

Lauri Karhunen

Betonirakenteiden kosteusmittausmenettelyn ja dokumentoinnin kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Opinnäytetyö

26.4.2024

| | |
|--|---|
| Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika | Lauri Karhunen Betonirakenteiden kosteusmittausmenettelyn ja dokumentoinnin kehittäminen 24 sivua + 6 liitettä 26. huhtikuuta 2024 |
| Tutkinto | Rakennusmestari (AMK) |
| Koulutusohjelma | Rakennusalan työnjohto |
| Suuntautumisvaihtoehto | Talonrakennustekniikka |
| Ohjaajat | Lehtori, Metropolia AMK, Jouni Ruotsalainen Laatu – ja ympäristöpäällikkö, NCC Suomi Oy, Joonas Saikkonen |
| <p>Opinnäytetyö suoritettiin NCC Suomi Oy:lle. Opinnäytetyön aiheena oli betonirakenteiden riittävän kuivumisen varmistaminen ennen pinnoitustöitä raportointityökaluja kehittämällä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia pinnoitusvaatimuslomake, joka täyttäisi suunnittelun, todentamisen ja dokumentoinnin tarpeet yhdellä dokumentilla.</p> <p>Opinnäytetyössä käytettiin NCC Suomi Oy:ltä saatuja pohjamateriaaleja, joita olivat yrityksessä käytössä olleet kosteusmittauspöytäkirja, betonin suhteellisen kosteuden mittauslomake, sekä työmaan kosteudenhallintasuunnitelma. Saadun pohjamateriaalin tueksi suoritettiin haastatteluita. Haastattelut suoritettiin yrityksen työmailla sekä pääkonttorilla ja tulkittiin osana pohjamateriaalia. Pinnoitusvaatimuslomake luotiin edellä mainittujen tietojen perusteella.</p> | |
| Avainsanat | Kosteus, kosteudenmittaus, betonirakenteet, pinnoitusvaatimukset |

| | |
|---|--|
| Author Title Number of pages Date | Lauri Karhunen Developing of Damp Measurement Techniques and Documenting in Concrete Structures 24 pages + 6 appendices April 26 th ,.2024 |
| Degree | Master Builder |
| Degree Programme | Civil Engineering |
| Specialization option | Construction and Site Management |
| Instructors | Senior lecturer, Metropolia UAS, Jouni Ruotsalainen Quality and Environment Control Manager, NCC Suomi Ltd, Joonas Saikkonen |
| <p>The thesis was conducted for NCC Finland Ltd. The subject of the thesis was ensuring adequate dehumidification of concrete structures prior to coating by improving the reporting tools. The purpose of thesis was to draw up a coating requirement form that would meet the needs of planning, verification and documenting with one document.</p> <p>The thesis used base materials obtained from NCC Finland Ltd, which were the moisture measurement document, the concrete relative humidity measurement form and construction site moisture management plan, that were currently in use. Interviews were carried out in addition to the background data received. The interviews were held at the company's construction sites and headquarters and were interpreted as part of the background material. The data that were received from NCC Finland Ltd and from the interviews, were used to create the new coating requirement form.</p> | |
| Keywords | Moisture, moisture measurement, concrete structures, coating requirements |

Sisällys

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Ongelman määrittely ja rajaus | 1 |
| 2.1 | Aikataulu vaiheittain | 2 |
| 2.2 | Tutkimusmenetelmät | 2 |
| 2.3 | Tutkimuksen toteutustapa | 3 |
| 2.4 | Vastaajakohderyhmän valinta | 3 |
| 2.5 | Tulosten analysointi- ja raportointitapa | 4 |
| 3 | Betonirakenteiden olosuhde- ja kosteudenhallinta | 4 |
| 3.1 | Olosuhteet ja niiden merkitys | 5 |
| 3.2 | Olosuhteidenhallinta | 6 |
| 3.3 | Mittausolosuhteet | 7 |
| 3.4 | Kosteus | 7 |
| 3.5 | Kosteudenhallinta | 9 |
| 4 | Mittausmenetelmät ja tulokset | 10 |
| 4.1 | Mittausperiaate | 10 |
| 4.2 | Porareikämittaus | 11 |
| 4.3 | Näytepalamittaus | 12 |
| 4.4 | Päällystettävyyden arviointi | 13 |
| 5 | Kosteusmittausraportoinnin kehittäminen | 13 |
| 5.1 | Haastattelujen toteutus | 14 |
| 5.1.1 | Haastattelujen yhteenveto | 16 |
| 5.1.2 | Haastattelumateriaalin käyttö lomakkeen toteutuksessa | 16 |
| 5.2 | Pinnoitusvaatimuslomakkeen testaus | 16 |
| 5.3 | Valmis pinnoitusvaatimuslomake | 17 |
| 5.4 | Pinnoitusvaatimuslomakkeen käyttö | 17 |
| 5.5 | Pinnoitusvaatimuslomakkeen tulostus | 18 |
| 6 | Tulokset ja johtopäätökset | 19 |
| 7 | Tulevaisuudennäkymät | 20 |
| 8 | Yhteenveto | 22 |

1 Johdanto

Opinnäytetyö laaditaan NCC Suomi Oy:lle, joka on yksi johtavista rakentamisen, kiinteistökehityksen ja infrastruktuurin yrityksistä Pohjois-Euroopassa. NCC:n toiminta ulottuu aina kiinteistöjen kehittämisestä ja rakentamisesta, teollisuuslaitoksiin ja julkisiin rakennuksiin, teihin, maanrakennukseen sekä muuhun infrastruktuuriin. [1.]

NCC on kehittämässä betonirakenteiden kosteusmittauksen dokumentointia. Pyrkimyksen kohteena on, että suunnittelu, betonin pinnoitettavuuden todentaminen ja dokumentointi löytyisivät kaikki yhdestä dokumentista. Projektissa tärkeimpänä seikkana olisi saada kiistaton tieto betonin pinnoitettavuudesta, joka ei ole lainkaan tulkinnanvarainen. Tällaista sisältöä ei ole aikaisemmin ollut tulkittavissa yhdeltä lomakkeelta.

Projektityön aiheeksi valikoitui betonirakenteiden kosteusmittausmenettelyn ja dokumentoinnin kehittäminen. Työn tarkoituksena on luoda pinnoitusvaatimuslomake, josta selviäisi helposti ja selkeästi onko betoni pinnoitettavissa. Projektin pohjatietoina käytettiin yrityksen dokumentteja, kuten kosteusmittauspöytäkirjaa, betonin suhteellisen kosteuden mittauslomaketta sekä työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaa. Lisäksi pohjatietoja kerättiin opinnäytetyön osana suoritetuista haastatteluista. Valmis pinnoitusvaatimuslomake luodaan pohjatietojen sekä haastatteluista saatujen tietojen perusteella. Opinnäytetyössä laaditaan tutkimussuunnitelma, varsinainen opinnäytetyö sekä pinnoitettavuusvaatimuslomake.

2 Ongelman määrittely ja rajaus

Tutkimusongelmaksi valittiin pinnoitusvaatimusvaatimuslomakkeen luominen, jonka avulla kosteusmittauksen suunnittelu, betonirakenteen pinnoitettavuuden todentaminen sekä tietojen dokumentointi onnistuisi kaikki yhdellä lomakkeella. Lomakkeen luonnissa tarkastellaan kosteusmittausta porareikämittauksen näkökulmasta, koska yrityksen kosteusmittaukset suoritetaan pääsääntöisesti tällä menetelmällä.

2.1 Aikataulu vaiheittain

Aihe-ehdotus ja -päättös tehtiin elokuun lopussa 2016. Aloituskokous pidettiin syyskuun puolivälissä, jolloin käsiteltiin yrityksen tarjoamat pohjatiedot sekä ongelmat, jotka johtivat opinnäytetyön aiheen valintaan. Kokouksessa määriteltiin työn sisältötavoite, joka oli kattaa teoriaosuus, haastattelut, yhteenveto, raportointi lomakkeen koekäytöstä sekä loppupäätelmät. Opinnäytetyön lopputavoitteeksi asetettiin yksiselitteinen kosteusmittauslomake ja mittausohjeistus. Haastatteluille annettiin erityinen painoarvo työn toteutuksessa, jotta lopputuloksena syntyvä kosteusmittauslomake täyttäisi asetetun tavoitteensa. Haasteena työlle nähtiin ainoastaan mahdollinen ongelma saada kerättyä tarpeeksi haastateltavia yrityksen alan asiantuntijoita.

Aloituskokouksen jälkeen laadittiin tutkimussuunnitelma ja alustava sisällysluettelo. Alustava pinnoitusvaatimuslomake tehtiin syyskuun loppupuolella ja haastatteluihin ryhdyttiin lokakuun alussa. Valmis pinnoitusvaatimuslomake tehtiin lokakuun puolivälissä ja koekäyttö suoritettiin lokakuun lopussa. Pinnoitusvaatimuslomake viimeisteltiin marraskuun alussa ja opinnäytetyö toimitettiin yritykselle 4.11.2016. Opinnäytetyö palautettiin 26.4.2024.

