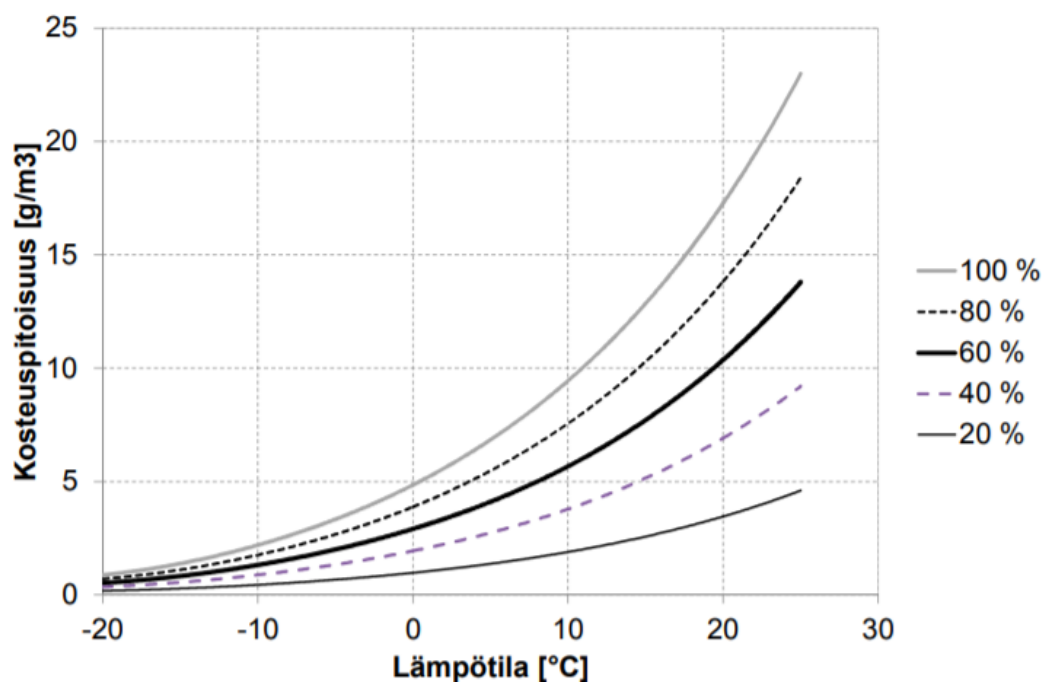
### 3 Rakennusfysiikka

#### 3.1 Ilmankosteus ja lämpötila

Ilma sisältää aina tietyn määrän kosteutta, eli vesihöyryä. Kosteuden määrä riippuu vuodenajasta, sääolosuhteista ja erilaisten kosteudenlähteiden vaikutuksesta. Lämmin ilma kykenee sitomaan enemmän kosteutta, kuin kylmä ilma, eli lämpimään ilmaan mahtuu määrällisesti enemmän kosteutta, kuin kylmään ilmaan. Jokaisella lämpötilalla on oma kyllästystilansa, joka on sitä suurempi, mitä lämpimämpi on. Kyllästystilalla tarkoitetaan sitä pistettä, missä ilmaan ei pysty enää vastaanottamaan ja sitomaan lisää kosteutta, lämpötilan pysyessä vakiona, vaan ylimääräinen kosteus tiivistyy vedeksi. (Pitkäranta 2016, s.102)

Ilmankosteutta mitatessa puhutaan ilman suhteellisesta kosteudesta. Ilman suhteellinen kosteus on ilman sisältämän vesihöyryn määrän suhteessa ilman lämpötilaa vastaavan kyllästystilan vesihöyryn määrään. Ilman suhteellisesta kosteudesta käytetään tunnusta RH. Suhteellinen kosteus on 100% kyllästystilassa. Kyllästysvajaudella tarkoitetaan puolestaan kyllästystilan kosteuspitoisuuden ja vallitsevan kosteuspitoisuuden erotusta. Ilma pystyy sitomaan kyllästysvajauden verran kosteutta. Esimerkiksi RH:n ollessa 50% ilma pystyy sitomaan siis vielä saman verran kosteutta, kuin mitä siinä jo on. (Pitkäranta 2016, s.103)

Ilman suhteellinen kosteus on riippuvainen ilman lämpötilasta. Lämmin ilma kykenee sitomaan enemmän kosteutta kuin kylmä ilma. Kuvassa 1. on esitetty ilman sisältämän vesihöyryn määrän riippuvuus ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Kuvasta 1. voidaan esimerkiksi nähdä, että +20 °C lämpötilassa ja RH:n ollessa 100% kuutiometrissä ilmaa on noin 17,5 grammaa kosteutta, kun taas lämpötilan ollessa 0°C ja RH 100% kosteutta voi olla ilmassa kosteutta vain 5g/m<sup>3</sup>. Kuvan 1. avulla voidaan arvioida ilman suhteellisen kosteuden muutosta. (Pitkäranta 2016, s.103)



KUVA 1. Ilman sisältämän vesihöyryn määrän riippuvuus ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. (Pitkäranta 2016, Kuva 5.4)

### 3.2 Betonin kuivuminen

Betonin kuivumiseen vaikuttavat betonirakenteen paksuus, kerroksellisuus ja kuivuuko betoni yhteen vai kahteen suuntaan. Betonin kuivumiseen voidaan vaikuttaa myös betonilaadun valinnalla. Kuivumista voidaan nopeuttaa esimerkiksi valitsemalla mahdollisimman suuri raekokoista ja jäykkää massaa tai käyttämällä nopeammin päälystettäviä betonilaatuja. (Timonen-Nissi 2019, Rudus Betoniakatemia). Betonilaadulla valinnalla voidaan siis jo lähtökohtaisesti merkittävästi lyhentää betonin kuivumisaikaa, mutta lopulta kuivumisolosuhteilla on suurin merkitys lopullisen kuivumisen kannalta. Huonoissa olosuhteissa ei nopeammin päälystettävä betonilaatukaan kuivu suunnitellulla tavalla.

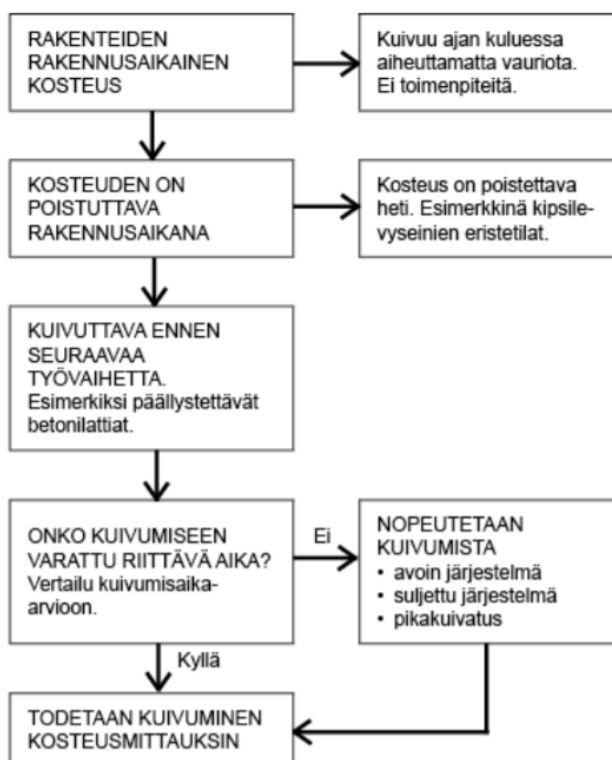
Huokoisten materiaalien, kuten betonin kosteuspitoisuus ilmaistaan usein suhteellisen kosteuden arvona (RH). Betoni on hygroskooppinen materiaali, eli betonissa olevien ilmahuokosten suhteellinen kosteus pyrkii tasapainoon materiaalin ympärillä olevan suhteellisen kosteuden kanssa. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>). Hygroskooppisella tasapainokosteudella tarkoitetaan materiaa-

lin kykyä sitoa kosteutta ilmasta ja luovuttaa kosteutta ympäröivään ilmaan. Ympäristön suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta sekä materiaalin kosteuspitoisuudesta ja lämpötilasta riippuu, sitooko betoni kosteutta ympäröivästä ilmasta vai luovuttaako se kosteutta ympäröivään ilmaan. (Pitkäranta 2016, s.104).

