



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

BETONIRAKENTEIDEN KOSTEUDEN MITTAUS

Jere Häkkinen

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2018
Rakennusalan työnjohdon koulutus



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennusalan työnjohdon koulutus

HÄKKINEN, JERE:
Betonirakenteiden kosteuden mittaus

Opinnäytetyö 64 sivua, joista liitteitä 10 sivua
Maaliskuu 2018

Opinnäytetyössä perehdyttiin betonirakenteiden kuivumiseen, kuivumisaika-arvioihin, päällystettävyyden arviointiin ja suhteellisen kosteuden mittaamiseen. Tarkoituksena oli selvittää erityisesti kuivumisolosuhteiden vaikutusta betonin kuivumisaikaan sekä lämpötilan vaikutusta betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaamisessa. Tavoitteena oli tuottaa ohje betonirakenteiden suhteellisen kosteuden mittaamiseen ja tulosten tulkintaan työnjohdon käytettäväksi Pirkanmaan Mestari-Rakentajat oy:ssä.

Kuivumisaikojen sovittaminen kireisiin rakentamisaikatauluihin vaatii huolellista suunnittelua. Betonirakenteiden kuivumista seurataan mittaamalla rakenteen suhteellista kosteutta. Säännöllisistä mittauksista saatujen tulosten perusteella voidaan tehdä oikea-aikaisia päätöksiä rakenteen päällystettävyydestä tai kuivumisolosuhteiden parantamisesta.

Työn tuloksena havaittiin, että betonirakenteiden suhteellisen kosteuden mittaamisessa tulee keskittyä mittausyksityiskohtien hallintaan, kunnolliseen raportointiin, mittaus epävarmuuden ymmärtämiseen ja tulosten tulkintaan. Jatkokehitysehdotuksena mittauksia tekevien tulisi perehtyä erityisesti mitattavan materiaalin ja sen ympäristön lämpötilan vaikutukseen mittaustuloksissa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction site Management

HÄKKINEN, JERE:
Humidity Measurement of Concrete Structures

Bachelor's thesis 64 pages, appendices 10 pages
March 2018

The purpose of this thesis was to collect information about drying of concrete structures, drying time estimates, covering estimates and relative humidity measurement. The purpose was in particular to find out the effect of drying conditions on concrete drying time and the effect of temperature on the concrete structure while measuring relative humidity. The aim was to produce guidance for humidity measurement of concrete structures and for interpretation of results.

Drying of concrete structures will be monitored by regular relative humidity measurements. Result of measurement helps decision-making when considered the right time for floor covering installation.

The findings indicate that when measuring relative humidity of concrete structures focus should be on measuring details, proper reporting, understanding measurement uncertainty and interpretation of results. The gauger should especially be acquainted the temperature effects in relative humidity measurements on concrete.

Key words: relative humidity measurement, drying of concrete, temperature

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	BETONIN KOSTEUS.....	7
2.1	Betonirakenteen kosteuslähteet.....	7
2.1.1	Rakennekosteus betonissa.....	8
2.1.2	Sade, roiskevedet ja vesivuodot.....	8
2.1.3	Maaperän kosteus.....	9
2.2	Kosteuden siirtyminen.....	10
2.2.1	Veden painovoimainen siirtyminen.....	10
2.2.2	Veden kapillaarinen siirtyminen.....	10
2.2.3	Diffuusio.....	11
2.2.4	Kosteuskonvektio.....	12
3	BETONIRAKENTEEN KUIVUMINEN.....	13
3.1	Betonin kuivumisprosessi.....	13
3.2	Betonirakenteen kuivumiseen vaikuttavat tekijät.....	14
3.2.1	Betonin kuivumisen nopeuttaminen.....	17
3.3	Betonirakenteen kuivumisajan arviointi.....	17
3.3.1	Maanvastaisen betonilaatan kuivumisaika-arvio.....	18
3.3.2	Massiivisen teräsbetonilaatan (välipohja) kuivumisaika-arvio.....	21
4	BETONIRAKENTEEN PÄÄLLYSTETTÄVYYDEN ARVIOINTI.....	25
5	BETONIRAKENTEEN KOSTEUDEN MITTAUS.....	29
5.1	Kosteusmittalaitteita.....	30
5.1.1	Kosteusmittausantureiden mittapäiden kalibrointi.....	31
5.2	Pintakosteusmittaus.....	33
5.3	Porareikämittaus.....	34
5.3.1	Reikien poraus ja puhdistus.....	34
5.3.2	Mittausreikien tiivistys ja suojaus.....	36
5.3.3	Mittausreiän tasaantuminen.....	37
5.3.4	Mittapäiden asennus.....	38
5.3.5	Mittaustulosten lukeminen ja kirjaaminen.....	39
5.4	Lämpötilan vaikutus betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaamisessa.....	40
5.5	Näytepalamittaus.....	41
5.6	Kosteusmittaustulosten raportointi.....	43
5.7	Mittaustarkkuustarkastelu.....	44
5.8	Kosteusmittaustulosten tulkinta.....	45
6	OHJE KOSTEUSMITTAUKSEEN JA TULOSTEN TULKINTAAN.....	48

6.1 Kosteusmittausohjeen tavoite	48
6.2 Mittaamiseen ja tulkintaan liittyvät haasteet.....	49
7 POHDINTA.....	52
LÄHTEET.....	54
LIITTEET	55
Liite 1. Kosteusmittausraportti	55
Liite 2. Ohje betonirakenteiden suhteellisen kosteuden mittaamiseen.....	60

1 JOHDANTO

Betoni materiaalina sisältää aina kosteutta. Asuntorakentamisessa betonirakenteet tyyppillisimmin päällystetään tai pinnoitetaan ennen niiden luovuttamista loppukäyttäjille. Milloin betonirakenne sitten on päällystettävissä, kuinka nopeasti se kuivuu ja kuinka kosteudenmittaus tehdään, jotta saadaan varmuus rakenteen päällystyskelpoisuudesta? Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen ja betonin kuivumiseen vaikuttavat seikat ovat kiinnostaneet minua useamman vuoden ajan. Suorittuani Rakenteiden kosteuden mittaaja –henkilösertifiointikoulutuksen vuonna 2016, olen pyrkinyt kehittämään ammattitaitoani mittauksen ja varsinkin tulosten tulkitsemisen suhteen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä tarkemmin betonirakenteiden kuivumiseen, päällystettävyyden arviointiin ja kosteuden mittaamiseen. Betonirakenteiden kuivuminen tulee huomioida jo aikatauluvaiheessa. Oikeaoppisella betonin suhteellisen kosteuden mittaamisella ja saatujen tulosten ymmärtämisellä sekä tulkinalla pystytään tekemään oikeita päätöksiä rakenteen päällystettävyyden tai kuivaustarpeen määrittämiseksi. Usein näillä päätöksillä on suuri taloudellinen merkitys.

Tavoitteena on tuottaa ohje betonirakenteiden suhteellisen kosteuden mittaamiseen ja tulosten tulkintaan työnjohtajien käytettäväksi Pirkanmaan Mestari-Rakentajat oy:ssä. Ohjeen olisi tarkoitus toimia muistin tukena kosteusmittauksia tehdessä. Ohjeen yhteyteen on tarkoitus tehdä lomakepohja joka toimii kosteusmittauspöytäkirjana esim. betonin kuivumisen seurantamittauksille työmailla.

Mielenkiintoisen aiheen rajaaminen asettaa omat haasteensa. Tässä opinnäytetyössä aihe on pyritty rajaamaan käsittelemään lähinnä uudisrakentamista ja työmaa-aikaista betonin kuivumisen seuranta sekä suhteellisen kosteuden mittaamista.

2 BETONIN KOSTEUS

Kovettunut betonirakenne pitää sisällään aina jonkin verran kosteutta. Pääosin tämä kosteus on peräisin betonin valmistamiseen käytetystä vedestä. Osa kosteudesta voi myös olla peräisin rakenteen kastumisesta rakennusaikana. Lisäksi maaperästä tai erilaisten vesivahinkojen kuten putkivuotojen seurauksena betonirakenteeseen voi tulla ulkopuolista kosteutta. Betoni huokoisena materiaalina pystyy myös sitomaan itseensä vesihöyryn muodossa olevaa kosteutta ympäröivästä ilmasta. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 13.)

Betoni on materiaalina huokoista ja se pyrkii aina hygroskooppiseen tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa. Betoni joko luovuttaa ympäristöönsä tai vastaanottaa ympäristöstä kosteutta, kunnes betonin suhteellinen kosteus (RH) on sama kuin ympäristön. Tämän tasapainotilan saavuttamiseen voi kulua aikaa jopa useita vuosia, riippuen rakenteen paksuudesta sekä ympäröivistä olosuhteista. (Merikallio 2002, 10.)

Betonin kosteus ei sinällään aiheuta vaurioita. Vauriot ovat aina seurausta jostakin, kuten virheellisistä, kosteusteknisesti väärin suunnitelluista, toteutetuista tai huolletuista rakenteista ja rakennuksista. Yleisimmin kosteusvauriot johtuvat suunnitteluvirheistä tai suunnitelmien puutteesta, rakennustyössä tehdyistä virheistä, puutteista rakentamisen laadun hallinnassa, rakennusosien vanhenemisesta ja puutteellisesta huollosta, sekä käyttövirheistä. (Siikanen 2014, 65–66.)

2.1 Betonirakenteen kosteuslähteet

Betonirakenteen kosteuslähteitä ovat mm. rakennekosteus, sade, roiskevedet, vesivuodot ja maaperän kosteus. Betonirakenteissa kosteus ilmenee rakenteisiin sitoutuneena rakennekosteutena, näkymättömänä vesihöyrynä tai näkyvänä vetenä (Siikanen 2014, 66).

2.1.1 Rakennekosteus betonissa

Osa betonin valmistamiseen käytetystä vedestä sitoutuu kemiallisesti betonin kovettumisen, tätä kovettumisreaktiota kutsutaan hydrataatioksi (Betonitekniikan oppikirja 2004 2012, 432). Valtaosa tästä sitoutumisesta tapahtuu muutamassa päivässä betonin valamisen jälkeen. Loppu vesi sitoutuu betonin huokosrakenteeseen fysikaalisesti. Vesi on kiinnittynyt löysästi betonin huokosten pintaan. Fysikaalisesti sitoutunut vesi on haihtumiskykyistä vettä ja betonin kuivumisen tullen tämä vesi poistuu ympäristöönsä, kun taas kemiallisesti sitoutunut vesi ei haihdu. Lisäksi betonin huokosten ilmatilassa on vesihöyryä. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 13–14.)

Varsinaista kuivumista betonissa tapahtuu vasta, kun fysikaalisesti sitoutunutta vettä poistuu haihtamalla betonista. Betoni pyrkii saavuttamaan hygroskooppisen tasapainokosteuden ympäristönsä kanssa. Kuivumista tapahtuu niin kauan kunnes betonin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on sama kuin betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus. Kuiva betoni voi taas imeä ilmasta kosteutta kunnes tasapainotila on saavutettu. Tämän tasapainotilan saavuttaminen voi viedä pitkänkin ajan, jopa vuosia. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 14.)

2.1.2 Sade, roiskevedet ja vesivuodot

Betonirakenteeseen voi kohdistua kosteus- ja vesirasitusta myös sateen, roiskevesien ja vesivuotojen vaikutuksesta. Hiljattain valetun betonirakenteen ensimmäinen kosteuslisa on useimmiten sade. Björkholtz (1997) toteaa, että kivipohjaiset tuotteet kuten betoni eivät vaurioidu sateen vaikutuksesta, mutta liiallinen kosteus vaikuttaa niissä myöhemmin rakennekosteutena. Jos ainakin lämmöneristyksen sisäpuolelle tulevat kivipohjaiset tuotteet suojataan sateelta, niin myöhemmin vältetään monelta vaivalta. (Björkholtz 1997, 40.)

Tuoreen betonin kastuminen hidastaa sen kuivumista merkittävästi. Betonin huokokset ovat valuvaiheessa lähes täynnä vettä eivätkä pysty vastaanottamaan lisää kosteutta. Hyvin pian, eli jo muutaman viikon kuluttua valusta tapahtuvalla kastumisella on merkittävä vaikutus kuivumisaikaan. Erittäin huonossa tapauksessa esimerkiksi neljän vii-

kon rankkasade saattaa kasvattaa massiivisen normaalibetonista tehdyn välipohjan kuivumisaikaa jopa parillakymmenellä viikolla.

Roiskevedet ja varsinkin vesivuodot voivat kastella betonirakennetta. Roiskeveden lähteitä esiintyy varsinkin rakennusaikana. Rakentamisen aikana vettä käytetään mm. tasoitteiden ja laastien tekemiseen. Näitä valmistettaessa rakennustyömaalla vettä roiskuu ja läikkyä usein kuivumassa olevan betonilaatan pinnalle. Useimmiten suurempia ongelmia aiheuttavat vesivuodot. Etenkin vuodot joita ei havaita heti niiden tapahduttua. Vuotojen aiheuttaja on lähes poikkeuksetta rakenteellinen virhe joka johtuu huonosta suunnittelusta tai toteutuksesta. Yleisimmin vuodot esiintyvät lämmitys-, käyttövesi- ja viemäriputkistoissa tai kattojen, parvekkeiden ja märkätilojen vedeneristyksissä ja liittymissä toisiin rakenteisiin. (Siikanen 2014, 67–68.)

Vesivahingon seurauksena kastumaan päässeen vanhan betonin kuivumisaika voi olla selvästi pidempi kuin tuoreen betonin (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 23). Märkätilojen vedeneristyksissä tyypillisimpiä vuotokohtia ovat roiskevesialueen läpivientien liitokset, kuten hanakulmarasioiden liitokset sekä vedeneristeen ja lattiakaivon liitos. Vuodot näissä liitoksissa tulevat usein esiin vasta pidemmän ajan kuluttua. Tällöin vuoto on useimmiten aiheuttanut jo mittavia vaurioita rakenteessa.

2.1.3 Maaperän kosteus

Maanvastaisen betonilaatan alapuolinen maaperä on lähtökohtaisesti aina kostea. Betoni alkaa imeä itseensä nestemäisessä muodossa olevaa kosteutta eli vettä ollessaan kosketuksissa vapaaseen veteen tai märkään materiaaliin. Kyseessä on tällöin kapillaarinen kosteuden siirtyminen ja betonissa tapahtuu kastumista. Tätä kapillaarista veden nousua pyritään katkaisemaan riittävällä kapillaarikatkerroksella rakenteen alla. Kapillaarikatkon riittävä kerrosvahvuus riippuu käytettävästä materiaalista. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 17.)

2.2 Kosteuden siirtyminen

Kosteuden siirtyminen rakenteessa tai rakenteeseen tapahtuu kapillaarisena tai painovoimaisena veden liikkeenä, diffuusiona tai kosteuskonvektiona. Rakenteessa oleva haitallinen kosteus ei siis useinkaan ole seurausta näkyvän veden aiheuttamista vaurioista, vaan peräisin silmin havaitsemattomasta vesihöyrystä. Rakenteisiin kulkeutunut vesihöyry taas voi tiivistyä rakenteessa haitalliseksi vedeksi.

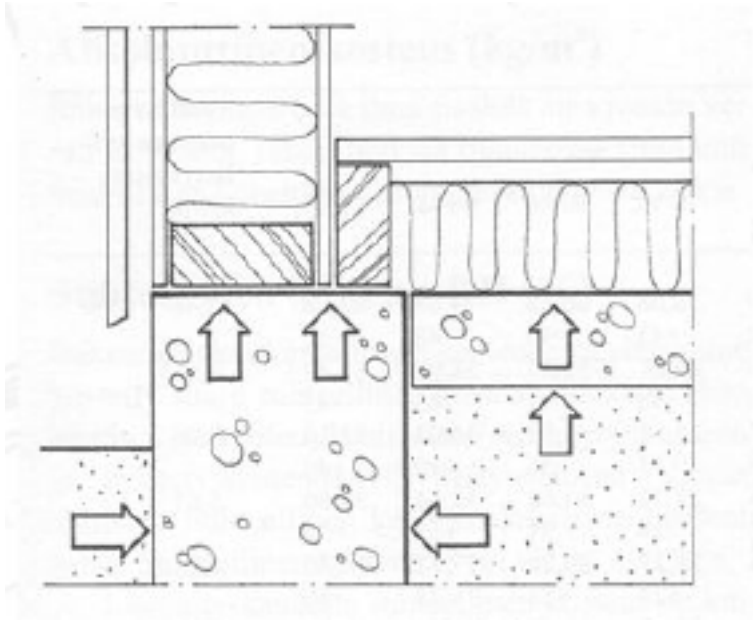
2.2.1 Veden painovoimainen siirtyminen

Painovoiman vaikutuksesta vesi kulkee alaspäin ja merkittävä osa rakennuksen kosteusteknisestä toiminnasta perustuukin veden painovoimaiseen siirtymiseen. Erilaisilla kaltevilla pinnoilla esiintyy yleensä toivottua painovoimaista siirtymistä. Tällaisia kaltevia pintoja ovat esimerkiksi katot, räystäskourut, kylpyhuoneen lattia ja viemäriputket. Vähemmän toivottua painovoimaista veden siirtymistä esiintyy puolestaan esimerkiksi erilaisissa raoissa, kattoläpivientien saumoissa ja halkeamissa. (Kettunen 2016, 90–91.)

Veden aiheuttaman kosteusvaurion syy voi usein löytyä hyvinkin kaukaa itse varsinaisesta vauriokohdasta. Vesikatolla sijaitsevan vuotokohdan aiheuttamat vauriot tulevat esiin alempien kerrosten katto- tai seinärakenteissa.

2.2.2 Veden kapillaarinen siirtyminen

Veden kapillaarinen siirtyminen tarkoittaa huokoisalipaineen paikallisten erojen aiheuttamaa nesteen siirtymistä huokoisessa aineessa materiaalin ollessa kosketuksissa vapaaseen veteen tai toiseen kapillaarisella kosteusalueella olevaan materiaaliin (Siikanen 2014, 68). Huokoisalipaine vaikuttaa materiaalissa siten, että vesi voi siis siirtyä kapillaarisesti kaikkiin mahdollisiin suuntiin (kuvio 1). Kun kosteus on noussut korkeudelle, jossa huokosalipaine ja maan vetovoima ovat tasapainossa, on saavutettu kapillaarinen kosteustasapaino. Tällainen tasapainotilanne muodostuu mm. maanvastaisen lattian alle salaojakerrokseen. (Kettunen 2016, 110.)



KUVIO 1. Kapillaarinen vedenliike perustuksissa (Siikanen 2014)

2.2.3 Diffuusio

Rakennustekniikassa diffuusiolla tarkoitetaan yleisimmin kosteuden siirtymistä vesihöyrynä rakenteen läpi (Siikanen 2014, 71). Vesihöyry siirtyy diffuusiolla suuremmasta vesihöyrypitoisuudesta (osapaineesta) pienempään. Diffuusiovirtaus on sitä voimakkaampi mitä suurempi vesihöyrypitoisuusero on rakenteen eri puolilla. Tämän lisäksi vesihöyryn kulkuun vaikuttaa materiaaliominaisuus nimeltään vesihöyrynläpäisevyys. (Kettunen 2016, 119.)

