

BETONILATTIOIDEN KOSTEUDENHALLINTA



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäen korkeakoulukeskus, rakennus- ja yhdyskuntatekniikka,
rakennusmestari (AMK)

2020

Ville Salmela

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, rakennusmestari (AMK)
Visamäen korkeakoulukeskus

Tekijä	Ville Salmela	Vuosi 2020
Työn nimi	Betonilattioiden kosteudenhallinta	
Työn ohjaaja	Hannu Fagerlund	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena on luoda käytännön ohjeistus rakennustyömaan rakennuskosteus- ja olosuhdemittausten suorittamisesta ja dokumentoinnista. Aihe pohjautuu tarpeeseen, joka on todettu uudisrakennuskohteiden päällystettävyyssmittauksia tehtäessä. Rakennustyömailla on havaittu olevan virheellisiä käsityksiä ja vähättelevää suhtautumista työmaan ilmaston sekä rakennuskosteuden seurannassa ja hallitsemisessa. Laajasta taustatiedon määrästä huolimatta rakennustyömailla yhä päällystetään betonirakenteita, jotka eivät ole vielä saavuttaneet vaadittavaa kosteusraja-arvoa. Yleisesti ottaen työmailla tiedetään hyvin kosteusraja-arvojen noudattamisen periaatteet. Liian aikaisen pinnoittamisen tiedetään voivan aiheuttaa pinnoitemateriaalin tai kiinnitysmateriaalin vaurioitumisen. Puutteita on kuitenkin sen ymmärtämisessä, mitä tapahtuu rakenteen päällystämisen jälkeen. Tämä on erityisen vakava puute, sillä liiallinen rakennuskosteus oireilee nimenomaan päällystämisen jälkeen. Usein niin, että kohde on jo luovutettu käyttäjille. Tämän opinnäytetyön tuloksena toteutetaan toimintaohje, jonka tarkoitus on olla muistilistana rakennustyömaan kosteudenhallinnasta vastaaville henkilöille. Tällä työllä halutaan osoittaa onnistuneen kosteudenhallinnan olevan katkeamaton tehtävien jatkumo aina valusta päällystämiseen asti.

Aihe rajattiin koskemaan betonilattioita, koska iso osa rakennuskosteusongelmista kohdistuu kuivien tilojen lattiarakenteisiin. Kuivien tilojen lattioissa usein käytetyt orgaaniset pinnoitteet asettavat eniten haasteita kosteudenhallinnassa matalien kosteusraja-arvojen vuoksi. Samoja kosteudenhallintaperiaatteita voidaan soveltaa kaikkien paikalla valettujen betonirakenteiden yhteydessä.

Avainsanat Betonin kuivuminen, hydrataatio, kosteusmittaus, kuivumisen arviointi, kuivumisen tehostaminen, olosuhdeseuranta, olosuhdehallinta, päällystettävyyssmittaus, rakennuskosteus.

Sivut 58 sivua

Degree Programme in Construction Management
Hämeenlinna University Centre

Author	Ville Salmela	Year 2020
Subject	Moisture control of concrete floors	
Supervisors	Hannu Fagerlund	

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to create practical instructions for conducting and documenting the building moisture and condition measurements on a construction site. The topic is based on the need faced in new building site coatability measurements. Construction sites have been found to have erroneous perceptions and disregard for monitoring and controlling the site's climate and building moisture. Despite the large amount of background information, concrete structures that have not yet reached the required moisture limit are still being coated on construction sites.

The scope of the thesis was limited to concrete floors, as most of the building moisture problems are related to floor structures in dry rooms. Organic coatings commonly used in dry rooms floors pose the most challenges in moisture management due to low moisture limits. The same moisture management principles can be applied to all concrete structures cast on site.

Generally, the principles of compliance with moisture limits are well known at construction sites. Too early coating is known to cause damage to the coating material or fastener. However, there is a lack of understanding of what happens after the structure is coated. This is a particularly serious disadvantage, since excessive building moisture is a symptom precisely after coating. Often the building has already been handed over to users.

As a result of the thesis was produced a code of practice, which is intended to serve as a memo list for the persons responsible for moisture control at the construction site. The result demonstrates that successful moisture control is an uninterrupted continuum of tasks from casting to coating.

Keywords Keywords Building moisture, moisture measurement, concrete hydration, coating measurement.

Pages 58 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	BETONI.....	2
2.1	Betonin pääraaka-aineet.....	2
2.2	Betonin lisäaineet.....	3
2.3	Betonilaatuja	6
3	BETONILATTIA.....	9
3.1	Yleisimmät käyttökohteet	9
3.2	Betonointi.....	10
3.3	Jälkihoito	13
3.4	Lujuuden kehitys	17
3.5	Sääsuojaus.....	19
4	BETONIN KUIVUMINEN	19
4.1	Kuivumiseen vaikuttavat tekijät.....	21
4.2	Kuivumisen tehostaminen	26
5	KUIVUMISEN SEURANTA	28
5.1	Olosuhteiden pitkäaikaisseuranta.....	28
5.2	Rakennekosteuden mittaus	30
6	MITTAUSTULOSTEN RAPORTOINTI.....	43
7	KUIVUMISAJAN ARVIOINTI	44
8	YHTEENVETO	58

1 JOHDANTO

Sisäilmaongelmia esiintyy kaikenikäisissä rakennuksissa, sekä korjauskentamis- että uudisrakentamiskohteissa. Sisäilmaongelmat ovat paljon puhuttu asia viime vuosina ja aivan syystä. Epäterveellisen sisäilmaston aiheuttamat terveysvaikutukset ovat kansantaloudellisestikin tärkeä asia kasvavina hoitokuluina, menetettyinä työvuosina ja sairauspoissaoloina. Rakennus- ja tutkimusalojen laajasta koulutustarjonnasta huolimatta rakentamisessa tapahtuu yhä virheitä rakennuskosteudenhallinnassa, joiden seurauksena päällystemateriaaleja vaurioituu ja seurauksena ilmenee sisäilman laadullisia ongelmia. Sisäilmaongelmien alkulähteellä eli rakentamisvaiheessa valinnat tekee työmaan johtohenkilöstö, jolla ei välttämättä ole riittävää tietoa ja syvällistä näkemystä kosteudenhallinnasta onnistuneeseen päällystämiseen.

Pääosa asuinhuoneistojen sisäpintoihin rajoittuvista betonirakenteista pinnoitetaan tai päällystetään jollain toisella materiaalilla. Liiallinen kosteus betonirakenteessa voi aiheuttaa kosteusvaurion liimassa, tasoitteessa tai päällysteessä. Vauriot voivat olla mm. päällysteen irtoaminen, hajuhaitta, värjäytyminen, terveydelle haitalliset mikrobit ja emissiot.

Varmistukseksi päällystämiseen vaadittavan kosteusraja-arvon alittamisen aikataulun mukaisesti, edellyttää se jatkuvaa aktiivisuutta kosteudenhallinnan toteuttamiseksi. Kosteudenhallinta on katkeamaton tehtäväjatkumo aina suunnittelupöydältä päällystämiseen. Kosteudenhallinnassa kaiken toiminnan pohja on jatkuvassa olosuhteiden seurannassa ja tulosten dokumentoinnissa. Markkinoilla on tarjolla useita erilaisia langallisia ja langattomia ratkaisuja internet-yhteydellä ja ilman. Laitteiden mukana tulee ohjelmisto, jonka avulla seurantamittauksien tulokset saadaan tulkittavaksi helppolukuisesti graafisena kaaviona. Kehittynyttä teknologiaa on suositeltavaa hyödyntää olosuhteiden seurannassa ja ohjaamaan työmaan toimia onnistuakseen kosteudenhallintaprosessissa.

Kosteudenhallinta suomen oloissa tuo huomattavaa lisähaastetta, koska betonirakenteita joudutaan usein rakentamaan olosuhteissa, joissa riskit laadulliseen epäonnistumiseen ovat huomattavat. Tärkeää on, että työmaan projektinjohto ottaa aina riittävästi huomioon ilmasto-olosuhteet eri vuodenaikoina rakennettaessa. Säästäminen suojauskuluissa, lämmityksessä sekä liian tiukalle vedetty aikataulu voivat kostautua lattian huonolla laadulla ja korkeilla korjauskustannuksilla.

Tässä opinnäytetyössä tarkastelemme ensin betonia itseään raaka-ainetasolla. Tarkastelemme myös lyhyesti erilaisia yleisimpiä betonilaatuja eri käyttötarkoituksiin. Betonointiin liittyvät olosuhdetekijät tarkastellaan rakennustyömaan työnjohdon näkökulmasta. Mitä työmaan tulee huomi-

oida ennen betonointia ja betonoinnin jälkeen? Valetun rakenteen hydraataatiovaihe, jälkihoitoaika ja kuivumisprosessin alkaminen sekä sen toteaminen käydään läpi perusteluineen.

Rakenteiden ja työmaan lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa ja sen seuranta pyritään tässä opinnäytetyössä korostamaan, sillä kaikki rakennuskosteuteen liittyvät päällyste- tai muut materiaalivauriot olisivat vältettävissä oikeasuhtaisella rakennuskosteus ja olosuhdeseurannalla. Lopuksi tarkastelemme rakenteen päällystettävyyteen liittyviä vaatimuksia ja niiden määräysten mukaista toteuttamista ja todentamista sekä teemme muutamia esimerkkilaskelmia erilaisten betonilattiarakenteiden kuivumisaika-arvioista erilaisissa työmaaolosuhteissa. Kuivumisaika-arviolaskemilla pyritään kiinnittämään huomiota, mitkä kaikki seikat rakentamisprosessissa todella vaikuttavat aikaan, jolloin betonirakenne on kuivunut riittävästi alittaakseen päällystemateriaalin vaatiman kosteusraja-arvon.

Tämän opinnäytetyön liitteeksi on laadittu muistilista betonilattioiden kosteudenhallinnasta. Toimintaohje on rakennustyömaiden työnjohdon käyttöön.

2 BETONI

2.1 Betonin pääraaka-aineet

Pääosa (80%) betonin massasta koostuu kiviaineksista. Kotimaisen betonin valmistukseen käytetään ainoastaan luonnon kiviaineksia. Kiviaineksista karkeimmat voi olla joko luonnon soraa tai kalliomursketta. Hienompi aine on useimmiten luonnon hiekkaa. Myös hienoa mursketta käytetään. Betonin kiviaineksille on oma CE-merkintänsä. Laadun kannalta oleelliset ominaisuudet ovat lujuus, raemuoto ja raekokojakauma. Kiviaineksen tulee olla puhdasta. Kaikki orgaaninen materiaali esim. humus häiritsee sementin kovettumisprosessia jo pieninä määrinä. Betonin valmistuksessa käytettävää sementtiä on markkinoilla useita eri laatuja eri käyttötarkoituksiin. Maailmalla eniten käytetty sementtilaatu on Portland-sementti. Sementtilaatuja saadaan muuteltua lisäämällä Portland-sementtiin esim. silikaa, masuunikuonaa tai kalkkikivijauhetta. Betonin sideaineen perustana käytettävä Portland-sementti valmistetaan kuumentamalla kalliosta louhittua kalkkikivivoittoista kiviainesta n. 1400 °C lämpötilaan niin, että kiviaines sulaa ja sulamisen myötä komponentit reagoivat keskenään. Yleensä seokseen lisätään rautaa esim. valssihilseen muodossa. Raaka-aineet kuumennetaan pyöröuunissa korkeassa lämpötilassa, jonka johdosta tuote on täysin epäorgaaninen. Apuaineena kotimaisessa sementin jauhatussessa käytetään dietyyliglykolia vähentämään sementtijauheen ”sähköisyyttä”. (Kosomaa, Mattila & Tepponen, 2015, s. 38-43)

2.2 Betonin lisäaineet

Betonin käyttökohteista ja olosuhteista riippuen valmistettavaan massaan lisätään sen ominaisuuksia parantavia lisäaineita.

2.2.1 Notkistimet

Betonin lisäaineista notkistimet ovat käytössä eniten. Notkistimilla pyritään parantamaan betonin työstettävyyttä ja vähentämään veden määrää mm. kutistustaipuman pienentämiseksi. Vettä vähennettäessä myös vesimenttisuhde muuttuu, joten betonin lujuus ja tiiviys kasvaa, sekä säilyvyys paranee. Notkistimien toiminta perustuu niiden kykyyn kiinnittyä sementtipartikkelien pinnalle. Notkistimet aiheuttava sementtipartikkelien välille sähköisiä ja steerisiä hylkimisvoimia, ja siten hajottavat sementtikasautumia. Vesimolekyylit pääsevät niiden vaikutuksesta helpommin tunkeutumaan sementtirakeiden väliin ja näin ollen betonin notkeus ja työstettävyys paranevat. Kotimaisessa betoniteollisuudessa on nykyään käytössä lähes yksinomaan polykarboksylaattipohjaisia lisäaineita. Polykarboksylaattien ja polykarboksyylietterien pohjana on orgaaninen karboksyylihappo. Notkistetussa betonissa on polykarboksylaattia tyypillisesti noin 1 – 10 kg/m³. Polykarboksylaattipohjaisten notkistimien käyttö yleistyi 2000-luvulla, kun markkinoille tuli itsestään tiivistyvä betoni ja sen valmistaminen vaati uudentyypisten, erittäin tehokkaiden notkistimien käyttöä. Positiivisten käyttökokemusten myötä notkistimien käyttö ei rajoittunut pelkästään itsetiivistyvän betonin, vaan ne otettiin yleiseen käyttöön kaikessa betonin valmistuksessa. Tänä päivänä itsestään tiivistyvällä betonilla valetaan merkittävä osa muotissa tehtävistä betonielementeistä ja sitä on saatavilla myös useilta valmisbetoniasemilta. Kotimaisessa käytössä olevat notkistavat lisäaineet ovat terveydelle haitattomia. Lisäksi suurin osa notkistimesta sitoutuu sementtipastaan noin viikon kuluessa valusta. (Kosomaa, ym., 2015, s. 38-43)

Notkistimien käytössä on huomioitava notkistimen vaikutus betonirakenteen lujuusominaisuuksiin.

Notkistimen käytön tarve ilmenee yleensä kesken betonoinnin, joten päätös notkistimen käytöstä tehdään pääasiassa spontaanisti suunnittelematta. Tämän takia notkistimen annostelu on epätarkkaa. Notkistinta kaadetaan kanisterista betoniautoon ja on täysin kuljettajan arvion varassa, kuinka paljon ainetta lisätään.

2.2.2 Huokostimet

Betonin lisäaineena käytetyt huokostimet ovat pinta-aktiivisia lisäaineita, joilla parannetaan betonin pakkasenkestävyyttä. Pakkasenkestävyyttä tarvitaan esimerkiksi kosteissa olosuhteissa, jossa rakenne toistuvasti jäätyy ja sulaa. Käytännössä kaikki ulkotilojen betonirakenteet ovat pakkasrasi-

tuksen alaisia. Huokostimet alentavat veden pintajännitystä, jonka vaikutuksesta betonimassaan syntyy sekoituksen aikana pieniä ilmakuplia. Huokostinaine muodostaa veden ja ilman rajapintaan kalvon, jonka johdosta syntyneet ilmakuplat stabiloituvat eivätkä yhdisty suuremmaksi kuplaksi ja poistu massasta. Käytettäessä huokostimia, voidaan veden määrää vähentää, sillä ilmakuplat parantavat betonimassan työstettävyyttä ja koossa pysyvyyttä. Perinteisesti huokostimina on käytetty erityyppisiä saippuonia, kuten esimerkiksi hartsihappojen ja rasvahappojen suoloja, mutta nykyään tilalle on tullut jo paljon synteettisiä pinta-aktiivisia aineita, kuten alkyylisulfaatteja, alkyylisulfonaatteja, alkyylipolyglykolieettereitä ym. Huokostavien lisäaineiden käyttömäärät ovat hyvin pieniä. Pakkaskestävässä betonissa on huokostinta noin 10–150 g/m³. Huokostimet voivat sellaisenaan (liuoksena) ärsyttää ihoa, silmiä ja hengitysteitä. Betonimassassa tai kovettuneessa betonissa niiden vaikutus jää kuitenkin vähäiseksi betonin oman emäksisyyden ja huokostimen pienen käyttömäärän johdosta. (Kosomaa, ym., 2015, s. 38-43)

2.2.3 Hidastimet

Betonimassassa voidaan käyttää myös hydrataatiota hidastavia lisäaineita, joilla pyritään siirtämään betonin sitoutumista myöhemmäksi ja saada näin lisää aikaa betonointitöille. Hidastimien toiminta perustuu lisäaineen kykyyn kiinnittyä sementtirakeen pinnalle ja estää tai hidastaa alkuvaiheen hydrataatiota. Hidastusmolekyylien vaikutuksen lakattua, hydrataatio eli kovettuminen alkaa normaalisti. Hidastimien raaka-aineina käytetään pääosin sakkarooseja eli sokeria, orgaanisia happoja, kuten glukonaatteja tai sitruuna- ja viinihappoja tai epäorgaanisia fosfaatteja tai fosforihappoja. Sakkarooseja käytetään yleisesti myös ruoan makeuttamiseen, joten niitä voidaan pitää turvallisina käyttäjän kannalta. Glukonaatit ovat muunnettua sokeria, jota käytetään mm. dieettiruokien lisäaineina ja joita syntyy myös ihmisen aineenvaihdunnan välituotteena. Näin ollen ne eivät ole ihmiselle haitallisia. Hidastavat lisäaineet ovat yleensä edellä mainittujen raaka-aineiden tai niiden yhdistelmien vesiliuoksia. Hidastimia käytetään noin 0,1–1 kg/m³ riippuen halutun hidastuksen pituudesta. (Kosomaa, ym., 2015, s. 38-43)