## 4 Olosuhdehallinta työmaalla

### 4.1 Kuivatus

Suurin osa rakenteista sisältää ylimääräistä kosteutta eli ns. rakennuskosteutta. Rakennuskosteuden lähteitä ovat rakennusmateriaalien valmistuksessa käytetty vesi, rakennusaikainen sade sekä rakennusaikana käytetty vesi. Rakenteiden kuivatustarve riippuu siitä, aiheuttaako rakenteessa oleva kosteus vaurioita rakenteelle ja poistuuko vesi rakenteesta tarpeeksi nopeasti. Kuvassa 2. on esitetty rakenteen kuivumistarpeen arviointi. Tyypillisiä kuivattavia rakenteita ovat päällystettävät tai pinnoitettavat betonirakenteet, joiden tulee kuivua päällystämateriaalin edellyttämän kriittisen kosteusarvon alapuolelle ennen päällystystyötä. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)



KUVA 2. Rakenteen kuivatustarpeen arviointi. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)

Rakenteiden kuivatus tapahtuu fysikaalisten kosteudensiirtymisilmiöiden vaikutuksesta. Kosteus voi siirtyä painovoimaisesti, kapillaarisesti, diffuusiolla tai kosteuskonvektiolla. Rakenteiden kuivatuksessa menetelminä ovat kuitenkin yleensä luonnollinen kuivaminen, lämpötilan nostaminen, jolloin kasvatetaan rakennetta ympäröivän ilman kosteusvajetta, sekä koneellinen kuivaaminen esimerkiksi kosteudenerottimilla, jolloin rakennetta ympäröivää ilmaa kuivatetaan koneellisesti. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)

Kosteuden poistumiseen vaikuttavat merkittävästi lämpötila ja rakennetta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus. Ilman suhteellisen kosteuden tulee olla riittävän alhainen, jotta rakennuksessa oleva ilma pystyy vastaanottamaan rakenteista poistuvaa kosteutta. Tämän lisäksi kuivumisnopeus riippuu myös rakenteiden kosteudensiirto-ominaisuuksista. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)

Kuivatuksen tarkoituksena on siis poistaa mahdollisimman paljon kosteutta mahdollisimman vähällä lisälämmittämällä. Tiloissa, joissa käytetään lisälämmitystä kuivaamiseen, on huolehdittava tarpeeksi tehokkaasta ilmanvaihdosta. Kuivatusprosessi riippuu kolmesta tekijästä: Ilman suhteellisen kosteuden alenemisesta, rakenteen lämpötilan kohottamisesta sekä rakennetta ympäröivän ilman liikkumisesta. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)

Lämpötilan nostaminen on tehokkain tapa nopeuttaa rakenteiden kuivumista. Sisäilman lämpötilaa nostamalla saadaan ympäröivän ilman suhteellinen kosteus laskemaan ja samalla rakenteiden lämpötila nousemaan, jolloin niiden kosteutta siirtävä voima kasvaa. Nyrkkisääntönä rakenteita kuivatessa sisäilman lämpötila tulisi olla vähintään +20 °C ja ilman suhteellinen kosteus korkeintaan 50%. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)

## 4.2 Rakenteiden kuivumisaika

Kosteusherkillä materiaaleilla päällystettävien tai pinnoitettavien betonirakenteiden tulee kuivua päällystemateriaaleille asetetun kriittisen kosteusraja-arvion alapuolelle. Kriittiset kosteusraja-arvot on määritelty materiaalivalmistajien ohjeissa sekä esitelty julkaisuissa SisäRYL 2013 ja ne ovat usein välillä 80-90%. Raja-arvoihin pääsy tulee ottaa huomioon aikataulua laadittaessa, kuivumisaika-arvion muodossa. Betonin riittävä kuivuus varmistetaan päällystettävyyssmittauksilla, pätevyyden omaavan kosteusmittaajan toimesta, joko näytepalamittauksella tai porareikämittauksella. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)

Rakenteiden kuivumisen kannalta tärkeitä tekijöitä ovat rakennuksen työaikaisen lämmityksen käyttöönotto sekä rakennuksen vaipan ja vesikaton ummistaminen. Rakenteiden mahdollisimman nopean kuivumisen kannalta on tärkeää saada edellä mainitut asiat mahdollisimman nopeasti kuntoon. Jotkin työvaiheet kuten, valut sekä tasoitus- ja maalaustyöt aiheuttavat lisäkosteutta rakennusaikana ja samalla hidastavat rakenteiden kuivumista, mikä tulee myös huomioida rakenteiden kuivumisaikaa suunnitellessa. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)

Rakenteiden kuivumisen viivästymistä voidaan ennaltaehkäistä muun muassa kuivumisolosuhteita parantamalla, betonilaadun valinnalla, estämällä rakenteiden tarpeeton kastuminen sekä sementtiliiman poistolla valetuista rakenteista. Lisäksi työmaan tulee pitää siistinä, sillä kuivuvan rakenteen pinnalla oleva rakennuspöly sitoo kosteutta ja haittaa rakenteen kuivumista. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)

## 4.3 Vuodenajat

Vuodenajat määrittävät lähtökohtaisesti menetelmän, jolla rakenteita kuivataan. Talvella rakenteet saadaan parhaiten kuivatettua nostamalla sisäilman lämpötilaa, jolloin rakenteita ympäröivän ilman kyllästysvajaus kasvaa. Riittävä lämpö ajaa kosteutta pois rakenteista ja pitää sisäilman suhteellisen kosteuden riittävän alhaisena. Keväällä ja loppusyksystä rakenteiden kuivumista edistää myös

lämmitys, mutta tällöin on syytä tehostaa myös ilmanvaihtoa. Ilmanvaihtoa voidaan tehostaa esimerkiksi simpukkapuhaltimilla (KUVA 3.), jolloin on kuitenkin pidettävä huoli, että puhaltimilla tuuletettu ilma pääsee ulos rakennuksesta, eikä jää kiertämään rakennuksen sisälle. Kesällä ja alkusyksystä ulkoilman ilman-  
kosteus voi olla niin suuri, että ilma ei pysty vastaanottamaan kosteutta rakenteista, eikä pelkkä olosuhteiden parantaminen enää auta. Tällöin ilmaa täytyy kuivattaa kosteudenkerääjillä (KUVA 4.). Kosteudenkerääjien käyttö edellyttää huolellista osastointia, jotta kosteudenkerääjät eivät kerää ulkoilman kosteutta, vaan rakenteista vapautuvaa kosteutta. Kosteudenkerääjien käytössä tulee myös huomioida, että niihin kerääntynyt vesi ei pääse vuotamaan kuivuviin rakenteisiin, vaan ne ohjataan hallitusti esimerkiksi rakennuksen viemäreihin.  
(<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)



KUVA 3. Simpukkapuhallin. (<https://skanskakonevuokraus.fi/tuote-osasto/lammitys-ja-kuivaus/>)



KUVA 4. Kosteudekerääjä. (<https://skanskakonevuokraus.fi/tuote-osasto/lammitys-ja-kuivaus/>)

#### 4.4 Kuivatuksen toteutus

Rakenteiden kuivatus perustuu kuivumisolosuhteiden parantamiseen. Rakenne kuivuu, mikäli rakennetta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on pienempi, kuin rakenteen. Rakenteen kuivumisen nopeuttamisen peruspilarit ovat:

1. Rakenteiden lämmittäminen
2. Rakenteita ympäröivän ilman lämmittäminen
3. Tuuletuksen järjestäminen

Tehokkaimman ja taloudellisimman kuivatustavan valitseminen riippuu vuodenajasta, ulkoilman olosuhteista ja siten ilman suhteellisesta kosteudesta. Rakennuksen tavoitteelliset kuivumisolosuhteet ovat sisäilman kosteuden ollessa 50% ja lämpötila +20°C. Esimerkiksi kesäkuukausina ilmakeuhuus on yleensä liian korkea ja rakenteiden kuivattaminen pelkästään ulkoilmalla ei onnistu, sillä ulkoilma ei pysty vastaanottamaan rakenteista kuivuvaa kosteutta. Rakenteiden kuivattamiselle on olemassa kaksi erilaista järjestelmää: avoin- ja suljettu järjestelmä. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)

Avoimessa järjestelmässä kuivatus toteutetaan jatkuvalla konvektiolla. Tämä tarkoittaa siis rakenteista kuivuvan kosteuden siirtymistä rakennusfysikaalisten ominaisuuksien avulla tilaan, jossa suhteellinen kosteus on pienempi. Avoin järjes-



telmä vaatii hallittua ilmanvaihtoa ja riittävää lämmitystä. Riittävä ilmanvaihto luodaan käyttäen esimerkiksi talotekniikkavarauksia tai ovien kynnysrakoja. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)