Kylmänä vuodenaikana rakenteeseen voi tiivistyä haitallisessa määrin kosteutta. Tällainen kosteusvaurioiden kannalta ongelmallinen tilanne tulee silloin kun rakenteen sisäpuolelta pääsee vesihöyryä diffuusiolla rakenteeseen enemmän kuin sieltä voi poistua. Yleisimmin diffuusion suunta on lämpimästä kylmempään päin, eli sisätiloista ulospäin. Tämä johtuu siitä että yleensä sisäilmassa on enemmän kosteutta kuin ulkoilmassa. Diffuusion suuntaa ei kuitenkaan määrää lämpötila. Esimerkiksi alapohjarakenteissa kosteutta voi tulla diffuusiolla myös kylmemmästä lämpimään. (Kettunen 2016, 123–124.)

2.2.4 Kosteuskonvektio

Kosteuskonvektio tarkoittaa vesihöyryn ja veden siirtymistä ilmavirtauksien mukana. Ilmavirtaukset kuljettavat mukanaan vesihöyryn useimmiten erilaisista raoista sekä halkeamista. Vesi taas siirtyy ilmavirtauksien mukana esimerkiksi kun tuuli siirtää sivusuunnassa vesipisaraa. (Kettunen 2016, 130–131.)

Rakenteiden toiminnan kannalta suurin kosteusvaurioriski muodostuu kylmänä ajanjaksona. Tällöin erilaisten rakojen, halkeamien, reikien yms. läpi tapahtuu ilmavirtauksia paine-erojen vaikutuksesta. Ilmavirtaukset voivat kuljettaa mukanaan rakenteisiin moninkertaisen määrän kosteutta diffuusioon verrattuna. Kun kosteaa sisäilmaa virtaa rakenteisiin, alkaa ilman sisältämä kosteus tiivistyä rakenteiden sisään. Ongelma kohdistuu usein yläpohjarakenteisiin, koska rakennuksen yläosa on usein ylipaineinen. Siikanen (2014, 72) mukaan tutkimuksissa on todettu, että esimerkiksi ns. ”tasakattovuodoista” noin puolet on aiheutunut sisätiloista ilmavirtauksien mukana rakenteisiin kulkeutuneesta ja siellä tiivistyneestä kosteudesta. (Siikanen 2014, 72; Kettunen 2016, 134.)

3 BETONIRAKENTEEN KUIVUMINEN

3.1 Betonin kuivumisprosessi

Betonirakenteen riittävä kuivuminen ennen päällystämistä tai pinnoittamista on merkittävässä roolissa pyrittäessä hyvään rakennustapaan ja asumisterveyden kannalta turvalliseen lopputulokseen. Sisätiloihin rajoittuvat betonirakenteet kuten seinät ja lattiat useimmiten päällystetään jollakin toisella materiaalilla. Yleisimmin käytettyjä materiaaleja ovat maalit, keraamiset laatat, muovimatot ja parketit. Betonirakenteen tulee kuivua päällystemateriaalikohtaisen kosteusraja-arvon alapuolelle ennen kuin ryhdytään pinnoitus ja päällystystöihin. Jos betonirakenne päällystetään liian kosteana, voi seurauksena olla kosteusvaurio. Kosteusvaurio voi ilmetä tällaisessa tapauksessa mm. päällysteen irtoamisena, värjäytymisenä, hajuhaittana tai jopa terveydelle haitallisina mikrobeina ja emissioina. (Merikallio 2002, 32.)

Betonin kovettumisreaktiota kutsutaan hydrataatioksi. Tässä reaktiossa osa betonin valmistamiseen käytetystä vedestä sitoutuu betoniin kemiallisesti. Betonin kuivuminen on sekä edellä mainittua sitoutumiskuivumista että haihtumiskuivumista. Betonin valmistamiseen käytetyn sementin määrä vaikuttaa merkittävästi sitoutumiskuivumisen osuuteen kuivumisesta. Mitä enemmän sementtiä on käytetty sitä nopeampaa betonin kuivuminen on. Erikoisbetonien nopea kuivuminen perustuukin pääosin suureen sementtimäärään. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 20.)

Normaalin betonin kuivuminen on riippuvainen useasta eri tekijästä ja on suhteellisen hidasta verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. Kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. betonin ominaisuudet, kuivumisolosuhteet ja rakenneratkaisut. Betoni on huokoinen materiaali ja pystyy näin ollen luovuttamaan itsestään kosteutta ympäristöön sekä myös vastaanottamaan sitä. Betonin kyky imeä vettä on kuitenkin merkittävin tekijä mahdollisessa betonin kastumisessa. Rakentamisen aikana betonirakenteet joutuvat lähes poikkeuksetta erilaisten vesirasitusten alaisiksi. Tällaisia ovat mm. lumi- ja vesisaateet, kosteutta tuovat työvaiheet sekä vesivahingot. Mitä alhaisempi betonin lujuusluokka on eli mitä korkeampi vesi-sideainesuhde on, sitä suurempi vaikutus kastumisella on betonin kuivumiseen. Kastuminen vaikuttaa sitä suuremmissa määrin mitä myöhemässä vaiheessa betonin kuivumista kastuminen tapahtuu. Betonin kuivuminen on mer-

kittävä sisävalmistusvaihetta tahdistava tekijä. Kuivumisella on merkittävä vaikutus rakentamisaikatauluun ja jos betonirakenteen kuivumista ja sen vaatimaa aikaa ei oteta kunnolla huomioon on usein seurauksena viivästyksiä ja pahimmassa tapauksessa liian määrän rakenteen päällystämistä aiheutunut kosteusvaurio. (Merikallio 2002, 32; Betonitekniikan oppikirja 2004, 432–433.)

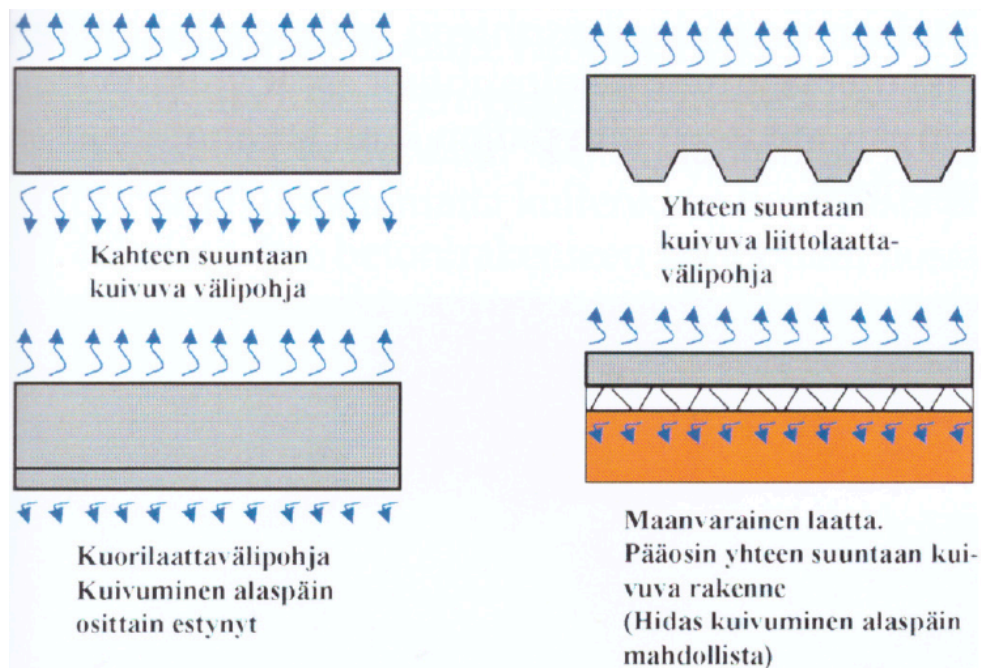
Merikallion (2002, 32) mukaan yleisimmille betonirakenteille pystytään laatimaan kuivumisaika-arviot silloin, kun rakenneratkaisu ja tavoitekosteus ovat tiedossa. Laadittua kuivumisaika-arviota voidaan verrata suunniteltuun toteutusaikatauluun. Kuivumisaika-arvion perusteella on mahdollista määrittää minkälaiset kuivumisolosuhteet kohteeseen tulisi luoda, jotta betonirakenteen kuivuminen tapahtuisi tavoiteaikataulun mukaisesti. Jos kuivumisaika näyttää muodostuvan pidemmäksi kuin sille on varattu aikaa toteutusaikataulusta, voidaan menettelytapoja muuttaa aikataulussa pysymiseksi. Tällöin voidaan parantaa kuivumisolosuhteita, miettiä erilaisten kuivaimien käyttöä, valita nopeammin päällystettävissä oleva betonilaatu tai vaihtaa päällystys- ja pinnoitusmateriaaleja paremmin kosteutta kestäviin materiaaleihin. (Merikallio 2002, 32.)

3.2 Betonirakenteen kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Betonirakenteen paksuus, kerroksellisuus, kuivumissuunta ja ympäristöolosuhteet vaikuttavat merkittävästi siihen, miten nopeasti kosteus pääsee rakenteen pintaan ja siitä haihtumaan ympäröivään tilaan. Rakennepaksuuden kaksinkertaistuessa tai jos kuivuminen toiseen suuntaan on estynyt voi kuivumisaika kasvaa jopa nelinkertaiseksi olosuhteista riippuen. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 22–23.)

Kun olosuhteet ovat hyvät, nopeimmat betonit voivat kuivua jopa viikossa. Huonoissa tai kuivumisen kannalta epäedullisissa olosuhteissa kuivuminen saattaa kestää jopa vuoden ennen kuin betoni on pinnoitettavissa. Mitä alhaisempi ympäröivän ilman suhteellinen kosteus (RH) on, sitä paremmin betoni kuivuu. Optimaalisimpana ilman suhteellisenä kosteutena betonin kuivumiselle pidetään noin 50%. (Merikallio 2002, 35.)

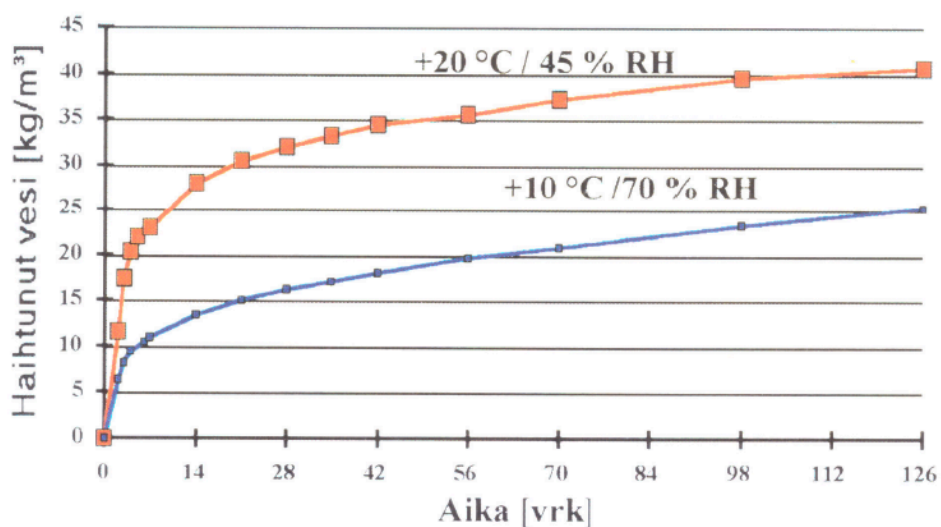
Kuviossa 2 kuvataan muutamien erilaisten rakenneratkaisujen vaikutusta betonin kuivumisnopeuteen ja -suuntaan. Paksumpi rakenne hidastaa kuivumista. Kuivuminen hidastuu merkittävästi myös silloin jos haihtuminen on mahdollista vain yhteen suuntaan.



KUVIO 2. Rakennerratkaisun vaikutus kuivumisen suuntaan ja nopeuteen (Merikallio 2002)

Betonin kuivumisnopeuteen vaikuttaa suuresti vallitsevat olosuhteet. Lämpötila, ilmavirtojen liikkuvuus ja suhteellinen kosteus vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti kosteus haihtuu betonirakenteen pinnalta sekä rakenteen sisällä oleva kosteus edelleen siirtyy rakenteen pintaan. Sitoutumiskuivumisen kannalta betonin korkeampi lämpötila nopeuttaa ja tehostaa sementin hydratoitumista. (Betonitekniikan oppikirja 2004, 434.)

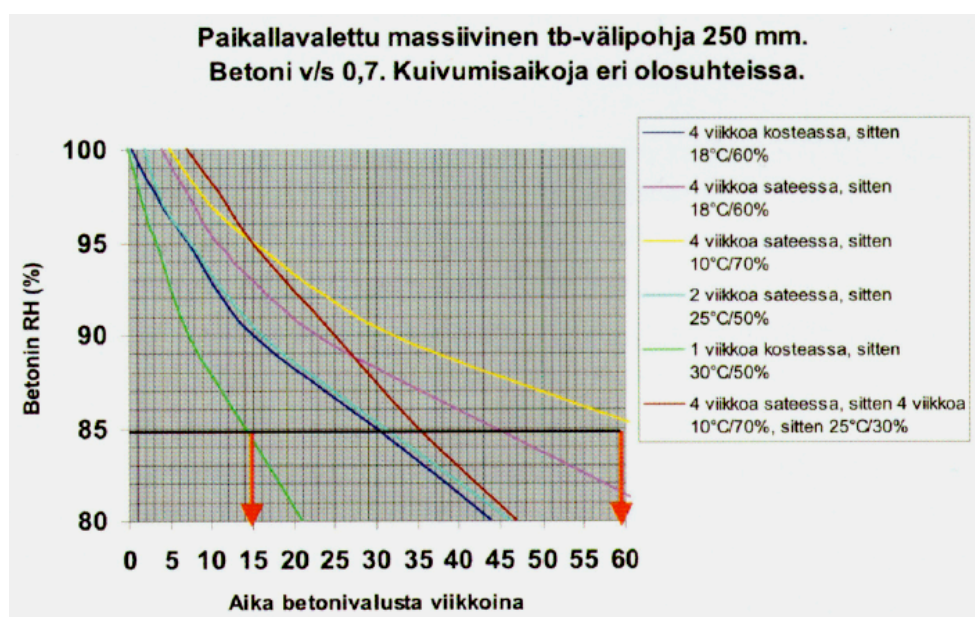
Veden haihtuminen betonista K30 eri olosuhteissa



KUVIO 3. Ympäristön lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaikutus betonista K30 haihtuvan veden määrään (Merikallio 2002)

Betonin kuivumiseen lämpö vaikuttaa merkittävästi. Sitä paremmin kosteus poistuu, mitä lämpimämpää betoni on. Myös ympäristön lämpötilalla ja suhteellisella kosteudella on merkitystä kuivumiseen (kuvio 3). Kun ympäröivän ilman lämpötila nousee, se pystyy sitomaan itseensä suuremman määrän betonista haihtuvaa kosteutta. Kun ilmavirrat saadaan vielä liikkeelle kuivuminen tehostuu entisestään. +20°C on useimmiten edellytys betonirakenteen riittävän nopealle kuivumiselle. Kuivuminen nopeutuu merkittävästi jos rakenteen lämpötila saadaan nostettua +25–30°C:een. Tarvittaessa pika-kuivatusta, kuten esimerkiksi vesivauriokohteissa, voidaan käyttää tätäkin korkeampia lämpötiloja. (Merikallio 2002, 35–36.)

Rakennustyömaalla olosuhteet eivät useinkaan ole vakioituneet. Vallitsevien olosuhteiden välillä voi olla suurtakin vaihtelua, joka vaikuttaa kuivumisaikaan (kuvio 4). Valun jälkeen esimerkiksi betonilaatta saattaa joutua olemaan useita viikkoja kuivumisen kannalta huonoissa olosuhteissa kuten kylmässä ja kosteassa tai pahimmassa tapauksessa vesisateessa; haihtumiskuivumista ei tällöin pääse tapahtumaan betonin pinnalta. Tästä syystä esimerkiksi betonilaatta tulisi suojata sateelta mahdollisimman pian. Kun vesikaide on valmis, aukot ummistettu ja lämmitys aloitettu on mahdollista luoda rakenteen ympärille kuivumisen kannalta otolliset olosuhteet. Tällöin ympäristö rakenteen ympärillä saadaan riittävän lämpimäksi, suhteellinen kosteus riittävän alhaiseksi ja lisäkoskuden kuten sateen pääsy rakenteeseen on estetty ja betonin kuivuminen voi alkaa. (Merikallio 2002, 36.)



KUVIO 4. Paikalla valetun 250 mm paksun teräsbetonilaatan arvioituja kuivumisaikoja erilaisissa kuivumisolosuhteissa (Merikallio, Niemi & Komonen 2007)

3.2.1 Betonin kuivumisen nopeuttaminen

Rakentamisen aikataulujen kireys aiheuttaa haasteita betonirakenteiden kuivumiselle. Tämän lisäksi mm. vuodenaikojen vaihtelu ja ympäristön vaihtelevat olosuhteet tuovat omat haasteensa rakenteiden pinnoituskuivaksi saamiseen. Keväällä betonirakenteen kuivumiselle on luontaisesti otollisemmat olosuhteet kuin vastaavasti syksyllä. Betonirakenteen kuivumista voidaan kuitenkin nopeuttaa muutamain keinoin ja olosuhteita hallitsemalla.

Nopeammin kuivuvien betonilaatujen käyttäminen vauhdittaa kuivumista. Normaali-betonia nopeampi kuivuminen perustuu yleensä pienempään vesisideainesuhteeseen (v/s) sekä massan huokostamiseen. Kuivuminen nopeutuu myös betonin runkoaineen maksimiraekokoa suurettamalla ja käyttämällä jäykempää massaa. Olosuhteita hallitsemalla ja niihin välittömästi reagoimalla voidaan pienentää betonirakenteen kastumista. Kun rakenteeseen päässyt vesi tai lumi poistetaan mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti, luodaan edellytykset nopeammalle kuivumiselle. Kuivumista nopeuttaa myös rakenteen ympärille saadut hyvät olosuhteet, riittävä lämpötila (vähintään $+20^{\circ}\text{C}$) ja alhainen ilman suhteellinen kosteus (alle 50 % RH). Kun rakenteen pinta pidetään puhtaana, betonin pinnasta hiotaan ns. sementtiliima pois (jotta betonin pinnan huokokset ovat auki) ja vältetään kosteuden haihtumista estävien tavaroiden varastointia, niin mahdollistamme ilmavirtojen vapaamman liikkumisen ja haihtumiskuivuminen tehostuu. Tehokkain tapa nopeuttaa betonirakenteen kuivumista on kuitenkin itse betonin lämpötilan nostaminen. (Merikallio 2002, 37.)

3.3 Betonirakenteen kuivumisajan arviointi

Betonirakenteiden kuivumiselle on olemassa arviointiohjeisto. Kuivumisaika-arviot ovat aina laskennallisia ja suuntaa antavia. Ne on suunnattu käytettäväksi rakennusaikataulujen ja kuivatuksen suunnitteluun. Todellinen arvio betonin sen hetkisestä kosteustilasta ja varmuus rakenteen päällystettävyydestä saadaan ainoastaan betonin rakennekosteusmittauksilla.