2.2.4 Kiihdyttimet

Kiihdyttimiä voi käyttää, kun pyritään nopeuttamaan betonimassan sitoutumista tai kovettumista. Näin voidaan esim. saavuttaa muotin purkulujuus aiemmin tai mahdollistaa betonointityö kylmällä säällä. Betonin kiihdyttimenä käytetään monenlaisia aineita. Suomessa käytetään kiihdyttimenä kalsium-, nitraatti- ja -nitriitti- ja tiosyanaattipohjaisia aineita, sekä ruiskubetonin kiihdyttimiä alumiinisulfaattipohjaisia aineita. Valettavassa betonissa käytettävän kiihdyttimien määrä on noin 3–15 kg/m³. Ruiskubetonissa määrät voivat olla tätä suuremmat. Pääosa kiihdyttimistä on

vaarattomia sekä sellaisenaan että betoniin sitoutuneena. (Kosomaa, ym., 2015, s. 38-43)

2.2.5 Stabilaattorit ja kutistumaa vähentävät lisäaineet

Betonin koossapysyvyyttä voidaan parantaa stabilaattoreilla, joiden raaka-aineina käytetään tärkkelyksen johdannaisia, polysakkarideja, suurimolekyyllisiä polymeerejä (esim. polyetyleenioksidi) sekä erittäin hienojakoisia epäorgaanisia aineita, kuten silikajauhetta. Stabilaattorien käyttömäärät betonissa vaihtelevat 3–15 kg/m³. Betonin kutistumaa vähentävät lisäaineet ovat pääasiassa suurimolekyyllisiä glykoleita, kuten dipropyleeniglykolia, jota käytetään paljon myös kosmetiikkateollisuudessa ja lääkkeissä. Kutistumaa vähentävänä lisäaineena glykolia käytetään noin 3–7 litraa betonikuutiossa. (Kosomaa, ym., 2015, s. 38-43)

2.2.6 Väripigmentit

Pigmenteillä saadaan betoniin ja laasteihin väriä. Sideaineena voi olla sementti tai kalkki. Jauhemaisina aineina ne soveltuvat myös kuivatuotteisiin. Pigmentit ovat pääosin rautaoksidi-pohjaisia ja säilyttävät hyvin väriinsä betonissa tai laastissa. Pigmentit ovat sään- ja valonkestäviä ja kestävät hyvin alkalisen sementtipastan. Värivalikoima on kattava: perusvärien punaisen, mustan, keltaisen sekä ruskean lisäksi löytyvät vihreä, sininen sekä titaanidioksidi. Pigmenttejä voidaan sekoittaa keskenään, mikä mahdollistaa laajan valikoiman eri värisävyjä. Pigmenttien käyttömäärä on noin 5–20 kg betonikuutiota kohti eli noin 0,5– 6 % sementin painosta. (Kosomaa, ym., 2015, s. 38-43)

2.2.7 Muut sideaineet

Betonin valmistuksessa voidaan käyttää täydentävinä sideaineina eli seosaineina masuunikuonaa, lentotuhkaa, silikaa ja kalkkikivijauhetta. Seosaineet omaavat kyvyn muodostaa sementtikiveen lujuutta, kun ne sekoitetaan emäksisen Portland-sementin kanssa. Masuunikuona, lentotuhka ja silika ovat teräs- ja energiateollisuuden sivuvirtoina hiilidioksidineutraaleja. Niitä käyttämällä kyetään siten alentamaan betonin hiilijalanjälkeä. Lisäksi seosaineilla voidaan hallita betonin lämmöntuottoa kovettumisvaiheessa ja parantaa kovettuneen betonin tiivyyttä kloridien tunkeutumista vastaan. Masuunikuona on raakaraudan valmistuksen sivutuotteena syntyvää, rautamalmista jäljelle jäänyttä sulanutta sivukiveä. Betonissa käytettävä lentotuhka kerätään kivihiilivoimalaitosten savukaasuista, eli se on kivihiilen sisältämää hienojakoista ja palamatonta kiviainesta. Silika on piiraudan valmistuksessa niin ikään savukaasuista erotettua äärimmäisen hienojakoista ja puhdasta piidioksidia, jolla on merkittävä betonia tiivistävä ja lujuutta lisäävä vaikutus. Kalkkikivijauhe on hyvin hienoksi jauhetua kalliosta irrotettua kalkkikiveä. Kaikille edellä mainituille seosaineille on yhteistä se, että ne ovat alkuperänsä johdosta puhtaasti epäorgaanisia

aineita, eivätkä ne sisällä liukenemis- tai haihtumiskykyisiä ainesosia. (Kosmaa ym., 2015, s. 38-43)

2.3 Betonilaatuja

Eri käyttötarkoituksiin on kehitetty erilaisia betonilaatuja. Oheisessa taulukossa esitettynä betonilaatuja käytettäväksi erilaisissa rakenneratkaisuissa.

Taulukko 1. Betonityypit ja oikea betonin valinta (Betoni-lehti, 2020, n.d.).

Rakenne	Lujuusluokka	Suurin raekoko mm	Notkeus sVB
Perustukset	K30 (C25/30)	16, 32	Notkea (S2)
Maanvarainen	K25 (C20/25)	16	Vetelä (S3), Notkea (S2), laatta erillinen, pintavalu
-autotallin laatta	K45 (C35/45)	16	Notkea (S2), autotallin lattiassa tarvitaan kulutuskestävyyttä sekä kykyä kestää auton renkaista tulevaa tiesuolaa
pintabetonilattiat			
-30-50mm	K25 (C20/25)	8, 12	Vetelä (S3)
-50-80mm	K25 (C20/25)	16	Notkea (S2)
kelluvat lattiat (>40mm)	K25 (C20/25)	8, 12, 16	Vetelä (S3), Notkea (S2)
SEINÄT JA	K25 (C20/25)	16	Notkea (S2)
PILARIT			Sisätiloissa olevat seinät ja pilarit
ULKONA OLEVAT RAKENTEET	K37 (C30/37)	8, 12, 16, 32	Notkea (S2), Käytettävä säänkestäviä betonilaatuja

Markkinoilla on lukuisia eri betonijalosteita, jotka poikkeavat koostumukseltaan ja kosteustekniseltä käyttäytymiseltään huomattavasti toisistaan. Aiemmin mainitsemillani lisäaineilla voidaan vaikuttaa käytetyn betonin ominaisuuksiin, jotta saavutetaan vaadittu laatutaso, jonka betonimassan käyttötarkoitus ja valuolosuhteet määrittävät. Käytettävän jalosteen valintaan liittyvät myös, esimerkiksi kohteen aikataulu. Erikoisbetonien käytössä on muistettava, että niiden kuivumiskäyttäytymisissä on myös poikkeavuuksia, jotka voivat aiheuttaa esimerkiksi kuivumiskutistumaa. Lisäaineita tulee käyttää aina suunnitellusti.

2.3.1 Lattiabetoni

Lattiabetoni on nimenomaan betonilattioiden valamiseen kehitetty betonilaatu. Lattiabetonia käytetään lattioiden lisäksi parvekkeiden sekä terassien laattojen valuissa. Yleisin käytettävä lujuusluokka on C20/25 ja kivikoko hieno16 notkeusluokan ollessa S3 normaalivahvuissa laatoissa. Erittäin ohuissa valuissa käytetään hienompaa 8mm kivikokoa ja paksujen laattojen (yli 12cm) tapauksissa voidaan käyttää 16mm kivikokoa ilman hienoainesta. Lattiabetoni voidaan toteuttaa myös nopeasti pinnoitettavalla NP betonilaadulla, jolloin betonilaatan kuivuminen nopeutuu noin 2 kertaiseksi tavalliseen betoniin verrattuna. (Lattiamies, n.d.)

2.3.2 Säänkestävä betoni

Säänkestävä betoni ja pakkasbetoni sekoitetaan monesti keskenään nimen vuoksi vaikka ovat kaksi eri tuotetta. Säänkestävässä betonissa on huokoisuus. Lujuus aina vähintään C28/35. Käytetään yleisesti ulkotiloissa, joissa rakenne pääsee kastumaan ja jäätymään talvella. Korkean lujuusluokan ja huokostuksen ansiosta betoni kestää toistuvasti tapahtuvan jäätymis-sulamisrasituksen vaurioitumatta. Huokostuksen myötä betonissa olevat ylimääräiset ilmakuplat toimivat lisätilana jäätyneen veden laajentuessa. Säänkesto-ominaisuuksia voidaan tilata lähes kaikkiin betonilaatuihin. Säänkestävää betonia ei kuitenkaan voida valaa pakkasolosuhteissa vaan lämpötila tulee olla $>0^{\circ}\text{C}$, mieluummin $> +5^{\circ}\text{C}$. (Lattiamies, n.d.)

2.3.3 Pakkasbetoni

Pakkasbetoni taas soveltuu valettavaksi jopa -15°C olosuhteissa. Pakkasbetonia käytetään vain erikoistilanteissa talvella, lähinnä onteloiden saumavaluihin, erilaisiin juotosvaluihin sekä valuharkkojen täyttövaluihin pakkasolosuhteissa. Pakkasbetonista ei voi valaa esimerkiksi lattiaa. Kylmissä talviolosuhteissa jos joudutaan valamaan esimerkiksi lattialaattoja, täytyy betonin lämmityslisän lisäksi tilata betoniin extralämpö, jolloin betoni on vähintään 30 asteista. (Lattiamies, n.d.)

2.3.4 Nopeasti kovettuva betoni (RAPID)

Nopeasti kovettuva, arkikielessä RAPID betoni on nimenomaan nopeasti kovettuva betoni, betonissa käytetään tällöin rapid-sementtiä. Kyseistä betonilaatua käytetään esim. viileissä olosuhteissa, kun lämmitystä ei ole mahdollista järjestää. Rapid-sementtiä käytettäessä betonin kovettuminen nopeutuu ja esimerkiksi lattiaa päästään hiertämään nopeammin kuin tavallista betonia käytettäessä. Toinen yleinen käyttötarkoitus on ulkovalut viileissä olosuhteissa, jolloin on vaara betonin jäätymiselle ennen sementin kovettumista. Nopeasti kovettuva rapid betoni ei kuivu yhtään nopeammin kuin tavallinen betoni. Nimi sekoitetaan monesti nopeasti pinnoitettavan NP betonin kanssa, vaikka kyseessä ovat täysin erityyppiset betonilaadut. (Lattiamies, n.d.)

2.3.5 Nopeasti pinnoitettava (nopeasti kuivuva) NP Betoni

Nopeasti pinnoitettava NP betoni kuivuu kaksinkertaisella nopeudella verrattuna tavalliseen betoniin. Betonilaadun käyttö on lisääntynyt viime aikoina erittäin paljon, koska monesti rakennusaikataulut ovat tiukkoja ja nopeammin kuivuva NP betoni mahdollistaa esimerkiksi lattioiden nopeamman pinnoittamisen. Yleisin käyttötarkoitus onkin nimenomaan lattia-laatat ja suuri osa Lattiamiehen valamista lattioista toteutetaan nimenomaan NP-betonilla. (Lattiamies, n.d.)

2.3.6 Muovikuitubetoni

Muovikuitubetoni vähentää laatan halkeilua ja tarvittaessa mahdollistaa hiukan ohuempien laattojen valamisen kuin betoni ilman muovikuitua. Muovikuidulla voidaan myös korvata rauditus, kun muovikuitua annostellaan riittävästi. Yleensä muovikuitubetonia käytetään lattiarakenteissa yleisen annostelun ollessa käyttötarkoituksesta riippuen välillä 1kg-3,5kg/m³. Muovikuitubetonia ei suositella viimeiselle pinnalle jätettävän betonilattian valuihin, muutoin kuin parkkihalleissa, joissa muovikuitujen paikoittainen näkyminen pinnassa ei ole ongelma. (Lattiamies, n.d.)

2.3.7 Väribetoni

Väribetonia käytetään kohteissa, joissa betoni jää viimeiselle pinnalle ja halutaan joku tietty väri/värisävy betoniin. Yleensä kyseessä ovat lattia- ja seinärakenteet. Yleisin ja edullisin väri on musta, jota lisätään tietty prosenttimäärä betonimassaan, yleisesti noin 1% jolloin betonin sävy muuttuu kauttaaltaan. Muut värit ovat kalliimpia, sinisen ollessa kaikista kallein värisävy. Betonin pinta voidaan värjätä myös sirotteella etenkin lattiapinnoilla. Sirotevärjäyksestä käytetään yleisesti nimikettä Mastertop, vaikka sirotevalmistajia on useita Mastertopin ollessa vain yksi tuotemerkki. Sirotevärjäys on selkeästi edullisempi ratkaisu ja tuo lisäksi huomattavasti lisää kulutuskestävyyttä lattiapintaan. Sirotetta käytetään paljon nimenomaan autotalleissa ja teollisuushalleissa sekä viimeiselle pinnalle jätettävän asuin-/julkisen tilan lattioissa kuten omakotitaloissa ja esimerkiksi kaupoissa ja kauppakeskuksissa. (Lattiamies, n.d.)

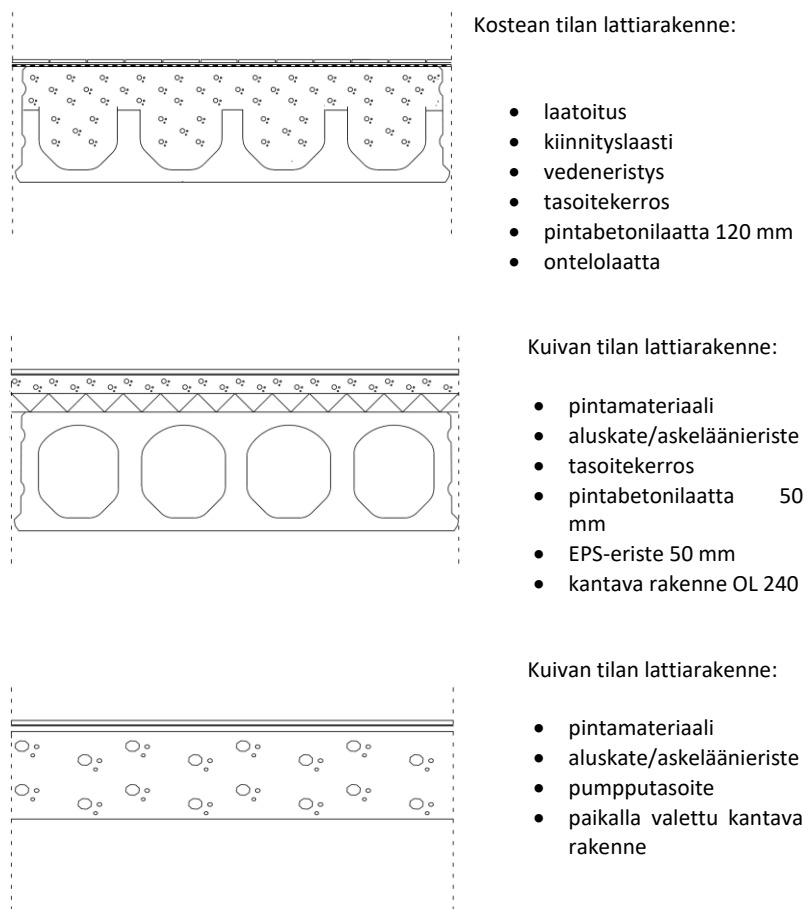
Samassa kohteessa voi olla käytössä useita eri betonilaatua. Esimerkiksi talvella runkoa valettaessa saattaa eri kerrosten holveissa olla eri laatuja esim. Rapid-laatu ja normaalisti kovettuvaa laatua riippuen siitä, minkälaiset valualueen ilmasto-olosuhteet ovat olleet betonointihetkellä. Kosteudenhallinnassa tulee aina huomioida eri betonilaatujen käyttö ja ottaa huomioon kuivumisaikaa arvioitaessa ja kuivumisolosuhteiden hallinnassa. Rakennekosteuden mittauksissa eri betonilaatujen käyttö huomioidaan mittauspisteiden sijoittelussa.

3 BETONILATTIA

3.1 Yleisimmät käyttökohteet

Betonirakenteisia lattiarakenteita käytetään kaikissa talotyypeissä ala- ja välipohjarakenteissa. Betonia käytetään niin kantavana, kuin myös ei-kantavana rakenteena. Nykyään käytössä olevissa rakenneratkaisuissa löytyy useita erilaisia ratkaisuja eri paksuisina ja laatusina toteutuksina.

Oheisessa kuvassa esitettynä muutama yleisimmin käytetty rakenneratkaisu betonilattioissa.