Suljetussa järjestelmässä kuivatettavasta tilasta tehdään tiivis ja rakenteista kuivuva kosteus kuivataan kosteudenkerääjillä. Kuivatettavasta tilasta on siis tehtävä mahdollisimman tiivis, jolloin kosteudenkerääjät kuivaavat vain tilaa, josta kosteutta halutaan poistaa. Ilman lämpötilan on oltava kosteudenkerääjien käyttöohjeiden mukainen. (<http://www.kosteudenhallinta.fi/TOIMET>)

## 5 Jatkuvat olosuhde- ja kosteusmittaukset

Tässä opinnäytetyössä olosuhdehallinnan seuranta perustuu jatkuviin olosuhde- ja kosteusmittauksiin. Olosuhdemittaukset toteutetaan mittaamalla työmaan sisäilman lämpötilaa ja kosteutta siihen soveltuvalla laitteistolla. Olosuhdeiden lisäksi mitataan betonin kuivumista. Betonin kuivumisen jatkuvaan seurantaan on markkinoilla hyvinkin paljon laitteita, joista useimmat asennetaan kovettuneeseen betoniin porattuun reikään ns. porareikämenetelmällä. Tällaiset mittaukset saattavat olla riittävän hyviä, jos mittalaitteet on kalibroitu ja laitteiden näyttämätaso ei muutu betonissa olevien ainesosien vaikutuksesta. Jatkuvilla betonin kosteusmittauksilla ei voida korvata pinnoitettavuusmittauksia, mutta niillä voidaan toimiessaan saada suuntaa antavia arvoja betonin kuivumisen kehityksestä. (RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittaus.)

### 5.1 Porareikämittaus

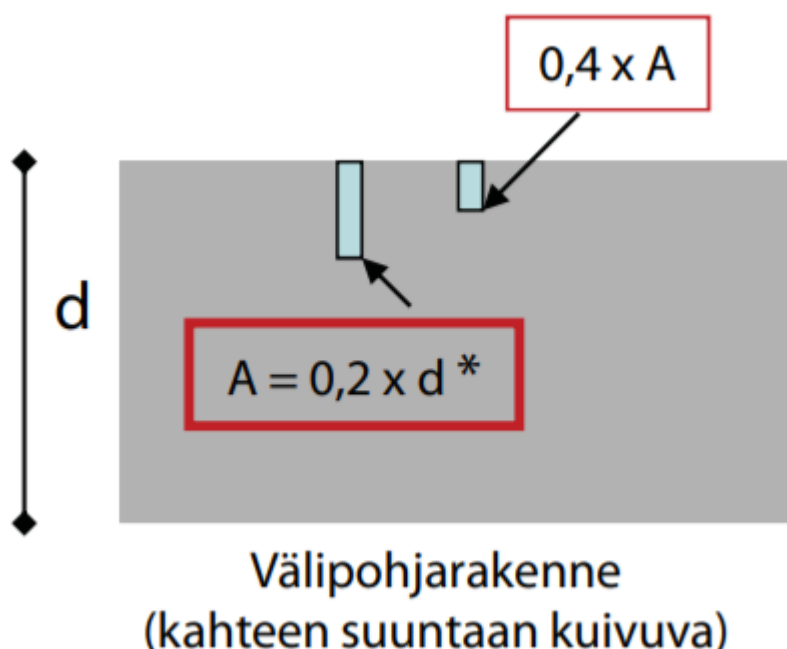
Porareikämittaus on näytepalamittauksen ohella tarkka tapa mitata betonin suhteellista kosteutta. Tutkimusmenetelmänä porareikämittaus on melko työläs ja rakennetta rikkovaa sekä tulosten saaminen vie aikaa. Tarkimmillaan porareikämittaus on +15...+25 °C lämpötilassa. Lisäksi lämpötilan ja olosuhteiden on oltava riittävän lähellä rakennuksen normaalia käyttölämpötilaa ja olosuhteiden on pysyttävä mittauksen aikana riittävän vakaina. (RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittaus.)

Varsinainen mittauksen valmistelu sisältää monia vaiheita ja valmistelun onnistumisella on suuri vaikutus mittaustulosten luotettavuuteen. Valmistelu aloitetaan poraamalla betoniin reikä mitta-anturille. Reikä on halkaisijaltaan 16...10 mm riippuen mittapään koosta. Porattu reikä tulee puhdistaa huolellisesti, joko imuroimalla, pumpulla tai paineilmalla, jotta reikään jääneeseen pölyyn ei sitoudu kosteutta ja mittaustulos vääristy. Tämän jälkeen reikään asennetaan reiän kokoinen suojaputki. Mittaus voidaan myös tehdä ilman suojaputkea, mutta tällöin tulosta ei pidetä yhtä luotettavana. Suojaputki tiivistetään huolellisesti vesihöyrytiivillä kitillä, jotta olosuhteet mittaputken sisällä pysyvät mahdollisimman todenmukaisina. Putkitetun ja tiivistetyn mittausreiän annetaan tasa-painottua 3 vuorokautta, jonka jälkeen kosteus putkessa on tasaantunut ja

mitta-anturi voidaan asentaa ja tiivistää putkeen. Vaihtoehtoisesti mitta-anturi voidaan myös asentaa porauksen yhteydessä, jolloin tulee myös noudattaa samaa 3 vuorokauden tasaantumisaikaa. Ennen mitta-anturin asennusta porattuun ja valmisteltuun mittausreikään mitta-anturi tulee huoltaa ja kalibroida. Näin pyritään varmistamaan mittaustulosten luotettavuus. Kalibrointi tapahtuu yleensä vertaamalla anturin antamaa lukemaa johonkin tunnettuun materiaalin kosteusarvoon. (RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittaus.)

## 5.2 Mittaussyvyys

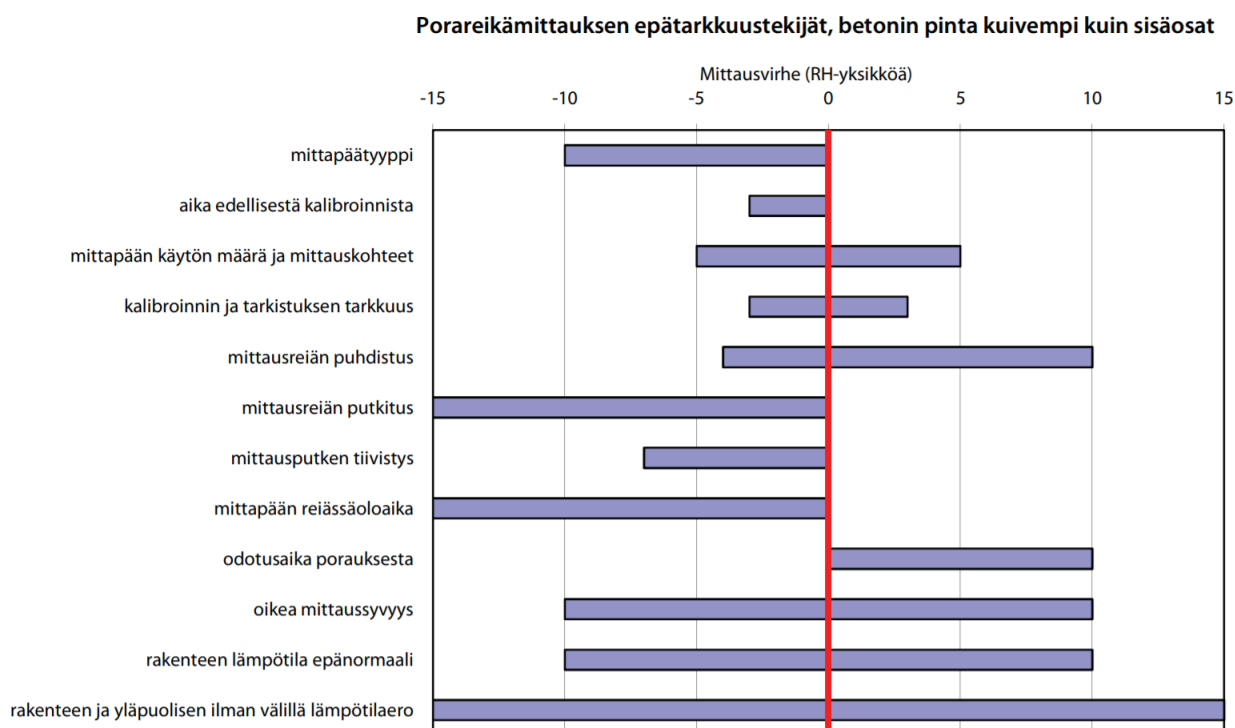
Porareikämittauksen mittaussyvyys määrittyy rakenteen paksuuden mukaan määräytyvällä arviointisyvyydellä. Kuvassa 5. on esitetty kahteen suuntaan kuivuvan välipohjarakenteen mittaussyvyyksien laskenta, joka riippuu välipohjarakenteen paksuudesta. Kuvassa esitetty A on syvyys, jolla betonin kosteuspitoisuus tasapainottuu päällysteen alla vallitsevaan kosteuspitoisuuteen. Lähempänä pintaa olevalla syvyydellä tarkistetaan, että betoni ei ole kosteampaa kuin mittaussyvyydellä A. (RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittaus.)