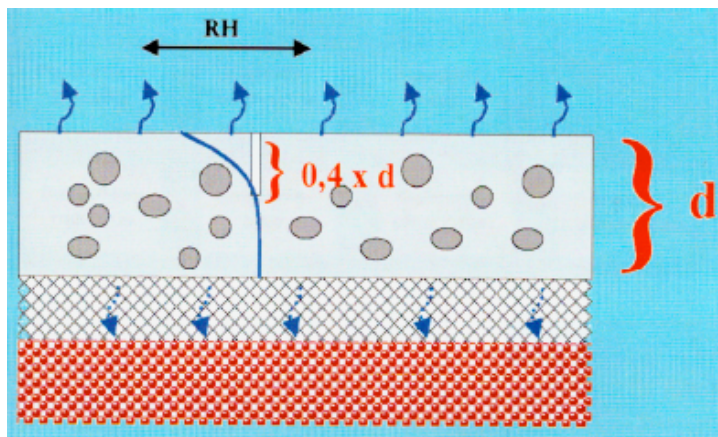
Kuivumisaika-arviota voidaan verrata työmaan yleisaikataulussa sille varattuun aikaan. Jos valun ja aikataulun mukaisen päällystystyön välinen aika on kuivumisaika-arviota

lyhyempi, voidaan tehdä muutoksia betonin koostumukseen tai miettiä kuinka kuivumisolosuhteita pystyttäisiin parantamaan betonin kuivumisen nopeuttamiseksi. Aikataulua ei tulisi tehdä kuivumisen osalta liian kireäksi, koska todelliset olosuhteet työmaalla voivat olla suunniteltuja huonommat. Laskemalla kuivumisaika-arvion valetulle rakenteelle, ottaen huomioon peruskuivumiskäyrät ja muunnoskertoimet, saadaan luotettavampi arvio betonirakenteen kuivumiselle kuin rakentajien suusta yleisesti kuultu ”betoni kuivuu sentti per viikko”-lausahdus. Seuraavaksi tarkastellaan maanvastaisen betonilaatan ja massiivisen (välipohja) teräsbetonilaatan kuivumisaika-arvioita.

3.3.1 Maanvastaisen betonilaatan kuivumisaika-arvio

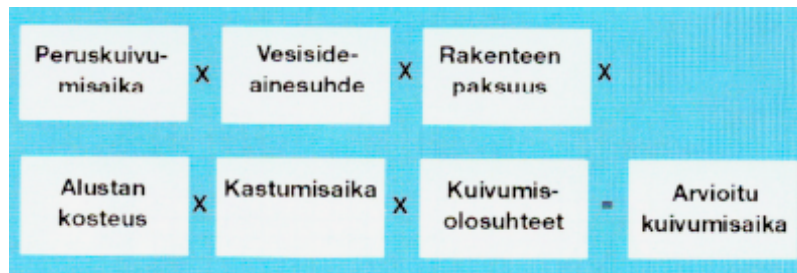
Tässä kappaleessa lasketaan esimerkki arvio maanvastaisen betonilaatan kuivumiselle. Laskennassa käytettävät laskentakaava, peruskuivumiskäyrä ja kertoimet on esitetty Tarja Merikallion kirjassa ”Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi” (2002).

Kuivumisaika-arviota varten tarvitsemme tiedon rakenteen tyypistä (kuvio 5), laskentakaavan (kuvio 6), maanvastaisen laatan peruskuivumiskäyrän (kuvio 7) ja muunnoskertoimet (kuvio 8).



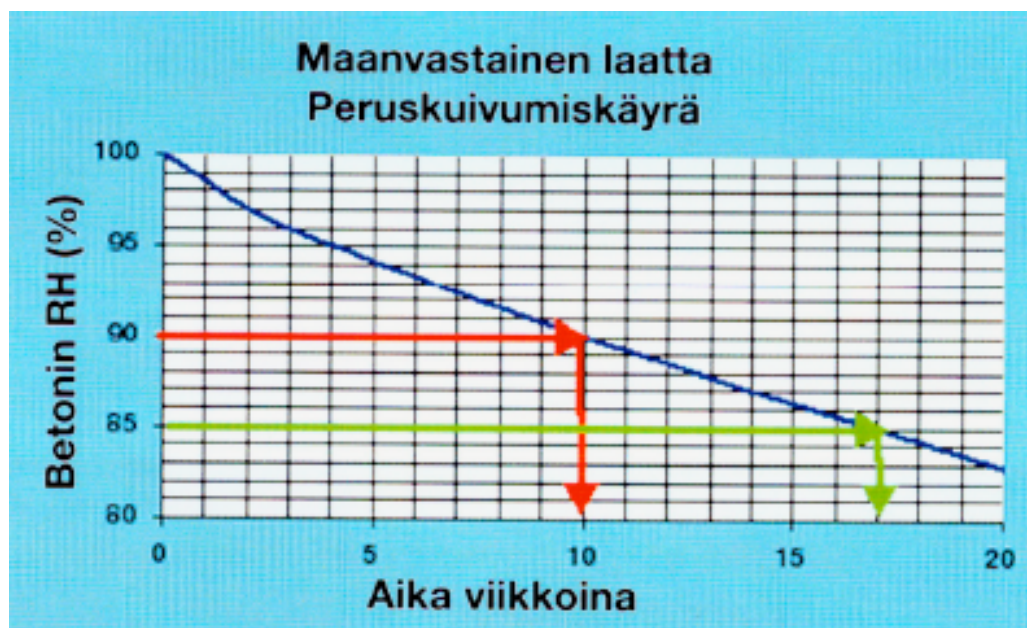
KUVIO 5. Rakenteen kuivumisen arviointisyvyys (A) on $0,4 \times$ rakenteen paksuus (d) (Merikallio 2002)

Kuivumisaika-arvion laskentakaava (kuvio 6) on usean tekijän kertolasku jonka tulo on rakenteen arvioitu kuivumisaika.



KUVIO 6. Laskentakaava (Merikallio 2002)

Peruskuivumiskäyrältä (kuvio 7) valitaan betonirakenteen tavoitekosteus jonka jälkeen käyrältä nähdään rakenteen peruskuivumisaika viikkoina. Laskentaesimerkissä käytämme kuivumisen tavoitekosteutena arvoa 85 % RH, joka on useiden lattian päällystysmateriaalien suhteellisen kosteuden enimmäisarvo arvostelusyvyydeltä (A). Muunnoskerroimet (kuvio 8) jotka sijoitamme laskukaavaan saamme muunnoskerrointaulukosta.



KUVIO 7. Maanvastaisen laatan peruskuivumiskäyrä (Merikallio 2002)

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

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

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

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

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

KUVIO 8. Muunnoskerroimet (Merikallio 2002)

Laskentaesimerkki:

Lähtötiedot, 100 mm paksu maanvarainen betonilaatta, betoni K30 (C25/30), ei kastunut, kosteissa olosuhteissa yli kaksi viikkoa, kuivatuksen alettua olosuhteet +18°C/50 % RH. Tavoitekosteus laatalle 85 % RH. Betonin K30 (C25/30) vesisideainesuhde (v/s) on 0,7.

$$\begin{aligned}
 & \rightarrow (\text{Peruskuivumisaika } 17 \text{ viikkoa}) \times (\text{v/s -kerroin } 1,0) \times (\text{rakenteen paksuuskerroin } 1,7) \times (\text{alustan kosteuskerroin } 1,0) \times (\text{kastumiskerroin } 1,0) \times (\text{olosuhdekerroin } 0,9) \\
 & = 17 \times 1,0 \times 1,7 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,9 \\
 & = 26,01 \\
 & \approx 26 \text{ viikkoa (kuivumisaika-arvio)}
 \end{aligned}$$

100 mm paksu maanvarainen betonilaatta olisi tässä esimerkissä kuvatuissa olosuhteissa kuivumisaika-arvion mukaan pälystettävissä 26 viikon kuluttua valusta. Tässä esimer-

kissä meillä oli varsin kohtalaiset olosuhteet kuivatuksen alettua. Tarkastellaanpa vielä miten tilanne muuttuu jos kuivumisolosuhteet ovat merkittävästi huonommat.

➔ Jos kuivumisolosuhteet ovat +10°C/70 % RH. Tämän kaltaiset olosuhteet olisivat mahdolliset esimerkiksi syksyllä ja tilanteessa jossa kuivumassa olevan betonilaatan ympäristön olosuhteista ei ole huolehdittu kuivumisen kannalta riittävästi. Muut lähtötiedot ovat entisellään.

$$= 17 \times 1,0 \times 1,7 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,4$$

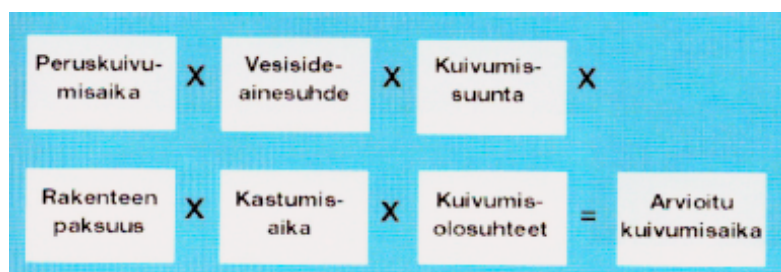
$$= 40,46$$

$$\approx 40,5 \text{ viikkoa (kuivumisaika-arvio)}$$

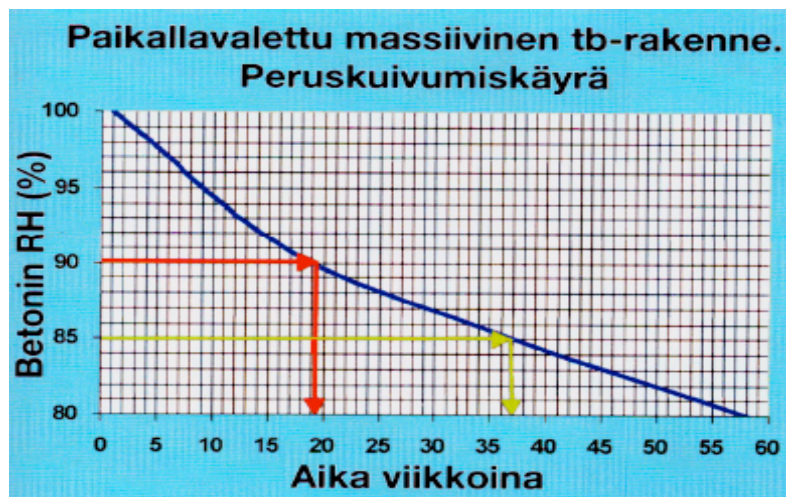
Kuivumisolosuhteiden ollessa merkittävästi huonommat, kuivumisaika-arvio pitenee n. 3,5 kuukautta. Tällaisella kuivumisajan pitenemisellä on jo merkittävät vaikutukset rakentamisaikatauluun. Rakennustyömaalla olosuhteet eivät pysy useinkaan samanlaisina koko kuivumisaikaa. Siksi on tärkeää seurata betonin kuivumista tasaisin väliajoin rakennekosteusmittauksilla.

3.3.2 Massiivisen teräsbetonilaatan (välipohja) kuivumisaika-arvio

Massiivisen paikalla valetun teräsbetonilaatan kuivumisaika-arvion laskentakaava (kuvio 9) eroaa hiukan maanvastaisen laatan laskentakaavasta. Paikalla valetulle tb-rakenteelle on oma peruskuivumiskäyrä (kuvio 10) sekä oma kerroin taulukko (kuvio 11). Lisäksi laskentaan vaikuttaa onko rakenne (kuvio 12) yhteen vai kahteen suuntaan kuivuva rakenne.



KUVIO 9. Laskentakaava, paikalla valettu massiivinen tb-rakenne (Merikallio 2002)



KUVIO 10. Peruskuivumiskäyrä (Merikallio 2002)

Vesisideaine- suhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
200	0,7	0,7	0,7	0,8
230	0,9	0,9	0,9	0,9
250	1,0	1,0	1,0	1,0
280	1,3	1,1	1,1	1,1
300	1,6	1,4	1,3	1,2

Kuivumis- suunta	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
Kahteen suuntaan	1,0	1,0	1,0	1,0
Yhteen suuntaan	3,2	2,6	2,3	2,0

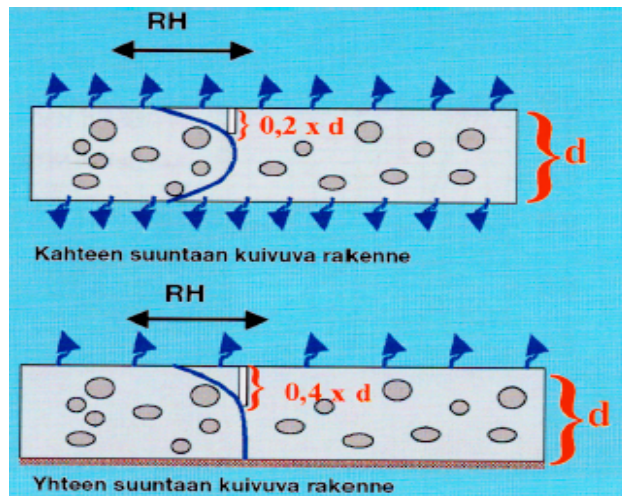
Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

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

KUVIO 11. Muunnoskertoimet massiiviselle tb-laatalle (Merikallio 2002)

Tässä laskentaesimerkissä käytämme rakenteena kahteen suuntaan kuivuvaa välipohjalaattaa (kuvio 12). Betonirakenteen kuivumisen arviointisyvyys (A) on kahteen suun-

taan kuivuvassa rakenteessa $0,2 \times$ rakenteen paksuus (d) ja yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa $0,4 \times$ rakenteen paksuus (d).



KUVIO 12. Yhteen ja kahteen suuntaan kuivuva rakenne (Merikallio 2002)

Kuivumisaika-arvion laskeminen massiiviselle paikalla valetulle teräsbetonilaatalle on hyvin samankaltainen kuin maanvastaisen laatan kuivumisaika-arvion laskeminen. Molemmille on oma peruskuivumiskäyränsä, laskentakaavansa sekä muunnoskerroin taulukkonsa.

Laskentaesimerkki:

Lähtötiedot, 230 mm paksu välipohja, betoni K30 (C25/30, $v/s=0,7$), kastunut sateessa yli kaksi viikkoa, kuivatuksen alettua olosuhteet $+18^{\circ}\text{C}/50\%\text{RH}$. Tavoitekosteus 85 % RH.

$$\begin{aligned}
 & \rightarrow (\text{Peruskuivumisaika } 37 \text{ viikkoa}) \times (v/s \text{ -kerroin } 1,0) \times (\text{kuivumissuuntakerroin } 1,0) \\
 & \times (\text{paksuuskerroin } 0,9) \times (\text{kastumisaikakerroin } 1,5) \times (\text{olosuhdekerroin } 0,9) \\
 & = 37 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,9 \times 1,5 \times 0,9 \\
 & = 44,955 \\
 & \approx 45 \text{ viikkoa (kuivumisaika-arvio)}
 \end{aligned}$$

Kuivumisaika-arvio kuulostaa melko pitkältä. Näin pitkän kuivumisajan sovittaminen rakentamisaikatauluun ei ole useinkaan realistista. Tällaisen arvion pohjalta onkin mahdollista tehdä muutoksia suunnitelmiin ja valita esimerkiksi betoniksi nopeammin kuivuva NP30 -betoni. Tarkastellaan vielä vertailun vuoksi kuinka kuivumisaika-arvio muuttuu jos muut olosuhteet pysyvät ennallaan mutta vaihdamme betonilaaduksi NP30.



Olosuhteet pysyvät muuten samoina mutta betoni NP30 jonka vesisideainesuhte (v/s) on 0,5. Tavoitekosteus edelleen 85 % RH. (Peruskuivumisaika 37 viikkoa) x (v/s – kerroin 0,5) x (kuivumissuuntakerroin 1,0) x (paksuuskerroin 0,9) x (kastumisaikakerroin 1,2) x (olosuhdekerroin 0,9)

$$= 37 \times 0,5 \times 1,0 \times 0,9 \times 1,2 \times 0,9$$
$$= 17,982$$

≈ 18 viikkoa (kuivumisaika-arvio)

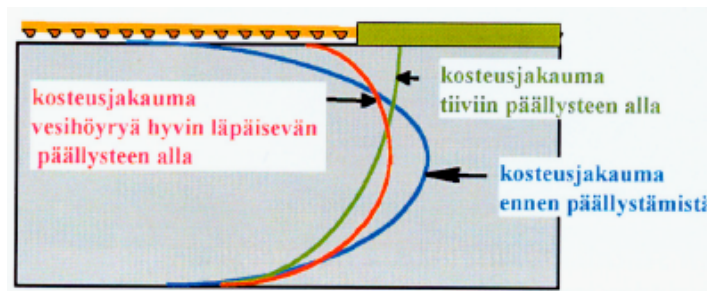
Kuivumisaika-arvioiden vertailussa huomaamme, että pelkästään betonilaadun vaihtamisella pystymme nopeuttamaan kuivumisaikaa n. puoli vuotta. Nämä esimerkit osoittavat, että jo suunnitteluvaiheessa ja aikatauluja laadittaessa on tärkeää miettiä ja varautua betonirakenteen riittävään kuivumisaikaan. Kuivumista tulee seurata kuten myös ympäristön olosuhteita jotta varmistutaan siitä, että rakenteen kuivuminen etenee suunniteltujen aikataulujen mukaan. Olosuhteiden sekä kuivumisen tarkalla seurannalla ja dokumentoinnilla saadaan tarvittava tieto rakenteen päällystyspäätöksen tueksi.

4 BETONIRAKENTEEN PÄÄLLYSTETTÄVYYDEN ARVIOINTI

Ennen betonirakenteen päällystämistä on varmistuttava siitä, että rakenne on riittävän kuiva päällystettäväksi. Tämä päällystettävyyden arvioiminen tehdään suorittamalla kattavasti kosteusmittauksia rakenteesta. Työmaaoloissa tyypillisin tapa tarkkojen kosteusmittauksien tekemiseen on ns. porareikämittaus. Pintakosteudenosoittimet eivät sovellu betonirakenteen päällystettävyyden arviointiin. Betonirakenteen kuivumista seurattessa mittauksia olisi hyvä tehdä säännöllisesti muutaman viikon välein.

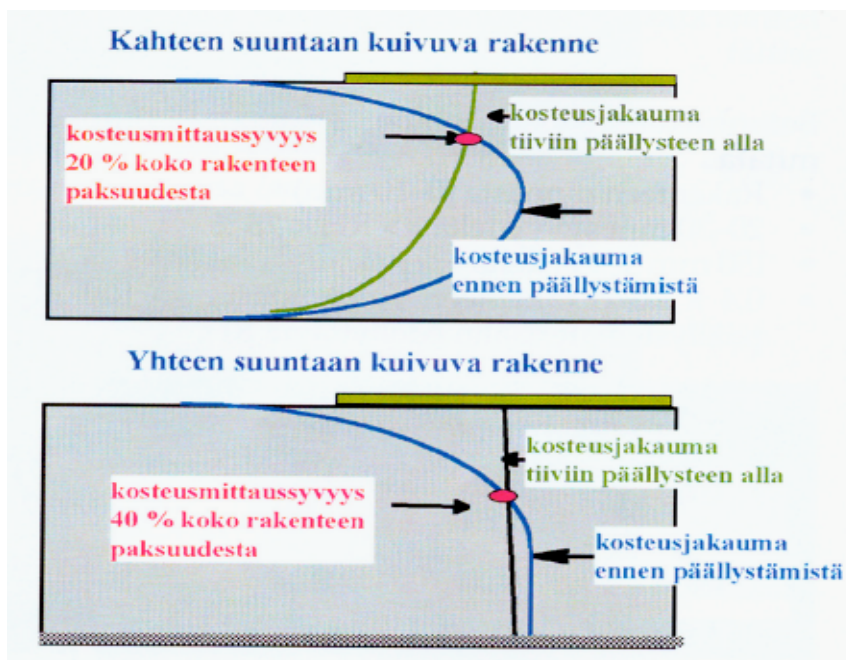
Kosteusmittausten avulla on tarkoitus varmistua siitä, että betonin kosteussisältö on riittävän alhainen sekä siitä ettei suhteellinen kosteus (RH) nouse päällysteen alla yli kriittisen arvon (Merikallio 2002, 23). Kosteus betonirakenteen sisällä saa olla hyvinkin korkea, kunhan välittömästi päällysteen alla kosteus ei nouse liian korkeaksi. Kosteuden poistuminen rakenteesta hidastuu päällystämisen jälkeen. Kosteuden poistumiseen vaikuttaa merkittävästi rakenteen vesihöyrynläpäisevyys. Rakenteen pintaosien ollessa riittävän kuivat (alle 75 % RH) ennen pinnoittamista kosteuden siirtyminen syvemmältä betonista on niin hidasta, että kosteus haihtuu vesihöyryä läpäisevän päällysteen läpi eikä kerääny sen alle aiheuttaen vaurioita. (Betonitekniikan oppikirja 2004, 435.)