Kuva 1. Esimerkkejä käytetyistä betonilattiaavaihtoehdoista

3.2 Betonointi

Betonointiprosessi alkaa siitä, että valuolosuhteet ovat oikeat. Tärkein laatuun vaikuttava merkitys on valuolosuhteilla, kuten lämpötilalla, kosteudella ja vedottomuudella. Asennuspaikan ilmatilan ja valualustan lämpötilalla on merkittävä vaikutus betonimassan sitoutumisnopeuteen sekä kosteuden haihtumisnopeuteen. Veden runsas haihtuminen johtaa lähes poikkeuksetta plastiseen halkeiluun. Tämän vuoksi kosteuden haihtuminen vaikuttaa hierron ja jälkihoitojen ajoitukseen sekä menetelmien valintaan. Haihtumisnopeudella on näin ollen myös pinnan laatuun vaikuttava merkitys. Valuympäristön ilmatilan kosteuspitoisuus, ilmavirtaukset sekä auringon säteily vaikuttavat betonin kosteuden haihtumisnopeuteen ja -määrään. Betonisen aluslattian päälle valettaessa liian pieni kosteuspitoisuus sekä valualustassa oleva lika huonontavat pintalattian tartuntaa. Myös sateen mahdollisuuteen tulee aina varautua suunnitellessa holvin valua, sillä sade voi rikkoa betonin pinnan.

Betonilattioiden onnistunut toteutus koostuu käytetyistä työ- ja jälkihoitomenetelmistä, valualueesta ja siihen käytettävistä resursseista, betonin koostumuksesta ja siirtomenetelmästä, suunnittelusta ja mitoituksesta, betonin valinnasta, työn valvonnasta ja yhteistyöstä eri osapuolten välillä sekä lattian kuormittamisen ajoittamisesta.

3.2.1 Valualustan ja ilman lämpötila

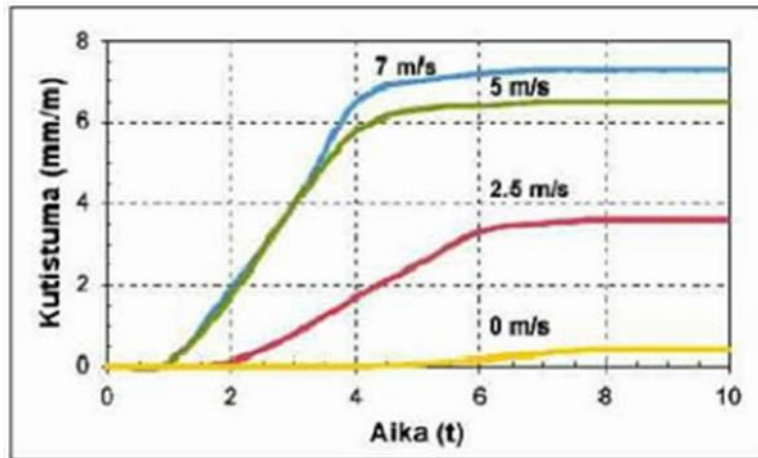
Lattian betonirakenteet ovat ohuita ja laajoja rakenteita, joilla on laaja kontaktipinta sisäilmaston ja valualustan kanssa. Jos betonitoissa valualusta ja ilman lämpötila on kylmempiä, kuin valettava betonimassa, johtaa se myös betonimassan nopeampaan jäähtymiseen. Betonin hydrataatio on suoraan riippuvainen betonimassan lämpötilasta, joten häiriintynyt hydrataatio viivästyttää mm. hierron aloittamista ja altistaa valettavan rakenteen plastiselle varhaisvaiheen halkeilulle. Valualustan lämpötila muodostuu usein ongelmaksi valettaessa maanvaraisia lattioita tai valettaessa ontelolaatan päälle. Kylmälle alustalle valettaessa jäähdyttää valualusta tuoreen betonimassan alaosan nopeasti. Mikäli valualueen sisäilmaston lämpötila on korkeampi kuin valualusta, johtaa se tilanteeseen, jossa tuoreen betonimassan yläosa on lämpimämpi, kuin alaosa. Tästä muodostuu tilanne, jossa hierron alkaessa betonimassan alaosassa ei ole tapahtunut riittävästi sitoutumista. Vaarana on, ettei rakenne vielä kanna ja esim. hierontokonetta käytettäessä rakenteeseen muodostuu halkeamia. Alaosan kylmyydestä seuraa myös ilmiö, jossa tuoreesta betonimassasta erottuu vettä, joka nousee valun pintaan, kun yläosa on jo hierretty. Alaosasta noussut vesi muodostaa valun pintaan kuplia. Mikäli hierto joudutaan tekemään pintaan, johon nousee koko ajan vettä, tulee valun pinnasta heikko ja helposti pölyävä. Varsinkin massiivisissa rakenteissa saattaa muodostua tilanne, jossa betonivalun sisäosa on huomattavasti lämpimämpi kuin valualueen ilmaston lämpötila. Sementti vapauttaa hydrataatiossa lämpöä. Betonirakenteissa lämpötilan muuttuessa tapahtuu myös

tilavuuden muutoksia, joita kutsutaan lämpömuodonmuutokseksi. Lämpömuodonmuutos aiheuttaa tilanteen, jossa rakenteen pintaosat supistuvat eri tahtiin kuin sisäosat. Tästä seuraa lämpöjännityksiä, jotka johtavat rakenteen halkeiluun. Betonitöissä on aina kiinnitettävä huomiota valuumpäristön lämpötiloihin ja tarvittaessa käyttää lisälämmitystä. Lämpöjännityksien esiintymiseen voidaan vaikuttaa myös käytettävällä sementtilaadulla. Sementeistä SR- ja yleisementit tuottavat vähiten hydrataatiolämpöä, kun taas Rapid- ja pikasementit tuottavat runsaasti hydrataatiolämpöä. Tästä johtuen Rapid- ja pikasementtejä ei suositella käytettäväksi massiivissa rakenteissa. Hydrataatiolämpötilaan voidaan lisäksi vaikuttaa korvaamalla osa sementistä kuonajauheella tai lentotuhkalla, joilla on huomattavasti matalampi hydrataatiolämpötila. Sideainekoostumuksen lisäksi betonoinnissa on huomioitava myös notkistimien käytön vaikutus eri valulämpötiloissa. Notkistin hidastaa hydrataatiota ja tämä ominaisuus vahvistuu lämpötilan laskiessa. Lisälämmitystä käytettäessä on tärkeää ensin sulkea kohteen ovi- ja ikkuna-aukot. Valualustan ja ilmaston lämmittäminen tulee aloittaa hyvissä ajoin. Käytettäessä lämpöpuhaltimia, tulee puhaltimien suuntaamiseen kiinnittää huomiota. Ilmavirta ei saa osoittaa suoraan valettuun betonirakenteeseen plastisten halkeilun välttämiseksi. Myös auringo tulee ottaa huomioon valuolosuhteita valmistellessa. Varsinkin keväisin auringon paistaessa saattaa lämpötilaero varjokohtaan olla hyvinkin suuri, jonka johdosta saattaa seurata eri aikaista sitoutumista eri puolille rakennetta. (Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 63)

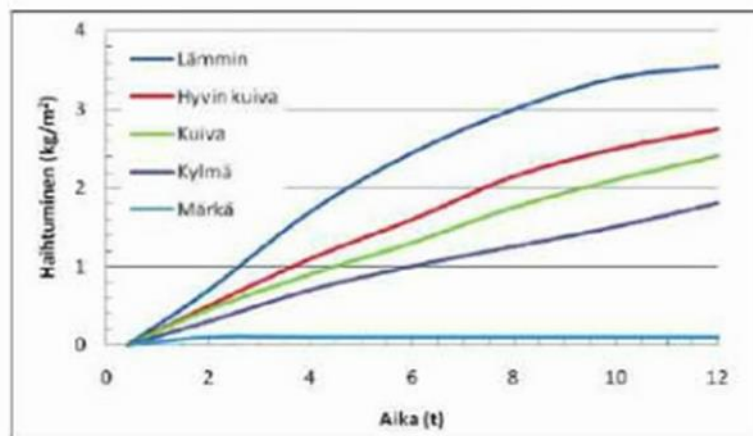
3.2.2 Ilman kosteuspitoisuus ja tuuli

Ympäröivän ilman kosteuspitoisuudella on merkittävä vaikutus valun pinnasta haihtuvan kosteuden nopeuteen ja määrään. Liian runsas veden haihtumien johtaa lähes poikkeuksetta plastiseen halkeiluun betonirakenteen kutistuessa eri tahtiin eri puolilta rakennetta. Varsinkin talviaikana sisätiloissa valettaessa ongelmaksi muodostuu liian kuiva ilmasto ulkoilman RH ollessa <20 %. Myös keväällä auringon paistaessa kuivumisnopeus saattaa kohota liian korkeaksi. Kuiva ilma yhdessä auringonpaisteen kanssa aiheuttaa plastisia muodon muutoksia, mikäli ei käytetä oikeata varhaisjälkihoitoa, joka ajoitetaan tehtäväksi välittömästi pinnan oikaisun jälkeen. Mikäli varhaisjälkihoitoa ei tehdä ja haihtumisnopeus on liian suurta saattaa se johtaa valun pinnan korputtumiseen ennen alaosan sitoutumista. Tämän seurauksena myös hierto-olosuhteet heikkenevät merkittävästi jatkuvasti nousevan kosteuden vuoksi ja pinta epäonnistuu. Tuulella on myös merkittävä vaikutus valun pinnasta tapahtuvaan veden haihtumiseen. Sisätiloissa tuulen vaikutus voidaan poistaa peittämällä mahdolliset avoimet ovi- ja ikkuna-aukot. Ulkona valettaessa ainoa keino tuulen vaikutusta vastaan on välittömästi pinnan oikaisun jälkeen levitettävä jälkihoitoaine. (Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 64)

Oheisessa kuvassa esitettynä graafisesti tuulen vaikutusta varhaisvaiheen kutistumaan sekä valuympäristön ilmatilan olosuhteiden vaikutuksesta veden haihtumiskykyyn tuoreesta betonimassasta. Kuten kuvista voidaan todeta, on tuulella merkittävä vaikutus varhaisvaiheen kutistumaan.



Kuva 2. Kuvassa vertailua tuulen vaikutuksesta varhaisvaiheen kutistumaan. (Betonilattiat kortisto, Bly-14, 2012, s. 64)



Kuva 3. Kuvassa valuympäristön ilmatilan ominaisuuksien vaikutusta veden haihtumisnopeuteen tuoreesta betonimassasta.

Kylmä: +5 °C / RH 40 %

Lämmin: + 30 °C / RH 40 %

Kuiva: + 20 °C / RH 70 %

Hyvin kuiva: + 20 °C / RH 40 %

Märkä: + 20 °C / RH 100 %

(Betonilattiat kortisto, Bly-14, 2012, s. 64)

3.2.3 Alustan kosteuspitoisuus, puhtaus ja lujuus

Kiinnitetyissä, ei-kelluvissa, pintalattioissa valettavan alustan kosteudella on suuri merkitys betonivalun kiinnittymiseen alustaansa. Alustan ollessa liian kuiva, imeytyy valusta kosteutta alustaan, jonka seurauksen hydrataation tarvittava vesimäärä pienenee eikä betoni saavuta lujuuttaan. Lisäksi

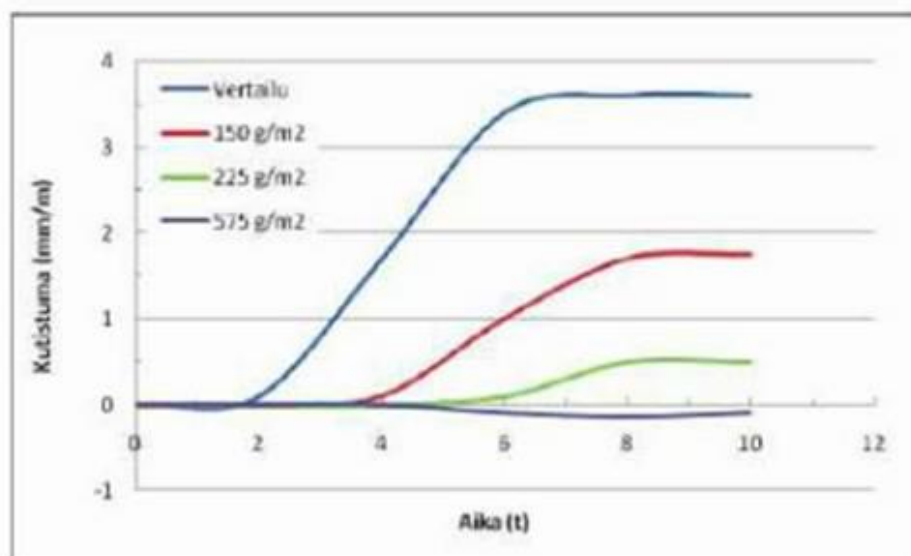
kun vettä poistuu valun alapinnasta sekä yläpinnasta, johtaa se liialliseen veden poistumiseen seurauksena plastista halkeilua. Myöskään jälkihoitotoimet eivät vaikuta alustan suuntaan tapahtuvaan kosteuden siirtymiseen. Valualusta tulee aina kastella huolella kauttaaltaan ennen valua, mutta kuitenkin siten, ettei valuhetkellä irtovettä esiinny valualustan pinnoilla. Valualustan kastelemiseen tulee panostaa jo useita päiviä ennen valua riittävän vedenimeytymisen varmistamiseksi. Pintavaluissa myös alustan puhtaudella on vaikutusta kiinnittymiseen. Alustasta tulee poistaa kaikki epäpuhtaus harjaamalla, hionnalla, jyrsinällä tai tarvittaessa sinkopuhalluksella. (Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 64)

3.3 Jälkihoito

Valetun betonirakenteen jälkihoidolla estetään rakenteen liian varhainen kuivuminen. Oikeanlaisella ja huolella toteutetulla jälkihoidolla vaikutaan valetun rakenteen pinnan lujuuteen, päällystettävyyteen sekä halkeiluun. Betonista valetuista latioista tulee olla aina tehtynä jälkihoitosuunnitelma, jossa huomioidaan kaikki kohteen ominaisuudet ja valuolosuhteet. Huomioon tulee ottaa myös lujuudenkehitys rakenteen kuormitettavuuden ajoituksen määrittämiseksi. Valvonta ja vastuuhenkilöt nimetään suunnitelmaan. Vastuuseen nimetyt henkilöt kirjaavat valuolosuhteet ja tehdyt jälkitoimet betonoimispäiväkirjaan. (Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 66)

Betonirakenteen jälkihoito jaetaan kahteen vaiheeseen: varhaisjälkihoitoon, joka tehdään välittömästi pinnan oikaisun jälkeen sekä varsinaiseen jälkihoitoon, joka tehdään pinnan hiertämisen jälkeen ja siitä eteenpäin. Jälkihoidolla ei voida poistaa rakenteen kuivumiskutistumista, mutta kuivumiskutistuminen alkaa siitä, kun jälkihoito lopetetaan. Halkeilua välttääkseen, varsinkin lattioissa on huomioitava, että käytetyn massan vetolujuus kestää kuivumisen ja kutistumisen tuottamat jännitykset. Betonin varhaisvaiheen plastista halkeilua voidaan estää tehokkaalla jälkihoidolla estämällä kosteuden poistuminen valetusta rakenteesta. (Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 66)

Oheisessa kuvassa esitettynä betonipinnan plastinen kutistuma erisuuruisilla varhaisjälkihoitoaineen ruiskutusmäärillä. Ruiskutusmääriä vertailtaessa on ero kutistumassa merkittävä.