KUVA 5. Mittaussyvyyden määrittäminen kahteen suuntaan kuivuvalla välipohjarakenteella. (RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. Kuva 20)

### 5.3 Luotettavuuden arviointi

Vaikka porareikämittaus on tarkka menetelmä mitata betonin kosteutta, siihen liittyy myös useita epävarmuustekijöitä, jotka mittauksessa sekä tulosten tulkin-  
nassa tulee ottaa huomioon. Mittauksen luotettavuuteen vaikuttavia perusteki-  
jöitä ovat mittalaitteiden tarkkuus, mittauksen suoritustavasta aiheutuvat epä-  
tarkkuustekijät ja olosuhdetekijät. Kuvassa 6. on esitetty niiden vaikutus mit-  
taustuloksiin. (RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittaus.)

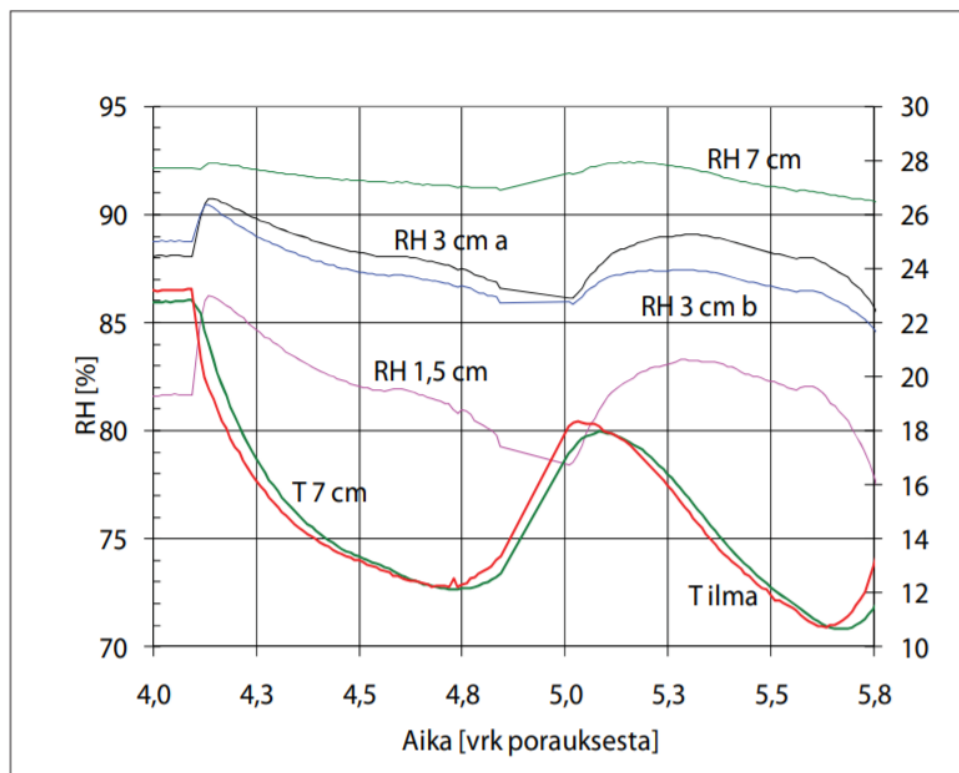


KUVA 6. Porareikämittauksen epätarkkuustekijät ja niiden vaikutus mittaustu-  
loksiin. (RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. Kuva 12)

#### 5.3.1 Lämpötilavaihtelut

Olosuhdetekijöillä tarkoitetaan mittalaitetta ympäröivän ilman ja betonin lämpöti-  
laa ja sen muutoksia. Porareikämittauksissa mittaustulokset ovat tarkimmillaan  
+15...+20 °C lämpötilassa. Lämpötilamuutokset vaikuttavat kosteuteen betonin  
huokosissa. Esimerkiksi voimakas lämpötilan nousu nostaa betonin RH luke-  
maa hetkellisesti ja päinvastoin lämpötilan laskiessa betonin RH laskee. Lämpö-  
tilamuutosten vaikutus riippuu kuitenkin paljon käytetyn betonilaadun ominai-  
suuksista. (RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittaus.)

Kuvassa 7. on esimerkki lämpötilamuutoksista lähellä mitta-anturia. Kuvassa on esitetty miten äkilliset lämpötilan muutokset voivat aiheuttaa poikkeamia mitaustuloksissa. Lämpötilan muutoksia voi syntyä esimerkiksi ulko-oven avaamisesta talvella tai aurinko paistaa suoraan anturia kohden. Poikkeaman suuruus riippuu mittaussyvyydestä. Samassa kohdassa eri syvyyksissä mittausputkissa yläpuolisen ilman lämpötilan nopea aleneminen ensin nostaa RH:ta mittapään ollessa rakennetta viileämpi ja sen jälkeen mittapään näyttämä RH alenee betonin viilentyessä. Muutokset ovat riippuvaisia mittaussyvyyksistä. (RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittaus.)



KUVA 7. Lämpötilamuutosten (T) vaikutus mitaustuloksiin (RH). (RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. Kuva 16.)

## 5.4 Mittauspalvelut

Yhtenä tämän opinnäytetyön tavoitteista oli hakea erilaisia vaihtoehtoja jatkuvien kosteusmittausten toteutukseen. Tarkoituksena on esitellä muutamia palveluita tai laitteiston tarjoajia, joilla voidaan toteuttaa jatkuvaa kuivumisolosuhteiden sekä betonin kosteuden seuranta. Kriteerinä oli, että laitteet tuottavat dataa reaaliajassa ja tulokset ovat suoraan etäluettavissa tietokoneelta, puhelimelta tai tablettilta. Mittalaitteita ja kalustoa, joissa ei ole etäluettavuus-ominaisuutta, on tarjolla paljon, mutta työnjohdon näkökulmasta etäluettavuus on vaivaa ja aikaa säästävä ominaisuus, jonka myötä mittausten toteutus voidaan mahdollisesti tuoda osaksi yleistä toimintatapaa. Jatkuvia mittauksia käytettäessä tulee kuitenkin huomioida, että mittauksilla ei voida korvata pinnoitettavuusmittauksia. Tähän opinnäytetyöhön valikoitui kaksi vaihtoehtoa, joita on käytetty Skanskan työmailla.

### 5.4.1 Cramo eGate

Cramon tarjoama ratkaisu jatkuviin olosuhde- ja kosteusmittauksiin on eGate-järjestelmä. Järjestelmä on sensoriverkkoteknologiapohjainen olosuhdevalvontajärjestelmä, joka toimii langattomien antureiden ja mittalaitteiden avulla. Anturit asennetaan betoniin, josta ne välittävät tuloksia reaaliajassa. Etäluettavia mittaustuloksia voi lukea tietokoneelta, tablettilta tai puhelimelta. Kaikki mittaustieto jää myös talteen ja on siirrettävissä esimerkiksi Exeliin. (<https://www.e-gate.fi/cases/cramo/>)

Cramon eGate on käytännössä ”avaimet käteen-palvelu”, johon kuuluu betonianturi, huoneilma-anturi (Kuva 8. ja 9.) sekä tukiasema, joka lähettää tulokset järjestelmään. Palveluun kuuluu myös asennukset, siirrot ja purku sekä oikeudet eGate käyttöjärjestelmään, josta mittaustuloksia seurataan.

## eGate Flex-nSens -RHT



Kuva 8. eGate betonianturi.

([https://www.e-gate.fi/wp-content/uploads/2018/10/eGate\\_tuotekortti.pdf](https://www.e-gate.fi/wp-content/uploads/2018/10/eGate_tuotekortti.pdf))

## eGate Kube -RHT



Kuva 9. eGate ilman olosuhteita mittaava anturi.