2.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmillä tarkoitetaan empiirisen eli kokemusperäisen tutkimuksen konkreettisia aineiston hankinta ja -analyysimetodeja tai -tekniikoita. Nämä menetelmät voidaan luokitella edelleen laadullisiin (kvalitatiivisiin) sekä määrällisiin (kvantitatiivisiin) menetelmiin. Menetelmän valintaan vaikuttaa erityisesti se, minkä aineistojen koetaan tarjoavan parhaiten tietoa tutkimuskohteesta ja minkä tutkimustekniikan avulla saadusta aineistosta saadaan parhaiten tietoa hyödynnettyä. [15.]

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa suoritettavat haastattelut kohdistuvat yleensä satunnaisotokseen, kun kvalitatiivisessa tutkimuksessa taas haastatellaan valittuja yksilöitä. Kvantitatiivisen haastattelun perusmuoto on strukturoitu kysymys ja vastaavasti kvalitatiivisen haastattelun on avoin kysymysaihe tai teema. Yksinkertaisimmillaan laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimus on aineiston ja analyysin ei-numeerinen kuvaustapa, jolloin aineisto on usein ilmiänsultansa tekstiä. Määrälliseen tutkimukseen sen sijaan kuuluu aina numeraalinen havaintomatriisi, johon aineisto on tiivistetty ja johon tutkimusanalyysi kohdistuu. Kvantitatiivisen tutkimuksen etu on objektiivisuudessa, jolloin tutkija pysyttelee haastateltavasta erillään eikä aikaansaa

vuorovaikutusta haastateltavaan vaan säilyy täysin puolueettomana. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa vuorovaikutukseen sen sijaan nimenomaan pyritään ja tutkija yrittää ymmärtää haastateltavan perspektiivejä. [15.]

2.3 Tutkimuksen toteutustapa

Esitutkimuksessa perehdyttiin nykyhetkellä kosteusmittauksessa käytössä oleviin dokumentteihin sekä muihin yrityksen tarjoamiin pohjatietoihin ja luotiin alustava pinnoitusvaatimuslomake näiden tietojen perusteella. Alustavan pinnoitusvaatimuslomakkeen pohjalta suoritettiin haastatteluja kosteusmittauslomakkeen käyttöön liittyen ja haastatteluista saatujen tietojen pohjalta laadittiin valmis pinnoitusvaatimuslomake.

Käsitteillä olevassa opinnäytetyössä käytettiin tutkimusmenetelmänä haastattelua ja tarkemmin eriteltynä henkilökohtaista haastattelumenetelmää, joka soveltuu erityisen hyvin vastaavanlaisiin asiantuntijoiden näkökannan keräyksiin. Henkilökohtaisesti toteutettujen haastattelujen etuna on, että kysymyspatteristoa voidaan muokata vastaajan mukaan, jolloin saadaan mahdollisimman tarkkaa vastausaineistoa työtä varten. Muita haastattelumenetelmiä ovat muun muassa ryhmä- ja teemahaastattelut, jotka eivät kyseiseen työhön soveltuneet.

Tutkimuksessa käytetty vastaajajoukko koostui myöhemmin eritellyistä NCC Suomi Oy:n edustajista, jotka toimivat otantana tutkimuksen perusjoukolle. Perusjoukolla tarkoitetaan koko sitä kohderyhmää, joka on tutkimuksen kiinnostuksen kohteena, mutta ei ole mahdollista tavoittaa. Käsitteillä olevan opinnäytetyön tapauksessa kaikki kosteusmittauksien kanssa työskentelevät henkilöt.

Esitutkimuksessa saatujen materiaalien pohjalta tehty pinnoitusvaatimuslomake testattiin käytännössä opinnäytetyön laatimisen loppupuolella. Testi suoritettiin työmaalla normaalien kosteusmittauskäytäntöjen yhteydessä ja testin perusteella pinnoitusvaatimuslomakkeeseen tehtiin vielä viimeiset tarpeelliset muutokset.

2.4 Vastaajakohderyhmän valinta

Haastateltaviksi valittiin ryhmä henkilöitä, jotka ovat tekemisissä kosteusmittauksien kanssa rakentamisen laadun näkökulmasta sekä henkilöitä, jotka osallistuvat kosteusmittauksiin käytännössä. Tällä tavoin saatiin mahdollisimman kattava näkemys

uuden pinnoitusvaatimuslomakkeen laatimiseen. Haastateltavia henkilöitä olivat yrityksen laatupäällikkö, ympäristöpäällikkö, laatu- ja ympäristöpäällikkö, laatuinsinööri, rakennustyömaan työnjohtaja, kalustopäällikkö sekä kosteusmittaaja.

2.5 Tulosten analysointi- ja raportointitapa

Pohjatyön sekä esitutkimuksen tuloksia analysoitiin työn edetessä muun muassa muokkaamalla laadittavaa lomaketta haastatteluista saatujen tietojen pohjalta. Näitä tuloksia analysoitiin ja raportoitiin puhtaasti kvalitatiivisin menetelmin eli päätelminä tekstimuodossa osana opinnäytetyötä.

Valmiin opinnäytetyön tuloksena oli käyttövalmis kosteusmittauslomake, joka raportoitiin työn aiheen antaneelle NCC Suomi Oy:lle valmiina Opinnäytetyönä sekä erillisenä lomaketiedostona.

3 Betonirakenteiden olosuhde- ja kosteudenhallinta

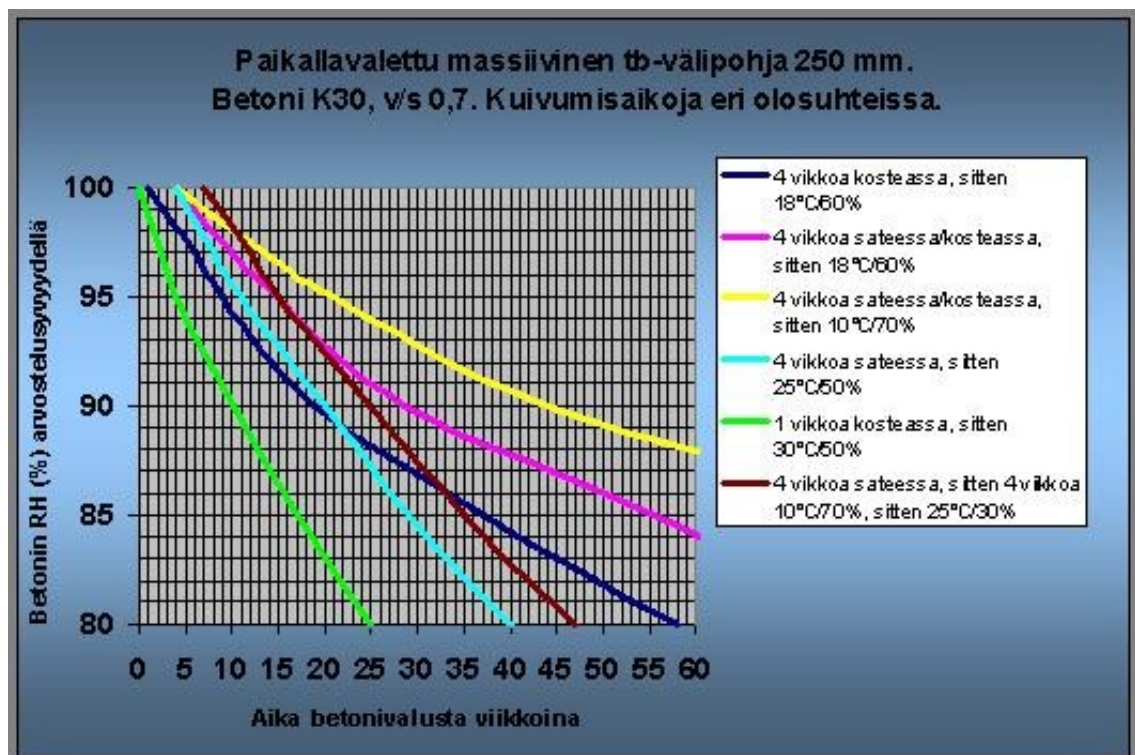
Betoni on maailman yleisimmin käytetty rakennusmateriaali. Betonin pääraaka-aineita ovat sementti, vesi ja kiviaines. Sideaineena betonissa toimii sementti, jota käytetään yhteen kuutiometriin noin 8-16 % betonin painosta. Sementti muodostaa reagoidessaan veden kanssa niin kutsutun sementtikiven, joka sitoo kiviainesrakeet sekä raudoituksen yhdeksi lujaksi kokonaisuudeksi. Sementin raaka-aineena käytetään pääasiassa kalkkikiveä, joka on maankuoren yleisin kivilaji. Betonimassan ominaisuuksia voidaan muunnella raaka-aineiden määräsuhteita muuttamalla sekä lisäämällä erilaisia lisäaineita, kuten polymeerejä. Polymeereillä voi esimerkiksi säätää betonin notkeutta, ilmapitoisuutta tai kovettumisen nopeutta. [16.]