Kuva 4. Kuvassa betonipinnan plastinen kutistuma erisuuruisilla varhaisjälkihoitoaineen ruiskutusmäärillä. Tuulen nopeus 2,5 m/ s T +20 °C RH 40 %. (Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 66)

3.3.1 Varhaisjälkihoito

Varhaisjälkihoito korostuu, kun valuympäristössä on valuhetkellä veden haihtumista kiihdyttäviä elementtejä: tuuli, auringon paiste, matala ilman suhteellinen kosteus tai kun ilman ja betonin välinen lämpötilaero on suuri. Betonilaaduista voimakkaasti notkistetut, säänkestävät sekä korkealujuuksiset betonit vaativat yleensä varhaisjälkihoitoa niiden vähäisen vedenerottumisominaisuuden vuoksi. Varhaisjälkihoito on kätevä levittää sumuttamalla vasta valetulle betonipinnalle riittävästi varhaisjälkihoitoainetta. Valun pinta voidaan pitää kosteana myös vettä sumuttamalla, mutta vesi haihtuu kuitenkin pian, joten käsittely on uusittava säännöllisesti. Liiallinen veden sumutus tekee taas valun pinnasta heikon ja pölyävän. Myös muovia voi käyttää, mutta se pitää poistaa ennen hiertämistä. (Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 66)

3.3.2 Varsinainen jälkihoito

Yleensä varsinaiseksi jälkihoidoksi riittää hierron jälkeen sumutettu riittävän runsas jälkihoitoainemäärä. Määrää arvioitaessa tulee tilan ilmanvaihtuvuutta ja muita kuivumista edistäviä olosuhteita ottaa huomioon. Ainetta valittaessa ja käytettäessä tulee aina perehtyä tuotevalmistajan ohjeisiin. Oikean jälkihoitoaineen valinta tulisi aina perustua kyseisen kohteen olosuhteisiin. Jälkihoitoa voidaan tehostaa levittämällä valua seuraavana aamuna vielä yksi kerros jälkihoitoainetta joko sumuttamalla tai teelaamalla. Aineet poistetaan pinnoilta jälkihoitoajan jälkeen, kun rakenteen voidaan antaa alkaa kuivumaan. Jälkihoitoaineen poisto tehdään yleensä jyrsimällä, hiomalla tai sinkopuhalluksella. Jälkihoitoainetta poistettaessa on aina oltava riittävän huolellinen sillä kaikki rakenteen pintaan jääneet jälkihoitoaineet estävät kosteuden poistumista rakenteesta ja näin ollen

huolimattomasti toteutettu poisto johtaa tilanteeseen, missä rakenteet kuivuvat eri tahtiin. Olosuhteissa, joissa kuivumista edistäviä tekijöitä on runsaasti, ei pelkkä jälkihoitoaine ole aina riittävä. Pinnoille saatetaan joutua levittämään muovia. Yleensä kuitenkin muovi päästään levittämään vasta valua seuraavana aamuna, joten jälkihoitoaineen levitys pinnalle välittömästi hierron jälkeen on kuitenkin tarpeellista jälkihoidon onnistumisen varmistamiseksi. Muovia käytettäessä on kiinnitettävä huomiota muovin paikallaan pysymiseen teippaamalla ja lisäpainoilla. Tuuli ei saisi päästä muovin alle. Muovituksien paikalleen pysymistä on seurattava koko jälkihoidon ajan. Betonin pinta on pidettävä kosteana koko jälkihoidon ajan ja näin ollen levitetyn muovin alle on saatava levitettyä vettä. Veden tasaisesti levittäminen muovin alle on haastavaa, joten vaihtoehtoinen peitto menetelmä on suodatinkangas. Suodatinkangas on kohtuullisen helppo uudelleen kastella päältä päin ilman suodatinkankaaseen koskemista. Pinnoitettavia betonirakenteita kastellessa on muistettava, että rakenne alkaa kuivumaan vasta kastelun loputtua. Rakennetta tulisikin kastella maltilla, mutta kattavasti. Mielummin ohut sumutus useasti levitettynä kuin lammikoitunut vesi. (Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 67)

Lämpötilan tulee olla koko jälkihoitoajan $> +5$ °C. Massiivissa rakenteissa laatan pintaosan ja ydinosaan välinen lämpötilaero tulee rajoittaa 15 – 20 °C:een suojaamalla rakenteen pinta esim. pressuilla tilanteen niin vaatiessa. Pinnalle levitetty pressu estää pinnan jäähtymistä ja näin ollen hillitsee lämpöjännityksistä johtuvia muodonmuutoksia. Jälkihoitoajan pituuden vaikuttavat mm. kovettumisolosuhteet, betonilaatan ympäristöluokka sekä käytetyn betonin kovettumisnopeus. Jälkihoitotyöt voidaan lopettaa rasitusluokissa X0 ja XC1, kun betoni on saavuttanut 60 & nimellislujuudestaan, ja muissa kuin XF2 ja XF4 rasitusluokissa, kun betoni on saavuttanut 70 % nimellislujuudestaan. Rakenteita, jotka kuuluvat rasitusluokkiin XF2 ja XF4 tai joilta edellytetään erityistä kulutuskestävyyttä, tulee jälkihoitaa, kunnes betoni on saavuttanut 80 % nimellislujuudestaan. (Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 67)

Oheisessa taulukossa esitettynä suositeltavia jälkihoidon vähimmäisaikoja eri kovettumisolosuhteissa. Jälkihoitoajat tuleekin aina arvioida tapauskohtaisesti, sillä valu ympäristön lämpötilalla on merkittävä vaikutus vaadittavaan jälkihoitoaikaan.

Taulukko 2. Jälkihoidon suositeltavat vähimmäisrajat eri kovettumisolosuhteissa normaalisti kovettuvalle betonille sekä nopeasti kovettuvalle betonille (Betonilattiat kortisto bly-14, 2012, s. 67).

Betonin lämpötila (°C)	Aika [d], jolloin saavutetaan 60 % nimellislujudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 70 % nimellislujudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 80 % nimellislujudesta		
	C25/30	C30/37	C40/50	C25/30	C30/37	C40/50	C25/30	C30/37	C40/50
10	11	10	7	17	16	13	26	26	22
20	6	5	4	9	8	6,5	14	13	12
30	3,5	3	2,5	5,5	5	4	8	8	7
40	2,5	2	1,5	3,5	3	3	5,5	5,5	5

Betonin lämpötila (°C)	Aika [d], jolloin saavutetaan 70 % nimellislujudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 80 % nimellislujudesta		
	C25/30	C30/37	C40/50	C25/30	C30/37	C40/50
10	6	5,5	5	7,5	8	6,5
20	4	4	3,5	5,5	6	4,5
30	3	2,5	2,5	4	4,5	3,5
40	2,5	2	2	3	3	2,5

3.3.3 Betonipinnan jälkihoitoaineet

Sementin kovettumisreaktion onnistuminen rakenteen pinnassa edellyttää jälkihoitotoimia välttyäkseen liian varhaiselta kuivumiselta. Mm. aurinon ja tuulen vuoksi betonin pintaa on usein jälkihoidettava sumuttamalla valetulle pinnalle vettä tai jälkihoitoainetta. Hoito voidaan tehdä myös peittämällä. Jälkihoitoaineina käytetään vesiohenteisia hartseja ja vahoja, jotka muodostavat betonin pinnalle ohuen veden haihtumista estävän kalvon. Jälkihoitoaineen menekki on 150 – 300 g/m² riippuen betonipinnan karheudesta. Jälkihoitoaine on poistettava ennen rakenteen kuivumista. Tuotteet ovat vesiohenteisen maalin kaltaisia, joten niitä käytettäessä ei ole erityisiä turvallisuusuhkia. (Kosomaa ym., 2015, s. 38-43)

3.3.4 Pölynsidonta-aineet

Jälkihoidon epäonnistuessa, pinnat saattavat jäädä helposti pölyäviksi. Rakenteesta irtoava pöly on pääosin reagoimatonta sementtiä ja kalsiumhydroksidia, jota syntyy kovettumisreaktiossa sekä hienoa kiviainesta. Pintojen pölyäminen voidaan estää pölynsidontakäsittelyllä, jotka tavallisimmin ovat silikaatteja, muodostaen pölyvien yhdisteiden kanssa uutta sementtikiveä. Silikaattien käyttö sopii hyvin betonille, koska betoni koostuu itsekin erilaisista silikaateista. Pölynkäsittelyn myötä betonin pinta tiivistyy. (Kosomaa ym., 2015, s. 38-43)

3.3.5 Betonipintojen suoja-aineet

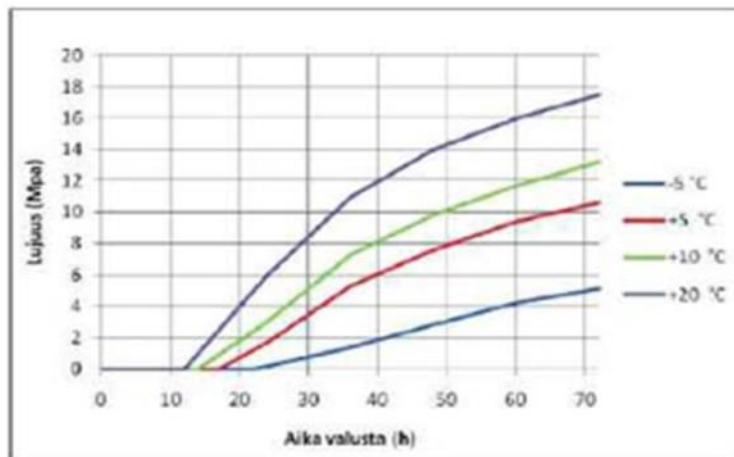
Betonirakenteiden ulkonäköä voidaan suojata likaantumista vastaan käsittelemällä pinnat ns. suoja-aineilla. Ulkonäön lisäksi suoja-aineet parantavat jonkin verran myös betonin kestävyysominaisuuksia, kuten pakkasen ja kulutuksenkestävyyttä. Betonipintojen suojaamiseen on käytettävissä monenlaisia tuotteita. Impregnointiperiaatteella toimivat suoja-aineet eivät muodosta kalvoa, vaan muuttavat betonin pinnan vettä hylkiväksi estäen lian tunkeutumisen betonin huokosiin. Nämä tuotteet ovat yleisimmin silaani-, siloksaani-, silikonaatti- tai silikaattipohjaisia. Suoja-ainetta käytetään betonin pinnoille noin 100 – 300 g/m². Pintoja voidaan suojata myös paksummilla, kalvon muodostavilla suoja-aineilla. Näissä tuotteissa sideaineena voi olla esim. akryylihartsia, epoksi tai polyuretaani. Kaikkien suoja-aineiden tulee olla CE-merkittyjä, mikä edellyttää, että tuotteilla käsitellyistä pinnoista ei saa vapautua terveydelle, hygienialle tai ympäristölle vaarallisia aineita. (Kosomaa ym., 2015, s. 38-43)

3.4 Lujuuden kehitys

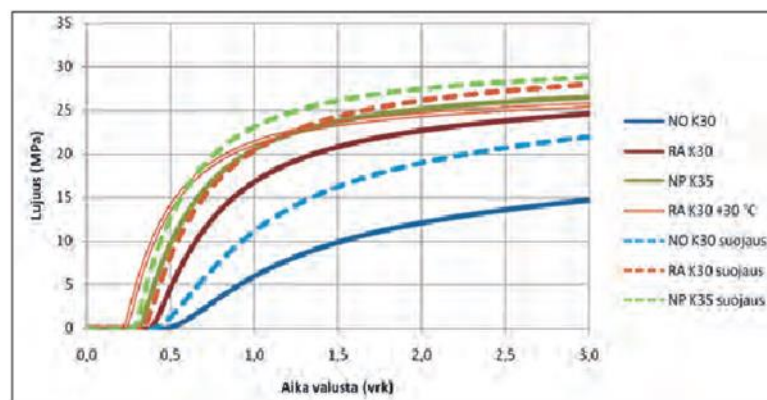
Betonin lujuuden kehitys alkaa välittömästi valusta, ellei erityisiä hidastimia ole käytetty. Sementin ja veden reagointi eli hydrataatio muodostaa sementtiliiman, joka sitoo muut betonin rakenneaineet toisiinsa.

Lujuus määritetään prosentuaalisena suhteena kyseisen rakenteen nimellislujuuteen. Betonirakenteen lujuudenkehitys on suhteessa kovettumisaikojen lämpötilaan. Betonin sitoutuminen hidastuu lämpötilan laskiessa. Betonin lujuuskehitykselle on ominaista, että vetolujuus kehittyy hitaammin kuin puristuslujuus. Tuoretta betonilaattaa kuormitettaessa tulee huomioida laatan alareunan halkeiluriski. Halkeaman myötä vetokuormituskäkyvyys heikkenee pysyvästi ko. kohdassa ja voi siten jatkaa halkeamistaan kuivumiskutistuman myötä. Pinnan kuormitus pian valun jälkeen tulee aina perustua lämpötilamittauksiin perustuvaan laskentaan lujuudenkehityksestä. (Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 67)

Oheisissa kuvissa on havainnoitu kantavan välipohjarakenteen keskiosan lujuudenkehitystä eri olosuhteissa.



Kuva 5. Kuvassa 260 mm paksun välipohjarakenteen keskiosan lujuudenkehitys eri lämpötiloissa. Betonimassana on käytetty C25/30 #16 mm S3. (Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 65)



Kuva 6. Kuvassa 300mm paksuisen kantavan välipohjan lujuudenkehitys, ilman lämpötilan ollessa -5 °C, muotti on 22 mm kuusilautaa. Betonimassan lämpötila on +20 °C (lukuun ottamatta RA K30 +30 °C). Suojaus on tehty 6mm paksuisella eristepeitteellä ja holvin alapuolinen tila on lämmitetty +15 °C. (Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 25)

Kuten kuvista voidaan nähdä, on valualustan ja työalueen ilmatilan lämpötilalla merkittävä vaikutus betonirakenteen lujuudenkehitykseen. Työmaan ja rakenteen lisälämmitystä suunniteltaessa on kuitenkin aina huomioitava, ettei käytetyllä laitteistolla (esim. lämpöpuhaltimilla) aiheuteta valetun rakenteen pinnan kuivumisesta lujuudenkehitysvaiheessa. Puhaltimia käytettäessä on aina kiinnitettävä huomiota puhaltimen ilmavirran suuntaamiseen haitallisen paikallisen kuivumiskutistuman välttämiseksi. Lämpöpuhaltimet lisälämmityksenä ovat kuitenkin betonointitöihin hyvä ja helppo ratkaisu, joten liiallinen haihtuminen betonirakenteen pinnasta estetään levittämällä valetun rakenteen päälle rakennusmuovikalvo.

3.5 Sääsuojaus

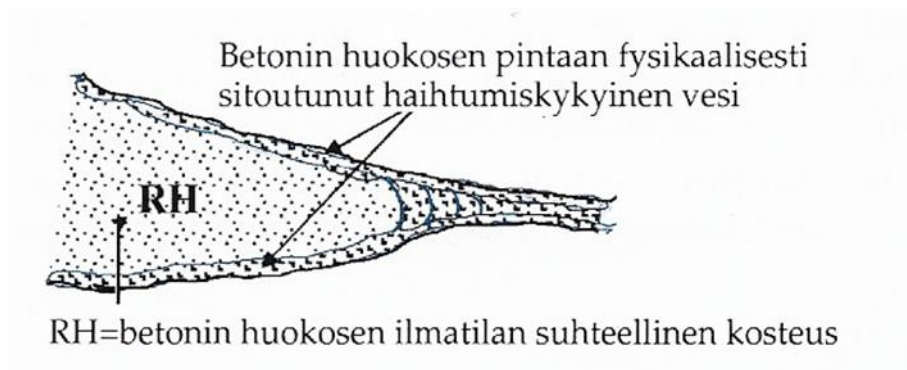
Betonirakenteen kastuessa uudelleen koko kuivumisprosessi hidastuu merkittävästi. Rakentamisen aikana rakenteisiin satanut vesi- tai lumisade kulkeutuu rakenteiden onteloihin ja kerroksellisten rakenteiden sisäosiin. Ylimääräisen kosteuden poistuminen em. paikoista on hidasta ja tahdistaa mm. pinnoitustöiden aloitusta. Betoni hygrooskooppisena materiaalina sitoo itseensä hyvin vettä, joten pahimmillaan jo kertaalleen hyvin kuivumaan päässyt rakenne joudutaan kuivaamaan uudelleen. Rakenteiden uudelleen kastumisella on aina vaikutusta kokonaisaikatauluihin, joten työmaan sääsuojauksella on ratkaiseva merkitys koko projektin toteutuksen ja onnistumisen kannalta.

4 BETONIN KUIVUMINEN

Betoniin valmistusvaiheessa lisätystä vedestä osa muodostaa sementin kanssa sementtiliiman. Sementtiliima sitoo runkoainepartikkelit toisiinsa betonin kovettuessa. Sitoutumisreaktio tapahtuu pitkän ajan kuluessa siten, että se on alussa nopeinta ja hidastuu ajan kuluessa. Tätä hydrataation seurauksena tapahtuvaa vesimäärän vähenemisestä kutsutaan sitoutumis-kuivumiseksi.

Normaaleilla sementeillä sitoutumisreaktio on suurimmaksi osaksi tapahtunut 15 vrk kuluessa, mutta senkin jälkeen reaktio jatkuu hyvin hitaasti. Täydellisessä hydrataatiossa kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on noin 25 p-% betoniin sekoitetun sementin määrästä. Käytännössä hydrataatio ei kuitenkaan ole koskaan täydellinen eli kemiallisesti sitoutuneen veden määrä jää alhaisemmaksi. Normaalin lattiabetonin v/s-suhde on 0,6-0,8. Tällainen betoni sisältää massan valmistusvaiheessa noin 180 – 200 l/m³ vettä. Alkuperäisestä seosvesimäärästä sitoutuu kemiallisesti noin 50-70 l / m³. (Merikallio, 2002, s. 33-34)

Oheisessa kuvassa läpileikkaus betonin ilmahuokosesta ja kosteuden olo-
muodoista ilmahuokosissa. Haihtumiskykyistä vettä on ilmahuokosen il-
matilassa sekä ilmahuokosen pintaan fysikaalisesti sitoutuneena.