([https://www.e-gate.fi/wp-content/uploads/2018/10/eGate\\_tuotekortti.pdf](https://www.e-gate.fi/wp-content/uploads/2018/10/eGate_tuotekortti.pdf))

#### 5.4.2 Skanska Konevuokraus Oy

Skanska Konevuokrauksen olosuhdeseurantajärjestelmä on hyvin saman kaltaisen, kuin edellä mainittu. Skanskan järjestelmä käyttää hyödykseen IoT-verkkoa (Internet of things). IoT yhdistää mittalaitteet, mittausdatan, seurantapalvelun ja käyttäjät. Myös Skanskan järjestelmän avulla voidaan seurata työmaan olosuhteita huoneilma-anturilla sekä betonianturilla. (Kuva 10. ja 11.) Anturit toimivat omassa radioverkossa sisäänrakennetuilla pattereilla. (Karhunen)



### Huoneanturi (C° & RH%)

Kuva 10. Skanska Konevuokrauksen olosuhdeseurantajärjestelmän huoneilma-anturi. (Karhunen)



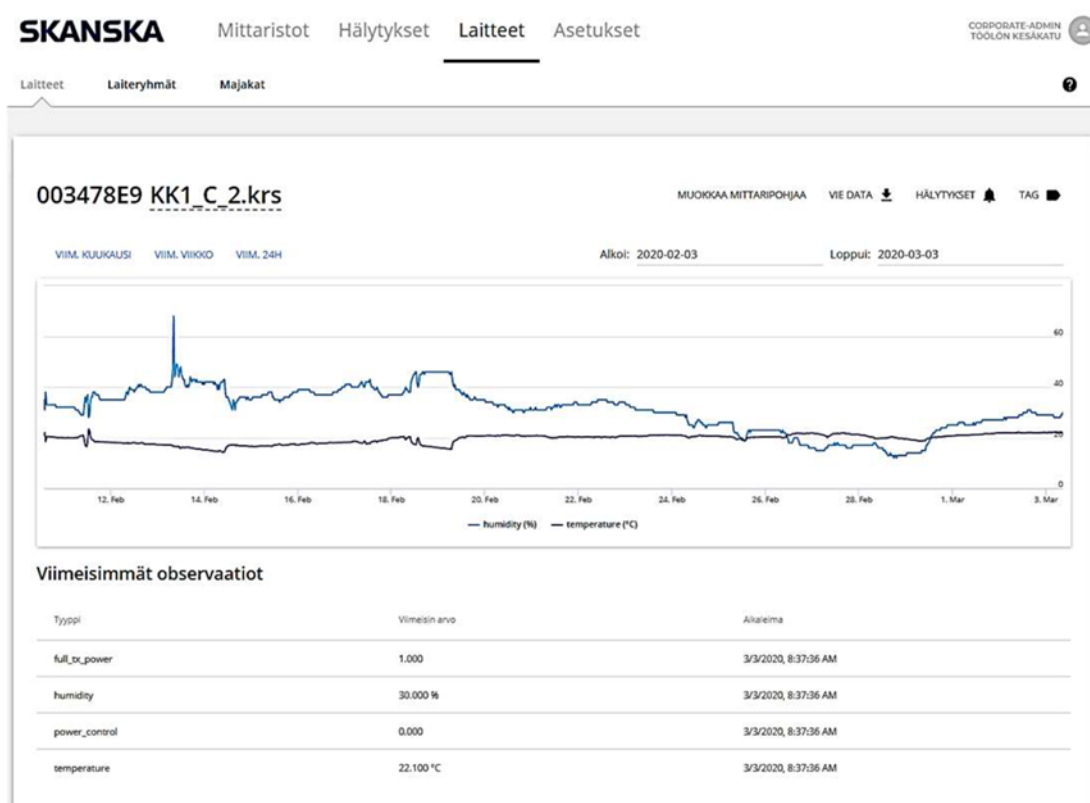
### Betonianturi (C° & RH%)

Kuva 11. Skanska Konevuokrauksen olosuhdeseurantajärjestelmän betonianturi. (Karhunen)

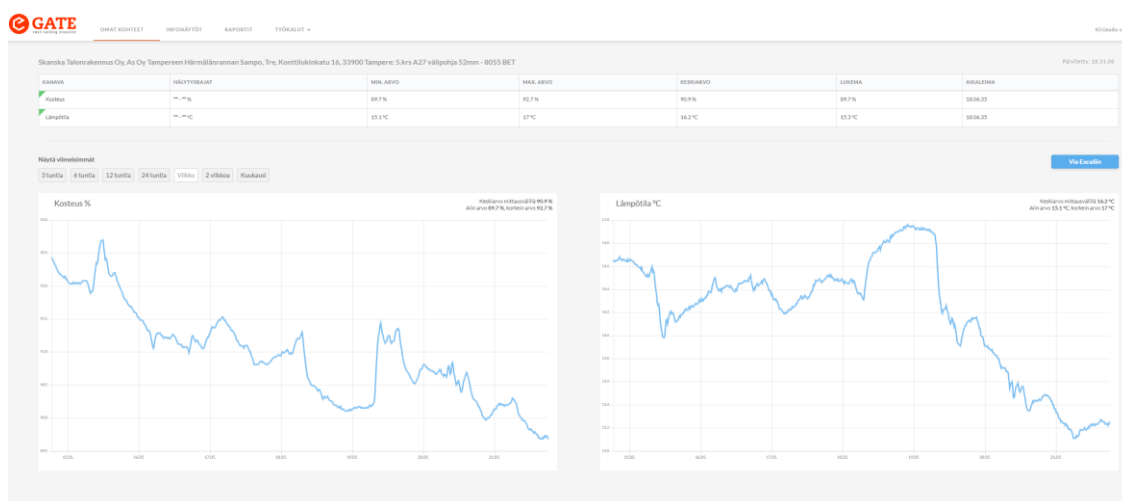


## 5.5 Mittauspalveluiden vertailu

Periaatteeltaan Cramon ja Skanska konevuokrauksen laitteet toimivat samalla tavalla. Molemmat lähettävät mittauks tulokset verkossa toimivaan palveluunsa, josta tuloksia voidaan seurata reaaliajassa (KUVA 12. ja KUVA 13.). Cramon palvelussa on hieman enemmän toimintoja, mutta molemmat antavat samat tiedot ja molemmissa on mahdollista tulostaa halutut tulokset niin pdf-muodossa, kuin paperille. Molemmissa betonianturit toimivat porareikämenetelmällä ja ovat langattomia. Myös huoneilma-anturit toimivat langattomasti.



KUVA 12. Skanska konevuokrauksen olosuhdemittausjärjestelmä tulostusnäky.



KUVA 13. Cramo eGate tulostäkömä.

Suurimmat erot tulevat palvelun sisällöstä ja sitä kautta hinnasta. Tämän opin-  
näytetyön tilaajalle toimitettavassa versiossa on tehty hintavertailu, mutta julkais-  
tavasta raportista se on piilotettu. Cramon eGate sisältää asennukset, siirrot ja  
purut, kun taas Skanskan järjestelmä asennetaan itse tilaajan toimesta. Tarkat  
ohjeet asennukseen löytyy RT-kortista (RT 14-10984, Betonin suhteellisen kos-  
teuden mittausta). Betoniantureiden asennus on melko yksikertaista, mutta itse  
asennettuna asennuksen onnistuminen ja siten tulosten luotettavuus voi olla ky-  
symysmerkki. Cramon järjestelmän mukana tulevat asennukset sisältävät myös  
takuun tulosten luotettavuudesta.

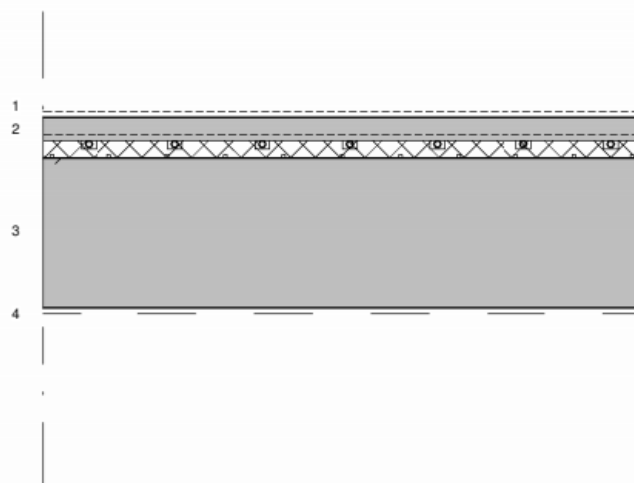
## 6 Tutkimus

### 6.1 Tutkimuskohde

Tutkimus toteutettiin Tampereella Skanskan Talonrakennuksen työmaalla. Kohteena oli 7-kerroksinen uudisasuinkerrostalo, jossa on yksi rappu. Rakennusaika on välillä lokakuu 2019 – marraskuu 2020. Tutkimus ajoittui aikavälille maaliskuu – toukokuu. Tutkimuskohteeseen on tehty kosteudenhallintaselvitys, jossa käytetään hyväksi kuivaketju10 toimintamallia.