Betonin valmistukseen käytettävää kiviainesta, niin sanottua runkoainetta, on betonin tilavuudesta noin 70 %. Runkoaine koostuu erikokoisista kivirakeista ja sen karkeimman osan muodostaa joko kivimurske tai luonnonsora ja hienojakoisemman luonnonhiekkä. Myös murskattua betonia voidaan käyttää runkoaineena. Betonin valmistukseen soveltuu tavallinen juomavesi. Puolestaan humuspitoinen suo- tai järvivesi tai pieniäkään pitoisuuksia sokeria sisältävät vedet eivät sovellu betoniin, sillä tällaisissa vesissä olevat ylimääräiset aineosat häiritsevät kovettumisreaktiota. [16.]

3.1 Olosuhteet ja niiden merkitys

Olosuhteilla tarkoitetaan betonirakenteiden kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä. Näitä ovat muun muassa ympäristön lämpötila, ilmavirrat sekä suhteellinen kosteuspitoisuus. Olosuhteet vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti betonirakenteiden pinnalla oleva kosteus haihtuu ja rakenteiden sisällä oleva kosteus nousee pintaan. Betonirakenteiden kuivumisolosuhteet vaikuttavat myös sitoutumiskuivumiseen, jolloin mitä korkeampi betonin lämpötila sekä kosteus on, sitä nopeammin sementti kovettuu ja kuivuu. [3.] Betonin kuivuminen on seurausta vapaan huokosveden poistumisesta betonista. Betonissa oleva sementti tarvitsee vettä kovettuakseen, mutta sen kemiallisesti sitoma vesimäärä on vain noin 25 % sementin painosta. Betonin työstettävyyden lisäämiseksi siihen tarvitaan enemmän vettä; noin 40–80 % sementin painosta. Tämä sementin ja betonin ero veden osuudesta seoksessa jää vapaaksi vedeksi betonin huokosiin. [5.]

Myös lämpötilalla on suuri merkitys kuivumiseen ja rakenteiden lämmittämisellä voidaan nopeuttaa tehokkaasti betonirakenteiden kuivumista. Lämmittäessä rakenteita materiaaleihin sitoutuneet vesimolekyylit irtoavat huokosten pinnoilta eli sisäisen vesihöyryn paine kasvaa ja siten ulosvirtaavan kosteuden määrä voimistuu. [4.]



Kuvio 1. Lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden vaikutus betonin kuivumisnopeuteen. [4.]

Ilman suhteellisen kosteuden tulee olla pienempi kuin betonin, jotta betonin kuivuminen olisi mahdollista. Korkea ilmankosteus pidentää kuivumisaikaa. Kuivatuksen kannalta hyvänä betonirakenteita ympäröivänä ilman suhteellisena kosteutena pidetään 30–50 %. Tämä johtuu siitä, että betonin kuivuminen hidastuu ilman suhteellisen kosteuden ylittäessä 50 %. Tässä tapauksessa ilmanvaihtoa lisätään tai otetaan avuksi ilmankuivaajat. Vastaavasti arvon pudotessa 20–30 %:iin rakenteiden kuivuminen ei merkittävästi nopeudu vaan ilmanvaihtoa voidaan supistaa, jolloin energiankulutus pienenee. [4, 6.]

3.2 Olosuhteidenhallinta

Olosuhteidenhallinnan tavoitteena on luoda rakennusvaiheessa työmaalle sellaiset olosuhteet, joissa rakenteiden on mahdollista kuivua aikataulusuunnittelun ja kustannusten puitteissa. Olosuhteidenhallintaan kuuluu muun muassa rakenteiden kastumisen estäminen sekä rakennekosteuden kuivattaminen. Käytännössä olosuhteidenhallinta tarkoittaa työmaa-aikaisen rakenteiden ja materiaalien kastumisen minimointia sekä kuivumisen kannalta parhaan mahdollisen lämpötilan ja suhteellisen kosteuden luomista sisätiloihin.

Kastuminen hidastaa entuudestaan runsaasti rakennekosteutta sisältävien betonirakenteiden kuivumisprosessia. Betonirakenteen kastuminen saattaa välillisesti vaurioittaa myös muita rakennusmateriaaleja, kuten lattiapäällyste- ja lämmöneristysmateriaaleja. Rakennusvaiheessa rakenteiden onkaloihin mahdollisesti päässyt sadevesi voi kerääntyä kerroksellisten rakenteiden välitiloihin, jolloin niiden kuivuminen on erittäin hidasta. Kosteuslähteitä on sekä ulkoisia; kuten vesi-, lumi- ja räntäsade sekä maaperän kosteus, että sisäpuolisia, kuten mm. vesihöyry, pesuvedet ja rakennuskosteus. [3.]

Betonin taloudellisen kuivattamisen edellytyksenä on kaikkina vuodenaikoina betonirakennetta ympäröivän tilan sulkeminen mahdollisimman tiiviisti. Lisäksi ilmanvaihtoa tulee voida säädellä hallitusti. Lämpimänä vuodenaikana betonirakenteiden kuivattaminen ainoastaan ympäröivää ilmaa lämmittämällä ei ole taloudellisesti kannattavaa, sillä ilma sisältää tuolloin suuren määrän kosteutta. Tästä syystä kesällä ja syksyllä betonin optimaaliset kuivatusolosuhteet tulee toteuttaa lämmittämisen lisäksi kuivattamalla sisäilmaa. Ilmakuivureiden avulla kuivattamalla tilan ilmanvaihto on

pidettävä mahdollisimman pienenä sulkemalla tila ilmatiiviisti, jotta kosteaa ilmaa ei pääse vuotamaan ulkoa sisätiloihin. [4.]

Talviaikana kuivatettavan tilan lämpötilan nostaminen laskee sisäilman suhteellisen kosteuden helpommin tarvittavalle tasolle. Kuivattamisolosuhteet joudutaan ulkotiloissa toteuttamaan erilaisia menetelmiä soveltaen eri vuodenaikoina suurten kosteuspiitoisuusvaihteluiden vuoksi. Näitä menetelmiä ovat esimerkiksi rakenteiden huputtaminen, jolloin tila voidaan sulkea mahdollisimman tiiviisti, suojata kastumiselta ja lämmittää ympäröivä ilma. Toisinaan valuun lisätään myös lämmityskaapeleita edellä mainitusta syistä nopeuttamaan kuivumista. [4.]

3.3 Mittausolosuhteet

Porareikämittauksen mittausolosuhteissa on otettava huomioon, että betonirakenteen lämpötilan tulee olla $+15$ – $+25^{\circ}\text{C}$, jotta mittaustulos olisi tarkimmillaan. Mittausolosuhteiden tulee säilyä mittauspisteen ympärillä mahdollisimman vakaana aina porauksesta lukemien ottoon ja yläpuolisen ilman sekä rakenteisiin asennetun mittapään lämpötilaero ei saa olla yli 2°C . Lisäksi tulee varmistaa, että mittauspisteen kohdalla ei ole vesi- tai sähköputkia. Hyvänä pidetty ilman suhteellinen kosteus mittaushetkellä on 30–50 %. [2.]

Näytepalamittausmenetelmää voidaan käyttää lämpötila-alueella -20 – $+80^{\circ}\text{C}$. Menetelmää hyödynnetään varsinkin epävakaisissa lämpötilaolosuhteissa sekä erityistä tarkkuutta tai nopeutta vaativissa mittauksissa. [2.]

3.4 Kosteus

Kosteus ilmaisee veden tai vesihöyryn määrän toisessa aineessa. Tämä suhde voidaan ilmoittaa useilla eri tavoilla; esimerkiksi suhteellisena tai absoluuttisena kosteutena. Absoluuttinen kosteus kertoo veden tai vesihöyryn määrän nimetyssä massayksikössä tai tilavuudessa toista ainetta. Käytännössä absoluuttinen kosteus siis kuvaa vesisisältöä ilmassa. Nimellisesti absoluuttisella kosteudella tarkoitetaan vesihöyryn massan suhdetta tämän vesihöyrymäärän sisältämän ilman tilavuuteen. Absoluuttinen kosteus voidaan esittää esimerkiksi kuvion 2 mukaisesti: [18.]

$$AH = \frac{m_t - m_k}{V_k} = \frac{m_v}{V_k},$$

Kuvio 2. Absoluuttisen kosteuden esimerkkiesityskaava. [18.]

Kaavassa m_t on kostean aineen massa, m_k on kuivan aineen massa, V_k on kuivan aineen tilavuus ja m_v on aineen sisältämän vesihöyryn massa [18].

Suhteellinen kosteus kertoo suhteen mitatun absoluuttisen vesisisällön ja sellaisen absoluuttisen vesisisällön, jossa ilma sisältäisi samassa lämpötilassa suurimman mahdollisen määrän vettä, välillä. Suhteellisen kosteuden yksikkönä käytetään prosenttia (%). [17.]