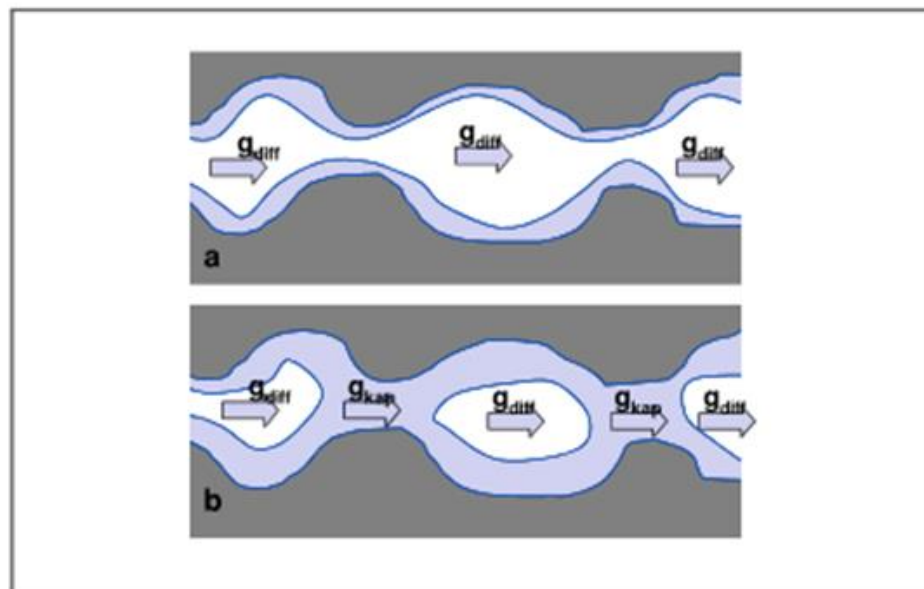
Kuva 7. Kosteus betonihuokosessa (Merikallio, 2002, s.10)

Betoniin jää kemiallisesti sitoutuneen veden lisäksi runsaasti vapaata, haihtumiskykyistä vettä. Tämä osuus vedestä poistuu rakenteesta pinnan kautta haihtumalla, joten sitä kutsutaan haihtumiskuumiseksi. Vesi haihtuu rakenteen pinnan kautta ja tilalle siirtyy kosteutta rakenteen sisäosista diffuusiona sekä kapillaarisesti ilmahuokosten kautta.

Betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on valuvaiheessa 100 %. Suhteellinen kosteus voi betonilaadusta riippuen laskea 98-90%:iin pelkään sitoutumiskuumisen vaikutuksesta.

(Merikallio, 2002, Sivut 33-34)

Oheisessa kuvassa esitetty kuivumisen eri vaiheissa tapahtuvaa kosteuden siirtymistä huokosesta toiseen. Ylemmässä kuvassa korkean RH:n aikana tapahtuva kapillaarinen ja diffuusion siirtyminen. Alemmassa kuvassa matalan RH:n aikana tapahtuva diffuusion siirtyminen.



Kuva 8. Kosteuden siirtyminen betonihuokosessa kapillaarisessa ja diffuusionvaiheessa. (Merikallio, 2009, s. 22 (Sjöberg 2001, s. 122))

Betoni on hygroskooppinen materiaali. Tämän vuoksi betonin kuivumisprosessi jatkuu niin kauan, kunnes betonin ilmahuokosen sisällä olevan vesihöyryn suhteellinen kosteus on sama kuin ympäröivän ilmatilan suhteellinen kosteus. Käytännössä näin pitkälle ei rakentamisvaiheessa mennä, sillä vaadittavat kosteusraja-arvot saavutetaan jo aiemmin.

4.1 Kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Betonin kuivumisaika koostuu monesta eri tekijästä. Kuivumisaikaan vaikuttaa mm. käytetty betonilaatu, rakenteen paksuus, kuivumissuunta ja erityisesti kuivumisolosuhteet.

Yksi merkittävimmistä kuivumiseen vaikuttava tekijä on työalueen ympäristön lämpötila, ilmatilan suhteellinen kosteus ja ilmavirrat. Nämä tekijät vaikuttavat mm. siihen miten nopeasti rakennekosteus siirtyy rakenteen pintaan ja haihtuu sisäilmastoon ja edelleen ulkoilmaan. Olosuhteilla on myös vaikutusta sitoutumiskuivumiseen. Mitä korkeampi betonissa vallitseva lämpötila ja kosteus on, sitä nopeammin ja täydellisemmin sementti hydratoituu, eli kuivuminen nopeutuu.

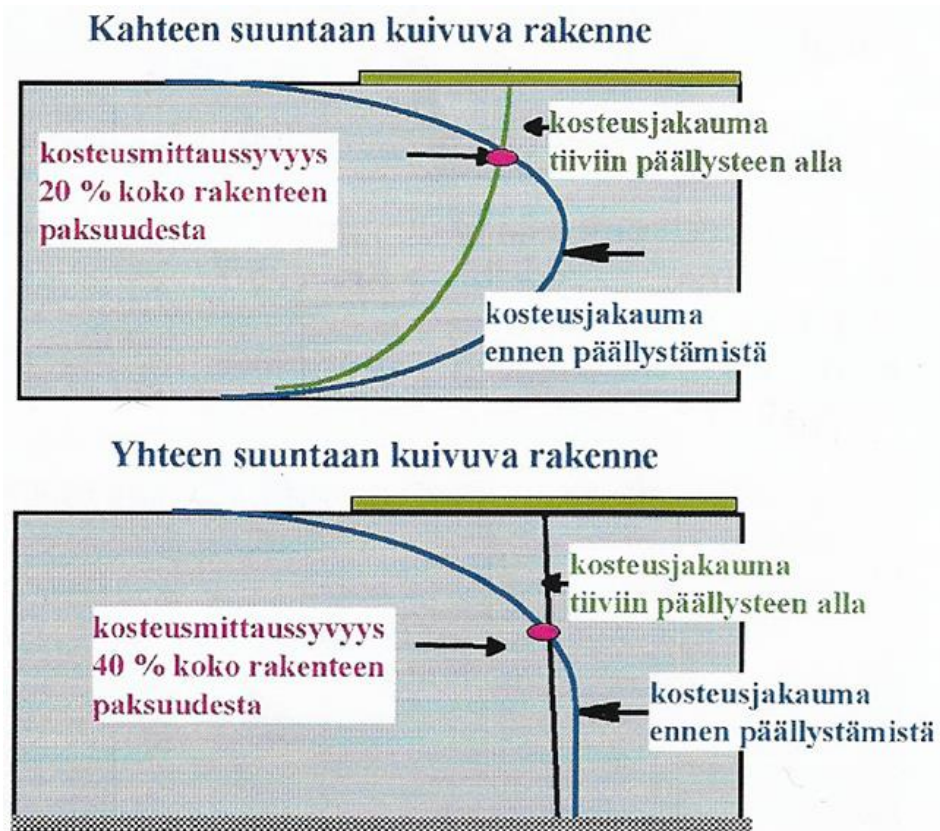
4.1.1 Betonilaatu

Betonirakenteessa olevan ns. vapaan veden haihtumisnopeus riippuu huokosrakenteesta, sillä kuivumisprosessin alkuvaiheessa kosteus siirtyy huokosesta toiseen kapillaari-imun ansiosta. Kapillaarivaiheessa betonissa olevat ilmahuokokset muodostavat yhtenäisen kapillaariverkoston, jonka ansiosta betonirakenteen läpäisevyys ja näin ollen haihtumiskuivumisen osuus on merkittävä.

Sementin hydratoituminen muuttaa betonin huokosrakennetta. Hydrataation edetessä ilmahuokokset kutistuvat ja betonista tulee tiiviimpää. Tämän seurauksena myös kapillaariverkosto katkeaa ja haihtumiskuivuminen hidastuu. Mitä alhaisempi vesi-sementtisuhte materiaalilla on, sitä nopeammin kapillaariverkosto katkeaa. tästä voidaan päätellä, että alhainen v/s-suhte aiheuttaa hitaamman kuivumisen. Näin ei kuitenkaan aivan ole, sillä tällaisissa alhaisen v/s-suhteen betoneissa on joko huomattavan korkea sementtimäärä tai alhaisempi seosveden määrä, jolloin haihdutettavaksi jäävän vapaan veden osuus jää hyvin pieneksi. Riittävän alhaisen vesi-sideainesuhteen betonissa hydrataatioon kuluva veden määrä on niin suuri, että betonin suhteellinen kosteus laskee ~90 %:n ilman veden haihtumista. Kuivumisajan lyhentämiseksi vesisideainesuhteen muokkaaminen ei aina ole riittävä toimenpide. Alhaisen v/s-suhteen betoni kuivuu kyllä nopeasti tasoon RH 90%, mutta sitä alhaisempiin tavoitekosteusarvoihin pääseminen edellyttää erilaisten lisäaineiden käyttöä. Kuivumista edistäviä lisäaineita ovat mm. notkistimet ja huokostimet käytettäessä alhaisen v/s-suhteen betoneja. Erikoisbetoneissa rakenteen paksuus ja ilmastion olosuhteet eivät vaikuta kuivumisnopeuteen niin paljon kuin tavallisessa betonissa. (Merikallio, 2002, s. 35-36)

4.1.2 Rakenne

Rakeneratkaisu vaikuttaa siihen, miten pitkän matkan kosteus joutuu siirtymään betonissa päästäkseen haihtumiskykyiseen pintaan. Mitä paksumpi rakenne on, sitä pidempi on siirtymismatka eli sitä hitaampaa on myös kuivuminen. Kuivuminen hidastuu huomattavasti, jos haihtuminen on mahdollista vain yhteen suuntaan esimerkiksi maanvaraisissa rakenteissa. Oheisessa kuvassa esitettyinä yhteen ja kahteen suuntaan kuivuvan rakenteen kosteusjakaumaerot ennen päällystämistä ja päällystämisen jälkeen. Kuten kuvasta voidaan havaita, on kuivumisen kannalta merkittävää kuivuuko rakenne yhteen vai kahteen suuntaan.



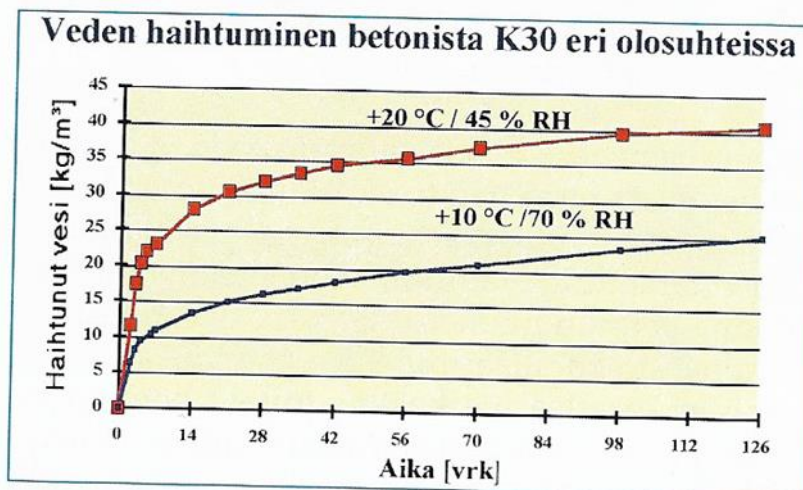
Kuva 9. Yhteen ja kahteen suuntaan kuivuvien betonirakenteiden kosteusjakaumat ennen ja jälkeen päällystämisen sekä kosteuden uudelleen ja kautumiseen perustuvat mittaussyvyudet. (Merikallio, 2002, s. 23)

4.1.3 Lämpötila

Mitä korkeampi betonin lämpötila ja kosteus on, sitä nopeammin ja täydellisemmin sementti hydratoituu, jolloin kuivuminen nopeutuu. Lämmöllä on siis merkittävä vaikutus betonin kuivumiseen. Lämpötilan noston myötä vesihöyryn osapaine betonin huokosrakenteessa kasvaa ja kosteutta siirtävät voimat kasvavat. Eli mitä lämpimämpää betoni on, sitä nopeammin kosteus siitä poistuu. Useimmissa tapauksissa betonin riittävän nopea kuivuminen edellyttää vähintään +20 C lämpötilaa. Lämpötilan

nousteissa +25-+30 C kuivuminen nopeutuu merkittävästi. Tätä korkeampia lämpötiloja käytetään vain vesivauriokehteiden pikakuivatuksessa. Nuoressa betonissa korkeat lämpötilat voivat aiheuttaa halkeilua ja lujudenkatoa. (Merikallio, 2002, s. 35)

Oheisessa kuvassa esitettynä valuympäristön ilmatilan lämpötilan ja kosteuspitoisuuden vaikutuksesta betonista haihtuvan kosteuden määrään.



Kuva 10.

Ympäristön lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaikutus betonista (C25/30) haihtuvan veden määrään.

(Merikallio, 2002, s. 35)

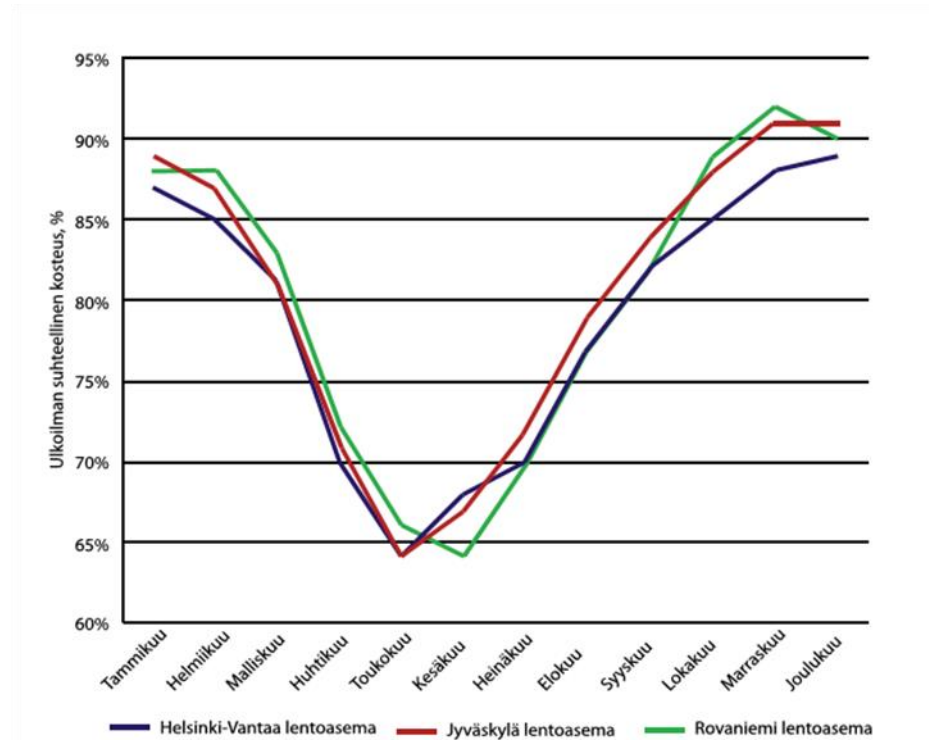
Betonia kuivattaessa on oleellista myös ilman lämmittäminen, sillä siitä on hyötyä kuivattamisen kannalta. Rakennetta ympäröivän ilman lämpötilan noustessa, myös sen suhteellinen kosteus laskee ja samalla kyky ottaa vastaan betonista haihtuvaa kosteutta kasvaa. (Merikallio, 2002, s. 35-36)

4.1.4 Kosteus

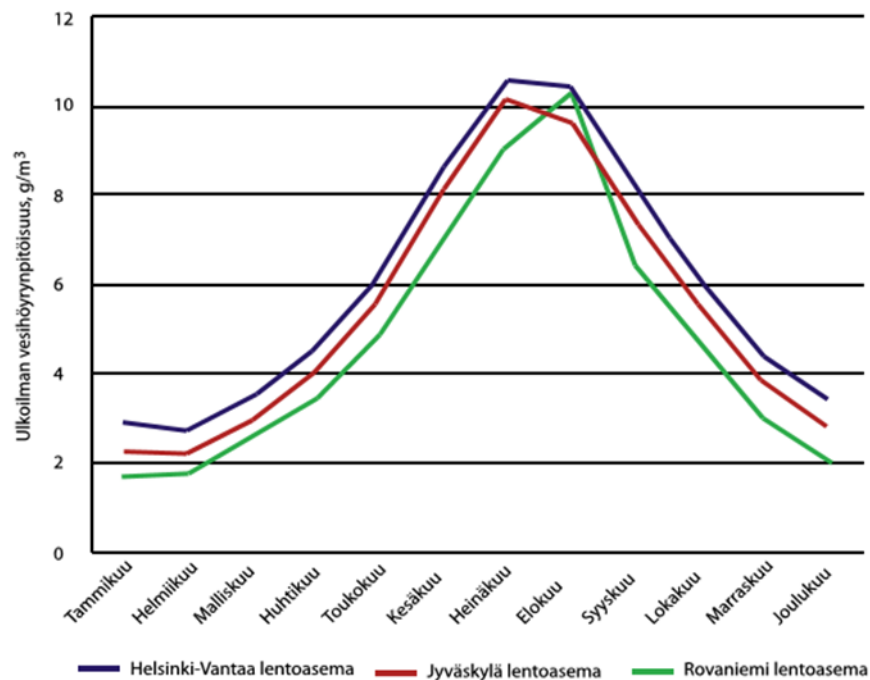
Normaaleilla betoneilla siirtymiskuivumisen (haihtumiskuivumisen) merkitys on kuitenkin suurempi kuin sitoutumiskuivumisen. Ympäröivän ilman suhteellisen kosteus vaikuttaa siirtymiskuivumiseen toisinpäin kuin sitoutumiskuivumiseen. Mitä alhaisempi ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on, sitä suurempi on rakenteen sisäosan ja pinnan kosteusero ja siten myös kosteutta siirtävä voima. Betonin vesihöyryn läpäisevyys kuitenkin laskee jyrkästi betonin suhteellisen kosteuden laskiessa, jolloin kosteuden siirtyminen pintaosista hidastuu. Betonin kuivumisen kannalta optimaalisena ilman suhteellisen kosteutena pidetään noin 50 % RH. (Merikallio, 2002, s. 35-36)

Kuvassa 11. esitettynä ulkoilman suhteellisen kosteuden vaihtelut vuoden eri aikoina. Kuvassa 12. esitetty ulkoilman absoluuttinen kosteus vuoden

eri aikoina. Eri vuodenaikojen kosteusolosuhteet tulee huomioida kuivumisolosuhdevaatimuksia määritettäessä.