#### 6.1.1 Rakenteet

Tutkimuskohteena oleva välipohjarakenne toteutettiin paikallavaletusta teräsbetonista, jonka paksuus on 260mm. Kohteen asuinkerroksissa on asuntojen märkätiloja lukuun ottamatta vesikiertoinen lattialämmitys kauttaaltaan. Holvilaatan päälle asennetaan uritettu eristelevy, johon lämmitysputket asennetaan, jonka jälkeen eristelevyn päälle valetaan ”uiva laatta”. (KUVA 14.) Paikallavaletun holvin betonin suhteellinen kosteus tulee olla alle 90% ennen, kuin lattialämmityksen asennus voidaan aloittaa. Käytetty betonilaatu on Ruduksen NP (nopeasti pinnoitettava), jolle luvataan jopa yli puolet nopeampi kuivumisaika, kuin tavallisesti käytetyille lattiabetonilaaduille. (<https://www.rudus.fi/ohjeet/betonin-ohjeet/np-lattiabetoni-kayttoohje>)



dimensio mm	tuote	standardi / ominaisuus	ominaisuuden vaatimustaso
	1 Pintamateriaali rakennuspiirusten mukaan		
30	2 Pumpattava tasoite, kuitukangas	puristuslujuus	>16N/mm <sup>2</sup>
35	3 Solupolystyreeni EPS uralevy, pinnassa alumiinilevy 0.5mm CE-merkitty, lattilämmitysputket	SFS-EN 13163 Uritettu ja pinnoitettu Lämmönjohtavuus	$\lambda_D \leq 0.040 \text{ W/mK}$
260	4 Teräsbetoni raudoitus	EN 206, SFS 7022 SFS 1259	rakennepiirustusten mukaan B500K, B500B
	5 Pintamateriaali rakennuspiirusten mukaan		

KUVA 14. Tutkimuskohteen holvirakenteen rakennetyyppi

### 6.1.2 Lämmitys ja kuivatus

Vuodenajallisesti tutkimuksen kohteena olevien betonirakenteiden tutkimuksen kuivatus sijoittui maaliskuusta toukokuuhun. Rakennusaikainen lämmitys toteutettiin vuokratulla kaukolämpökeskuksella, jonka maksimilämmitysteho oli 400kW. (KUVA 15.) Lämpökeskuksen tuottama lämpö ohjattiin hissikuilun kautta vesikiertoisten puhaltimien avulla kerroksiin. (KUVA 16.) Ilmanvaihto tapahtuu lähtökohtaisesti painovoimaisena ulkoilman ollessa vielä huomattavasti kylmempää, kuin rakennuksen sisäilma, joka tulisi pitää yli +20C°. Tarvittaessa ilmanvaihtoa tehostetaan simpukkapuhaltimien avulla. Kuivumisen edistämiseksi teräsbetoniholvit hiottiin noin 4 viikkoa valun jälkeen, kun se oli muiden työvaiheiden puitteissa mahdollista.



Kuva 15. Työmaan lämmitykseen käytettävä kaukolämpökeskus.



Kuva 16. Tutkimuskohteessa käytetty vesikiertolämmitin

## 6.2 Mittaukset tutkimuskohteessa

Tutkimuksen jatkuvat olosuhde- ja kosteusmittaukset tehtiin Cramon e-gate järjestelmän avulla. Tutkimuksessa seurattiin laitteiden antamia mittaustuloksia sekä pyrittiin selittämään niitä työmaalla vallitsevien olosuhteiden avulla. Laitteita käytössä oli 4 kappaletta betonin kosteusantureita ja 4 kappaletta ilman lämpötilaa ja kosteutta mittaavia antureita. Anturit sijoitettiin aluksi niin, että 1-4 kerroksissa oli yksi kappale molempia antureita per kerros. Kuvassa 17. on kuvattuna Cramon toteutus mittalaitteiden asennuksesta. Sekä betonianturi, että olosuhteita mittaava anturi on sijoitettu samaan pisteeseen. Anturit on suojattu kolhiintumiselta metallisella suojalla.



KUVA 17. Cramon toteutus mittalaitteiden asennuksesta.

Mittauspisteet sijaitsivat kerroksissa kuvan 18. osoittamissa paikoissa. Mitta-anturit siirrettiin 1-3 kerroksista 5-7 kerrokseen 28.4, kun 1-3 kerrokset oltiin todettu pinnoitettavuusmittauksin riittävän kuiviksi. Anturit siirrettiin seuraavasti:

1.krs → 5.krs

2.krs → 6.krs

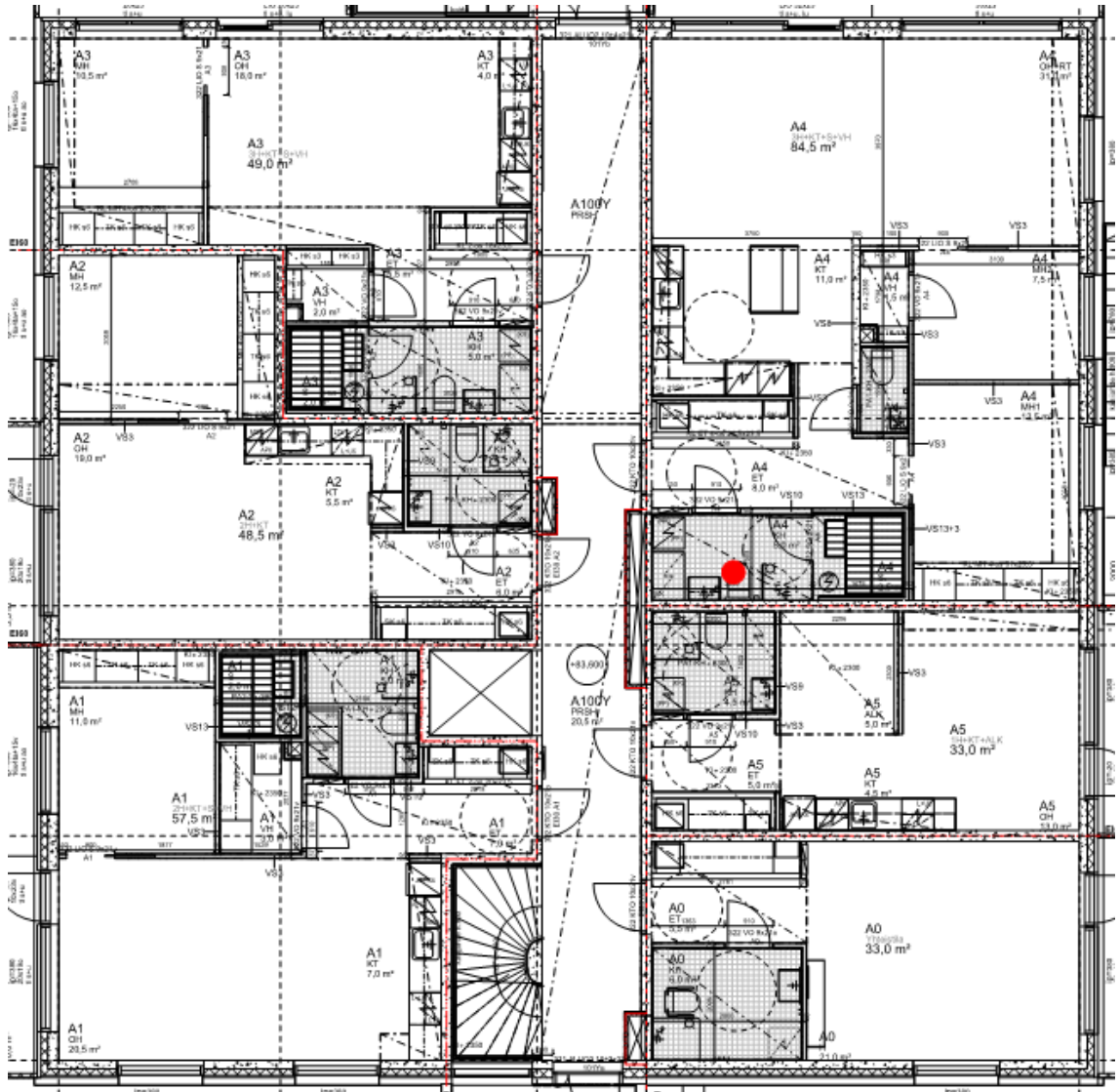
3.krs → 7.krs

4. kerroksessa anturi pysyi edelleen samalla paikallaan. Siirron jälkeen esimerkiksi 1. kerroksen tuloksia pystyi seuraamaan valitsemalla infonäytöltä 5. kerroksen tulokset ja asettamalla aikaväliksi päivämääriä ennen 28.4. Mittauspisteet olivat samassa sijainnissa jokaisessa kerroksessa.