Suhteellinen kosteus voidaan laskea kaavalla:

$$RH = \frac{p_{(H_2O)}}{p_{(H_2O)}^*} \times 100\% = \frac{MRi}{MRi^*} \times 100\% = \frac{SH}{SH^*} \times 100\%$$

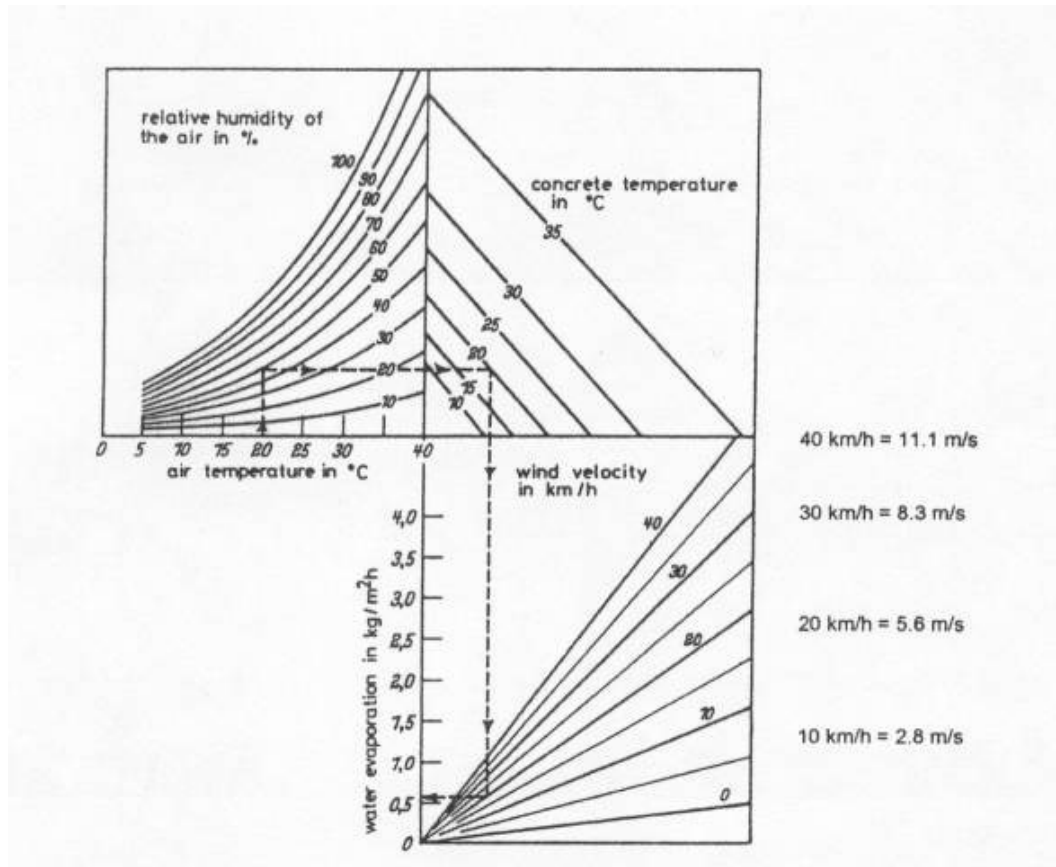
Kuvio 3. Suhteellisen kosteuden laskukaava. [18].

Kaavassa $p_{(H_2O)}$ veden osapaine kaasuseoksessa, $p_{(H_2O)}^*$ on kyllästysosapaine, MRi on sekoitussuhde, MRi^* on kyllästyssekoitussuhde, SH on ominaiskosteus ja SH^* on kyllästyskosteus. [18.]

Betonirakenteiden suhteellinen kosteus ilmaistaan arvolla RH. Kuten edellä mainittu, suhteellinen kosteus on todellisen vesihöyrynpaineen sekä kyllästyshöyrynpaineen välinen suhde tietyssä lämpötilassa, joka ilmaistaan yleensä prosentteina. Arvo kertoo, kuinka monta prosenttia absoluuttinen kosteus on vallitsevan lämpötilan kyllästyskosteudesta. Kyllästystila saavutetaan ilman jäähtyessä kastepistelämpötilaan. [2, 4.]

Kosteus poistuu betonirakenteista haihtumalla ilmaan muuttuen prosessissa vesihöyryksi. Kosteus pyrkii poistumaan syvemmältä betonista kohti sen pintaa betoniin

syntyvää huokosverkostoa pitkin. Betonista haihtuvan veden määrä voidaan arvioida esimerkiksi alla kuviossa 4 esitellyn ACI:n haihtumismonogrammin avulla silloin, kun valuolosuhteet tunnetaan. Valuolosuhteilla tarkoitetaan betonin sitoutumiseen kuluva-aikaa, ilman lämpötilaa sekä sen suhteellista kosteutta, betonin lämpötilaa ja tuulen nopeutta. [2, 4.]



Kuvio 4. ACI:n monogrammi betonin veden haihtumisnopeudesta [4.]

3.5 Kosteudenhallinta

Kosteudenhallinta toteutetaan työmaalla laatimalla kosteudenhallintasuunnitelma, joka koostuu viidestä osa-alueesta; kosteusriskien kartoittaminen, kuivumisaika-arviot, olosuhteiden hallinta, kosteusmittaussuunnitelma sekä organisointi, seuranta ja valvonta. Kosteudenhallintaa suoritetaan rakenteisiin mahdollisesti jäävän kosteuden aiheuttamien materiaali- ja rakenneaurioiden sekä terveysongelmien estämiseksi. [10.]

4 Mittausmenetelmät ja tulokset

Betonirakenteiden kosteusmittausta tehdään, jotta voidaan varmistua betonin päällystettävyydestä. Kosteusmittauksessa varmistetaan, että päällyste on asennettavissa ja päällysteiden vaurioitumista tai irtoamista ei pääse syntymään.

Kuivuminen synnyttää betoniin kosteusjakauman, jossa betonin pintaosien kosteuspitoisuus on alhaisempi kuin syvällä betonissa. Kuivumisen aikana myös betonin pintaosat saattavat kastua esimerkiksi sadevesistä tai kaatuneesta vesiämpäristä.

Tärkeintä betonin kosteusmittauksessa on selvittää kosteustilanne päällystyshetkellä, mutta seurantamittauksilla on myös suuri rooli betonin pinnoitettavuuden saavuttamisessa ajallaan. Jos seurantamittauksissa ilmenee, että betoni kuivuu liian hitaasti asetettuun päällystysaikatauluun nähden, voidaan kuivumista tehostaa kuivaimilla ja puhaltimilla

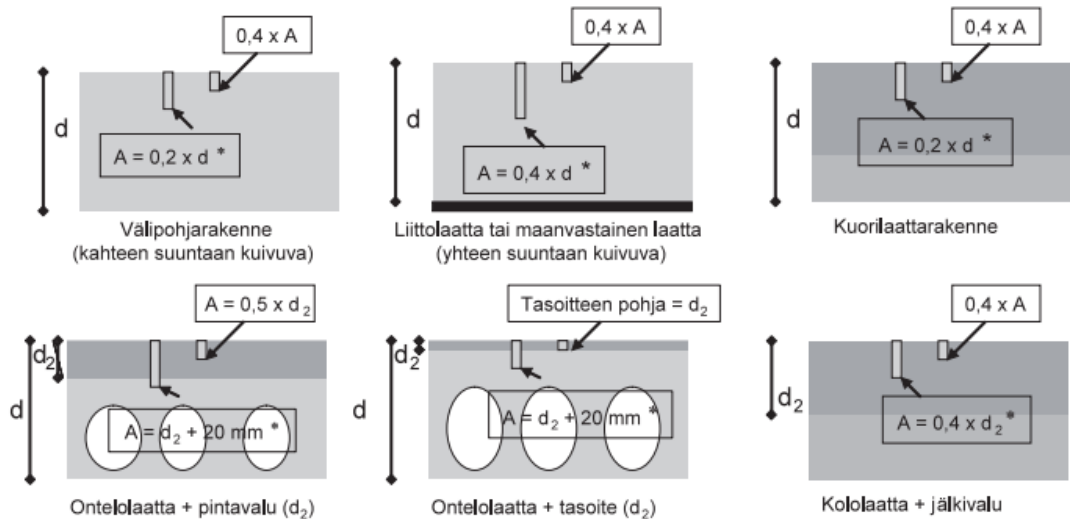
4.1 Mittausperiaate

Kosteusmittaukset tehdään suhteellisen kosteuden mittaukseen tarkoitetulla laitteistolla. Mittauksilla arvioidaan mikä kosteusarvo korkeintaan tasapainottuu päällysteen alle. Näin varmistutaan siitä, ettei suhteellinen kosteus nouse pinnoitteen alla niin suureksi, että se pääsisi vahingoittamaan päällystettä. [2.]

Päällysteen alle tasautuvaa kosteutta ei voida arvioida pintakosteusilmaisimella. Betonirakenteen suhteellinen kosteus määritetään rakenteen paksuudesta riippuen eri syvyydestä. Arviointisyvyys (A) määräytyy betonirakenteen paksuuden mukaan, kuten kuvassa 1, mutta maksimisyvyys on kuitenkin 70 mm. Betonirakenteen pintaosien kosteus mitataan syvyydeltä $0,4 \times A$ ja rakenteen pinta syvyydeltä 0–5 mm. [2.]