Kuva 11. Ulkoilman suhteellisen kosteuden vaihtelu kuukausittain eri havaintoasemilla. Talvella suhteellinen kosteus (%) on suuri. Alhaisen kosteuspisteen takia ilman vesipitoisuus (g/m^3) on kuitenkin pieni. Tilastot ilmatieteen laitoksen vertailukaudelta 1981-2010. (Ratu S-1234, 2017, s. 7)



Kuva 12. Ohjeellinen esitys ulkoilman sisältämästä keskimääräisestä vesimäärästä (g/m³) eri kuukausina. Pakkasilma pystyy sitomaan vain vähän vettä itseensä, koska sen suhteellinen kosteus (%) on suuri. (Ratu S-1234, 2017, s. 7)

4.1.5 Ilmanvaihto

Puhuttaessa rakennustyömaan ilmanvaihdosta, tarkoitetaan sillä työmaan ilman kierrättämistä muutoin, kuin rakennuksen omaa ilmanvaihtojärjestelmää käyttäen. Rakennuksen käyttöön tulevia ilmanvaihtokanavia ei koskaan saa käyttää rakentamisen aikaiseen olosuhdehallintaan. Ilmanvaihto toteutetaan rakennuksen ulkovaipassa olevien luonnollisten aukkojen kautta esimerkiksi ikkuna- ja oviaukoista. Kosteuden poiston lisäksi betonipinnan haihtumiskuivumista voidaan tehostaa tavallisilla puhaltimilla, joiden ilmavirta ohjataan lattiapinnan suuntaiseksi. Puhaltimia käytettäessä on huomioitava niiden voimakas paikallinen kuivumista tehostava vaikutus, joka saattaa aiheuttaa muodonmuutoksia epätasaisen kuivumisen seurauksena. Puhaltimien sijoittelua tuleekin muutella aika ajoin.

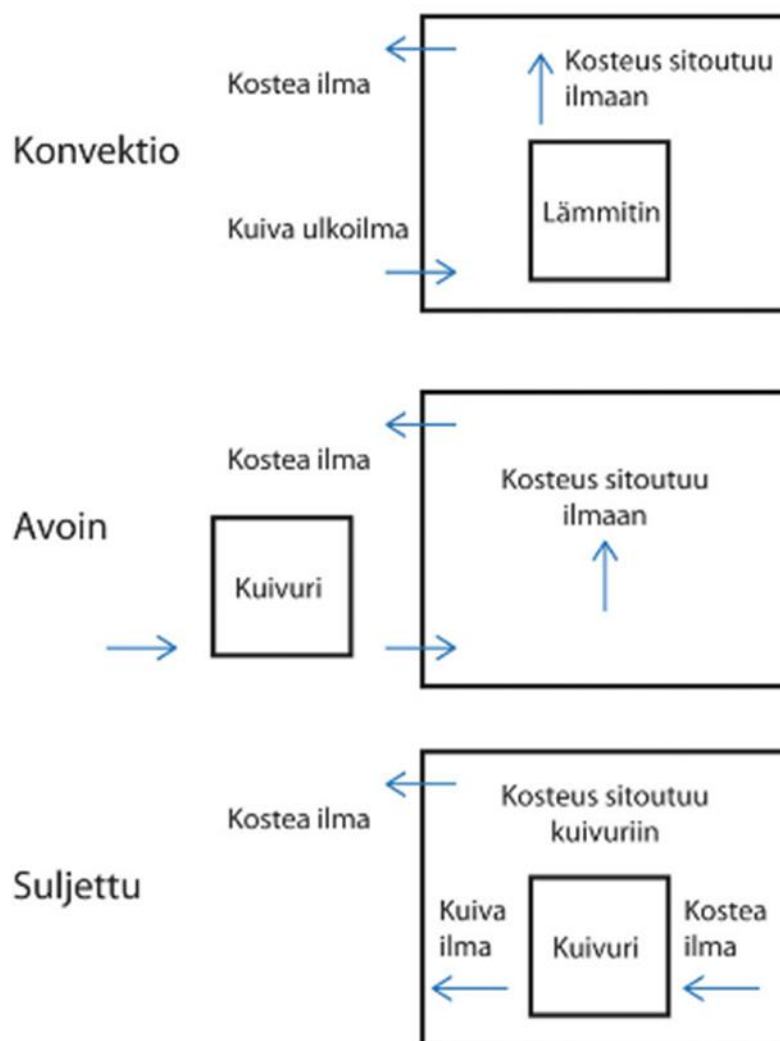
4.1.6 Avoin järjestelmä

Avoimessa järjestelmässä toteutetaan jatkuvaa konvektiota. Osastoidun tilan ilmaa lämmitetään ja tilaan järjestetään hallittu ilmanvaihto. Ilmanvaihto luodaan pienehköjen aukkojen kautta esimerkiksi talotekniikan vaarausaukkojen sekä ovien kynnyksrakojen kautta. Avonaisien parvekkeen ovien tai tuuletusikkunoiden kautta vaihtuu liikaa ilmaa. Avoin järjestelmä soveltuu tiloihin, joissa ilma sisältää epäpuhtauksia kuten pölyä tai kaasuja sekä tiloihin, joissa kierrätysilman käyttö on hankalaa. Avoin järjestelmä soveltuu erityisesti kylmiin vuodenaikoihin, jolloin ulkoilma sisältää vähän kosteutta (g/m³). (Rakentamisen kosteudenhallinta, n.d.)

4.1.7 Suljettu järjestelmä

Suljetussa järjestelmässä kuivatettavasta tilasta sidotaan ilmankosteutta ilmankuivaajien avulla. Kuivattava tila on tehtävä mahdollisimman tiiviiksi, jotta kosteutta ei kerätä kosteasta ulkoilmasta. Tilan lämpötilan on oltava riittävä ilmankuivaimen käyttöohjeen esittämien käyttöolosuhteiden mukaisesti. Ilmankuivaajat voidaan jakaa toimintatavaltaan kondenssi- ja adsorptiokuivaajiin. Kerätyn kosteuden poisto on tehtävä hallitusti tyhjentämällä kuivaajien vesisäiliöt tai ohjaamalla erotettu vesi suoraan rakennuksen viemäriin. Suljettua järjestelmää käytetään, kun ulkoilman suhteellinen kosteus ei salli tilan kuivaamista avoimella järjestelmällä ja kuivattava tila pystytään rajaamaan ja tiivistämään. Suljettu järjestelmä soveltuukin parhaiten kuivatukseen kesän ja alkusyksyn aikana, kun ulkoilma sisältää paljon kosteutta. (Rakentamisen kosteudenhallinta, n.d.)

Kuvassa 13 havainnollistettu avoimen ja suljetun järjestelmän toimintaperiaatteet.



Kuva 13. Periaatekuva erilaisista ilmanvaihdon toteutuksista (Rakentamisen kosteudenhallinta, n.d.)

4.2 Kuivumisen tehostaminen

Luonnollisesti tapahtuva betonirakenteen kuivuminen ei usein ole työmaan yleisaikataulun puitteissa mahdollista. Rakenteen kuivumista joudutaan usein tehostamaan muokkaamalla rakennetta ympäröivän ilmatilan muuttujia, kuten mm. lämpötilaa, ilmatilan kosteutta ja ilman liikettä.

4.2.1 Lämmitys

Lämmitysmenetelmää valittaessa arvioidaan:

Mikä on vuodenajasta aiheutuva lämmitystarve? Mikä on rakennuksen koko ja muoto? Hyödynnetäänkö lämmitysmenetelmää ja energiamuotoa myös rungon kuivatuksessa? Missä töissä lämmitystä tarvitaan ja millaisia

nämä rakenteet ovat mitoiltaan? Pystytäänkö lämmitettävä tila tiivistämään? Mitä muuta kalustoa on käytettävissä? Missä ajassa työ halutaan tehdä?

Tyypillisesti rakenteet vaativat lämmittämisen lisäksi aina suojauksen. Lämmityksen järjestämisessä kiinnitetään huomiota riittävään lämmitystehoon sekä lämmitysenergian tasaiseen jakautumiseen. Erityisesti tulee kiinnittää huomiota kylmiin kohtiin, kuten reuna-alueisiin. Lämmityslaitteet suunnataan niin, että lämpö leviää tasaisesti lämmitettävään tilaan. Lämmitettävä tila tiivistetään huolellisesti, mutta kuitenkin niin, että kosteus pääsee poistumaan. Tilan rajausta voidaan tehdä kiinteillä rakenteilla tai soveltuvilla suojapeitteillä. Työtelineiden lämmöneristystä voidaan parantaa kaksinkertaisella suojapeitteellä, joiden väliin jää ilmarako. Lämmityksen toimintaa tarkkailemalla ja mittaamalla voidaan estää liian suurien lämmitystehojen aiheuttamat energiahukat ja määrittää lämmitys- ja kuivatarpeen lopetuksen ajankohta. (Ratu S-1234, 2017, s. 11) Betonia kuivattaessa oleellista on saada itse betoni lämpimäksi, mutta myös ilman lämmittämisestä on hyötyä kuivattamisen kannalta. Rakennetta ympäröivän ilman lämpötilan noustessa, myös sen suhteellinen kosteus laskee ja samalla kyky ottaa vastaan betonista haihtuvaa kosteutta kasvaa. (Merikallio, 2002, s. 35 – 36)

4.2.2 Kuivatus

Rakenteissa olevan kosteuden lähteitä ovat sadeveden lisäksi rakennusmateriaalin valmistuksessa käytetty vesi sekä rakentamisen aikainen vedenkäyttö. Rakenteiden kuivatarve riippuu siitä aiheuttaako rakenteessa oleva kosteus kosteusvaurioita rakenteelle ja poistuu vesi rakenteesta tarpeeksi nopeasti. Aikatauluissa tulee muistaa varata aikaa rakenteiden kuivumiselle. Jokainen rakenteisiin päästetty ylimääräinen vesilitra pitää poistaa rakenteista. Rakennuskosteus yhdistettynä puutteelliseen tuuletukseen tai liian nopeaan pinnoittamiseen aiheuttaa rakenteisiin vaurioita. Kesällä ja syksyllä ulkoilman sisältämä vesihöyrynpitoisuus on sen verran korkea, että ulkoilmaan ei sitoudu enää lisää kosteutta. Tällöin rakenteet eivät kuivu pelkän tuuletuksen avulla. Rakenteiden kuivattaminen syksyllä ja kesällä on useimmiten edullisempaa ilmankuivaajilla kuin lämmityksen ja ilmanvaihdon avulla. Ilmankuivaajien avulla kuivatettavasta tilasta sidotaan kosteutta. Kuivattava tila on tehtävä mahdollisimman tiiviiksi, jotta kosteutta ei kerätä kosteasta ulkoilmasta. Tilan lämpötilan on oltava riittävä ilmankuivaimen käyttöohjeen esittämien käyttöolosuhteiden mukaisesti. (Ratu S-1234, 2017, s. 12)

Suosittelavaa on estää ylimääräinen vedenpääsy rakenteisiin suojauksilla ja poistaa ylimääräinen vesi esimerkiksi vesi-imuroinnilla. Tiivistyneen kosteuden poistaminen lämmittämällä on tehottomampaa ja kalliimpaa kuin tiivistymisen estäminen. Rakenteiden kuivattamisessa on tärkeää ymmärtää, mihin rakenteista poistuva vesi menee. Esimerkiksi materiaalien lämmittäminen voi siirtää kosteutta myös rakenteen sisälle päin, jolloin jonkin

toisen rakenneosan kosteus voi nousta. Tarvittaessa varmistetaan rakenteen kosteuspitoisuus riittävin kosteusjakaumamittauksin kuivatuksen jälkeen. (Ratu S-1234, 2017, s. 12)

4.2.3 Muita keinoja kuivumisen tehostamiseksi

Kuivumisaikaan voidaan vaikuttaa myös muilla keinoilla kuten käyttämällä mahdollisimman suuriraekokoista ja jäykkää massaa. Mitä pienempi runkoaineen maksimiraekoko on, sitä suurempi massan alkuperäinen vesimäärä on ja sitä hitaampaa on myös kuivuminen. Myös nopeasti kuivuvia betonilaatuja käyttämällä voidaan merkittävästi vaikuttaa kuivumisaikaan ja vaadittavan kosteusraja-arvon saavuttamiseksi. Nopea kuivuminen perustuu yleensä normaalibetonia pienempään vesisideainesuhteeseen sekä massan huokostamiseen. Lisäksi minimoimalla betonirakenteen kastuminen vaikutetaan merkittävästi mm. siihen, että kuivuminen alkaa kaikkialla välittömästi jälkihoitoajan jälkeen. Mitä myöhemmässä vaiheessa betonirakenne kastuu, sitä enemmän siihen imeytyy vettä. Työmaan ilmasto-olosuhteet tulee luoda rakenteen kuivumiselle ihanteelliseksi unohtamatta kuitenkaan jälkihoitoa. Rakenteen pinta pidetään puhtaana ja paljaana. (Merikallio, 2002, s. 37) Huolellisesti tehdyllä pinnan jyrksinnällä ja säännöllisellä imuroinnilla varmistutaan betonirakenteen pinnan maksimaalisesta kosteudenhaihtumisesta. Materiaalien varastoinnissa kiinnitetään huomiota ilmankiertoon ja ettei kuivattavan rakenteen kosteuden haihtumista estetä lattialla olevilla materiaaleilla esim. laastisäkeillä, kipsilevyillä, laatapaketeilla, parkettinipuilla jne.

5 KUIVUMISEN SEURANTA

Onnistuminen kosteudenhallinnassa edellyttää aktiivisuutta olosuhteiden muokkaamisessa kuivumisolosuhteiden optimoimiseksi. Kosteudenhallinta edellyttää sekä kuivattavan rakenteen, että rakenteen ympäristön fyysikaalisten olosuhteiden jatkuvaa seuraamista. Olosuhteiden seuranta ei välttämättä edellytä mahdollisimman tarkkoja mittaustuloksia tehtynä kalliilla ammattimittaajan laitteilla. Onnistunutta olosuhdeseurantaa pystytään toteuttamaan hyvinkin yksinkertaisilla mittalaitteilla. Työmaan omien mittausten tukena toimii säännölliset rakennekosteuden seurantamittaukset ulkopuolisen mittaajan toimesta.

5.1 Olosuhteiden pitkäaikaisseuranta

Rakennustyömaan sisä- ja ulkoilmaston olosuhteita seurataan jatkuvasti. Seuranta antaa mahdollisuuden luoda tavoitteet optimaalisista sisäilmasto-olosuhteista, ohjata olosuhdehallinnan toimenpiteitä sekä toimii tehtyjen hallintatoimien onnistumisen mittarina. Pitkäaikaisseurantaa voidaan onnistuneesti toteuttaa sekä yksittäiseen hetkelliseen mittaukseen

tarkoitettulla kannettavalla laitteistolla että pitkäkestoista mittausta tekevällä tallentavalla laitteistolla.

5.1.1 Rakennekosteus

Valettuja rakenteita yleisesti sekä kosteusteknisesti kriittisiin betonirakenteisiin voidaan jo valun yhteydessä asentaa valmiiksi kosteusmittausputket, joista rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä voidaan seurata rakenteita rikkomattomin menetelmin. Mittauspisteet tehdään asentamalla mittausputket paikoilleen jo ennen betonin valua tai asentaa putket kovetuneeseen betoniin tehtyihin roiloihin tai porareikiin. Mittausputkena käytetään \varnothing 16 mm sähköjohdon suojaputkea tai vaihtoehtoisesti mittauslaittevalmistajan mittausputkia. Putken valuun jäävä pää tiivistetään diffuusiovapaalla materiaalilla esim. teflonpaperilla. Valuun asennettavien mittausputkien korkeusasema toteutetaan betonivaluun jäävien telineiden avulla. Putken toinen pää, jonka kautta mittausanturit asennetaan, johdetaan sitä varten jätettyyn varaukseen tai muun esteettisesti tai käytännöllisesti sopivaksi katsottuun paikkaan. Esimerkiksi jalkalistan taakse, kynnyksen alle, tarkastusluukun taakse, lattiaan tehdyn luukun alle tai tekniseen tilaan. Mittausputki voidaan myös asentaa esim. kelluvan betonilattian eristetilaan ennen valua.