Mittaussyvyytenä jatkuvilla betonin kosteusmittausantureilla oli 52mm edellisessä kappaleessa esitetyn kuvan mukaan. (Kuva 3.)

$$A = 0,2 \times d = 0,2 \times 260\text{mm} = 52\text{mm}$$



KUVA 18. Jatkuvien mittauksen mittauspisteiden sijainti esitettynä pohjakuvassa.



## **7 Tulokset**

### **7.1 Tulosten esittely**

Tutkimuksen tuloksissa pyrittiin selvittämään työnjohtajan näkökulmasta jatkuvien olosuhdemittausten hyödyllisyyttä. Lähtökohtana laitteiston hyödyllisyydelle on mittaustulosten luotettavuus. Jos mittaustuloksiin ei voida luottaa palvelu menettää täysin arvonsa.

Toinen tutkittava ominaisuus on palvelun käytettävyys. Tutkimuksessa tarkastellaan etäluettavuuden helppokäyttöisyyttä ja ominaisuuksia sekä analysoidaan mitta-antureiden antamia tuloksia ja pyritään selittämään niitä työmaaolosuhteiden avulla.

### **7.2 Betoniantureiden luotettavuus**

Pinnoitettavuusmittauksessa mittaukset tehtiin kahdella eri laitteella samasta pisteestä. Mittaustuloksista laskettiin keskiarvot, joita verrataan. Jatkuvien mittaustulosten seurantajärjestelmän avulla saatiin suoraan vertailuajanjakson ylin ja alin lukema sekä keskiarvo. (KUVA 19.). Saadut tulokset taulukoitiin taulukon 1. mukaan. Tämän opinnäytetyön ajan puitteissa pinnoitettavuusmittaukset ehdittiin tekemään 1-4 kerroksesta, joiden tuloksia vertailussa käytettiin.



KUVA 19. Infonäytön näkymä 1.kerroksen mittausraportista aikavälillä 13.4 – 15.4.

<b>Mittauspiste 1.</b>							
<b>pinnoitettavuusmittaus</b>		Kosteus (RH, %)			Lämpötila (+, °C)		
Mittauspäivä	Kerros	Anturi nro. 468	Anturi nro. 447	Keskiarvo	Anturi nro. 468	Anturi nro. 447	keskiarvo
14.huhti	1	82,9	82,1	82,5	18,9	18,9	18,9
<b>Jatkuva mittaus</b>		Kosteus (RH, %)			Lämpötila (+, °C)		
Mittausväli	kerros	ylin	alin	keskiarvo	ylin	alin	keskiarvo
13.4 - 15.4	1	88,5	88	88,3	20,1	19,1	19,7
<b>Mittauspiste 2.</b>							
<b>pinnoitettavuusmittaus</b>		Kosteus (RH, %)			Lämpötila (+, °C)		
Mittauspäivä	Kerros	Anturi nro. 449	Anturi nro. 469	Keskiarvo	Anturi nro. 449	Anturi nro. 469	keskiarvo
14.huhti	2	86,6	87	86,8	18,2	18,2	18,2
<b>Jatkuva mittaus</b>		Kosteus (RH, %)			Lämpötila (+, °C)		
Mittausväli	kerros	ylin	alin	keskiarvo	ylin	alin	keskiarvo
13.4 - 15.4	2	88,9	88,3	88,7	20	18,9	19,5
<b>Mittauspiste 3.</b>							
<b>pinnoitettavuusmittaus</b>		Kosteus (RH, %)			Lämpötila (+, °C)		
Mittauspäivä	Kerros	Anturi nro. U4	Anturi nro. 462	Keskiarvo	Anturi nro. U4	Anturi nro. 462	keskiarvo
28.huhti	3	81,6	82,4	82	16,6	17,1	16,85
<b>Jatkuva mittaus</b>		Kosteus (RH, %)			Lämpötila (+, °C)		
Mittausväli	kerros	ylin	alin	keskiarvo	ylin	alin	keskiarvo
27.4 - 29.4	3	85,2	82,9	83,4	18,2	17	17,4
<b>Mittauspiste 4.</b>							
<b>pinnoitettavuusmittaus</b>		Kosteus (RH, %)			Lämpötila (+, °C)		
Mittauspäivä	Kerros	Anturi nro. 474	Anturi nro. 447	Keskiarvo	Anturi nro. 474	Anturi nro. 447	keskiarvo
24.huhti	4	88,4	88,3	88,35	17,1	17,1	17,1
<b>Jatkuva mittaus</b>		Kosteus (RH, %)			Lämpötila (+, °C)		
Mittausväli	kerros	ylin	alin	keskiarvo	ylin	alin	keskiarvo
23.4 - 25.4	4	91,2	89,8	90	17,9	14,9	17,5

TAULUKKO 1. Esimerkki luotettavuuden vertailuun käytetystä taulukosta.

Pinnoitettavuusmittauksista tehdyn kosteusmittauraportin mukaan Mitta-anturit on kalibroitu laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti. Kokonaismittaustarkkuus  $\pm 5$  % perustuen mittalaitteiden ominaisuuksiin, mittausmenetelmiin, ympäristöön sekä mittajaan edellyttäen, että rakennus on normaalissa lämpötilassa ja rakenteen sekä rakennetta ympäröivän ilman lämpötilaero on yli kaksi °C. Jos lämpötilaero edellä mainitussa tilanteessa on alle kaksi °C, kokonaismittaustarkkuus on  $\pm 3$  %. Pinnoitettavuusmittauksissa on käytetty Vaisalan Oy:n mittauslaitteita.

Tutkimuksessa 1 – 4 kerroksen mittaustulokset taulukoitiin taulukon 1. mukaan. Pinnoitettavuusmittausten ja jatkuvien kosteusmittausten keskiarvojen perusteella saatuja tuloksia verrattiin taulukon 2. mukaan

Mittaus-piste	Ker-ros	Pinnoitettavuusmittaus-ten keskiarvo		Jatkuvien mittausten keskiarvo		Poikkeama	
		RH (%)	lämpötila (°C)	RH (%)	lämpötila (°C)	RH ( $\pm$ %)	lämpötila ( $\pm$ °C)
1.	1.krs	82,5	18,9	88,3	19,7	5,8	0,8
2.	2.krs	86,8	18,2	88,7	19,5	1,9	1,3
3.	3.krs	82	16,85	83,4	17	1,4	0,15
4.	4.krs	88,35	17,1	90	17,5	1,65	0,4

TAULUKKO 2. Luotettavuuden arviointitaulukko.

Luotettavuuden osalta tutkimuksessa huomattiin, että jatkuvat mittaukset antoivat jokaisessa kerroksessa suuremman arvon, kuin pinnoitettavuusmittaus. Mittauspisteessä 1. poikkeama oli huomattavasti suurempi, kuin muissa mittauspisteissä. Referenssimittauksena käytetyn pinnoitettavuusmittauksen mittalaitteiden virhemarginaalin ollessa  $\pm 3\%$  ja olosuhteiden vaikutukset huomioiden tutkimustulosten perusteella mittauspisteissä 2, 3 ja 4 tuloksia voidaan pitää luotettavana, kun taas mittauspisteessä 1. ei. Tutkimuksen otanta on kuitenkin niin pieni, että sen perusteella mittalaitteistoa ei voida julistaa epäluotettavaksi, mutta se osoittaa, että suuremmat poikkeamat yksittäisissä mittauslaitteissa ovat mahdollisia. Hyvänä asiana laitteiston käytön kannalta on se, että pinnoitettavuusmittauksissa saatiin alhaisempia tuloksia, kuin jatkuvilla mittauksilla, jolloin ollaan ns. varmalla puolella.

### 7.3 Huoneilma-antureiden luotettavuus

Huoneilma-antureiden luotettavuuden osoittaminen osoittautui hankalaksi. Pinnoitettavuusmittausten yhteydessä mitattiin myös sisäilman lämpötila ja kosteus, mutta jatkuvien mittausten antamat tulokset vaihtelivat niin voimakkaasti lyhyellä aikavälillä, että niitä on vaikea verrata keskenään. Paras tapa tässä tapauksessa oli verrata pinnoitettavuusmittausten yhteydessä saatuja tuloksia, jatkuvien mittausten huoneilma-antureiden antamiin ylimpiin ja alimpiin arvoihin sekä keskiarvoihin. (TAULUKKO 3.). Taulukon arvojen perusteella lämpötilat ovat riittävän tarkkoja suuntaa-antaviksi mittaustuloksiksi. Tutkimuksen aikana ei myöskään ollut syytä epäillä arvojen luotettavuutta, vaan ne kuvasivat hyvin työmaan olosuhteita.