Arviointisyvyydellä (A) vallitseva kosteuspitoisuus on hyvin lähellä tiiviiden pintamateriaalien alle tasoittuvaa kosteuspitoisuutta, mikäli betonirakenteen pintaosat eivät ole arviointisyvyyttä kosteampia. Vesihöyryä hyvin läpäisevillä materiaaleilla päällysteiden alle tasapainottuvaan kosteuspitoisuuteen vaikuttaa eniten matalampien mittaussyvyyksien kosteuspitoisuus. [2.]

Betonirakenteen suhteellinen kosteus voidaan mitata kahdella eri menetelmällä. Mittausmenetelmiä ovat porareikämittaus sekä näytepalamittaus. [2.]

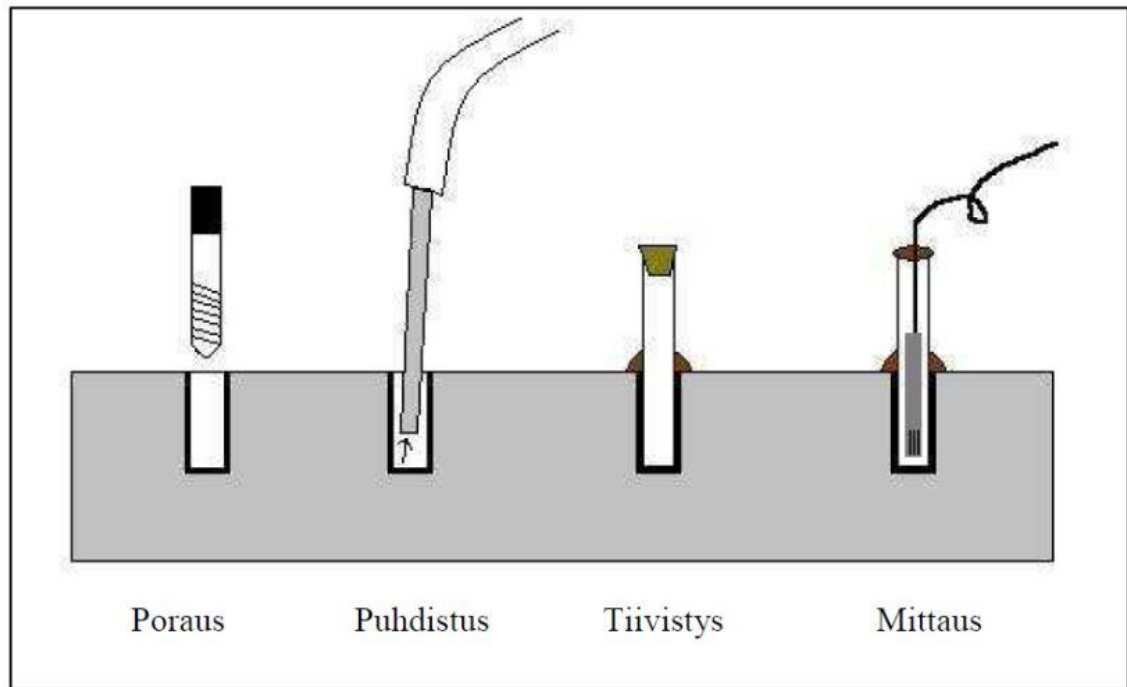


Kuva 1. Betonin suhteellisen kosteuden mittaussyvydet. [2.]

4.2 Porareikämittaus

Porareikämittauksessa tulee varmistaa, että mittauspisteen olosuhteet pysyvät mahdollisimman muuttumattomina koko mittausprosessin ajan. Olosuhteiden ollessa mittaustavan mukaiset, selvitetään ensin rakenneratkaisu ja määritetään mittaussyvydet. Tämän jälkeen porataan kaksi reikää rinnakkain arviointisyvyyksille kuvan 2 mukaisesti. Reiät puhdistetaan pölystä ja tiivistetään sivuilta putkella. Päältä sekä tiivisteiden ja betonin yhtymäkohdista reiät tiivistetään esimerkiksi kitillä. Poraamisen jälkeen alkuperäinen porausvyvydellä vallinnut kosteuspitoisuus saavutetaan kolmen vuorokauden kuluttua, betonissa vallinneen kosteustasapainon järkyttyä porauksesta. [2.]

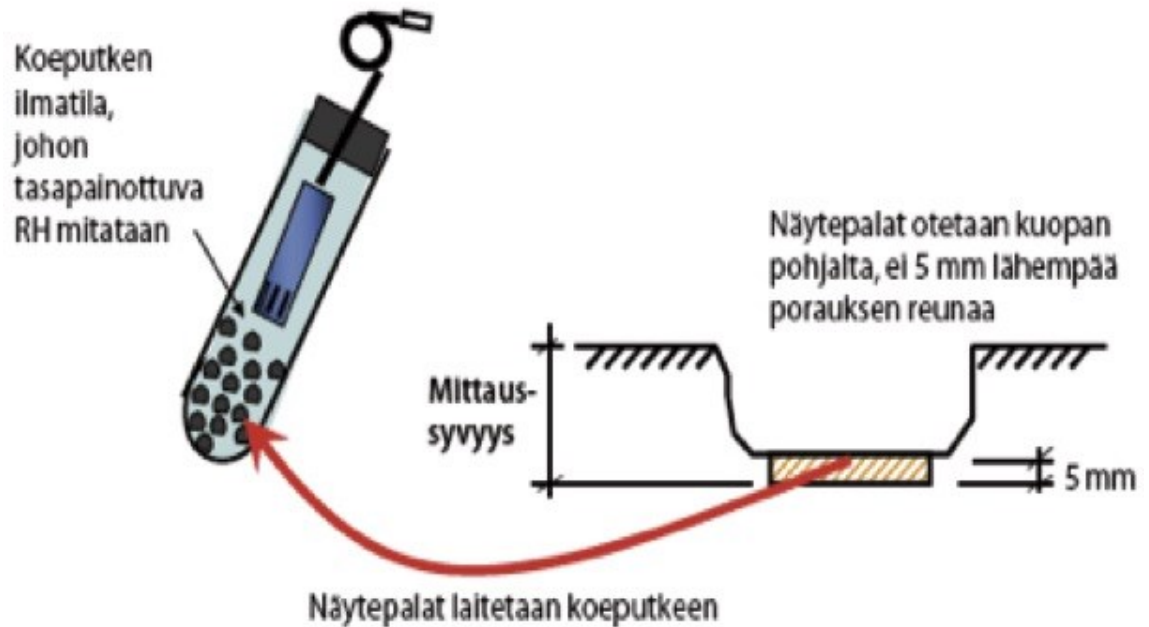
Kosteuspitoisuuden tasaannuttua annetaan myös mittapäiden tasaantua mittauspistettä ympäröiviin olosuhteisiin ennen putkeen asentamista. Tämän jälkeen mittapäät asennetaan reikiin nopeasti ja tiivistetään mittapään sekä putken väli huolellisesti. Mittapäiden annetaan jälleen tasaantua mittausreiässä riittävän kauan, kunnes kosteustasapaino mittapäiden ja betonihuokosten välillä saavutetaan. Saavutettua tasapaino kosteussensoreiden sekä betonihuokosten välillä, kiinnitetään mittapäät näyttölaitteeseen ja kirjataan RH- sekä lämpötila-arvot. [2.]



Kuva 2. Porareikämittauksen vaiheet. [12]

4.3 Näytepalamittaus

Näytepalamittauksessa betoniin porataan reikä porareikämittauksen tavoin ja hyödynnetään samoja mittauslaitteita. Erona näytepalamittauksessa on, että betoniin tehdään kuoppa, josta irrotetaan piikkaamalla näytemurusia halutulta syvyydeltä. Näytemurusia kerätään koeputkeen 1/3 sen tilavuudesta, asennetaan mittauspää ja tiivistetään koeputki huolellisesti. Tämän jälkeen koeputki sijoitetaan +20°C lämpötilaan ja olosuhteiden annetaan tasaantua koeputkessa 2–12 tuntia, jonka jälkeen tulokset voidaan lukea mittalaitteella. [11.]



Kuva 3. Havainnekuva näytepalamittauksesta. [13.]

Tässä opinnäytetyössä paneudutaan kosteusmittaukseen porareikämittauksen näkökannalta siksi, että kyseistä menetelmää hyödynnetään yrityksen rakennustyömailla näytepalamittausta huomattavasti enemmän.

4.4 Päälystettävyyden arviointi

Betonirakenteiden päälystämisen edellytyksenä on se, että kosteusmittauksen tuloksen on oltava pienempi kuin tuotevalmistajan ilmoittama vaaditun suhteellisen kosteuden arvo. Päälystettävyyden todennetaan vertaamalla saavutettua mittaustulosta vaadittuun suhteellisen kosteuden maksimiarvoon. Nykyisillä yrityksen dokumentointitavoilla mittaustulosten vertailu vaadittuihin RH-arvoihin ei ole suoraan mahdollista yhdellä lomakkeella, johon käsitteillä olevalla opinnäytetyöllä on haettu ratkaisua.