Kun betonirakenne kuivuu siihen muodostuu yleensä kosteusjakauma. Kosteusjakauma on useimmiten sellainen, että rakenteen pintaosat ovat kuivemmat ja mentäessä syvemmälle rakenteeseen kosteuspitoisuus kasvaa. Kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa ylä- ja alapinnan kosteus voi olla hyvin lähellä toisiaan ennen pinnoittamista (kuvio 13). Kosteusjakauma voi olla erittäin jyrkkä. Esimerkiksi pinnan läheisyydessä (0-1 cm) suhteellinen kosteus voi olla 30 % RH, 2 cm syvyydellä RH voi olla 75 %, 5 cm syvyydellä 90 % RH ja 7 cm syvyydellä jo yli 95 % RH. (Betonitekniikan oppikirja 2004, 435.)



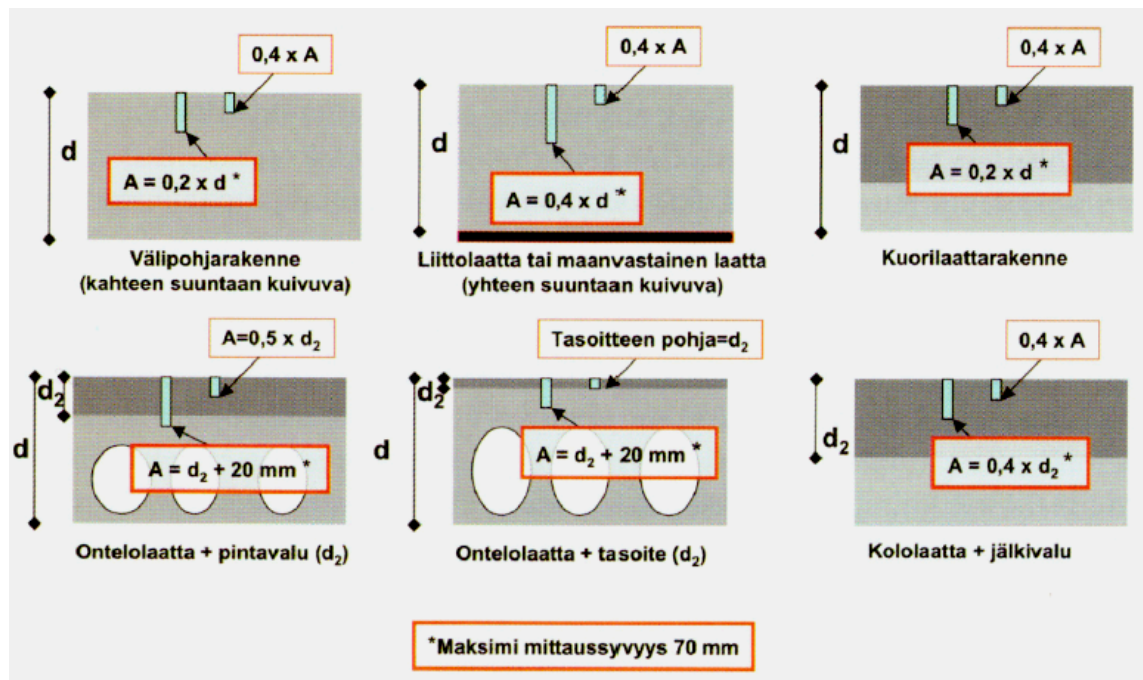
KUVIO 13. Betonirakenteen kosteusjakaumia ennen ja jälkeen päällystämisen (Merikallio 2002)

Betonirakenteen kosteus mitataan usealta eri syvyydeltä, jotta saadaan muodostettua käsitys betonin kosteusjakaumasta. Mittaussyvyyksiä tulisi olla vähintään kaksi, mutta jos mahdollista niin useampia. Kosteusmittaussyvyudet perustuvat kokeelliseen tutkimukseen (Hedenblad, G. 1995), jonka mukaan tiiviin päällysteen alla kosteus nousee enimmillään siihen arvoon, mikä kahteen suuntaan kuivuvassa betonirakenteessa vallitsi ennen päällystämistä syvyydellä $0,2 \times$ rakenteen paksuus. Vastaava syvyys yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa on $0,4 \times$ rakenteen paksuus (kuvio 14). Päällystettävyyteen vaikuttaa myös pintaosien kosteus. Tämä vaikuttaa siten, että mitä kuivemmat rakenteen pintaosat ovat, sitä hitaampaa kosteuden siirtyminen kohti pintaa on. Kun betonin suhteellinen kosteus 2–3 cm:n syvyydellä on alle 75 %, voidaan rakenteen pintaosia pitää riittävän kuivana päällystämiseksi. (Merikallio 2002, 23.)



KUVIO 14. Kosteuden uudelleen jakautumiseen perustuvat mittaussyvyudet (Merikallio 2002)

Betonilattiarakenteen mittaussyvyudet vaihtelevat. Mittaussyvyys määräytyy rakenteen paksuuden ja rakenneratkaisun mukaan. Edellä mainittujen arviointisyvyyksien lisäksi rakenteen kosteus tulisi mitata ennen päällystämistä rakenteen pinnasta (0–1 cm) sekä syvyydeltä 10–30 mm, missä suhteellisen kosteuden tulee olla pienempi kuin arviointisyvyydellä. Maksimisyvyyttenä suhteellisen kosteuden mittaamiselle pidetään 70 mm. Erilaisten betonilattiarakenteiden mittaussyvyudet on esitetty kuviossa 15.



KUVIO 15. Betonilattiarakenteen mittaussyvyudet (Merikallio, Niemi & Komonen 2007)

Arviointisyvyys (A) on rakenneratkaisusta ja rakenteen paksuudesta riippuvainen mittaussyvyys, jossa päällystemateriaalin edellyttämä kriittinen suhteellisen kosteuden arvo (RH %) on alitettava. Kriittinen kosteusarvo on riippuvainen päällystykseseen käytettävästä materiaalista (taulukko 1). Kriittinen kosteusarvo tarkoittaa arvoa (RH %) jonka alle betonilattiarakenteen tulee kuivua ennen päällysteen asennusta. Tämän lisäksi betonilattiarakenteen pintaosien suhteellinen kosteus tulisi olla alle 75 % kuten edellä on mainittu.

TAULUKKO 1. Eri päällystemateriaalien vaatimia alustabetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvoja eri julkaisuissa (Merikallio 2009, 37)

Alustabetonin suhteellisen kosteuden RH (%) enimmäisarvot päällystyshetkellä				
Päällystemateriaali	SisäRYL 2000	by45/BLY7 Betoni lattiat 2002	by 47 Betoniraken- tamisen laatuohjeet 2007 ¹⁾	Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet (2007) ^{1) 2)}
Alustaan liimattava lautaparketti (ilman puun ja betonin välistä kosteudeneristystä)	60 %	85 %	-	85 % (normaalibeton) 90 % (v/s < 0,5)
Mosaikkiparketti	80 %	80 % (pinta < 75 %)	85 % 90 % (v/s < 0,5)	85 % 90 % (v/s < 0,5)
Kelluva lautaparketti (puun ja betonin välissä kosteudeneristys)	80 %	90 %	85 % 90 % (kost. kestävä tasoite tai ei tasoitetta)	85 %
Laminaatti (puun ja betonin välissä kosteudeneristys)	80 %	-	85 %	85 %
Huopa ja solumuovipohjaiset muovimatot	85 %	85 %	85 %	85 %
Muovimatot ilman huopa- tai solumuovipohjaa	90 %	90 %	85 %	85 %
Kumimatot	85 %	85 %	85 %	85 %
Linoleumi	90 %	90 %	85 %	85 %
Tekstiilimatot, joissa alusrakenne	85 %	85 %	85 %	85 %
Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta	90 %	90 %	90 %	90 %
Muovilaatat	90 %	90 %	90 %	90 %

1) Kaikkien materiaalien kohdalla edellytetään lisäksi, että betonin suhteellinen kosteus rakenteen pintaosissa 1-3 cm:n syvyydellä on alle 75 %.

2) Julkaisussa *Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällyttäminen (2007)* on samat arvot.

5 BETONIRAKENTEEN KOSTEUDEN MITTAUS

Betonirakenteista tehtävillä erilaisilla kosteuden mittauksilla pyritään joko kartoittamaan kosteusvaurioituneita alueita ja niiden laajuutta tai pyritään selvittämään rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä ja kosteusjakaumaa. Mittaustulokset auttavat arvioimaan sitä kuinka paljon rakenteessa on ylimääräistä kosteutta ympäristöönsä nähden sekä onko rakenne päällystettävissä tai pinnoitettavissa ilman kosteusvaurioriskiä. Tehtyjen mittausten perusteella voidaan arvioida kosteusvaurion laajuutta ja syytä sekä mahdollista kuivatustarvetta. (Merikallio 2002, 11.)

Kosteusmittaukset voidaan jakaa kolmenlaisiin mittauksiin, lähtötasomittauksiin, seurantamittauksiin ja päällysteiden asennettavuusmittauksiin. Näiden lisäksi tulee suorittaa mittauksia sisäilmasta. Näin varmistutaan siitä että olosuhteet rakenteiden kuivumiselle ovat riittävän hyvät. Kun tarkasteltava rakenne ei pääse enää kastumaan, voidaan suorittaa lähtötasomittaukset. Tämä tapahtuu usein siinä vaiheessa kun rakennuksen vesikatto on asennettu ja aukot ummistettu. Ennen lähtötasomittauksia olisi suositeltavaa, että mitattavan tilan lopullinen tai tilapäinen lämmitysjärjestelmä olisi ollut käytössä jonkin aikaa. Seurantamittauksille suositeltava väli olisi 2–4 viikkoa ja niillä varmistetaan rakenteiden kuivumisen edistyminen ja työmaan aikataulussa pysyminen. Seurantamittaustulosten perusteella voidaan tehdä tarvittaessa ratkaisuja esimerkiksi kuivumisolosuhteiden parantamiseksi tai kuivumisen edistymisen nopeuttamiseksi. Varsinaiset päällystettävyyssmittaukset tulisi suorittaa 0–2 viikkoa ennen rakenteiden vedeneristämistä tai päällystämistä. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 85.)

Betonin suhteellisen kosteuden mittaukset tehdään joko rakenteeseen poratusta reiästä tai rakenteesta otetuista materiaalinäytepaloista. Nämä mittausmenetelmät ovat ainetta rikkovia ja vaativat paljon aikaa, siksi mittauspisteiden lukumäärä on aina rajallinen. Vauriotutkimuksissa voidaan mittauskohdan valinnassa käyttää apuna esimerkiksi pintakosteusmittauksia. Pintakosteudenosoittimella tehtyjen mittausten perusteella ei saa koskaan tehdä päällystettävyysspäätöksiä. (Merikallio 2002, 11.)

Betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaaminen on vaativa tehtävä. Betonin ominaisuudet, olosuhteet mittauskohdassa sekä mittaustekniikka muodostavat yhdessä monia tekijöitä, jotka voivat johtaa virheelliseen mittaustulokseen. Rakenteesta otettujen

mittaustulosten perusteella tehdään usein hyvinkin suuria taloudellisia päätöksiä. Siksi luotettavan tuloksen saaminen on erittäin tärkeää. Mittaustyössä tulee noudattaa erityistä huolellisuutta, se tulee suorittaa riittävällä tarkkuudella ja saatuja tuloksia tulee tulkita oikein. Kosteusmittaajalla tuleekin olla hyvät tiedot tulosten tulkintaan vaikuttavista tekijöistä, itse työn huolellisesta suorittamisesta ja tekniikoista sekä käyttämistään mittalaitteista. (Merikallio 2002, 12.)

5.1 Kosteusmittalaitteita

Rakenteiden kosteusilanteen selvittämiseksi rakennustyömailla on käytössä pääasiassa kahden tyyppisiä mittalaitteita. Pintakosteudenosoittimia (kuva 1) jotka ovat helppokäyttöisiä, mutta usein epäluotettavia ja tarkoitettu vain suuntaa antaviin mittauksiin sekä rakenteen suhteellisen kosteuden mittaamiseen tarkoitettuja mittalaitteita (kuva 2). Suhteellisen kosteuden mittaamiseen tarkoitetuissa laitteissa on tyypillisesti erillinen lukulaite sekä erilaisia mittapäitä kosteuden ja lämpötilan mittaamista varten.



KUVA 1. Gann Hydrotest LG2 mittari ja Gann B50 pinta-anturi

Pintakosteudenosoittimia on useita eri tyyppisiä. Yhteistä niille kaikille on, että niiden toiminta perustuu mitattavan materiaalin vesipitoisuuden muuttuessa tapahtuviin materiaalin sähköisten ominaisuuksien (sähkönjohtavuus, kapasitanssi, dielektrisyys) muutoksiin. Eri mittalaitteiden välillä saattaa olla suuriakin eroja. Tästä syystä mittalaitteita

den toimintaperiaatteista sekä rakennusmateriaalien ominaisuuksien vaihtelusta johtuen mittaustulokset ovat lähinnä suuntaa antavia. (Merikallio 2002, 6.)



KUVA 2. Vaisala HM40 lukulaite ja HMP40S mittapäät tiivistettyinä porareikiin asennetuissa putkissa

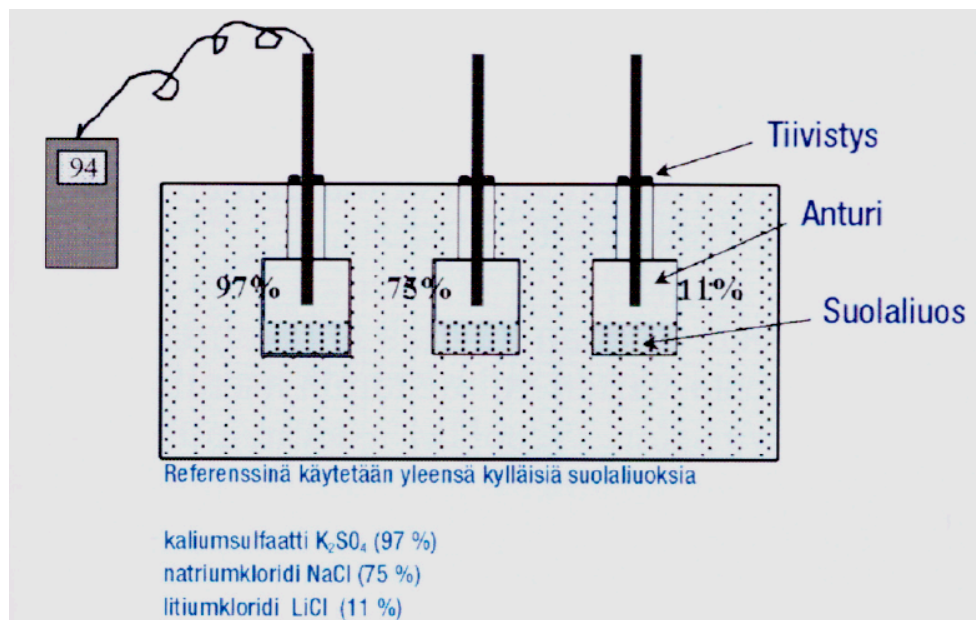
Suhteellisen kosteuden mittaamiseen betonirakenteesta löytyy mittalaitteita useilta eri valmistajilta. Yksi tunnetuimmista mittalaittevalmistajista on Vaisala oyj. Kuvassa 2 oleva Vaisalan HM40 lukulaite ja HMP40S mittapäät ovat tarkkuutensa ja luotettavuutensa johdosta mittalaitteita, jotka löytyvät usein rakenteiden kosteuden mittaajaan mittalaitesalkusta.

5.1.1 Kosteusmittausantureiden mittapäiden kalibrointi

Kosteusmittaukseen käytettävät mittapäät tulee kalibroida säännöllisesti. Tyypillinen kalibrointiväli on yleensä yksi vuosi. Kalibrointi suoritetaan sekä pintakosteudenosoittimien mittapäille (esim. Gann B50) että erityisesti suhteellisen kosteuden mittaamiseen tarkoitetuille mittapäille, kuten Vaisala HMP40S.

Varsinkin suhteellisen kosteuden mittausanturit joutuvat mittauksissa varsin vaihteleviin olosuhteisiin, millä on vaikutusta niiden tarkkuuteen. Mittauksissa antureihin tarttuvat mm. lika, pöly ja kemikaalit voivat muuttaa niiden tarkkuutta huomattavasti. Likaantu-

minen vaikuttaa mittalaitteeseen siten, että se näyttää todellista alhaisempaa suhteellista kosteutta. Toisaalta, jos anturi joutuu kondenssitilaan tai kosketuksiin vapaan veden kanssa, mittalaite voi näyttää todellista korkeampia arvoja. Kalibroinnilla pystytään vaikuttamaan merkittävästi mittaustarkkuuteen. Kalibroinnilla tarkoitetaan tunnetun vertailukosteuden eli referenssin ja mittalaitteen näyttämän eroavaisuuden määrittämistä. Referenssinä käytetään yleensä tunnettuja kylläisiä suolaliuoksia (kuvio 16). Laittevalmistajat suosittelvat yleensä, että mittapäät kalibroidaan 1–2 kertaa vuodessa. Mittausten lukumäärä ja se, mitä on mitattu vaikuttaa kuitenkin kalibroinnin tarpeeseen. Betonin kosteusmittauksia tehtäessä tulisi mittapäät kalibroida suosituksia useammin. (Merikallio 2002, 12.)



KUVIO 16. Mittapäiden kalibrointi suolaliuoksissa (Merikallio 2002)

Kalibroinnissa mittapäät asetetaan tunnettuun kosteuteen. Tämän jälkeen mittalaitteen näyttämää verrataan tähän tunnettuun arvoon. Kuviossa 16 esitetään hyvin tyypillinen kalibrointijärjestely betonin kosteusmittauksissa käytettäville mittapäille, jolloin oleelliset vertailukosteudet ovat 75 % RH ja 97 % RH. Edellisten lisäksi kalibrointi tehdään usein lisäksi vertailukosteudessa 11 % RH. Mittalaitteiden mittaustarkkuus on kalibroinnin jälkeen yleensä alhaisissa kosteuksissa alle ± 2 % ja korkeammissa kosteuksissa alle ± 3 %. Jos mittalaitteen mittapää on kalibroimaton, voi virhe olla jopa ± 10 % yksikköä. (Merikallio 2002, 12–13.) Kuvassa 2 olevista mittapäistä (HMP40S) Vaisala ilmoittaa, että suurin virhe kalibroinnin jälkeen on $\pm 1,5$ % RH.