<b>Mittauspiste 1.</b>							
<b>sisäilma</b>		<b>Kosteus (RH, %)</b>			<b>Lämpötila (+, °C)</b>		
Mittauspäivä	Kerros	Anturi nro. U9			Anturi nro. U9		
14.huhti	1	28,8			18,4		
<b>Jatkuva mittaus</b>		<b>Kosteus (RH, %)</b>			<b>Lämpötila (+, °C)</b>		
Mittausväli	kerros	ylin	alin	keskiarvo	ylin	alin	
13.4 - 15.4	1	29,1	26,6	27,85	19,4	18,7	19,05
<b>Mittauspiste 2.</b>							
<b>sisäilma</b>		<b>Kosteus (RH, %)</b>			<b>Lämpötila (+, °C)</b>		
Mittauspäivä	Kerros	Anturi nro. A1			Anturi nro. A1		
14.huhti	2	28,3			17,3		
<b>Jatkuva mittaus</b>		<b>Kosteus (RH, %)</b>			<b>Lämpötila (+, °C)</b>		
Mittausväli	kerros	ylin	alin		ylin	alin	
13.4 - 15.4	2	30,5	29,1	29,8	19	18,35	18,675
<b>Mittauspiste 3.</b>							
<b>sisäilma</b>		<b>Kosteus (RH, %)</b>			<b>Lämpötila (+, °C)</b>		
Mittauspäivä	Kerros	Anturi nro. A7			Anturi nro. A7		
28.huhti	3	32,8			16,6		
<b>Jatkuva mittaus</b>		<b>Kosteus (RH, %)</b>			<b>Lämpötila (+, °C)</b>		
Mittausväli	kerros	ylin	alin		ylin	alin	
27.4 - 29.4	3	49	29	39	16,6	13,7	15,15
<b>Mittauspiste 4.</b>							
<b>sisäilma</b>		<b>Kosteus (RH, %)</b>			<b>Lämpötila (+, °C)</b>		
Mittauspäivä	Kerros	Anturi nro. 452			Anturi nro. 452		
24.huhti	4	31,1			15,8		
<b>Jatkuva mittaus</b>		<b>Kosteus (RH, %)</b>			<b>Lämpötila (+, °C)</b>		
Mittausväli	kerros	ylin	alin		ylin	alin	
23.4 - 25.4	4	38,2	28,9	33,55	18	15	16,5

TAULUKKO 3. Huoneilma-anturien luotettavuuden vertailu.

## 7.4 Käytettävyys

Mittausjärjestelmän käytettävyyttä arvioitiin käyttäjäkokemuksen perusteella. Arviointi koostui mittausjärjestelmän tulospäätymän helppokäyttöisyyden ja ominaisuuksien arvioinnista sekä mittauspäästien hyödyllisyyden arvioinnista.

Mittausjärjestelmän tulospäätymä osoittautui tutkimuksen aikana helppokäyttöiseksi. Mittalaitteiden asennuksen yhteydessä Cramo antoi käyttäjäpäästet eGate palveluun, joka toimii verkossa. Itse tulospäätymän käyttö oli helppoa ilman erillisiä käyttöohjeita. Mittauspäästetä sai koottua erilaisia raportteja mittapäästetä mukaan. Samaan raporttiin sai liitettyä yhden tai useamman mittauspäästetä haluamallaan tavalla, mikä helpotti eri kerrostien kuivumisen vertailua. Järjestelmän avulla mittausraportit voidaan viedä exceliin tai tulostaa pdf-muodossa. Exceliin vietynä mittauspäästetien arvot kuitenkin muuttuivat, jolloin tulospäätetä ei voitu käsitellä excelillä.

Mittauspäästetien avulla voitiin reagoida työmaan olosuhteisiin tilanteen vaatimalla tavalla. Tärkeintä oli seurata, että sisäilman olosuhteet ovat suotuisat betonin kuivumiselle. Betonianturien avulla voitiin huomata, että liian alhainen sisäilman lämpötila käytännössä pysäyttää betonin kuivumisen. Ilmanvaihto työmaalla oli liiankin voimakasta, mikä piti lämpötilan usein liian alhaisena. Tästä huolimatta holvit kuivuivat suunnitellussa ajassa, todennäköisesti nopeasti pinnoitettavan betonilaadun ansiosta. Voimakkaat lämpötilan muutokset työmaan sisäilmassa aiheuttivat suuria piikkejä betonin lämpötilassa ja suhteellisessa kosteudessa, mutta piikit kuitenkin tasaantuivat nopeasti olosuhteiden normalisoituessa.

## 8 Pohdinta

Tutkimuksessa käytetyt jatkuvat olosuhdemittaukset voivat antaa arvokasta tietoa rakennustyömaan olosuhteiden vaikutuksesta betonirakenteiden kuivumiseen. Jatkuvien mittausten avulla voidaan tehdä päätös pinnoitettavuusmittausten suorittamisesta ilman erillisiä välimittauksia, jotka ovat usein kalliita. Luotettavuuden osalta tutkimuksessa käytetty mittauskalusto vaikutti olevan riittävän luotettava suuntaa-antavana mittauksena työmaalla vallitsevista olosuhteista. Referenssimittauksena käytettyjen pinnoitettavuusmittausten perusteella luotettavuutta on vielä vaikea todeta. Luotettavuuden todentaminen vaatisi kymmeniä, ellei satoja mittauskertoja.

Tutkimuksessa huomattiin, että betoniantureita suuremmassa roolissa ovat huoneilma-anturit. Tärkeää on huolehtia nimenomaan työmaan sisäilman olosuhteista niin, että sisäilman lämpötila on vähintään +20°C ja RH alle 50% jatkuvasti. Betonianturit toimivat tukena sisäilman olosuhteiden mittauksille, jolloin työnjohto pystyy reagoimaan negatiivisiin muutoksiin työmaan olosuhteissa tai betonin kuivumisessa. Mikäli olosuhdemittausjärjestelmiä otetaan laajemmin käyttöön, tulisi tämä ottaa huomioon myös kosteudenhallintaselvityksessä, määrittämällä raja-arvot olosuhteille. Olosuhdemittausten avulla työmaan olosuhteita voidaan seurata ja varmistaa raja-arvoissa pysyminen. Näin kosteudenhallintaan saataisiin yleinen toimintatapa, jolla edesautetaan betonirakenteiden kuivumista aikataulussa.

Tutkimus toteutettiin keväällä, jolloin ulkoilman tarjoamat olosuhteet betonin kuivumiselle olivat suotuisat. Tutkimuksen monipuolisuuden kannalta olisi ollut mielenkiintoista tehdä tutkimusta aikana, kun ulkoilman tarjoamat kuivumisolosuhteet olisivat olleet huonot esimerkiksi loppukesästä, jolloin kuivatus olisi vaatinut kosteudenkerääjien käyttöä. Olisi ollut myös mielenkiintoista ottaa vertailun vuoksi tutkimuskohteeseen toinen mittajärjestelmä käyttöön. mutta tämän työn aikaraamien ja resurssien puitteissa se ei ollut mahdollista.

## LÄHTEET

Laamanen, ym. 2020. Rakennusten kosteustekninen toimivuus, Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta

ympäristöministeriön asetus rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta 2018.

Kuivaketju10 ([www.kuivaketju10.fi](http://www.kuivaketju10.fi))

Toim. Miia Pitkäranta, 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kunto-tutkimus

Betonin kuivuminen, Hannu Timonen-Nissi 25.1.2019, Rudus Betoniakatemia

[http://www.kosteudenhallinta.fi/attachments/article/212/Kosteudenhallinta\\_TOI-MET\\_30092015.pdf](http://www.kosteudenhallinta.fi/attachments/article/212/Kosteudenhallinta_TOI-MET_30092015.pdf)

RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittauss.

<https://www.e-gate.fi/cases/cramo/>

[https://www.e-gate.fi/wp-content/uploads/2018/10/eGate\\_tuotekortti.pdf](https://www.e-gate.fi/wp-content/uploads/2018/10/eGate_tuotekortti.pdf)

<https://skanskakonevuokraus.fi/tuote-osasto/lammitys-ja-kuivaus/>

Miko Karhunen, IoT-seurantapalvelun esittely.pdf