5 Kosteusmittausraportoinnin kehittäminen

Alustava pinnoitusvaatimuslomake luotiin yrityksen betonin suhteellisen kosteuden mittaustulosten ja kosteusmittauspöytäkirjan pohjalta. Alustavan lomakkeen rakennetta pohdittiin yhdessä yrityksen opinnäytetyöohjaajan ja laatuinsinöörin kanssa. Tärkeintä oli saada sisällytettyä lomakkeeseen selkeästi valmistajan ilmoittama vaadittu RH % ja tehdä helpoksi sen vertaaminen mitattuun tulokseen. Tällä tavoin rakenteiden

pinnoitettavuus on helposti tarkistettavissa jokaisessa mittauspisteessä. Olemassa olevista dokumenteista puuttui myös tieto siitä mitä valualuetta mitattiin, joten se lisättiin selkeyttämään kokonaisuutta.

5.1 Haastattelujen toteutus

Haastattelut toteutettiin yrityksen työmailla ja pääkonttorilla. Ensimmäiset haastattelut käytiin työmaalla Leppävaarassa, jossa haastateltiin rakennustyömaan työjohtoa. Työmaalla puhuttiin yleisellä tasolla betonirakenteiden suhteellisen kosteuden mittauksen ongelmakohdista. Toiveena oli, että lomakkeen yhteyteen liitettäisiin kuivumisaika-arvio. Ilmeni myös, että mittauslaitteiden kalibrointipäivän tiedot puuttuivat alustavasta lomakkeesta. Haastattelun aikana hahmoteltiin pinnoitusvaatimuslomakkeen seuraavaa versiota. Todettiin että tulosten todentaminen jää helposti puutteelliseksi, kun ei tiedetä mikä materiaali kuhunkin paikkaan on tulossa. Lomakkeeseen olisi siis syytä sisällyttää myös sarake, josta ilmenee pinnoitusmateriaali ja sen valmistaja. Näin varmistuttaisiin siitä, että valmistajan ilmoittama vaadittu RH % on oikeasti todenmukainen, kun myös tieto materiaaleista ilmenee lomakkeessa.

Keskustellessa betonin suhteellisen kosteuden mittauksen ongelmakohdista, heräsi hyviä kehitysideoita tulevaisuuden varalle. Vaikka keskustelu menikin hieman ohi opinnäytetyön aiheesta, se oli hyvin rakentavaa. Yksi toteuttamiskelpoinen ajatus oli yleisen muistilistan luominen, jossa esitettäisiin asioita, jotka tulisi ottaa huomioon mittauksia suoritettaessa. Tästä hyvänä esimerkkinä oli deltapalkkia ympäröivän betonin kosteus. Deltapalkki on metallia ja tästä syystä se estää betonin kuivumisen palkin puolelta. Betoni deltapalkkia ympäröivillä alueilla on työnjohtajan mukaan usein kosteampaa kuin muilla alueilla. Haastattelun aikana puhuttiin myös tulevaisuuden näkemyksistä ja siitä kuinka digitaalinen järjestelmä helpottaisi toimintaa.

Seuraavat haastattelut suoritettiin yrityksen pääkonttorilla Helsingissä. Ensimmäisenä vuorossa olivat yrityksen laatupäällikkö ja ympäristöpäällikkö. Haastattelussa keskityttiin lähinnä asioihin, joita olisi hyvä lisätä lomakkeeseen. Esitettiin että anturin mittaussyvyyden (mm) kohtaan lisättäisiin selite siitä, mistä kyseinen lukema tulee ottaa. Tässä tapauksessa tarkoitettiin kaavaa $0,4 \times A$, josta saadaan laskettua betonin kosteuden arviointisyvyys.

Haastattelussa keskusteltiin myös siitä, jos mittauksen tulos ei täytä vaatimusta, tulisi jollakin keinolla varmistua siitä, että uusintamittaus suoritetaan. Ajatuksena oli pinnoituslupasarake, joka voisi olla hyvä lisä lomakkeeseen. Sarakkeessa työmaan työnjohto kuittaisi nimikirjaimin, että betonirakenteelle on annettu pinnoituslupa, jos tulos täyttää vaatimukset. Tämä lisäisi rakennustyömaan työnjohdon tietoisuutta mittauksen tilanteesta, koska olisi varmistettava, että kaikki mittatulokset ovat täyttäneet vaatimuksensa. Tällä tavoin uusintamittauksia ei pääsisi unohtumaan. Nimikirjaimin varusteltu lomake olisi myös hyvä dokumentointia varten. Tämänkin haastattelun aikana keskustelu siirtyi digitaalisen järjestelmän mahdollisuuksiin.

Kolmantena haastateltavana oli kalustopäällikkö. Työmaapalvelut suorittavat yrityksen kosteusmittaukset. Haastateltava henkilö vaikutti tyytyväiseltä syntyneen lomakkeen muotoon. Huomautettavaa hänellä oli lomakkeen käytöstä käytännössä. Lomakkeen käyttö voisi olla haastavaa työmaaolosuhteissa, koska lomakkeessa on useita pieniä lokeroita ja niiden täyttäminen voisi olla vaikeaa. Haastattelussa kävi myös ilmi, että kosteusmittauksia joudutaan joskus keskeyttämään syystä tai toisesta. Esimerkiksi mittauspisteiden päälle on kuulemma usein laitettu niin paljon tavaraa, että niihin on mahdoton päästä käsiksi. Tällaiset paikat tulisi aina mitata myöhemmin uudelleen. Haastattelu kääntyi tässäkin tapauksessa digitaalisen version mahdollisuuksiin.

Neljänsinä haastateltavina olivat opinnäytetyönohjaajana toimiva laatu- ja ympäristöpäällikkö sekä laatuinsinööri. Haastattelussa pohdittiin lomakkeen lopullista muotoa ja minkälaisia tietoja sen tulisi sisältää. Päädyttiin siihen tulokseen, että myös kosteudenhallintasuunnitelman tiedot olisi hyvä lisätä lomakkeeseen. Kosteudenhallintasuunnitelmasta poimittaisiin aikatauluasiat. Tällä tavoin lomakkeesta tulisi kaikenkattava. Haastattelussa tarkasteltiin, onko lomakkeessa joitakin ylimääräisiä sarakkeita, joita voitaisiin karsia, jotta taulukko saataisiin pidettyä riittävän suppeana. Myös lomakkeen yläotsikointia mietittiin ja todettiin että vasemman reunan sarakkeille olisi hyvä saada yläotsikko. Tässä tapauksessa yläotsikko olisi pinnoitettavan alueen tilanumerot/tiedot tai muu vastaava. Haastattelussa käytiin läpi aikaisemmissa haastatteluissa esiin tulleita ideoita ja niiden käyttökelpoisuutta. Haastattelussa saatiin näkemystä siihen, millaiseen muotoon lopullinen pinnoitusvaatimuslomake muodostuisi.

Viimeinen haastattelu tehtiin työmaalla Matinkylässä lomakkeen testikäytön yhteydessä. Haastateltavana oli kosteusmittaaja. Testikäyttö sujui hyvin ja saatiin näkemystä siitä, mitkä osa-alueet lomakkeen esitäytöstä kuuluisivat työmaan työnjohdolle ja mitä osa-

alueita mittaaja täyttäisi mittauksen yhteydessä. Huomattiin myös, että lomakkeeseen tulisi lisätä tyhjiä täytettäviä rivejä. Testikohteessa oli niin paljon mitattavaa, ettei lomakkeessa olleet rivit riittäneet tietojen täyttämiseen. Haastattelussa pohdittiin myös, miten lomakkeen käyttö kävisi käytännössä ja jokaisesta mittauskerrasta saataisiin lopullinen asiakirja dokumentoitavaksi. Myös suurien paperimäärien mukana kuljettamiseen ja niiden tulkittamiseen uusintamittauksien yhteydessä pohdittiin ratkaisua. Tämäkin haastattelu kääntyi digitaalisen järjestelmän mahdollisuuksiin ja oli selvää, että siitä olisi paljon hyötyä myös kosteusmittaajalle.

5.1.1 Haastattelujen yhteenveto

Kaikki haastattelukerrat olivat menestyksekkäitä ja jokaisesta haastattelusta saatiin lisää tietoa siitä mihin suuntaan lomaketta tulisi kehittää. Kaikki haastatteluissa ilmenneet ideat saatiin sisällytettyä lomakkeeseen. Kaikissa haastatteluissa puhuttiin myös digitaalisen järjestelmän mahdollisuuksista ja siitä kuinka kyseinen pinnoitusvaatimuslomake voisi toimia myös digitaalisena versiona.

5.1.2 Haastattelumateriaalin käyttö lomakkeen toteutuksessa

Haastatteluista poimittiin kaikki esiin nousseet kehitysideat pinnoitusvaatimuslomakkeen tekemistä varten. Haastatteluissa ilmenneet asiat olivat; kuivumisaika-arvio, kalibrointipäivämäärä, pinnoitusmateriaalin tiedot, selite mittausvyöydelle, pinnoituslupa-sarake, lokeroiden koko, selite mittauksen keskeytymiselle, kosteudenhallintasuunnitelman aikataulutietojen lisääminen lomakkeeseen, yläotsikoinnin viimeistely sekä rivien lisäys.