Mittausputken valun ulkopuolelle jäävä pää pidetään aina tiiviisti suljettuna. Mittaukset voidaan toteuttaa joko jatkuvatoimisena mittauksena, jolloin mittausanturi on kytkettynä esimerkiksi loggeriin tai lukemat käydään lukemassa määräajoin. (Merikallio, 2002, s. 21-22)

Pitkäaikaisseurannassa on aina huomioitava mittausputken tiivistyksessä käytettävän materiaalin diffuusiokäyttäytyminen. Esimerkiksi teippiä käytettäessä, mittausputken sisällä oleva kosteus pääsee kuivumaan teipin läpi diffuusiosta johtuen. Mittausputken kuivuminen aiheuttaa vääriä tulokintoja kosteustilanteesta antaen liian alhaisia suhteellisen kosteuden arvoja. Markkinoilla on myös tarjolla erilaisia valuun asennettavia antureita, jotka jäävät pysyvästi rakenteeseen. Anturien lukemat luetaan erillisellä lukulaitteella langattomasti. Rakennekosteuden pitkäaikaisseurannassa on aina muistettava, ettei niiden pohjalta tule tehdä pinnoituspäätöstä, vaan pinnoituspäätös tehdään aina erillisellä ammattilaisen suorittamalla mittauksella porareikä- tai koepalamenetelmällä.

5.1.2 Ilman kosteus ja lämpötila

Työmaan ilmasto-olosuhteiden jatkuva seuranta on tärkeä työvaihe onnistuneessa kosteudenhallinnassa. Jatkuva olosuhdeseuranta mahdollistaa reaaliaikaisen reagoimisen muuttuviin olosuhteisiin. Sisä- ja ulkoilmaston seurantaan on tarjolla useita vaihtoehtoja. Yksittäisen mittauksen lisäksi markkinoilla on laaja valikoima erilaisia tallentavia järjestelmiä. Tallenta-

vien järjestelmien etuja ovat mm. helppokäyttöisyys ja mahdollisuus tarkastella olosuhteita vuorokauden ympäri päivästä toiseen keskeytyksettä. Mittaustulokset saadaan graafisena kuviona suoraan laitteelta, joka helpottaa tulosten ymmärtämistä ja vertailun tekemistä esim. sisä- ja ulkoilmaston välillä sekä eri vuorokauden aikoina. Työmaan ilmasto-olosuhteiden seurannassa oleellista ei ole saada mahdollisimman tarkkoja lukemia. Myös epätarkemmalla laitteistolla voidaan toteuttaa luotettavaa ilmasto-olosuhteiden seurantaa ja saavuttaa onnistunut rakenteiden pinnoitus ilman ongelmia.

5.2 Rakennekosteuden mittaus

Liian kostealle betonille asennettu pinnoite saattaa aiheuttaa kosteusvaurion päällystemateriaalissa, tasoitteessa tai liimassa. Näitä vaurioita ovat mm. pinnoitteen irtoaminen, värimuutokset, hajuhaitta sekä terveydelle haitalliset mikrobit ja emissiot. Merkitsevää on, että rakenteen tulee kuivua päällystemateriaalin vaatiman kosteusraja-arvon alapuolelle ennen päällystämistä. Mittaustuloksia on seurattava, jotta tarpeen vaatiessa voidaan esimerkiksi kuivumisolosuhteita parantaa ja tehostaa. Rakennekosteuksien ensimmäinen mittaus tehdään, kun rakennuksen ulkovaippa on saatu umpeen ja sisäilman kuivaaminen on aloitettu. Näin tehtynä saadaan selville rakenteen lähtökosteus, jonka pohjalta voidaan alustavasti arvioida tarvittavaa kuivausaikaa. Mittauksia tulisi tehdä 2-4 vko:n välein. Päällystettävissä rakenteissa viimeinen (yleensä laajempi) mittaus ajoitetaan tehtäväksi vähän ennen pinnoitustöiden aloittamista.

Betonirakenteisiin suoritetuilla suhteellisen kosteuden mittauksilla saadaan selvitettyä rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä sekä rakenteen kosteusjakaumaa. Kosteusjakaumasta saadaan arvioitua mm. mihin suuntaan kosteus rakenteessa liikkuu. Saatujen mittaustulosten perusteella voidaan myös arvioida, kuinka paljon rakenteessa on ympäristöön nähden ylimääräistä, poistettavaa kosteutta ja voidaanko rakenne pinnoittaa ilman kosteusvaurioriskiä. Betonirakenteiden suhteellisen kosteuden mittaukset ovat vaativia tehtäviä. Käytetyn betonimassan ominaisuudet sekä mittauspisteen olosuhteet muodostavat yhdessä monina tekijöitä, jotka voivat johtaa virheelliseen mittaustulokseen. Luotettavan mittaustuloksen saaminen on ensisijaisen tärkeää, sillä betonin hitaasta kuivumisesta johtuen, jo pieni, muutaman %-yksikön virhe voi vaikuttaa merkittävästi mittaustuloksista tehtyihin johtopäätöksiin. Virhe mittauksessa tai tulosten tulkinnassa voi aiheuttaa päällystystöiden viivästymisen useilla viikoilla tai vaihtoehtoisesti liian aikaisin pinnoittamisen, jolloin seurauksena voi olla myöhemmin ilmenevä kosteusvaurio mm. pinnoitemateriaalissa. Virheellinen mittaus voi johtaa myös betonirakenteen turhaan tai väärin toteutettuun koneelliseen kuivaamiseen ja siten ylimääräisiin kustannuksiin. Betonirakenteiden kosteusmittausten perusteella tehdään usein hyvinkin suuria taloudellisia päätöksiä, jonka vuoksi mittaustyöt tulee suorittaa aina riittävällä tarkkuudella ja huolellisuudella sekä tuloksia pitää tulkita oikein.

Kosteusmittaajalla tuleekin olla hyvät tiedot mittauslaitteestaan, mittaus-työn suorittamisesta sekä mittaustulokseen vaikuttavista tekijöistä. (Merikallio, 2002, s. 11)

5.2.1 Kosteusmittaajan koulutus ja osaaminen

Kosteusmittauksien luotettavuudesta puhuttaessa tärkein tekijä on kosteusmittaajan oma ammattitaito. Mittaajan tulee tuntee käyttämänsä laitteisto, niiden rajallisuudet ja mittaustarkkuudet. Mittaaja voi omilla toimillaan vaikuttaa merkittävästi saatuihin tuloksiin ja niiden tulkintaan. Kotimaisessa rakentamisessa kosteusmittauksien luotettavuutta on pyritty lisäämään järjestämällä aihealueeseen liittyvää koulutusta sekä edellyttämällä mittaajilta työssä vaadittuja pätevyksiä. Vaadittavan koulutuksen, sitä seuranneen kokeen ja näyttötyön suorittanut henkilö voi olla esimerkiksi Pätevöitynyt kosteudenmittaaja (PKM) tai Sertifioitu rakenteiden kosteudenmittaaja.

Pätevöityneen kosteudenmittaajan nimikettä on oikeutettu käyttämään henkilö, joka on suorittanut kosteudenmittaajan tutkinnon. Kosteudenmittaajan tutkinto on Finanssialan Keskusliiton ohjaaman ja valvoman kosteudenmittaaja koulutuksen valtakunnallinen lopputentti. Tutkinnon tarkoituksena on pätevöittää henkilö suorittamaan luotettavia kosteusmittauksia ja –kartoituksia moninasiin kiinteistö- ja rakennusalan tarpeisiin. Sertifioidut rakenteiden kosteudenmittaajat ovat käyneet kosteudenmittaajakoulutuksen sekä suorittaneet hyväksyttävästi kurssitenttin ja näyttötyön. Henkilösertifiointi on EN 45013 standardin kuvaama menettely, jonka avulla varmennetaan, että sertifioidut henkilöt pystyvät ja osaavat tuottaa sertifiointissa määritettyjä palveluja. Puolueettoman sertifiointielimenä toimii Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), josta henkilösertifikaatin voi hakea, kun koulutus, tentti ja näyttötyö on läpäisty. Pätevöityneen kosteudenmittaajan edellytetään tekevän kosteuskartoitusraportti Finanssialan keskusliiton kosteuskartoitusohjeen ja raporttimallin mukaisesti. Raportissa on esitettävä muun muassa kosteusmittauslaitteen tyyppi ja –malli, kalibrointipäivämäärä, mittalaitteen nimellistarkkuus, kokonaismittaustarkkuus, mittaussyvyys, mittausreiän puhdistaminen, tiivistäminen, mittausreiän tasaantumisaika sekä anturin tasaantumisaika. (Finanssialan keskusliitto, 2007)

Henkilösertifioidun rakenteiden kosteudenmittaajan odotetaan tuntevan rakennusfysiikkaan liittyvät lämpö- ja kosteustekniikan perusteet sekä osaavan soveltaa niitä rakennusten, rakenteiden ja materiaalien lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa arvioitaessa. Hänen tulee tuntee muun muassa kosteuden lähteet ja olomuodot, kosteuden siirtymismuodot ja niihin vaikuttavat tekijät, kosteuden ja lämpötilan muutosten vaikutus rakenteissa ja materiaaleissa, kastumiseen ja kuivumiseen liittyvät ilmiöt, materiaalien kriittiset kosteuspitoisuudet ja erilaisten rakenteiden normaalit kosteuspitoisuudet erivuodenaikoina. Mittaustyön lisäksi itse mittaukseen liittyviä

osaamisvaatimuksia ovat; osata kalibroida mittavälineet sekä tuntea kalibroinnin merkitys, osata tehdä mittaussuunnitelma, tunnistaa mittaukseen liittyvät epävarmuustekijät sekä osata laatia mittauspöytäkirja. Erityisen tärkeää on tulkita mittaustuloksia oikein ja tehdä tuloksista oikeat johtopäätökset sekä osata kirjoittaa selkeä ja helposti ymmärrettävä mittausraportti. Raportissa on tärkeää tulosten ja johtopäätösten lisäksi tarkasti kuvata, miten mittaus on tehty. (Eurofins expert services, n.d)

5.2.2 Mittapisteiden valinta

Mitattaessa paikalla valettuja betonilattiarakenteita ovat kosteuspitoisuuserot eri puolilla pienempiä verrattuna esim. ontelolaattoihin. Kosteuspitoisuuden tasaisuus johtuu rakenteen homogeenisyydestä. Paikallavaletuissa rakenteissa havaitaan kyllä ulkoisista tekijöistä johtuvaa vaihtelua esim. epätasaista kastumista. Paikallavaletuissa lattioissa ilmenee yleensä korkeampia arvoja mm. aukkojen alueella, joissa sadevesi on päässyt kastelemaan rakennetta. Epätasaisuutta kuivumisessa aiheuttaa myös erilaiset kuivumisolosuhteet eri puolilla rakennetta. Sisäilmaston lämpötila ja kosteussisältö saattaa vaihdella eri tiloissa. Lisäksi kuivuvan lattiarakenteen päällä varastoitavat rakennusmateriaalit aiheuttavat paikallisia kosteussisältöeroja. Suoraan lattiaa vasten oleva materiaali estää rakennekosteuden haihtumisen betonirakenteen pinnalta. Myös betonilaatu ja valujankohdan erot voivat aiheuttaa hajontaa saman lattiarakenteen eri kosteusmittauspisteiden tuloksissa. Todellisen uudisrakennuskohteen saman paikalla valetun lattiarakenteen eri kohdista tehtyjen kosteusmittausten tulokset ovat voineet poiketa toisistaan jopa 5 prosenttiyksikköä. Tämän eron vaikutus voi olla merkittävä mittaustuloksen tulkintaan ja siten myös lattianpäällystystyön aloitusajankohtaan. (Merikallio, 2009, s. 86-87)

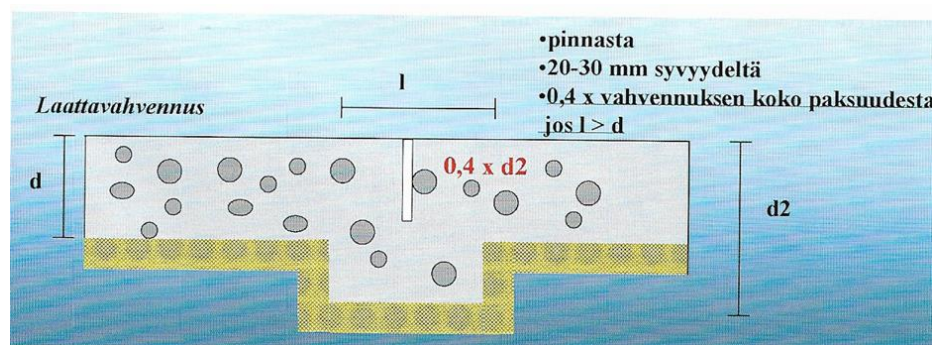
Betonilattian kosteusmittauspisteet valitaan siten, että ne parhaiten antaisivat varmuuden tarkasteltavan lattiarakenteen riittävästä kuivumisesta. Kosteusvaurioiden ehkäisemiseksi oleellista on paikallistaa mahdolliset kosteimmat alueet ja tehdä mittaus ainakin niiltä alueilta. (Merikallio, 2009, s. 86-87) Mittauskohtia valittaessa tulee ottaa huomioon valupäivät, olosuhde-erot sekä rakenteiden kastuminen. Mittauskohtien määrä valitaan tapauskohtaisesti esim. 1-2 mittauspistettä / kerros. Mittaukset tulee vähintään ottaa oletetusta kosteimmaxiimista ja kuivimmasta kohdasta. (RT 14-10984, 2010, s. 13)

5.2.3 Erityiset kohdat

Betonirakenteen kosteusmittauspisteiden sijainteja päätettäessä on huomioitava mahdolliset erityiskohdat, jossa valetun rakenteen paksuus on huomattavasti enemmän kuin pääosa rakenteesta. Esimerkiksi Delta-palkkien valuosuus on koko välipohjan paksuinen ja kuivuu näin ollen huomattavasti hitaammin kuin muu osa rakennetta. Myös porraselementtien tai

muiden elementtiasennuksien (parvekekannattimet) vaatimat paikallavalkaistat on huomioitava mittapisteitä sijoittaessa.

Kuvassa 13 havainnollistettu laattavahvennuksen huomioiminen kosteusmittauksessa. On huomioitava, että syvemmällä olevan rakennekosteuden matka rakenteen pintaan on pitempi kuin muualla rakenteessa. Näinollen muiden rakenneosien saavuttaessa päällystettävyyssraja-arvot, on vahvennuksen kohta vielä liian kostea.



Kuva 13. Kosteusmittaus laattavahvennuksen kohdalla (Merikallio, 2002, s. 25)

5.2.4 Mittapisteiden merkitseminen ennen valua

Kosteusmittauksia tehtäessä suurin rajoittava tekijä on mitattavassa rakenteessa oleva talotekniikka. Rakennekosteuden mittaaminen on rakennetta rikkova menetelmä, joten aina on olemassa riski, että mittausreikä porattaessa tai näytettä piikattaessa, tulee kontaktia esim. lattialämmitysputkeen. Pahimmillaan kontaktista seuraa vuoto, joka kastelee kuivatun lattiarakenteen ja kuivausprosessi alkaa alusta.

On tärkeää suunnitella etukäteen vaihtoehtoiset kosteusmittauspisteet ja merkitä mittauspisteet riittävän luotettavasti, että turvallisesta porauskohdasta voidaan varmistua. Mittauspistevaihtoehtoja tulisi olla useita jokaisessa huoneistossa. Hyvä tapa mittauspisteiden merkitsemiseksi on valokuvien ottaminen juuri ennen valua ja mitata mittauspisteen etäisyys kahdesta eri suuntaisesta seinästä. Myös valuun pystyyn jätettävää terästankoa on käytetty merkitsemiseen, mutta menetelmä ei ole luotettava sillä tanko saattaa liikkua valun aikana. Valussa olevat tangot ovat myös betonointitöiden haittana.