5.2 Pintakosteusmittaus

Pintakosteusmittaus suoritetaan pintakosteudenosoittimella joita yleisesti kutsutaan pintakosteusmittareiksi. Mittareita on useita erilaisia ja usein valmistaja on ohjelmoinut näihin valmiiksi vertailuarvoja erityyppisille materiaaleille. Pintakosteusmittaus ei anna tarkkaa tietoa rakenteen kosteustilanteesta. Pintakosteusmittaus tehdään usein ns. referenssikohtamenettelyinä. Siinä pyritään löytämään rakenteesta mahdollisimman kuiva kohta ja saatuja lukemia verrataan muualta rakenteesta saatuihin lukuihin. Pintakosteusmittausta käytetään usein esimerkiksi kosteusvauriokohteissa kosteusjakaumakartan tekoon. Tällöin pintakosteudenosoittimella kartoitetaan mahdollisesti vaurioitunutta aluetta.

Pintakosteusmitattavissa tutkimuskohteissa mittaukset tulee tehdä mahdollisimman järjestelmällisesti. Mittauskohdat ja niistä saadut lukemat kirjataan muistiin ja tuloksista tehdään ns. kosteusjakaumakartta. Kosteusjakaumakarttaa käytetään vaurion syyn ja laajuuden selvittämisessä. Saatuja mittaustuloksia tarkastellaan ja arvioidaan voidaanko ko. tulokset selittää rakennusfysikaalisin perustein. Pintakosteusmittauksen tuloksia tarkastellessa tulee ottaa huomioon niiden suuntaa antavuus. Yksittäisten mittaustulosten perusteella on mahdollista tehdä merkittäviäkin virhearvioita, koska pintakosteusmittareilla ei pystytä saamaan luotettavaa tietoa materiaalien absoluuttisesta kosteussisällöstä. Siksi pintakosteusmittauksella saadut tulokset tulee aina varmistaa muilla kosteusmittausmenetelmillä. (Kettunen 2016, 8.)

Arvioitaessa betonirakenteen kosteustilaa sähköisillä menetelmillä, kuten pintakosteudenosoittimella, suurin ongelma on se, että kosteuden lisäksi betonin ominaisuudet (mm. sementtimäärä, hydratoitumisaste, alkalisuus ja lisäaineet) voivat vaikuttaa betonin sähköisiin ominaisuuksiin. Esimerkiksi jos kahden betonin suhteellinen kosteus on sama, mutta vesi-sideainesuhde eri, voi pintakosteusmittaus antaa korkeampia kosteuslukemia suuremman sementtimäärän sisältävästä betonista. Lisäksi betonissa olevat raudotteet, putket ja johdot voivat vaikuttaa virheellisesti lukemiin. Muita häiriötekijöitä pintakosteusmittauksessa on mm. mittaajan tapa käsitellä laitetta, pinnan epätasaisuus ja laitteiden toimintahäiriöt. Pintakosteusmittarin lukemaan voi vaikuttaa mm. se kuinka läheltä itse mittapäättä mittaaja pitää kiinni. Tällä otekohdalla on yllättävän suuri vaikutus mittaustulokseen kuten myös mittapään asennolla mittaushetkellä. Edellä mainituista

tekijöistä johtuen pintakosteusmittauksia ei suositella päällystyskelpoisuuden määrittämiseen betonilattioiden osalta. (Merikallio 2009, 66.)

5.3 Porareikämittaus

Yleisin menetelmä betonirakenteen kosteuden tarkkaan määrittämiseen on betonirakenteen suhteellisen kosteuden (RH) mittaus porareiästä. Suhteellisen kosteuden mittaus edellyttää mittaajalta erityistä huolellisuutta ja ammattitaitoa (esim. sertifioitu rakenteiden kosteuden mittaaja). Tulosten tulkinnassa tulee ottaa huomioon useita mittauksen luotettavuuteen liittyviä epävarmuustekijöitä joita käsitellään tarkemmin tämän opinäytetyön kappaleessa 5.6. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 82.)

Porareikämittaus tehdään yleensä betoniin poratusta reiästä, jossa kosteus tietyn ajan kuluessa porauksesta asettuu tasapainoon ympäristönsä kanssa. Mittausreiän syvyys määräytyy sen mukaan millainen rakenne on kyseessä ja miltä syvyydeltä mittaustulos halutaan. Päällystettävyyssmittauksissa mittaussyvyyteen vaikuttaa rakenteen paksuus ja kerroksellisuus. Kuviossa 15 on havainnollistettu mittaussyvyksiä erilaisissa rakenneratkaisuissa. (Merikallio 2002, 13.)

Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä on soveltuva silloin kun betonin lämpötila (T) on +15– +25°C. Mittaustarkkuus on sitä parempi mitä pienempi on yläpuolisen ilman ja betonilattian välinen lämpötilaero. Betonirakenteen pinnalla olevan ilman ja rakenteessa olevan mittapään välinen lämpötilaero ei saa olla yli 2°C. Mittaustulosten luotettavuuden kannalta rakenteen ja sitä ympäröivän ilman lämpötilan olisi hyvä olla lähellä lopullista käyttölämpötilaansa. Jos mittauksia tehdään lattialämmityksen vaikutusalueella, katkaistaan lattialämmitys pois päältä viimeistään viikkoa ennen mittaushetkeä. (RT 14-10984, 3.)

5.3.1 Reikien poraus ja puhdistus

Reikien poraus tehdään kuivamenetelmällä ja reiät porataan tarkoitukseen soveltuvalla pienellä poravasaralla. Porareiän halkaisijan tulee olla vähintään muutaman millimetrin mittapään halkaisijaa suurempi. Mittapäättyyppejä on useita eri laitevalmistajilla.

Useimmat niistä (esim. Vaisala HMP40S, HMP110, Testo 615) edellyttävät $\varnothing 16$ mm reikää. (Merikallio 2002, 13.)

Mittauspisteet tulee valita tarkoin ja huolella. Mittausreikä ei saa rikkoa rakennetta siten, että rakenne myöhemmin vaurioituu. Jos mittausreikä on tehty vesieristeen tai höyrynsulun läpi, eikä sitä mittauksen jälkeen paikata huolellisesti, on mahdollista, että se aiheuttaa suuriakin vahinkoja. Poratessa mittausreikiä, tulee erityisesti varoa sähkö- ja vesiputkia. Sähkö- ja vesikiertolämmitysputkien paikallistamisessa ennen mittausreikien poraamista voidaan käyttää apuna mm. lämpökameraa. (Merikallio 2002,13.)



KUVA 3. Porareian poraus ja huolellinen imurointi

Porauksesta syntyy porauspölyä joka on puhdistettava erittäin huolellisesti pois porausreiästä. Puhdistus onnistuu parhaiten imurilla tai paineilmalla. Kuvassa 3 on esillä porareian teon vaiheet. Reiän poraamisesta syntyvä pöly on hyvä imuroida ensin imurin putkisuulakkeella ja tämän jälkeen vielä erikseen pienemmällä porausreikään mahtuvalla letkulla. Näin varmistetaan että reikään ei jäisi yhtään porauspölyä. Puhdistamattomasta reiästä saadaan yleensä mittauksissa liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja. (Merikallio 2002, 13.)

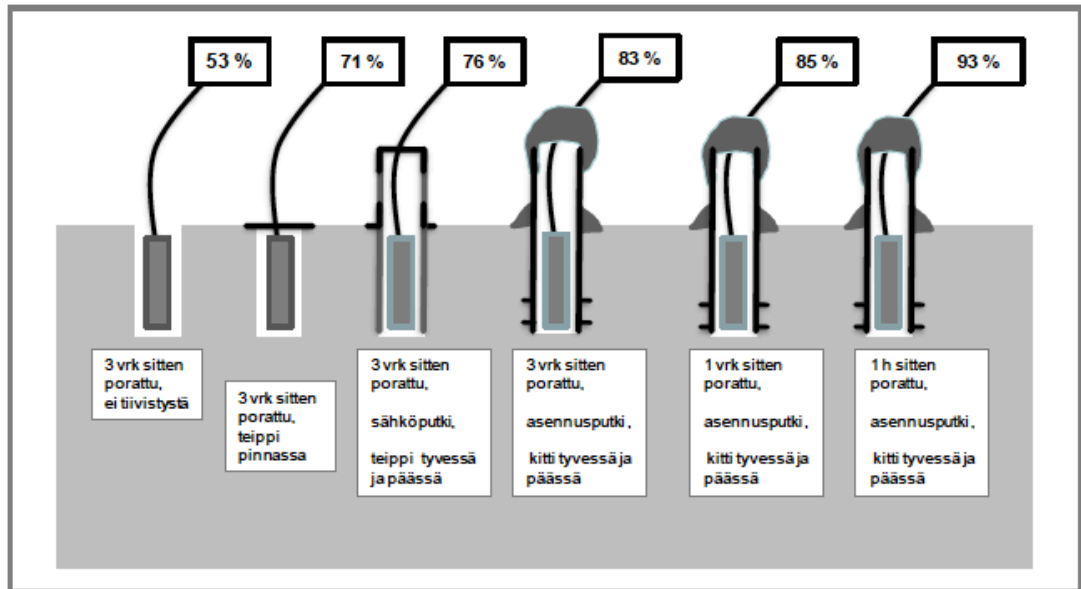
5.3.2 Mittausreikien tiivistys ja suojaus

Reikien porauksen ja huolellisen puhdistamisen jälkeen reikä täytyy tiivistää. Halutessa mittaustulos tietyltä syvyydeltä (erityisesti päällystettävyyssmittauksissa), reiän tiivistys tulee tehdä sekä sivuilta että päältä käyttämällä reiässä putkea. Tulokseksi saatava koskeus on tällöin se, mikä vallitsee reiän pohjalla eli halutulla mittaussyvyydellä. (Merikallio 2002, 14.)



KUVA 4. Mittausreiän tiivistys asennusputkella ja höyrytiivillä kitillä

Mittausreiän tiivistäminen voidaan tehdä laitevalmistajan valmistamia asennusputkia (esim. Vaisalan 19266HM asennusputki) käyttäen kuten kuvassa 4 tai vaihtoehtoisesti käytetään tiivistämiseen esimerkiksi sähköputkea. Sivuiltaan riittävän tiivis mittausräikä saadaan laittamalla $\varnothing 16$ mm:n sähköputki 16 mm:n reikään. Mittausputken ja betonin rajapinta tulee myös tiivistää vesihöyryntiiviillä kitillä, kuten esim. Würth oy:n musta Tiivistyskittinauha (kuva 4). Ennen putken yläpään tiivistämistä on hyvä vielä imuroida asennusputki sisältä, jotta putkeen ei jäisi mittaustulosta häiritsevää porauspölyä. Putken yläpään tiivistämiseen on tarjolla laitevalmistajien kumitulppia, mutta vesihöyryntiiviin kitin käyttäminen on tässäkin suositellumpaa. Usein putkenpään tai –juuren tiivistämiseen näkee käytettävän esimerkiksi ilmastointiteippiä, joka ei ole riittävän tiivistä. (Merikallio 2002, 14.)



KUVIO 17. Erilaisia tiivistystapoja ja tasaantumisaikoja (Merikallio 2009)

Mittausreiän tiivistäminen vaikuttaa merkittävästi mittaustulokseen. Kuviossa 17 on esitetty muutamia erilaisia tiivistystapoja ja eripituisia tasaantumisaikoja ennen mittausta sekä niiden vaikutuksia mittaustulokseen. Puutteellinen tiivistys johtaa yleensä liian alhaisiin arvoihin. Esim. tiivistämällä reikä betonin pinnasta vain ilmastointiteipillä, voidaan saada jopa yli 10 %-yksikköä liian alhaisia kosteusarvoja, kuten yllä olevassa kuviossa. Mittausreikä tulee siis tiivistää huolellisesti sekä sivuilta asennusputkella että putken juuresta ja päästä höyrytiivillä kitillä. Tämän jälkeen mittausreiän annetaan tasaantua ennen mittausta.

5.3.3 Mittausreiän tasaantuminen

Kun mittausreikä on saatu porattua, puhdistettua ja tiivistettyä huolellisesti, sen tulee antaa tasaantua vähintään kolme vuorokautta. Ohjeista riippuen tasaantumisaikaksi suositellaan 3–7 vuorokautta. Tasaantumisaajan tarkoitus on, että porareikä saavuttaa tasapainokosteutensa eikä porauksen (betonin lämpötilaa nostava) vaikutus enää näy mittaustuloksissa.

Mittausreiän poraaminen vaikuttaa betoniin siten, että betonin lämpötila nousee poratun reiän ympäristössä sekä samalla betonin huokosilman suhteellinen kosteus nousee (Merikallio, 2009). Pastrav (1990) tutki kosteuden- ja lämpötilan mittausta betonista poratuista rei'istä. Hän havaitsi, että lämpötila- ja kosteusmittaustulokset ovat virheellisiä

jos mittaus aloitetaan heti porauksen jälkeen. Virheet mittauksissa voivat olla lämpötilan osalta 2–3°C mitattaessa ensimmäisen tunnin jälkeen porauksesta ja kosteuden osalta 10–20 % RH mitattaessa ensimmäisen vuorokauden aikana porauksesta. Hänen havaintojensa mukaan lämpötila palautuu porausta edeltävälle tasolle muutamassa tunnissa, kun taas porauksen aiheuttaman suhteellisen kosteuden nousun palautuminen lähtötasolle voi kestää useita päiviä. (Pastrav 1990, 107–112.)

Porauksen vaikutus betoniin on erilainen betonin ollessa kostea kuin betonin ollessa kuiva. Betonin ollessa hyvin kostea, ei suhteellinen kosteus porareikässä juurikaan voi nousta porauksen vaikutuksesta. Porauksen vaikutus taas kuivaan betoniin on sitä suurempi mitä kuivempaa betoni on. Poratessa mittausreikää hyvin kuivaan betoniin, voi porauksen vaikutus olla jopa 15–20 %-yksikköä. Porauksen kosteusarvoja nostattava vaikutus on riippuvainen mm. betonin kosteudesta, betonilaadusta, poraussyvyydestä ja porauspölyn imuroinnin huolellisuudesta. Mittausreiän valmistelulla on siis merkittävä vaikutus suhteellisen kosteuden mittaustulokseen ja se vaatiikin erityistä tarkkuutta ja huolellisuutta. (Merikallio 2009, 92.)

5.3.4 Mittapäiden asennus

Ennen mittausta ja mittapään asentamista asennusputkeen tarkistetaan, että mittapää on kalibroitu ja toimintakuntoinen. Mittapään tulee antaa tasaantua mittauspistettä ympäröiviin olosuhteisiin (lämpötila ja RH) ennen asennusta. Jos esimerkiksi mittapää on päässyt kuljetuksen aikana kylmenemään ja on selvästi mitattavaa rakennetta kylmempi kun se laitetaan mittausreikään, kosteus voi tiivistyä anturiin ja mittaus epäonnistuu. (Merikallio 2002, 15.)

Mittapää on mahdollista asentaa mittausreikään heti reiän porauksen, puhdistuksen ja tiivistämisen jälkeen. Tällöin se saa tasaantua reiässä vaaditun tasaantumisaajan (vähintään 72h). Tyypillisempi tapa on asentaa mittapää reikään mittauspäivänä. (Merikallio 2002, 15.)



KUVA 5. Mittapääät asennettuina asennusputkiin. Mittapään johdon ja putken väli tiivistetty huolellisesti vesihöyryntiiviillä kitillä.

Mittapään asennus tapahtuu siten, että asennusputken pään vesihöyryntiivis kitti aukaistaan ja mittapää asennetaan asennusputkeen välittömästi kitin aukaisun jälkeen. Kun mittapää on putkessa, mittapään johdon ja putken väli tiivistetään huolellisesti vesihöyryntiiviillä kitillä (kuva 5). Tämän jälkeen mittapään annetaan tasaantua reiässä laitevalmistajan ohjeistaman ajan (esim. Vaisala HMP40S tasaantumisaika min. 1h). Nopeimminkin tasaantuvat mittapääät vaativat yleensä vähintään tunnin tasaantumisaajan ennen mittaustulosten lukemista.

5.3.5 Mittaustulosten lukeminen ja kirjaaminen

Riittävän pitkän tasaantumisaajan jälkeen mittapää kiinnitetään näyttölaitteeseen (kuva 6). Tulokset luetaan näyttölaitteesta ja kirjataan ylös (taulukko 2). Mittaustulosten ja mittauskohdan ympäristön mittaushetkellä vallitsevien olosuhteiden dokumentointi on ehdoton edellytys mittaustarkkuuden arviointia varten (RT 14-10984, 6).



KUVA 6. Mittaustulosten lukeminen

Mittauksesta kirjataan ylös mittauspöytäkirjaan

- mittapään numero
- mittauspisteen sijainti (numero)
- mittaussyvyys
- huoneilman lämpötila
- huoneilman suhteellinen kosteus
- lämpötila mittausputkessa
- suhteellinen kosteus mittausputkessa
- mittauspisteiden absoluuttinen kosteus

Näitä tietoja hyödynnetään mittausraportin laatimisessa ja tehtäessä mittaustarkkuustarkastelua. (RT 14-10984, 6.)

TAULUKKO 2. Tulokset kirjattuina mittauspöytäkirjaa varten.

Mittauskohta	Mittaussyvyys	Mittapään nro.	T (°C)	RH (%)	Abs (g/m ³)
	sisäilma	5	17,5	37,2	5,78
5	50 mm	1	17,3	78,9	11,64
6	20 mm	3	17,2	72,2	10,60

5.4 Lämpötilan vaikutus betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaamisessa

Lämpötila vaikuttaa merkittävästi suhteellisen kosteuden mittaamiseen. Mittaushetkellä rakenteen lämpötilan tulisi olla väliltä +15...+25°C. Se voi aiheuttaa merkittäviä mittausrvirheitä jos kosteusmittauksia tehdään rakenteen lopullisesta käyttölämpötilasta (yleensä n. +20°C) poikkeavissa lämpötiloissa. Rakenteen lämpötilan ollessa mittaushetkellä alle 20°C:sta kosteusarvot ovat yleensä todellista alhaisempia ja vastaavasti yli 20°C:sta lämpötilassa kosteusarvot ovat yleensä todellista korkeampia. Mittaushetken lämpötilan aiheuttama virhe suhteellisen kosteuden arvoon on yleensä ± 0–5 %-yksikköä jos lämpötila poikkeaa +20°C:sta enintään ± 5°C. (Merikallio 2002, 16.)

Mittaustulosten perusteella voidaan tehdä virheellisiä johtopäätöksiä päällystettävyyttä arvioitaessa, jos kosteusmittaustuloksia tulkitaan vain suhteellisen kosteuden arvon pe-

rusteella huomioimatta lainkaan lämpötilaa. Esimerkiksi rakenne voidaan todeta päällystyskelpoiseksi (esim. muovimatolla) jos betonilattiarakenteen lämpötila on mittaushetkellä +18°C ja suhteellisen kosteuden arvo 85 % arviointisyvyydeltä (A). Jos rakenteen lämpötila nousee huomattavasti päällystämisen jälkeen, esimerkiksi +25°C:een, suhteellinen kosteus muovimaton alla voi nousta kriittisen korkeaksi. (Merikallio 2009, 95.)