5.2 Pinnoitusvaatimuslomakkeen koekäyttö

Pinnoitusvaatimuslomakkeen koekäyttö suoritettiin viimeisen haastattelun yhteydessä kosteusmittaajan kanssa työmaalla Matinkylässä. Kokeilimme käytännössä miten uusi pinnoitettavuuslomake toimisi korvaavana dokumenttina aikaisempien täytettävien lomakkeiden sijaan mittaajan työnkuvassa. Koekäytössä pohdittiin miten pinnoitusvaatimuslomake toimisi suunnittelun, todentamisen ja dokumentoinnin näkökulmasta. Koekäytöllä varmistettiin, että lomake palveli opinnäytetyön alkuperäistä tarkoitusta luoda yksi lomake, joka täyttäisi kaikki tarpeet betonirakenteiden pinnoitettavuuden tarkastelussa, useamman dokumentin sijaan.

5.3 Valmis pinnoitusvaatimuslomake

Valmis pinnoitusvaatimuslomake kasattiin alkuperäistä pohjamateriaalia ja kerättyä haastattelumateriaalia käyttäen. Lomakkeesta löytyi nyt kaikki oleelliset pinnoitettavan alueen tiedot; talo, kerros, tila ja valualue. Lomakkeesta ilmeni myös, oliko mittaus tehty lattialta vai seinästä. Myös pinnoitusmateriaalien tiedot oli lisätty lomakkeeseen; mikä materiaali on käytössä, kuka sen valmistaa sekä valmistajan ilmoittama vaadittu RH %.

Lomakkeeseen lisättiin myös kosteudenhallintasuunnitelmasta löytyvät aikataulutiedot. Näitä ovat yleisaikataulussa ilmoitetut plaano-/valu-viikko, betonirakenteiden pinnoitusviikko, kuivumiseen varattu aika, laskennallinen kuivumisaika-arvio sekä milloin kosteusmittaaja tulisi saada työmaalle. Lomakkeesta löytyi myös porausvyvyys millimetreissä, sisäilman ja ulkoilman sekä anturin lämpötila, RH % sekä anturin numero. Lomakkeen loppuun lisättiin pinnoituslupasarake. Pinnoitettavan alueen tiedot yläotsikoitiin ja lomakkeeseen lisättiin kaikki tarpeelliset tietojen täyttökentät. Näitä täyttökenttiä olivat mittaus- ja porauspäivämäärä, mittajaan nimi, mittauksessa käytetty laite ja laitteen kalibroitipäivämäärä sekä mahdollisten mittausten keskeytyksien syy. Lomakkeesta ilmeni myös työmaan tiedot. Lomakkeessa ilmaistiin myös, että betonin lämpötilan tulee olla 15–25°C. Lomakkeen asettelu toteutettiin siten, että sen voi tulostaa A3-kokoisena ja taitella muotoon niin, että kaikki kosteusmittaajalle tarpeellinen tieto on näkyvissä yhdellä kertaa ja täyttökentät ovat täytettävissä A4-paperikoossa liitteen 6 mukaisessa näkymässä. Tämä teki lokeroista helposti täytettäviä myös työmaaolosuhteissa ja lomake on mahdollista asettaa dokumentointikansioon järkevästi.

5.4 Pinnoitusvaatimuslomakkeen käyttö

Pinnoitusvaatimuslomake tulisi esitäyttää työmaan toimesta ennen kosteusmittaajan saapumista työmaalle. Rakennustyömaan työnjohto täyttää lomakkeesta pinnoitettavan alueen tiedot, mittauspaikan, pinnoitusmateriaalin tiedot, aikataulutiedot, sekä työmaantiedot liitteen 1 mukaisesti. Kosteusmittaaja voi tämän jälkeen täydentää omat esitäytettävät kohtansa, kuten mittajaan nimen ja mittauslaitteen tiedot, sekä poraus- ja mittauspäivämäärän liitteen 2 mukaisesti. Esitäytetyn lomakkeen kanssa työmaaolosuhteissa tapahtuva kosteusmittaus käy sujuvimmin, kun papereista löytyy valmiiksi jo kaikki tarvittavat onnistuneen mittauksen edellyttämät tiedot. Turhaa papereiden pyörittelyä ja täyttämistä ei tarvitse tehdä, koska kaikki tiedot löytyvät yhdeltä lomakkeelta. Mittaustulokset kirjataan lomakkeeseen liitteen 3 mukaisesti.

Mittauksen jälkeen rakennustyömaan työnjohto käy läpi mittaustulokset ja merkitsee pinnoitusluvut riittävän kuiville rakenteille liitteen 4 mukaisesti. Tämän jälkeen pinnoitusvaatimuslomake on valmis dokumentoitavaksi. Jotta voidaan rajoittaa kosteusmittaajan työmaalla käsittelemiä paperimääriä, kaikki pinnoitusluvan saaneet mittapaikat jätetään pois uusintamittausta varten esitäytettävästä lomakkeesta. Tiedot on helppo poimia aikaisemmin esitäytetystä lomakkeesta ja näin saadaan tehtyä liitteen 5 mukainen taulukko uusintamittausta varten. Kyseistä toimintatapaa käytetään, kunnes kaikki työmaan kosteusmittaukset on suoritettu ja betonirakenteet ovat saaneet pinnoitusluvan. Lomakkeeseen on myös helppo lisätä uusia mittauspaikkoja mittauskertojen välissä, jos uusien rakenteiden mittauksille ilmenee tarvetta. Kaikki liitteissä esitetyt tiedot ja arvot ovat ainoastaan esimerkkitarkoituksessa laadittuja, eivätkä perustu todenmukaisiin mittauksiin.

5.5 Pinnoitusvaatimuslomakkeen tulostus

Pinnoitusvaatimuslomaketta tulostaessa täytyy ottaa huomioon mitä valintoja tulostaessa käytetään, jotta tuloste olisi oikeassa muodossa. Tulostustapa on tärkeä lomakkeen taittelun kannalta. Taulukko maalataan kulmasta kulmaan kuvien 4 ja 5 osoittamalla tavalla. Taulukon maalauksen jälkeen valitaan kuvan 6 mukaiset asetukset, jonka jälkeen kuva tulostetaan. Tällä tavoin tuloste saadaan sellaisessa muodossa, että se on taiteltavissa järkevästi A4-paperikokoon kosteusmittaajaa varten.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|---|--------------------|--------|------|--------------|---------------|------------------------------------|-------------|----------|
| 1 | | Työmaan osoite: | | | | | | | |
| 2 | | Työ numero: | | | | | | | |
| 3 | | Poraus pvm: | | | Mittaus pvm: | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | Yleisaikat. | Yleisaik |
| 7 | | Pinnoitettava alue | | | | | | Plaano / | Pinnoit |
| 8 | | Talo | Kerros | Tila | Valualue | Mittauspaikka | Pinnoitus materiaali ja valmistaja | Valu (vko) | (vko) |
| 9 | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | |

Kuva 4. Taulukon maalaus

Pinnoitusvaatimuslomake antaa kuitenkin varsin hyvän mahdollisuuden siirtyä uuteen selkeämpään dokumentointitapaan, jossa tulos betonirakenteiden pinnoitettavuudesta ei ole tulkinnanvarainen kuten aiemmin.

7 Tulevaisuudennäkymät

Haastatteluja suorittaessa kävi ilmi varsin selvästi, että kiinnostusta ja kysyntää lomakkeen kääntämisestä digitaaliseen muotoon löytyy reilusti. Keskustelu kääntyi jokaisessa haastattelussa digitaalisen järjestelmän mahdollisuuksiin. Eniten keskustelua herätti mobiilisovellusten aukaisemat mahdollisuudet ja todennäköisesti tähän suuntaan ollaankin tulevaisuudessa menossa. Esimerkiksi tässä opinnäytetyössätäytössä luodun pinnoitusvaatimuslomakkeen täyttö olisi vaivatonta tablettitietokoneella ja täytetyn lomakkeen dokumentointi voisi käydä yhtä nappia painamalla suoraan yrityksen järjestelmiin. Näin säästyttäisiin papereiden pyöryksessä syntyviltä riskitekijöiltä, kuten lomakkeiden häviämiseltä tai vaurioitumiselta lukukelvottomiksi.

Digitaalinen dokumentointitapa avaisi myös lisää mahdollisuuksia lomakkeen täyttöä varten. Kaikki saman mittapisteen mittaustulokset voitaisiin kirjata esimerkiksi allekkain aina vaaditun suhteellisen kosteuden saavuttamiseen saakka. Digitaalisessa muodossa rivien lisääminen jo täytettyjen rivien väliin ei ole haastavaa samalla tavalla kuten paperiversiossa. NCC Suomi Oy:llä on myös ollut käytössään laadunhallintaan kehitettyjä mobiilisovelluksia, kuten Congrid ja Dalux-Field. Esimerkiksi kyseisissä mobiilisovelluksissa porareikäpaikkojen tarkastelu olisi todella yksinkertaista. Kullekin mittauspaikalle voitaisiin luoda oma pisteensä ohjelmiin valmiiksi lisätyille pohjapiirustuksille ja kutakin pistettä voitaisiin tarkastella yksilöllisesti. Pisteiden tietoihin olisi helppo lisätä aina uusintamittauksien tiedot ja tulokset, siihen asti, kunnes tulokset täyttävät vaatimukset. Näin ollen myös valmis digitaalinen dokumentti mittauspaikkojen sijainneista syntyisi automaattisesti ja sitä pääsisi tarkastelemaan kokonaisuutena missä vain, milloin vain.

Digitaalinen versio opinnäytetyössä luodusta lomakkeesta sekä jonkin ladunhallintasovelluksen käyttö yhdessä voisi syrjäyttää paperisen kosteusmittausasiakirjojen täytön kokonaisuudessaan. Tiedot saataisiin aina dokumentoitua välittömästi ja tulokset olisivat aina tarkasteltavissa reaaliaikaisesti.

Etäluettavien kosteusmittarien kehittyessä tämänlainen tiedon keräys kokonaisuus voisi toimia erittäin hyvin ja vaivattomasti.



Kuva 7. Congrid-sovelluksen pohjapiirustus esimerkki [14]

8 Yhteenveto

Opinnäytetyöllä pyrittiin luomaan pinnoitusvaatimuslomake, joka otettaisiin käyttöön betonin suhteellisen kosteuden mittauslomakkeen sekä kosteusmittauspöytäkirjan sijaan. Lomakkeeseen sisällytettiin myös tietoja työmaan kosteudenhallintasuunnitelmasta, jotta kaikki tieto kulkisi mukana yhdessä lomakkeessa. Opinnäytetyö toteutettiin luomalla pinnoitusvaatimuslomake pohjatietoja käyttämällä. Pohjatietoina toimivat edellä mainitut NCC Suomi Oy:n dokumentit sekä haastatteluista kerätty tutkimusmateriaali. Lopputuloksena syntyi valmis pinnoitusvaatimuslomake, joka täyttää sille asetetut vaatimukset.

Lähteet

- 1 NCC-konserni. verkkodokumentti.
<https://www.ncc.fi/tietoa-nccsta/ncc-konserni/>
- 2 Betonirakenteiden kosteuden mittaaminen ja onnistunut päällystäminen. verkkodokumentti. Rakennusfysikaaliset asiantuntijapalvelut/Humi-Group.
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100401.pdf>
- 3 Betonin kosteuden hallinta. verkkodokumentti.
<http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/kosteudenhallinta>
- 4 Rakenteiden kuivattaminen. verkkodokumentti.
<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kunnossapito-ja-korjaaminen/Purku-kuivaus-ja-puhdistus/Rakenteiden-kuivattaminen>
- 5 Betonin kuivuminen. verkkodokumentti.
<http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaille/betonin-kuivuminen>
- 6 Björkholtz, D. 1990. Rakennuksen kuivattaminen. Suomen Rakennusteollisuusliitto r.y., Oy Dick Björkholtz Consulting Ab ja Rakentajain Kustannus Oy
- 7 Suomen Betonitieto Oy. Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen.
- 8 Björkholz, D. 1997. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. Rakennustieto. Helsinki.
- 9 Mäntyneva, M., Heinonen, J. & Wrange, K. 2008. Markkinointitutkimus. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit.
- 10 Rakennustyömaan kosteudenhallinta. verkkodokumentti.
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050502.pdf>
- 11 Merikallio, Tarja. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi.
- 12 Huovanainen, H. 2012. Kahden eri suhteellisen kosteuden mittauslaitteiston tutkiminen betonin kosteusmittausten yhteydessä. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma.
- 13 Rakentamisen kosteudenhallinta. verkkodokumentti.
<http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimet/mittaus/103-rakenteista-tehtaevaet-mittaukset>
- 14 Congrid mobiiliapplikaatio.
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.congrid.app&hl=fi>
- 15 Laadullisen ja määrällisen tutkimuksen erot. verkkodokumentti.
<https://www.stat.fi/virsta/tkeruu/01/07/>
- 16 Betonin valmistus. verkkodokumentti.

<http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>

- 17 Lämpötilat ja kosteus. verkkodokumentti.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/lampotila-ja-kosteus#15>
- 18 Kosteus. verkkodokumentti
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Kosteus>

| Työmaan osoite: | | Matti Meikäläisenkuja 1, 02345 Matinkylä | | Mittaaja | | Matti Meikäläinen NCC Suomi Oy, Työmaapalvelut | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--|-------|--------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|------|-------------------------|----|-----------------|-----|-----------------|------|--------------------------------|-----|------------------------------|--|
| Työ numero: | | 12345 MEIKÄLÄISENTALO | | Laitteet | | Vaisala HMI-41 mittalaitte Vaisala HMI/44 mittapöytä | | | | | | | | | | | | | | | |
| Poraus pvm: | | 1.2.2013 | | Kalibrointi pvm: | | Mittapöytä: 1-10: 4.1.2013, 11-20: 24.11.2012 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mittaus pvm: | | 4.2.2013 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pinnoitettava alue | | | | Yleisaikat. Paano / Valu (vko) | | Yleisaikat. Pinnoitus (vko) | | Yleisaikat. Kuvunseen varattu aika (vko) | | Laskennallinen kuvunsaika-arvio (vko) | | Mittaaja työmäärä (vko) | | Sisäilma °C RH% | | Ulkoilma °C RH% | | * M. lämpötila 0,4 x A 15-25°C | | Valmistajan ilmoittama < RH% | |
| Talo | Kerros | Tila | Value | Mittauspaikka | Pinnoitusmateriaali ja valmistaja | Yleisaikat. Paano / Valu (vko) | Pinnoitus (vko) | Yleisaikat. Kuvunseen varattu aika (vko) | Laskennallinen kuvunsaika-arvio (vko) | Mittaaja työmäärä (vko) | °C | RH% | °C | RH% | NRO | Mm* | °C | RH% | PL | | |
| A | 2 | PRH | PRH | Lattia | Muovimatto (uppofoor Estrad) | 38 | 7 | 20 | 21,1 | 5 | 22,3 | 36,8 | -5 | 78% | 11 | 55 | 21,7 | 86% | 85% | | |
| A | 2 | PRH | PRH | Lattia | Muovimatto (uppofoor Estrad) | 38 | 7 | 20 | 21,1 | 5 | 22,3 | 36,8 | -5 | 78% | 13 | 22 | 21,7 | 81% | | | |
| A | 5 | 22 | OH | Lattia | Parketit (Tammi Marble Matt Upofoor) | 28 | 51 | 23 | 21,1 | 49 | 22,3 | 36,8 | -5 | 78% | 17 | 70 | 21,3 | 84,5% | 85% | | |
| A | 8 | 43 | OH | Lattia | Parketit (Tammi Marble Matt Upofoor) | 31 | 2 | 23 | 21,1 | 52 | 22,3 | 36,8 | -5 | 78% | 19 | 70 | 21,7 | 85,5% | 85% | | |
| A | 8 | 44 | OH | Lattia | Parketit (Tammi Marble Matt Upofoor) | 31 | 2 | 23 | 21,1 | 52 | 22,3 | 36,8 | -5 | 78% | 8 | 70 | 21,8 | 84,9% | 85% | | |
| A | 8 | 45 | OH | Lattia | Parketit (Tammi Marble Matt Upofoor) | 31 | 2 | 23 | 21,1 | 52 | 22,3 | 36,8 | -5 | 78% | 5 | 70 | 21,7 | 85,7% | 85% | | |
| B | 2 | 54 | WC | Lattia | Vedeneristys (Weber) | 39 | 1 | 14 | 12,7 | 51 | 21,8 | 35,8 | -5 | 78% | 3 | 70 | 21,2 | 89,8% | 90% | | |
| B | 4 | 61 | OH | Lattia | Parketit (Tammi Marble Matt Upofoor) | 29 | 52 | 23 | 21,1 | 49 | 21,8 | 35,8 | -5 | 78% | 12 | 70 | 21,0 | 85,8% | 85% | | |
| B | 4 | 62 | OH | Lattia | Parketit (Tammi Marble Matt Upofoor) | 29 | 52 | 23 | 21,1 | 49 | 21,8 | 35,8 | -5 | 78% | 14 | 70 | X | X | 85% | | |
| B | 5 | PRH | PRH | Lattia | Muovimatto (uppofoor Estrad) | 37 | 6 | 20 | 21,1 | 4 | 21,8 | 35,8 | -5 | 78% | 15 | 55 | 21,5 | 85,6% | 85% | | |
| B | 5 | PRH | PRH | Lattia | Muovimatto (uppofoor Estrad) | 37 | 6 | 20 | 21,1 | 4 | 21,8 | 35,8 | -5 | 78% | 1 | 22 | 21,5 | 80,6% | | | |
| B | 8 | 90 | WC | Lattia | Vedeneristys (Weber) | 41 | 5 | 16 | 12,7 | 3 | 21,8 | 35,8 | -5 | 78% | 2 | 70 | 21,3 | 89,2% | 90% | | |
| X Mittaus keskeytetty: Tavaraa porareijään päällä | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Liite 3