Mittapään ja betonin välinen lämpötilaero voi myös aiheuttaa merkittävän mittausvirheen. Käytännössä 1°C asteen lämpötilaero betonin ja anturin välillä voi aiheuttaa 5 %-yksikön virheen suhteellisen kosteuden lukemassa. Tällaisen lämpötilaeron voi aiheuttaa mm. ulko-oven tai ikkunan avaus mittauksen aikana, auringon säteily anturin varteen tai mittaaminen lämmöneristeen läpi. Mittapään ollessa lämpimämpi kuin mitattava materiaali, tulokseksi saadaan todellista pienempiä arvoja. Jos taas mittapää on kylmempi kuin mitattava materiaali, tulokseksi saadaan todellista korkeampia suhteellisen kosteuden arvoja. Mittauksen aikana tulee huolehtia, että lämpötila ei mittauspisteen ympäristössä muutu. Jos mittauspiste sijaitsee paikassa jossa lämpötilaa ei pystytä hallitsemaan, esimerkiksi työmaalla käytävällä tai kulkuväylällä jonka läheisyydessä on ulko-ovi, tulee suhteellisen kosteuden mittaus tehdä näytepalamittauksena. (Niemi 2016, 14.)

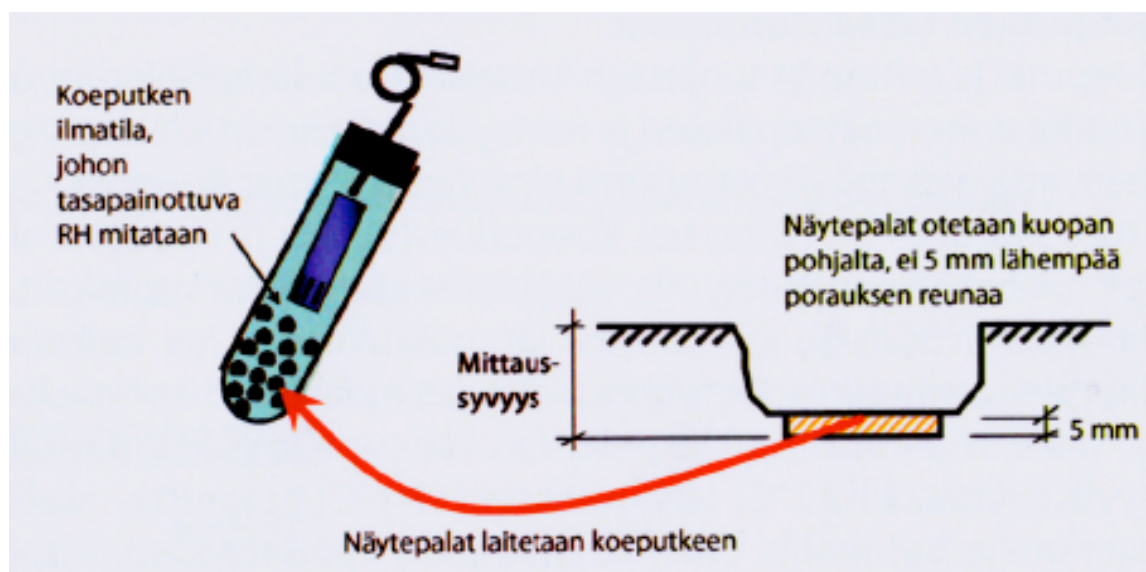
5.5 Näytepalamittaus

Näytepalamenetelmä on huomattavasti nopeampi ja luotettavampi menetelmä betonirakenteen suhteellisen kosteuden määrittämiseksi kuin porareikämenetelmä. Menetelmä soveltuu käytettäväksi silloin kun mittausulos halutaan nopeasti sekä tilanteissa joissa mittauskohdan olosuhteet ovat epävakaita tai betonin lämpötila on porareikämittaukselle liian alhainen tai liian korkea. (Merikallio 2002, 17.)

Näytepalamittauksessa mittauskohdan valinta ja mittaussyvyys määritellään kuten porareikämittauksessakin. Näytepalamittauksen etuna on se, että se voidaan tehdä lähes minkä lämpöisestä betonista tahansa ja missä ilmankosteudessa tahansa. Näytepalat voidaan ottaa hyvinkin kylmästä (-20°C) tai kuumasta (+80°C) betonista. (Niemi 2010, 421.)

Näytepalojen ottamista varten tehdään betonilattiaan kuoppa. Se voidaan tehdä poraamalla rinki esim. 10–16 millimetrin poranterällä, piikkaamalla tai ns. kuivaporausruunulla jonka halkaisija on 50–100 mm. Kuopan pohjan tulisi olla suora ja n. 5 mm ylempänä kuin haluttu mittaussyvyys. Kuopan pohjalta irrotetaan betonikappaleita piikkaamalla esim. taltalla tai lyöntimeisselillä. Näytepalojen koon tulee olla suurempia kuin 5 mm x 5 mm x 5mm. Betoninäytteet (ei betonipölyä tai suuria runkoainerakeita) laitetaan välittömästi koeputkeen (sitien, että murusten määrä on n. 1/3 koeputken tilavuudesta) yhdessä suhteellisen kosteuden mittapään kanssa. Tämän jälkeen koeputken suun ja mittapään johdon väli tiivistetään huolellisesti vesihöyryntiiviillä kitillä. Näytteitä otetaan kaksi koeputkellista kustakin mittaussyvyydestä. (Niemi 2010, 421.)

Koeputkien ja mittapäiden tulee tasaantua ennen mittausta. Yleensä putket siirretään tasaantumaan vakioämpötilaan (+20°C). Koeputkia tulee suojella lämpötilamuutoksilta tasaantumisen aikana. Kuljetuksen ajaksi ne voidaan laittaa suojaan esimerkiksi lämpölaukkuun tai vastaavaan. Tasaantumisaika on mittapään tasaantumisnopeudesta riippuvainen, yleensä n. 5-10 tuntia näytteen ottamisesta. (Niemi 2010, 421.)



KUVIO 18. Näytepalamenetelmän periaate (RT 14-10984)

Riittävän tasaantumisaajan jälkeen mittapään anturi kiinnitetään näyttölaitteeseen ja mitaustulokset kirjataan ylös. Myös näytepalamenetelmää käytettäessä on tärkeää kirjata ylös vallitsevat mittausolosuhteet. Tarkka dokumentointi on edellytys mittaustarkkuuden arviointia tehtäessä. Jos samalta syvyydeltä otettujen rinnakkaisten koeputkien vä-

lillä on mittaustuloksessa eroa enemmän kuin ± 3 % RH, on mittaus uusittava. (RT 14-10984, 8.)

Mittauksesta kirjataan ylös mittauspöytäkirjaan

- mittapään numero
- mittauspisteen sijainti
- koeputkeen asennetun näytteen mittaussyvyys
- huoneilman lämpötila
- huoneilman suhteellinen kosteus
- koeputken ilmatilaan tasaantunut kosteus RH
- koeputken ilmatilaan tasaantunut lämpötila T
- lukemienottoajankohta

Mittausraporttia laadittaessa hyödynnetään tarkkaa mittauksen dokumentaatiota ja pystytään tekemään luotettavaa mittaustarkkuuden arviointia. (RT 14-10984, 8.)

5.6 Kosteusmittaustulosten raportointi

Kosteusmittaustulosten raportointi tulee tehdä huolellisesti, jotta raportin lukija voi tarkastella ja arvioida mittausten laatua ja toistettavuutta. Jos mittaustulos annetaan ilman selvitystä mittauksen luotettavuudesta voidaan sitä pitää merkityksettömänä. Kosteusmittaajalla tulee olla riittävä kyky arvioida mittausepävarmuutta. (Merikallio 2009, 98.)

Kosteusmittausraportissa mittaustulokset tulee esittää selkeästi siten, että lukija ymmärtää millä menetelmällä, miltä syvyydeltä, millaisesta rakenteesta ja milloin mittaus on suoritettu. Raportista tulisi myös ilmetä ulko- ja sisäilman olosuhdemittaustulokset, koska ne muodostavat reunaehdot mittaustarkkuustarkastelulle ja rakenteiden toiminnan analysoimiselle. Kosteusmittaus itsessään on vain apuväline, jonka avulla saatuja tuloksia analysoimalla pyritään tekemään johtopäätöksiä esimerkiksi betonilattian päällystettävyykselpoisuudesta. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 89.)

Kosteusmittausraportissa tulee esittää

- mittauskohdetiedot (osoite, yhteyshenkilö yhteystietoineen)
- mittaajan yhteystiedot
- kohteen kuvaus (huoneisto/tila, rakenneratkaisu, betonilaatu, valupäivä jne.)

- piirros mittauskohdasta (mittauspisteiden sijainti pohjakuviin)
- käytetyt mittalaitteet (mittalaitetyyppi, mittapään numero, kalibrointiajankohta)
- mittausmenetelmän kuvaus (porauspäivä, mittapäiden asennushetki, tasaantumisasajat, lukemien ottohetki)
- sisä- ja ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus
- mittaussyvytydet
- mittaustulokset (suhteellinen kosteus, lämpötila ja tarvittaessa niiden perusteella laskettava vesihöyrösisältö)
- mittaustarkkuustarkastelu (mittaukseen liittyvät virhe/epävarmuustekijät)
- tulosten tulkinta
- johtopäätökset

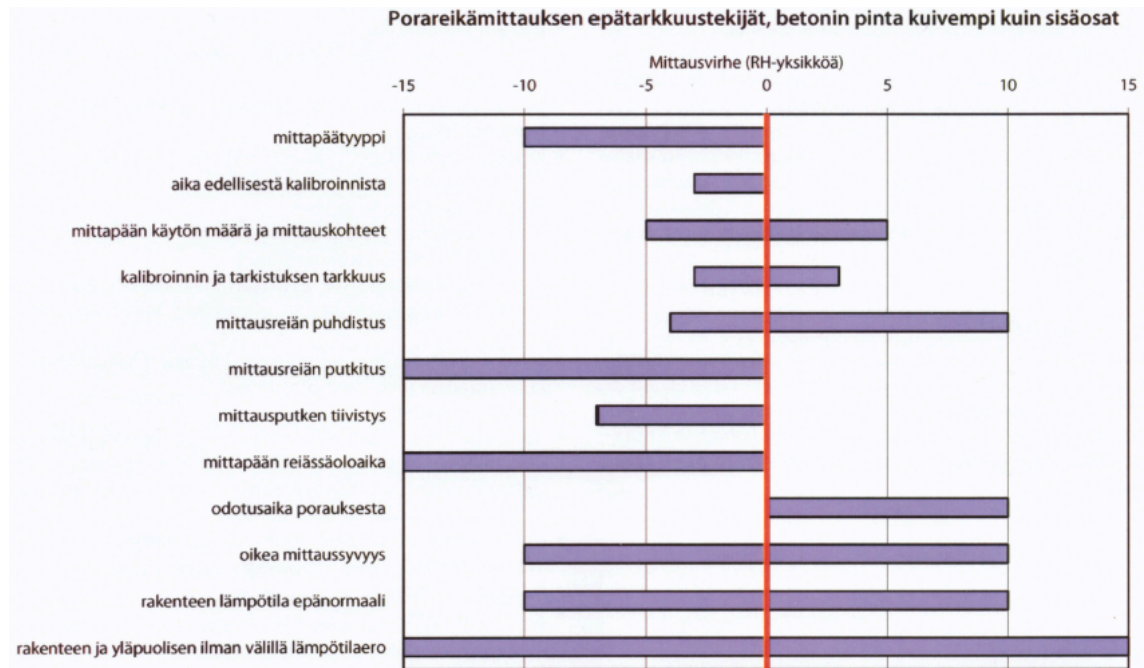
Kosteusmittausraportin tekemiseen löytyy erilaisia malleja mm. internetistä. Edellä mainittuun listaukseen pohjautuen olen tehnyt oman raporttipohjan kosteusmittausten raportointiin (liite 1). Raporttipohjan voi kukin mittaja tai yritys tehdä oman näköisekseen, kunhan kaikki oleellinen tieto mittaukseen liittyen on raportista ymmärrettävissä ja sen lukijalla on mahdollisuus arvioida mittauksen luotettavuutta.

5.7 Mittaustarkkuustarkastelu

Kun rakenteen suhteellinen kosteus on mitattu joko porareikä- tai näytepalamenetelmällä tulee saaduille tuloksille suorittaa mittaustarkkuustarkastelu. Päälystettävyyttä arvioidaessa, betonirakenteiden kosteusmittauksilta ja mittausraporteilta edellytetään luotettavuutta. Mittaus ja mittaustulokset tulee olla määriteltävissä sekä vertailtavissa. Kaikkiin mittauksiin liittyy useita virhemahdollisuuksia, siksi luotettava kosteusmittaus ei tarkoita täysin virheetöntä mittauksia. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 88.)

Mittaasepävarmuutta aiheuttavat useat muuttujat (kuvio 19). Kosteusmittauksen luotettavuus ei ole sen virheettömyydessä, vaan mittajan kyvyssä ymmärtää ja esittää mittauksen virhemahdollisuudet sekä epävarmuustekijät (Kettunen 2016, 38). Mittaustarkkuuteen epävarmuutta aiheuttavat mm. mittausmenetelmä (porareikäisen teko, mittausaika, tasaantumisasajat jne.), mittalaitteen ominaisuudet (kalibrointi, puhtaus, nopeus, huolto- toimenpiteet), ympäristö (kosteus- ja lämpötilaerot sekä niiden mahdollinen muuttumi-

nen mittauksen aikana) sekä mittaaja itse (ammattitaito, mittaustulosten tulkinta, ennakoasenteet ja toiveet). (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 88)



KUVIO 19. Porareikämittauksen epävarmuustekijöiden vaikutus mittausvirheeseen (RT 14-10984)

Mittauserpävarmuustekijät ja niiden suuruus tulisi aina ilmoittaa mittauspöytäkirjassa tai -raportissa. Jos mittaustarkkuustarkastelua ei ole suoritettu ja mittaustuloksen tulkitsijalla ei ole tarpeeksi tietoa mittaukseen liittyvistä olosuhteista ja tekijöistä, hän saattaa tehdä vääriä johtopäätöksiä pelkkien mittalaitteen ilmoittamien lukemien pohjalta. Käytännössä mittaustulos on täysin merkityksetön, jollei mittaustuloksen tulkitsijalla ole käsitystä sen luotettavuudesta eli mittauserpävarmuudesta. (Merikallio 2009, 77.)

5.8 Kosteusmittaustulosten tulkinta

Kosteusmittauksen tuloksia tarkastelee ja tulkitsee ensimmäiseksi mittaaja ja myöhemässä vaiheessa esim. mittauksen tilaaja, rakennuttaja tai rakenteen päällystettävyysskelvyydestä vastaava henkilö. Siksi kosteusmittausraporteilta edellytetään luotettavuutta ja tarkkuutta. Raportista tulee käydä ilmi kaikki oleellinen tieto, jotta mittaustuloksia pystyvät tulkitsemaan myös muut kuin mittaaja itse.

Betonirakenteiden kosteusmittaustulosten perusteella tehdään päätöksiä mm. päällystämisaikojen ja kuivatustarpeen suhteen sekä päätetään purku-, kuivaus- ja korjaustoimenpiteiden laajuudesta. Nämä päätökset ovat usein taloudellisesti merkittäviä ja niillä voi olla hyvinkin kauaskantoisia seurauksia. (Merikallio 2002, 28.)

Lämpötilan vaikutusta betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittauksessa ei voi painottaa liikaa. Rakenteen ja ympäristön lämpötila vaikuttaa merkittävästi betonirakenteen kosteustekniseen käyttäytymiseen sekä ennen päällystämistä että päällystämisen jälkeen. Jotta lämpötilan vaikutusta mittaustulokseen pystytään arvioimaan, tulee mittausraportista ilmetä sekä rakenteen että ympäristön lämpötila. Yleisimmin ja suurimmat virheet mittaustuloksiin aiheuttavat betonin ja ympäristön lämpötilamuutokset sekä mitattavan rakenteen joko alhainen tai liian korkea lämpötila. Kuviossa 19 näytetään tällaisten mittausrakenteiden virhemahdollisuudeksi jopa $\pm 10\text{--}15\%$ RH. Mitattavan betonirakenteen ja ympäristön välinen lämpötilaero ei saa olla enempää kuin $\pm 2^\circ\text{C}$ jotta mittaustuloksia voidaan vielä tulkita luotettavasti.

Mittaustuloksia tulkittaessa tulee erityisesti huomioida betonin ja ympäristön lämpötila, mittaussyvyys, porareian ja mittapään tasaantumisaikat, porareian kunnollinen tiivistäminen sekä mittalaitteen kalibrointiaikajankohta. Lämpötila on näistä suurin potentiaalinen virheen aiheuttaja. Mittaajan tulee ymmärtää minkä suuntaisia sekä suuruisia virheitä lämpötila voi aiheuttaa. Jos mitattava betonirakenne on mittaushetkellä kylmempi kuin se tulee olemaan päällystämisen jälkeen, saadaan tällaisessa tapauksessa yleensä alhaisempia suhteellisen kosteuden arvoja kuin samasta rakenteesta lämpötilan noustessa. Ilmiö on siis päinvastainen kuin ilman suhteellisessa kosteudessa. Lämpötilan muuttuminen mittaamisen aikana voi myös aiheuttaa merkittävän virheen. Yleinen tilanne on esimerkiksi sellainen, että mitattavaan tilaan pääsee kylmää ilmaa mittauksen aikana avatusta ovesta tai ikkunasta. Tällöin kylmä ilma jäädyttää mittauspäätä olevää mittapäätä. Mittapään ollessa kylmempi kuin mitattava materiaali saadaan tulokseksi korkeampia suhteellisen kosteuden arvoja. Jo 1°C asteen lämpötilaero materiaalin ja anturin välillä voi aiheuttaa jopa viiden prosenttiyksikön suuruisen virheen. (Merikallio 2018.)

Virheellinen mittaussyvyys voi puolestaan aiheuttaa mittausrakenteen $\pm 10\%$ -yksikköä. Mittaajan tulee selvittää mittausrakenteen rakenne ja paksuus, jotta hän pystyy määrittämään oikeat mittaussyvyudet kulloisellekin rakenteelle. Porareian tasaantumisaikaksi

suositellaan kolmea vuorokautta. Tällöin poraamisen vaikutus mittaustulokseen on poistunut. Mittaamalla esimerkiksi noin tunnin kulutta reiän poraamisesta voidaan saada jopa +10 %-yksikköä korkeampia RH lukemia, kuin 72h tasaantuneesta porareiästä. Mittapään tasaantumisaika mittausputkessa on minimissään yksi tunti. Jos tuloksia luetaan hyvin pian mittapään asentamisen jälkeen, voi mittaustuloksissa olla virhettä enimmillään jopa -15 %-yksikköä todelliseen kosteuteen nähden. Kalibroimaton mittapää voi näyttää alun alkaen liikaa tai liian vähän. Mittapäiden kalibrointi tulisi suorittaa niiden käytön mukaan, mutta vähintäänkin kerran vuodessa. Tuloksia tulkitessa on tärkeää, että mittapään kalibrointiajankohta on ilmoitettu. Tällöin on mahdollista arvioida sen vaikutusta mittaustulokseen. Porareiän mittausputken oikeaoppinen tiivistäminen pienentää mittausrvirhettä. Jos mittausrputki on tiivistetty joko teipillä tai höyrytiivillä kitillä ja se on tasaantunut kolme vuorokautta, voi eroa mittaustulokseen tulla jopa -7 %-yksikköä siten, että teipillä tiivistetystä mittaputkesta saadaan todellista pienempiä arvoja.

Kosteusmittaustuloksia tulkittaessa on siis otettava huomioon useita eri muuttujia. Mittauspöytäkirjaa tai kosteusmittausraporttia laadittaessa tuleekin kirjata ylös kaikki oleellinen tieto mittausrkohteesta ja tuloksista, jotta mittausrpävarmuustekijät ovat tiedossa ja saatuja tuloksia voidaan tulkita. Mittausrstulos on kuitenkin vain arvio mittausrkohteesta vallitsevasta todellisesta kosteudesta mittausrhetkellä. Virheellinen mittausrstulos voi johtaa siihen, että betonirakenne päällystetään liian aikaisin, jolloin seurauksena voi olla päällysteen vaurioituminen sekä siitä johtuva terveyshaitta. Virheellinen mittausrstulos voi myös johtaa päällystämisaikakohdan viivästymiseen aiheuttaen viivettä aikatauluihin sekä lisäkustannuksia tai rakenteen turhaan tehostettuun kuivattamiseen joka sekin aiheuttaa lisäkustannuksia. (Merikallio 2018.)

6 OHJE KOSTEUSMITTAUKSEEN JA TULOSTEN TULKINTAAN

6.1 Kosteusmittausohjeen tavoite

Tämän opinnäytetyön osana on tarkoitus tuottaa tiivistetty ohje suhteellisen kosteuden mittaamiseen työmailla sekä ohje tulosten tulkitsemiseen ja dokumentointiin. Tämän työn on minulta tilannut työnantajani Pirkanmaan Mestari-Rakentajat oy. Ohjeen olisi tarkoitus olla mahdollisimman selkeä, ytimekkäästi tiivistetty paketti josta löytyy ohjeet porareikämittauksien tekemiseen työmailla oikeaoppisesti ja oikeilta mittaussyvyyksiltä sekä ohjeita tulosten tulkintaan. Ohjeen tarkoituksena on toimia tarvittaessa muistin tukena kun työmaalla tehdään kosteusmittauksia ja antaa eväitä mittausepävarmuuden ymmärtämiseen ja tulosten tulkintaan.

Kosteusmittauksia, varsinkin rakenteen kuivumisen seurantamittauksia ja päällystettävyyden arvioinnin mittauksia, tekevät usein työmaan työnjohtajat. Kaikille kosteuksien mittaaminen ei ole tuttua ja rutiininomaista; tällä ohjeella pyritään tarjoamaan tukea tähän, jotta virheellisiltä mittaustuloksilta tai tulkinnoilta vältyttäisiin.

Betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaaminen porareikämenetelmällä on monivaiheinen ja tarkkuutta vaativa työ. Ohjeen tarkoitus on opastaa ja neuvoa mittaussuorite vaihe vaiheelta siten, että vähemmän mittauskokemusta omaavankin on mahdollista suorittaa mittaus oikeaoppisesti.

Suhteellisen kosteuden mittaus ei ole pelkästään mittaussuorite, vaan vaatii myös tarkan tulosten ja olosuhteiden dokumentoinnin. Jotta tuloksia voidaan tulkita ja tehdä niiden perusteella päätöksiä rakenteen päällystettävyydestä tai kuivattamisen jatkamisesta, tarvitaan mittauksesta tarkka dokumentaatio. Dokumentointia varten on tarkoitus lisätä ohjeeseen kosteusmittauspöytäkirjapohja, jota voidaan käyttää työmaalla kosteusmittauksen taustatietojen ja mittaustulosten kirjaamiseen.

6.2 Mittaamiseen ja tulkintaan liittyvät haasteet

Tätä opinnäytetyötä varten haastattelin sähköpostin välityksellä Suomen Betoniyhdistys ry:n toimitusjohtajaa Tarja Merikalliota. Merikallio on tutkinut ja kirjoittanut paljon kirjallisuutta liittyen betonirakenteiden kosteusmittaamiseen ja kosteudenhallintaan. Esitin hänelle kysymyksiä mm. siitä mitkä ovat tyypillisimpiä työvirheitä suhteellisen kosteuden mittauksessa, mitkä epävarmuustekijät aiheuttavat yleisimmin virheitä mittaustuloksiin sekä mitä asioita tulee erityisesti huomioida mittaustuloksia tulkittaessa.

Suhteellisen kosteuden mittaamiseen betonirakenteesta liittyy useita muuttujia sekä epävarmuustekijöitä. Lämpötila itse rakenteessa ja rakenteen ympäristössä sekä sen muutokset mittauksen aikana ovat asioita joiden vaikutus ja vaikutuksen suunta mittauksen tulee tunnistaa. Merikallio (2018) painottaa vastauksissaan useaan otteeseen, että juuri lämpötilan aiheuttamat virheet ovat suurimpia työvirheitä mittauksissa ylipäätään. Mittauksia suoritetaan usein selkeästi kylmemmästä betonirakenteesta kuin sen lopullinen käyttölämpötila tulee olemaan päällystämisen jälkeen. Kylmemmästä rakenteesta saadaan siis alhaisempia lukemia kuin samasta rakenteesta lämpötilan noustessa. Jos tätä rakenteen lämpötilan vaikutusta ei osata tulkita oikein, voi se johtaa liian aikaiseen rakenteen päällystyskelpoiseksi toteamiseen. Tästä voi seurauksena olla pahimmassa tapauksessa kosteus- tai mikrobivaurio, kun päällystämisen jälkeen betonin suhteellinen kosteus päällysteen alla nousee kriittisen korkeaksi.

Mittauspisteen ja ympäristön lämpötila tulee pitää muuttumattomana mittauksen aikana. Jos lämpötila ei ole vakaa voi mittausanturi jäähtyä/lämmetä mittauksen aikana, jolloin anturin lämpötilan muuttuessa myös RH muuttuu. Tähän ilmiöön olen törmännyt useita kertoja suhteellisen kosteuden mittauksia tehdessä. Aina työmaaolosuhteissa ei mittauspistettä ole pystytty rauhoittamaan täysin muulta toiminnalta mittauksen ajaksi. Eräässä kohteessa seurasimme paikalla valetun betonivälipohjan kuivumista seurantamittauksilla. Olin jo kirjannut mittaustulokset ensimmäiseltä mittauspisteeltä ylös ja kävin välillä toisaalla. Tällä välin eräs työntekijä oli tullut ko. huoneistoon ja siirtänyt jättesäkkejä parvekkeelle. Parvekkeen ovi oli ollut auki arviolta minuutin ajan. Tämän havaittuani tarkistin mittaustuloksen uudelleen ja muutos oli yllättävän suuri. Ensimmäisellä mittauksella rakenteen pintaosan mittaustulos oli, T 20,1°C ja RH 79,3 %. Lyhyt oven aukaisu marraskuiseen syysilmaan sai mittaustuloksen näyttämään aivan toiselta, T 18,2°C ja RH 85,2 %. Oven hetkellinen aukaisu aiheutti mittapään lämpötilaeroa -1,9°C ja suh-

teellisen kosteuden lukemaan + 5,9 %. Pohdittaessa rakenteen sen hetkistä kosteustilannetta suhteessa päällystysaikatauluun olisi jälkimmäisen mittauksen lukemien pohjalta todennäköisesti päädytty kuivattamisen tehostamiseen jos olisin saanut kyseisen tuloksen tietämättä, että ovi parvekkeelle oli avattu mittauksen aikana. Yhdellä pienellä oven avauksella olisi aiheutettu yllättävän paljon lisäkustannuksia siten, että kyseisen kerroksen huoneistojen kuivauskalustoa olisi lisätty ja lämpötilaa nostettu.

Edellä kerrottu todellinen esimerkkitapaus kuvaa hyvin mittaustulosten tulkinnan haasteellisuutta. Mittaajalla tulee olla tarkkaa tietoa lämpötilasta mittauspisteellä. Edellisen esimerkin kaltaiset muutokset mittauspisteen lämpötilassa mittaaja voi havaita kenties varmimmin siten, että mittauspisteen ympäristön lämpötila mitataan ja kirjataan ylös sekä mittapäiden asennuksen että lukemienoton yhteydessä. Kun molemmat lämpötilat on kirjattu mittauspöytäkirjaan voidaan mittausepävarmuutta arvioitaessa ja tuloksia tulkittaessa tehdä oikeansuuntaisia johtopäätöksiä, jos lämpötilassa on tapahtunut muutoksia mittauksen aikana.

Mittaajan ammattitaito mittauksen suorittamiseen mittaussyksityiskohtia noudattaen pienentää mittaasepävarmuutta. Pienillä virheillä mm. mittaussyvyyden, mittaussreikien tiivistämisen, porareikien puhdistamisen suhteen aiheutetaan kullakin mahdollista pientä virhettä mittaustulokseen. Edellä mainittujen suhteen virheen suuruutta voidaan pienentää merkittävästi huolellisuudella ja kiireettömällä toiminnalla. Kiireen vaikutus voi myös näkyä siinä, että mitataan liian pian mittaussreiän poraamisen jälkeen tai mittapäiden tasaantumisaika reiässä on liian lyhyt. Yleinen harhaluulo mittapään riittävän tasaantumisaikan pituudesta on, että ”kahvitauon verran” riittää.

Mittaustoimenpiteiden ja tulosten kunnollinen raportointi mahdollistaa tulosten tulkinnan. Raportointiin tulee panostaa ja se tulee tehdä huolellisesti siten, että raporttia lukeva ymmärtää missä on mitattu, mitä on mitattu, milloin on mitattu, kuinka mittaus on tehty, millä mittalaitteilla mittaus on suoritettu, miltä mittaussyvyyksiltä, mitä tuloksia (lämpötila ja suhteellinen kosteus) on saatu, mitä tuloksista on tulkittu ja millaisiin johtopäätöksiin niiden pohjalta on päädytty. Mittaustulosta voidaan pitää merkityksettömänä ellei sen luotettavuudesta ole selvitystä. Yleisesti mittauspöytäkirjojen laadinnassa ja kosteusmittausten raportoinnissa on paljon puutteita vaikka useat raporttien laatijat ovat ns. pätevoityneitä kosteuden mittaajia tai sertifioituja rakenteiden kosteuden mittaajia (Merikallio 2009, 99). Kunnollisen ja selkeän mittauspöytäkirjan tai kosteusmittausra-

portin laatiminen vaatii siis huolellista dokumentointia mittausyksityiskohdista, olosuhteista ja tuloksista sekä ymmärrystä rakenteiden toiminnasta ja lämpötilojen vaikutuksesta mittaustulokseen. Betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaus ei siis pääty varsinaiseen mittaukseen ja tulosten kirjaamiseen, vaan raportointi kuuluu tärkeänä osana mittaustapahtumaan.

Kokemus mittaamiseen sekä osaaminen tulosten tulkitsemiseen karttuu vain toistojen kautta ja perehtymällä erilaisten mittausepävarmuustekijöiden vaikutuksiin. Betonirakenteen kuivumisen seurantamittaukset ovat tähän hyvää oppimisympäristöä. Mittaajan tulisi kuitenkin tehdä vain sellaisia mittauksia, joiden tuloksia hän osaa analysoida (Kettunen 2016, 48). Tarvittaessa päällystettävyyden arvioinnin mittaukset tulee antaa kokeneemman mittaajaan tehtäväksi, jotta mahdollisilta mittaustulosten vääristä tulkinnoista johtuvilta, taloudellisesti hyvinkin merkittäviltä, virheiltä vältyttäisiin.

7 POHDINTA

Betonirakenteiden, ja rakentamisen yleisesti, kosteusongelmat ovat olleet näyttävästi esillä viime vuosina. Betonin kuivumisnopeutta, kosteuden mittausta ja päällystämisen kosteusraja-arvoja on tutkittu laajalti ja erilaisia ohjeistuksia on laadittu näiden tutkimusten pohjalta. Betonin suhteellisen kosteuden mittaukseen on laadittu mm. RT-ohjekortti, RT 14-10984. Tietoa on saatavilla, mutta silti monien rakentajien, jopa ammattilaisten keskuudessa vallitsee ohjeista poikkeavia ja jopa täysin vääriä käsityksiä betonin kuivumisnopeuden ja kosteuden mittaamisen suhteen.

Oma osaaminen ja ymmärrys betonilaadun ja kuivumisolosuhteiden vaikutuksesta betonirakenteen kuivumiseen on parantunut tämän opinnäytetyön myötä. Toistakymmentä vuotta rakennusalalla työskennelleenä uskallan nostaa käteni ylös virheen merkiksi ja myöntää omienkin käsityksieni, kuivumisolosuhteiden vaikutuksesta betonin kuivumiseen, olleen osin virheellisiä. Jatkossa pystyn entistä paremmin soveltamaan osaamistani käytäntöön mm. aikatauluja tehdessä ja rakenteiden päällystettävyyssajankohtaa suunniteltaessa.

Työteknisesti betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen porareikämenetelmällä RT 14-10984 ohjekortin mukaan oli minulla hallussa jo ennen tämän opinnäytetyön tekemistä. Mittaustarkkuustarkasteluun ja tulosten tulkintaan olen saanut lisää eväitä kirjallisuutta lukemalla ja alan ammattilaisia haastatteleamalla. Varsinkin mitattavan rakenteen ja sen ympäristön lämpötilan vaikutuksista mittaustuloksiin olen oppinut paljon lisää.

Myös mittaustulosten raportoinnin tärkeyttä olen oppinut arvostamaan entistä enemmän. Työelämässä on tullut viimeaikoina muutamia kertoja vastaan kosteusmittausraportteja joilla ei ole mitään virkaa. Raporteissa on ollut mittavia puutteita; niistä on puuttunut tietoja mittauskohdasta, lämpötiloista, käytetyistä mittalaitteista, mittaussyvyyksistä ja mm. mittausmenetelmän kuvaus täysin. Tällaisten puutteellisin tiedoin varustettujen raporttien luotettavuus on hyvin kyseenalainen.

Opinnäytetyön yhteydessä laadin tiivistetyn ohjeen betonirakenteiden suhteellisen kosteuden mittaamiseen ja sen yhteyteen lomakepohjan kosteusmittauspöytäkirjaksi (liite 2). Ohjeen oli tarkoitus olla hyvin tiivistetty ja selkeä, jotta se voisi oikeastikin palvella

työnjohtoa apuvälineenä suhteellisen kosteuden mittauksia tehdessä ja tuloksia tulkittaessa. Ohjeen tarkoitus on muistuttaa oikeista mittaussyvyyksistä eri rakenneratkaisuilla, ohjeistaa porareikämittauksen työmenetelmä, tarjota alusta tulosten dokumentointiin kosteusmittauspöytäkirjan muodossa ja antaa eväitä mittaustarkkuustarkasteluun ja tulosten tulkintaan. Mielestäni ohjeen laatiminen onnistui hyvin ja toivon siitä olevan hyötyä työmaakäytössä porareikämittauksen oikeaoppisen työmenetelmän ja tulosten dokumentoinnin muodossa. Mittaustarkkuustarkastelu ja tulosten tulkinta vaatii harjaantumista, rakenteiden toiminnan ymmärtämistä sekä rakennusfysiikan osaamista. Siihen ohjeen on vain tarkoitus antaa joitain eväitä; näin tiivistettynä ja lyhyenä se ei pysty tarjoamaan valmiita vastauksia.

Rakentaminen toimialana tarjoaa joka päivä mahdollisuuden oppia jotain uutta. Uskon, että oppiminen jatkuu aina työuran loppuun saakka. Betonin suhteellisen kosteuden mittaamisen ja päällystettävyyden arvioinnin osalta olen varmasti vasta tämän polun alkupäässä. Opinnäytetyötä tehdessä olen omaksunut paljon uutta tietoa ja kiinnostus aihetta kohtaan sekä halu kehittyä ammattilaisena tälläkin osa-alueella on vain vahvistunut.

LÄHTEET

- Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto oy.
- BY 201. 2004. Betonitekniikan oppikirja. 7. painos. Helsinki: BY-Koulutus oy.
- Kettunen, A.-V. 2016. Rakenteiden vaurioituminen ja rakennusfysiikan perusteet & Kosteusmittaukset. RATEKO:n koulutusmateriaali: Rakenteiden kosteuden mittaaja.
- Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Rakennustieto oy.
- Merikallio, T. 2009. Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa. Teknillinen korkeakoulu. Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos. Väitöskirja.
- Merikallio, T. Tekniikan tohtori. 2018. Haastattelupyyntö opinnäytetyöhön. Sähköpostiviesti. tarja.merikallio@betoniyhdistys.fi. Luettu 16.2.2018
- Merikallio, T., Niemi, S. & Komonen, J. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. 2. painos. Helsinki: Suomen Betonitieto oy.
- Niemi, S. 2010. Betonirakenteiden kosteuden mittaaminen ja onnistunut päällystäminen. Rakentajain kalenteri 2010, 419–427. Luettu 19.2.2018.
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100401.pdf>
- Niemi, S. 2016. Betonirakenteiden kuivuminen ja päällystettävyyys. RATEKO:n koulutusmateriaali: Rakenteiden kosteuden mittaaja.
- Pastrav, M. 1990. Moisture and temperature measurements in concrete. Risk for misleading result when measuring in drilled holes. Building Physics in the Nordic Countries, Trondheim, Norway 1990, 107–112. Luettu 18.2.2018.
<http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1113830/FULLTEXT01.pdf>
- RT 14-10984. 2010. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. RT-ohjekortti. Helsinki: Rakennustieto oy.
- Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto oy.

LIITTEET

Liite 1. Kosteusmittausraportti

5.3.2018

Sivu 1

Kosteusmittausraportti



As oy **[REDACTED]**
[REDACTED]
33**[REDACTED]** Tampere

Pirkanmaan Mestari-Rakentajat oy
Takojankatu 2
33540 Tampere

Jere Häkkinen
jere.hakkinen@pmr.fi
www.pmr.fi

Y-tunnus
1928568-3

5.3.2018

Sivu 2

Kohde XXXXXXXXXXXX Tampere

Tilaaja Markus Sola, Pirkanmaan Mestari-Rakentajat oy

Mittaaja Jere Häkkinen, Pirkanmaan Mestari-Rakentajat oy
Puh. 050 560 8664

Aika 27.2.-2.3.2017

Tehtävä Peruskorjattavan talosaunan paikalla valetun betonilaatan kosteusmittaus pinnoitus päätöksen tueksi

Kohteen kuvaus Kyseessä kerrostaloyhtiön talotekninen peruskorjaus. B-talon pohjakerroksessa peruskorjattava talosauna. Vanhan laatan päälle asennettu 50 mm polyuretaanilevy ja valettu uusi betonilaatta. Valupäivä 6.2.2018. Betoni NP LR C25/30 Rapid, max raekoko 16 mm. Betonilaatta n.70-100 mm.

Mittalaitteet

Malli	Anturi #	Tyyppi	Viimeksi kalibroitu
Vaisala HM40		Lukulaite	
Vaisala HMP40S	3	Lämpö- /Kosteusanturi	06/11/2017
Vaisala HMP40S	4	Lämpö- /Kosteusanturi	06/11/2017
Vaisala HM42Probe	5	Lämpö- /kosteusanturi	06/11/2017
		Pintakosteusmittari	

Pirkanmaan Mestari-Rakentajat oy
Takojuankatu 2
33540 Tampere

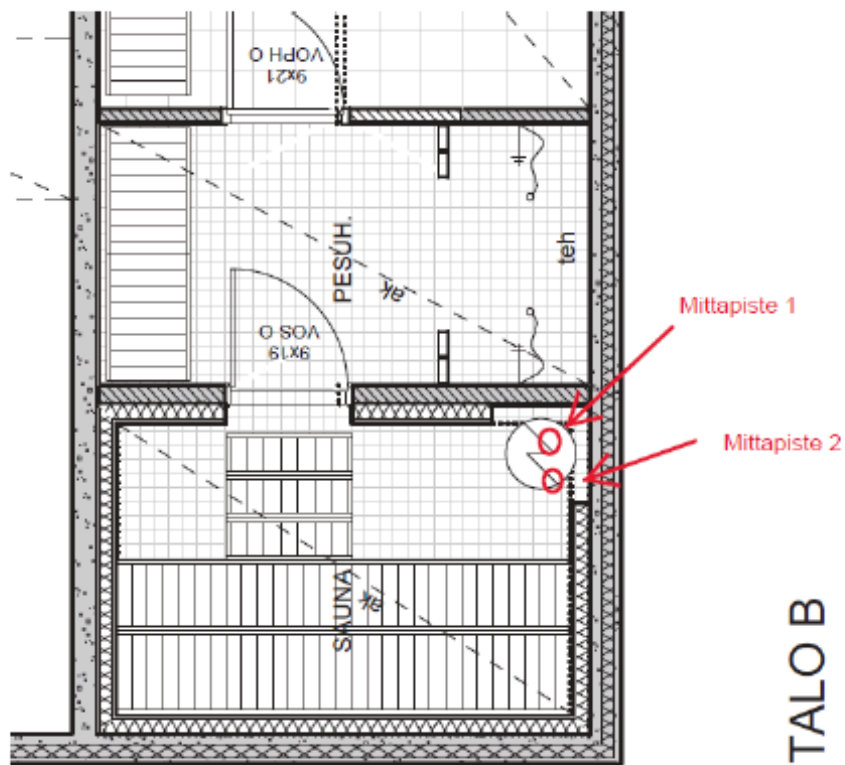
Jere Häkkinen
jere.hakkinen@pmr.fi
www.pmr.fi

Y-tunnus
1928568-3

5.3.2018

Sivu 3

Mittauspisteet



Mittausmenetelmä

Betonin suhteellisen kosteuden mittaus suoritetaan RT-kortin, RT-14-10984, mukaan.

Porareiät porattiin (Mittapiste 1 ja 2) 27.2.2018, klo 12.00
Mittapäät asennettiin 2.3.2018, klo 13.45

Mittaustulokset luettiin ja kirjattiin 2.3.2018, klo 15.00, kun mittapäät olivat tasaantuneet 1h 15min ajan.

Pirkanmaan Mestari-Rakentajat oy
Takojaninkatu 2
33540 Tampere

Jere Häkkinen
jere.hakkinen@pmr.fi
www.pmr.fi

Y-tunnus
1928568-3

5.3.2018

Sivu 4

Olosuhteet Mittapiste 1 ja 2

	T, lämpötila (°C)	Suhteellinen kosteus (RH-%)	Abs (g/m ³)
Sisäilma	16,4	19,3	2,82
Ulkoilma	-18		

Mittaustulokset

Mittauskohta	Mittaussyvyys	Mittapään nro.	T (°C)	RH (%)	Abs (g/m ³)
	sisäilma	5	16,4	19,3	2,82
1	40 mm	3	16,2	81,2	11,26
2	16 mm	4	16,2	68,9	9,52

Mittaustarkkuustarkastelu

Tila ei ollut mittauhetkellä normaalissa käyttölämpötilassa. Kova pakkasjakso oli laskenut tilan lämpötilaa n. kolme astetta. Tilaa oli kuivattu kondenssikuivaimilla valua seuraavasta päivästä lähtien. Edellisellä seurantamittauksella tilassa oli normaali +20°C lämpötila.

Rakenteen ja yläpuolisen ilman välillä ei ollut mittauhetkellä merkittävää lämpötilaeroa, joten lämpötilaerosta johtuen mittauksiin ei tullut suurta mittausepä-tarkkuutta. Porareivät olivat tasaantuneet huolellisesti tiivistettyinä yli 72h ja mittapäiden asentamisen jälkeen yli 1h.

Mittauksen suoritusyksityiskohdat olivat huolellisesti tehtyjä. Yläpuolisen ilman ja betonin lämpötilassa oli eroa ainoastaan 0,2°C. Lämpötila mittauhetkellä oli jonkin verran tulevaa käyttölämpötilaa alhaisempi, jolloin yleensä saadut tulokset ovat suhteellisen kosteuden osalta hieman todellista pienempiä. Kokonaismittatarkkuus mittauksessa oli siten todennäköisesti n. +/- 5 RH-yksikköä.

Pirkanmaan Mestari-Rakentajat oy
Takojanenkatu 2
33540 Tampere

Jere Häkkinen
jere.hakkinen@pmr.fi
www.pmr.fi

Y-tunnus
1928568-3

Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Ottaen huomioon mittauksen suoritusyksityiskohdat (porareikien huolellinen puhdistus, kunnollinen tiivistys ja pitkä tasaantumisaika) ja olosuhteet, voidaan saatujen mittaustulosten perusteella todeta, että lattia on kuivunut hyvin ja on hyvin lähellä päällystyskelvopaisuutta.

Mittaushetken lämpötiloista johtuen saatuihin tuloksiin täytyy ottaa hieman varmuutta. Jatketaan kuivatusta ainakin viikon verran kondenssikuivaimilla ja lisätään tilan lämpötilaa esim. lämpöpuhaltimella.

Betonin RH (%) arviointisyvyydeltä 40mm on 81,2 % ja laatan pinnassa syvyydellä 16mm betonin Rh(%) oli 68,9 %.

Betonin RH % tulisi olla ennen vedeneristämistä arviointi syvyydellä 40mm välillä 85-90% tai alle (materiaalitoimittajasta riippuen) ja pinnassa(16mm) alle 75%. Molempien raja-arvojen tulee alittaa normaalissa käyttölämpötilassa (+20°C) ennen päällystyspäätöksen tekoa.

Kuvia



Pirkanmaan Mestari-Rakentajat oy
Takojankatu 2
33540 Tampere

Jere Häkkinen
jere.hakkinen@pmr.fi
www.pmr.fi

Y-tunnus
1928568-3

Liite 2. Ohje betonirakenteiden suhteellisen kosteuden mittaamiseen

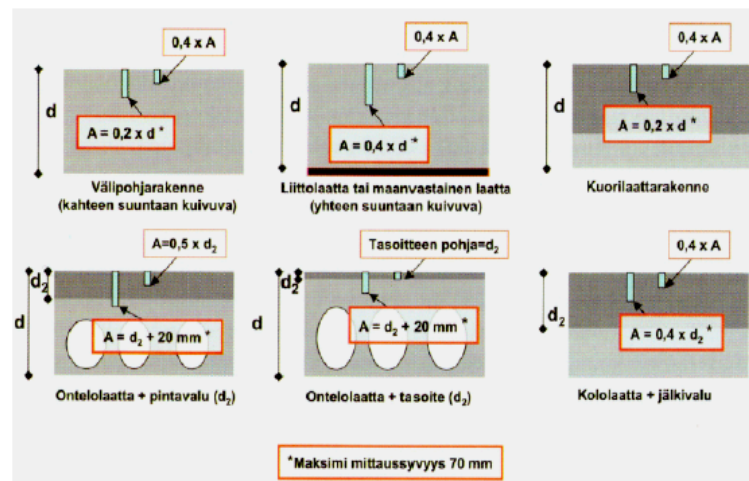


OHJE BETONIRAKENTEIDEN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAAMISEEN

Betonirakenteen päällystettävyyden arviointi

Ennen betonirakenteen päällystämistä on varmistettava siitä että rakenne on riittävän kuiva. Työmaaoiloissa tyypillisin tapa on mitata rakenteen suhteellinen kosteus *porareikämittauksella*. Pintakosteuden osoittimet *eivät* sovellu betonirakenteen päällystettävyyden arviointiin.

Uusien valettujen betonirakenteiden kuivumisen edistymistä seurataan seurantamittauksilla. Mittauksia tulee tehdä 2–4 viikon välein. Mittauksien yhteydessä mitataan lämpötila ja kosteus myös aina sisäilmasta, jotta varmistetaan kuivumisolosuhteiden olevan riittävän hyvät. Varsinainen päällystettävyydsmittaus tulee tehdä 0–2 viikkoa ennen rakenteen päällystämistä tai vedeneristämistä. Seurantamittaukset voidaan aloittaa kun rakenne ei pääse enää kastumaan ja aukot on ummistettu. Ennen mittauksien aloittamista olisi suositeltavaa, että rakennuksen lopullinen tai tilapäinen lämmitysjärjestelmä olisi ollut käytössä jonkin aikaa.



Betonilattiarakenteen mittaussyvydet eri rakenneratkaisuilla.

Arviointisyvyys (A) on rakenneratkaisusta ja rakenteen paksuudesta riippuvainen mittaussyvyys, jossa päällystemateriaalin edellyttämä kriittinen suhteellisen kosteuden arvo (RH %) on alitettava. Tämän arvon ilmoittaa materiaalitoimittaja. Lisäksi betonilattiarakenteen pintaosien suhteellinen kosteus tulisi olla alle 75 %.

Mittaus tulee suorittaa vähintään kahdelta eri syvyydeltä yllä olevan kuvion ohjeiden mukaan. Kuivumisen seurannassa mittauskohtia valitaan esim. 1-3kpl per kerros. Mittauskohtien valinnassa tulee kiinnittää huomiota siihen, ettei mittauspisteen kohdalla ole sähkö- tai vesiputkia tai lattialämmitysjärjestelmän osia.

Porareikämittaus

Porareikämittaus on tarkimmillaan +15...+25°C lämpötilassa. Olosuhteiden tulisi olla riittävän lähellä rakennuksen normaalia käyttölämpötilaa. Betonirakenteen yläpuolisen ilman ja mitattavan rakenteen välinen



lämpötila ero ei saa olla yli 2°C. Olosuhteiden mittauspisteen ympäristössä on mittauksen aikana pysyvä vakaina, mm. avoimista ovista tai ikkunoista tuleva veto tulee estää. Mitattaessa lattialämmityksen vaikutusalueella, lattialämmitys katkaistaan viimeistään viikkoa ennen mittaushetkeä.

Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä, betonin T: +15 - +25°C

1. Mittapiste valitaan ottaen huomioon rakenneratkaisu, betonilaatu, päällystemateriaali ja olosuhteet.
2. Tarkista betonin ja huonetilan lämpötila. Porareikämittauksessa betonin lämpötilan tulisi olla lähellä rakenteen käyttölämpötilaa (yleensä n. +20°C). Jos lämpötila poikkeaa edellä mainitusta yli 5°C, mittaus tulee tehdä näytepalamenetelmällä.
3. Varmista, että olosuhteet mittauspisteen ympärillä pysyvät mittauksen aikana vakiona (porauksesta lukemienottoon).
4. Varmista, ettei mittauspisteen kohdalla ole sähkö- tai vesiputkia (esim. lattialämmityskaapeleita).
5. Selvitä rakenneratkaisu (paksuus, kerroksellisuus) ja määritä mittaussyvytydet.
6. Poraa reiät (Ø 16mm) kuivamenetelmällä. Vähintään kaksi rinnakkaista (väli n.10cm) reikää. Yksi arvostelussyvyydelle ja lisäksi toinen lähemmäs pintaa 1-3 cm:n syvyydelle.
7. Puhdista reiät huolellisesti porauspölystä imurilla reikään mahtuvalla suuttimella. Reiän tulee olla täysin vapaa porauspölystä.
8. Tiivistä reiät sivuilta reiän pohjaan ulottuvalla putkella (laitevalmistajan putki tai 16mm sähköputki), joka on sivuiltaan umpinainen. Puhdista putki imuroimalla se putkeen mahtuvalla suuttimella. Tiivistä putken ja betonin rajakohta ja putken yläpää höyrytiivillä kitillä (esim. Würth Oy:n musta ”Tiivistyskittinauha”).
9. Suojaa mittauspiste lämpötilavaihteluilta ja muilta häiriöiltä.
10. Anna reikien tasaantua vähintään 3 vuorokautta (72h).
11. Varmista, että mittapäät ovat kunnossa ja kalibroitu.
12. Anna mittapäiden tasaantua mittauspistettä ympäröiviin olosuhteisiin ennen reikiin asennusta.
13. Asenna mittapäät reikiin nopeasti ja tiivistä mittapään ja putken väli huolellisesti.
14. Anna mittapään tasaantua mittausreiässä riittävän pitkä aika. Tasaantumisaika riippuu mittapäätypistä ja betonilaadusta. Esim. Vaisala HMP40S vaatii tunnin tasaantumisaajan. Betonin alhainen vesi-sideainesuhde (v/s) vaatii pidemmän tasaantumisaajan. Betonimittauksessa *alle tunnin* tasaantumisaika ei ole riittävä millään mittapäällä.
15. Kiinnitä mittapää näyttölaitteeseen, lue RH, T (lämpötila) ja abs (g/m³) sekä kirjaa arvot, mittapään numero, mittauspisteen sijainti ja mittaussyvyys. Mittaa myös huoneilman T ja RH sekä kirjaa myös nämä arvot.
16. Tee mittauksesta kunnollinen raportti/pöytäkirja, josta ilmenevät tulosten ja johtopäätösten lisäksi, kuka mittauksen on tehnyt sekä milloin ja miten mittaus on tehty (tarkka menetelmäkuvaus mittauksesta, kuten porausajankohta, mittapäenasennusajankohta, lukemienottoajankohta sekä mittapään kalibrointiajankohta).



Porareian poraus ja huolellinen puhdistaminen (kohdat 6 & 7)



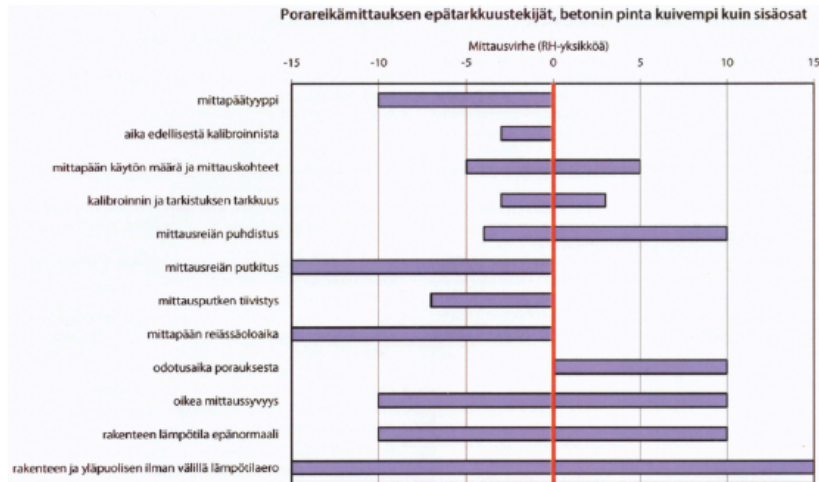
Mittausreiän tiivistys asennusputkella ja höyrytiivillä kitillä (kohta 8)



Mittapääät asennettuina asennusputkiin. Mittapään johdon ja putken väli tiivistetty huolellisesti vesihöyryntiivillä kitillä (kohta 13)

Mittaustarkkuustarkastelu

Kun rakenteen suhteellinen kosteus on mitattu, tulee saaduille tuloksille suorittaa mittaustarkkuustarkastelu. Mittausepävarmuutta aiheuttavat useat muuttujat (kuvio 1). Kosteusmittauksen luotettavuus ei ole sen virheettömyydessä, vaan mittajaan kyvyssä ymmärtää ja esittää mittauksen virhemahdollisuudet sekä epävarmuustekijät.



Kuvio 1. Porareikämittauksen epävarmuustekijöiden vaikutus mittausvirheeseen

Mittausepävarmuustekijät ja niiden suuruus tulisi aina ilmoittaa mittauspöytäkirjassa tai -raportissa. Jos mittaustarkkuustarkastelua ei ole suoritettu ja mittaus tuloksen tulkitsijalla ei ole tarpeeksi tietoa mittaukseen liittyvistä olosuhteista ja tekijöistä, hän saattaa tehdä vääriä johtopäätöksiä pelkkien mittalaitteen ilmoittamien lukemien pohjalta. Käytännössä mittaus tulos on täysin merkityksetön, jollei mittaus tuloksen tulkitsijalla ole käsitystä sen luotettavuudesta eli mittausepävarmuudesta.

Mittaus tuloksia tulkittaessa tulee erityisesti huomioida betonin ja ympäristön lämpötila, mittausvyvyys, porareian ja mittapään tasaantumisaikat, porareian kunnollinen tiivistäminen sekä mittalaitteen kalibrointiajankohta. Lämpötila on näistä suurin potentiaalinen virheen aiheuttaja. Jos mitattava betonirakenne on mitaushetkellä kylmempi kuin se tulee olemaan päällystämisen jälkeen, saadaan tällaisessa tapauksessa yleensä alhaisempia suhteellisen kosteuden arvoja kuin samasta rakenteesta lämpötilan noustessa. Ilmiö on siis päinvastainen kuin ilman suhteellisessa kosteudessa. Lämpötilan muuttuminen mitaamisen aikana voi myös aiheuttaa merkittävän virheen. Yleinen tilanne on esimerkiksi sellainen, että mitattavaan tilaan pääsee kylmää ilmaa mittauksen aikana avatusta ovesta tai ikkunasta. Tällöin kylmä ilma jäähdyy mittausputkessa olevaa mittapäätä. Mittapään ollessa kylmempi kuin mitattava materiaali saadaan tulokseksi korkeampia suhteellisen kosteuden arvoja. Jo 1°C asteen lämpötilaero materiaalin ja anturin välillä voi aiheuttaa jopa viiden prosenttiyksikön suuruisen virheen.

Mittausten raportointi

Mittausten dokumentointiin voit käyttää seuraavalta sivulta löytyvää mittauspöytäkirjaa. ”Mittauskohtaan” voit kuvailla mittauspaikan tai numeroida sen, merkitä sen pohjakuvaan ja liittää kuvan pöytäkirjan liitteeksi. Muista aina kirjata myös sisäilman lämpötila, voit kirjata sen ”mittausvyvyys”-sarakeeseen kirjoittamalla syvyudeksi ”sisäilma”. Ilman sisäilman kirjaamista mittaus tuloksista ei voida tehdä juuri minkäänlaisia tulkintoja.

Kosteusmittauspöytäkirja

Työmaa/työnro. _____

Vastaava mestari _____

Kohteen tiedot

Valettu kohde
(esim. maanvarainen laatta) _____

Valupäivä _____

Betonilaatu _____

Olosuhdehuomioita
valun jälkeen _____

Kosteusmittaukset

Mittaus pvm	Mittauskohta	Mittaus- syvyys (Kirjaa aina myös sisäilma)	Mittapään nro.	T (°C)	RH (%)	Abs (g/m ³)

Mittaaja _____

Kuittaukset

Vastaava mestari

Valvoja