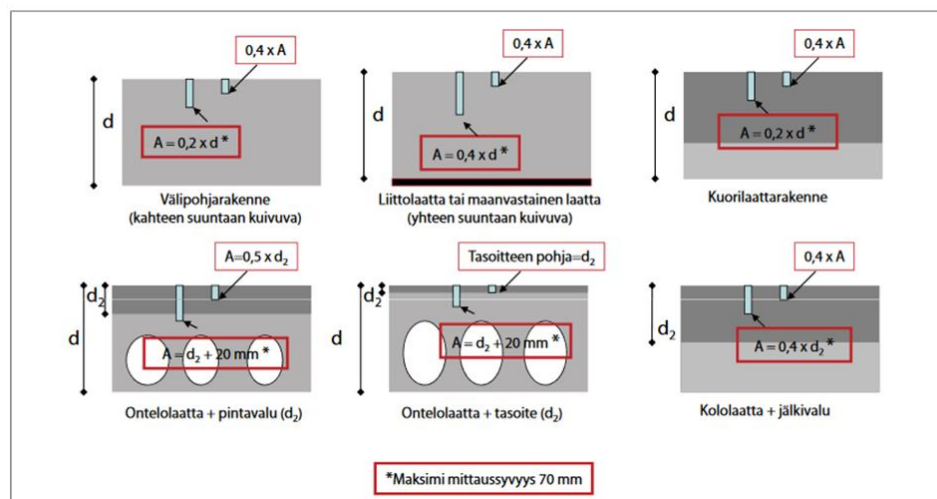
5.2.5 Mittaussyvyydet

Määritettäessä betonirakenteen kosteusjakaumaa, edellyttää se yleensä, että yhteen mittauspisteeseen tehdään useampia mittausreikiä. Reikiä porataan eri syvyyksille, jotta rakenteen kosteusjakauma saadaan määritettyä. Jokaisessa mittauspisteessä tulisi olla ns. arviointisyvyydellä 2 saman

syvyistä reikää, jotka ovat 100-300 mm etäisyydellä toisistaan. Arvostelusyvyudeksi kutsutaan kohtaa syvyysuunnassa, jossa kosteuspitoisuuden tulee alittaa pinnoitemateriaalikohtainen raja-arvo. Tämä arvostelusyvyys perustuu pääosin rakenteen kokonaispaksuuteen. Arvostelusyvyuden raja-arvon määrittäminen perustuu oletukseen, että rakenteen pinnoittamisen jälkeen kosteus nousee tiiviin päällysteen alla enimmillään siihen arvoon, mikä ennen päällystämistä vallitsi kyseisellä arvostelusyvyudella. Arvostelusyvyuden lisäksi kosteuspitoisuus tulee määrittää myös syvyydeltä 20-30 mm sekä arvostelusyvyyttä syvemmältä. Lisäksi betonirakenteen pintaosan (0-10 mm) kosteussisältö suositellaan mitattavaksi. E.m. lisäsyvyyksillä saadaan kolmiulotteisempi kuva rakenteen kosteusjakaumasta, joka auttaa merkittävästi tulosten tulkinnassa ja kokonaistilanteen arvioimisessa. (Merikallio, 2002, s. 22)

Betonirakenteen kuivuessa rakenteeseen muodostuu yleensä kosteusjakauma, jossa rakenteen pintaosat ovat kuivat ja syvemmälle mentäessä kosteuspitoisuus kasvaa. Kosteusjakauma voi olla hyvinkin jyrkkä. Esimerkiksi pinnan (0-1 cm) kosteus voi olla 30 % RH, 2 cm syvyydellä RH voi olla 75 %, 5 cm syvyydellä 90 % ja 7 cm syvyydellä jo yli 90%. Syvemmällä oleva kosteus siirtyy ajan kuluessa kohti pintaa haihtuen edelleen ympäröivään ilmaan. Kun rakenne päällystetään, kosteuden poistuminen rakenteesta hidastuu. (Merikallio, 2002, s. 23-24)

Kuvassa 14 esitetty kosteusmittauksen tarkastelusyvyudet eri rakenneratkaisuilla. Mittausvyvydet määritellään aina rakennetyyppikohtaisesti.



Kuva 14. Mittausvyvydet eri rakenneratkaisuilla rakennepaksuudesta riippuen. Jos päällysteen vesihöyrynläpäisevyys ei ole tarkasti tiedossa, verrataan syvyyden A mittaustulosta päällysteen kriittiseen kosteusarvoon. Jos ontelolaatan päälle valetun pintabetonilaatan paksuus on 60 mm tai suurempi, tulee kosteuspitoisuus mitata lisäksi arviointisyvyuden A yläpuolella syvyydellä $0,4 \times A$, jossa R_h tulee olla $< 70 \%$. (RT 14-10984, 2010, s. 14)

5.2.6 Porareikämittaus

Yleisin tapa tehdä betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaus on porareikämenetelmä, jossa rakenteeseen tiettyyn syvyyteen poratussa ja putkitetussa reiässä oleva kosteussisältö tasaantuu ympäröivän (betonirakenteen) materiaalin kanssa. Mittausreiät porataan niille syvyyksille, mistä mittaustulokset halutaan. Suositeltavaa on tehdä mittaus useille eri syvyyksille. Valittuun mittaussyvyyteen vaikuttaa rakenteen paksuus, kuivumissuunta ja kerroksellisuus.

(Merikallio, 2009, s. 90)

- Porareikämittaus on tarkimmillaan +15...+25 °C lämpötilassa.
- Olosuhteiden on oltava riittävän lähellä rakennuksen normaalia käyttölämpötilaa ja porareikämittauksen suosituslämpötiloja.
- Yläpuolisen, yleensä betonirakenteen pinnalla olevan, ilman ja rakenteessa olevan mittapään lämpötilanäyttämien ero ei saa olla yli 2 °C.
- Jos mittauksilta vaaditaan hyvää mittaustarkkuutta ja lämpötila poikkeaa käyttölämpötilasta yli 5 °C tai betonin tai ilmanlämpötila on alle 15 °C tai yli 25 °C, kosteusmittaus tulee tehdä näytepalamenetelmällä.
- Olosuhteiden mittauspisteen ympärillä ja ympäristössä porauksesta lukemien ottoon eli mittauksen aikana on pysyttävä riittävän vakaina.
- Mitattaessa lattialämmityksen vaikutusalueella, lattialämmitys katkaistaan viimeistään viikkoa ennen mittaushetkeä, sillä betonin ja yläpuolisen ilman välinen lämpötilaero ja lämmityksen aikaan saama kosteuden tehostettu siirtyminen mittausputkeen saattaa aiheuttaa erittäin suurta mittausepä-tarkkuutta. -
- Muussa tapauksessa luotettava tulos saadaan vain näytepalamenetelmällä samoin kuin silloin, jos betonia on esimerkiksi tehokuivatettu ennen mittaushetkeänostamalla huomattavasti betonin lämpötilaa.
- Mittaussyvyys porareikämenetelmällä on vähintään 10 mm.

(RT 14-10984, 2010, s. 3)

5.2.6.1 Poraus

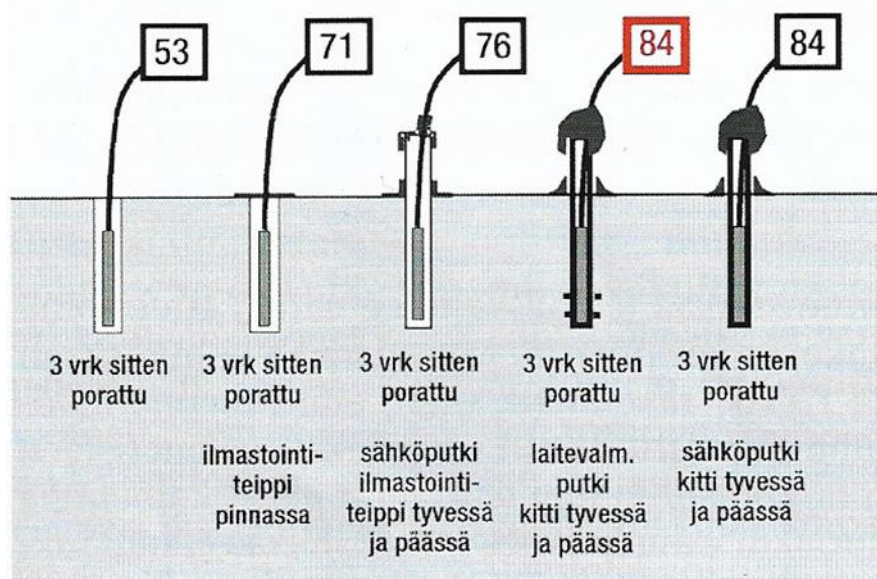
Reiät porataan aina kuivamenetelmällä. Reiän halkaisijaksi on vakiintunut Ø16 mm. Porattaessa tulee aina olla korostuneen varovainen, ettei pora osu sähkö- ja vesiputkiin rakenteessa. Porattaessa ei saa rikkoa rakennetta siten, että rakenne myöhemmin vaurioituu esim. vedeneristeen lävistävät poraukset.

Porauksen jälkeen mittausreikä puhdistetaan huolellisesti pölystä esim. pölynimurilla. Paineilmakompressoria ei voida käyttää reiän puhdistukseen painesäiliöön kertyvän kosteuden johdosta. Puhdistamaton reikä antaa liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja. (Merikallio, 2009, s. 90)

5.2.6.2 Mittausreiän tiivistys

Mittausreiän porauksen ja puhdistuksen jälkeen reikä tiivistetään. Haluttaessa kosteusarvoja eri syvyyksiltä tulee reikä tiivistää sekä sivuilta, että päältä. Näin saadaan tulokseksi se kosteus, joka vallitsee reiän pohjan korkeudella eli halutulla mittaussyvyydellä. Mikäli reikää ei tiivistetä sivuilta putkittamalla ja rakenteen pintaosat ovat kuivia, osa syvemmällä olevasta kosteudesta tasaantuu kuivempaan yläosaan ja mittaustulokseksi saadaan liian alhaisia suhteellisen kosteuden arvoja. Jos taas pinta on märempää kuin sisäosat, saadaan liian korkeita arvoja. Putkittamattomasta reiästä saadaan siis keskimääräinen arvo koko reiän matkalta.

Oheisessa kuvassa esimerkkejä erilaisten tiivistystapojen vaikutuksesta saatuihin suhteellisen kosteuden arvoihin betonirakennetta mitattaessa. Huomionarvoista on, että mittaus tehdään 3 vrk tasaantumisen jälkeen, jolloin myös tiivistysmateriaalin diffuusio-ominaisuudet ehtivät vaikuttamaan saatuihin lukemiin.



Kuva 15. Esimerkkejä mittaustuloksista eri tiivistystavoilla 3 vrk tasaantumisaajan jälkeen. (Merikallio, 2002, s. 14)

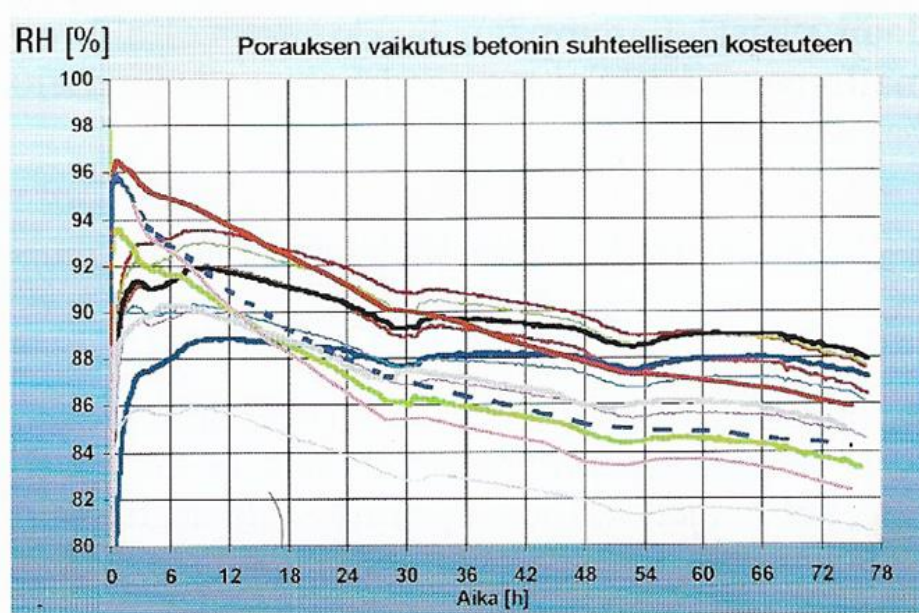
Tiivistämiseen voidaan käyttää laitevalmistajan valmistamia asennusputkia tai 16 mm sähköjohdon suojaputkea. Käytettäessä 16 mm putkea 16 mm reiässä, saadaan sivuilta tiivis mittausreikä. Näennäisestä tiiveydestä huolimatta tulee mittaasputken ja mitattavan rakenteen rajapinta tiivistää

esim. kitillä. Rajapinnan lisäksi mittaputken yläpää tiivistetään huolellisesti elastisella massalla, kumi- tai muovitulpalla. Ei kuitenkaan teippaamalla, sillä teipit eivät ole riittävän tiiviitä. Tiivistyksen vuotaessa pääsee mitta-putki kuivumaan tasaantumisen aikana ja saadaan todellista alhaisempia suhteellisen kosteuden lukemia. Tutkimusten mukaan teipillä tehty tiivistys antaa jopa 10 % alhaisempia suhteellisen kosteuden tuloksia verrattuna kitillä tiivistettyihin mittausputkiin. (Merikallio, 2009, s. 90)

5.2.6.3 Mittausreiän tasaantuminen

Porauksen, puhdistuksen ja tiivistämisen jälkeen mittausreiän tulee tasaantua 3-7 vrk, jotta tasapainokosteus reiässä saavutetaan. Mikäli mittaus tehdään liian pian porauksen jälkeen, tulokseksi saadaan yleensä liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja. Porauksen vaikutuksesta betoni kuumenee ja kosteustasapaino betonin huokosissa häiriintyy. Porauksen vaikutus on yleensä sitä suurempi, mitä kuivempi ja lujempi betoni on. Betonin ollessa hyvin kostea, suhteellisen kosteus ei voi porauksen vaikutuksesta juurikaan nousta, mutta kun kyseessä on kuiva betoni (esim. 70 %) porauksen vaikutus voi olla jopa 15-20 %. Porauksen kosteusarvoja nostavaan ilmiöön vaikuttavat mm. betonin kosteus, betonin laatu, poraussyvyys ja putkituksen tiiveys. (Merikallio, 2009, s. 83)

Kuvassa 16 esitetty porauksen vaikutuksesta betonista mitattuun suhteelliseen kosteuteen ajan funktiona. Kaaviosta selkeästi havaittavissa vaadittavan 3 vrk:n tasaantumisaajan syy ja liian aikaisen mittauksen vaikutus saatuun mittaustulokseen.



Kuva 16. Porauksen vaikutus betonin suhteelliseen kosteuteen. (Merikallio, 2002, s. 14)

Kosteusmittaajan tulisikin tietää, mikä hänen käyttämänsä mittalaitteen vaatima tasaantumisaika on nimenomaan betonissa. Mittalaitteiden käyttöohjeista on tässä yhteydessä hyvin harvoin apua, sillä niissä ei yleensä ole mainintaa vaaditun tasaantumisaajan pituudesta mitattaessa betonin suhteellista kosteutta. (Merikallio, 2009, s. 83)

5.2.6.4 Mittapäiden asennus

Ennen mittapään asennusta tulee varmistaa, että mittapää on toimintakunnossa ja kalibroitu.

Lisäksi mittapään tulee tasaantua mitattavaa rakennetta ympäröiviin olosuhteisiin (T & RH). Jos kylmä mittapää laitetaan mittausreikään, kosteus voi tiivistyä anturiin, jolloin mittaus epäonnistuu. Mitattaessa samalla mittapäällä useita reikiä, mittapään on annettava tasaantua mittausten välillä ympäröivän ilman olosuhteisiin vähintään muutamia minuutteja.

Mittapää voidaan asentaa mittausreikään heti porauksen, puhdistuksen ja tiivistämisen jälkeen, jolloin mittapää tasaantuu reiässä vaaditun porareian tasaantumisaajan (>3vrk). Yleisimmin mittapää kuitenkin asennetaan mittausreikään vasta mittauspäivänä. Mittapää on asennettava mittausreikään välittömästi reiän avaamisen jälkeen. Mittausputken ja mittapään väli tiivistetään huolellisesti. Mittapään tulee olla reiässä niin pitkän ajan, että kosteustasapaino anturin ja betonin välillä saavutetaan riittävällä tarkkuudella. Tasaantumisaika on 1-24 h riippuen anturityypistä, mittapään kosteuskapasiteetista, betonilaadusta, betonin kosteudesta sekä halutusta mittauksen tarkkuudesta. Tasaantuminen on yleensä sitä hitaampaa, mitä kuivempaa tai mitä tiiviimpää mitattava betoni on. Hyvällä mittapäällä vaadittava tasaantumisaika ei riipu niinkään mittapään ominaisuuksista, vaan betonin kosteudenluovutusnopeudesta mittausreiän avaamisen ja mittapään asennuksen jälkeen.

5.2.6.5 Mittaustulosten lukeminen

Tasaantumisaajan jälkeen mittapää liitetään näyttölaitteeseen, jolta mittaustulokset luetaan. Näyttölaitte ilmoittaa mm. suhteellisen kosteuden ja lämpötilan sekä absoluuttisen kosteuden. Em. lukemat sekä anturin numero kirjataan mittauspöytäkirjaan.

5.2.6.6 Lämpötilan vaikutus mittaukseen

Lämpötila voi aiheuttaa merkittäviä mittausvirheitä betonin suhteellista kosteutta mitattaessa. Virhe voi syntyä, jos betonin lämpötila mittaushetkellä on eri, kuin rakennuksen lopullinen käyttölämpötila tai jos betonin lämpötila on mittaushetkellä eri kuin mittaasanturin lämpötila tai lämpötila mittauksen aikana muuttuu.

Porareikämittausta tehdessä betonirakenteen lämpötilan tulee olla lähellä rakennuksen käyttölämpötilaa eli yleensä n. 20 C. Jos betonin lämpötila poikkeaa 20 C asteesta korkeintaan +5 C astetta, lämpötilan aiheuttama virhe suhteellisen kosteuden arvoon on yleensä +0-5 % RH siten, että lämpötilan ollessa alle 20 C astetta kosteusarvot ovat yleensä todellista alhaisempia ja lämpötilan ollessa yli 20 C astetta kosteusarvot ovat yleensä todellista korkeampia. Jos lämpötila mittaushetkellä poikkeaa edellä mainitusta (+15 - +20 C), mittausrvirhe voi olla hyvinkin suuri ja täysin hallitsematon. Tästä syystä porareikämittauksia tehdessä betonin lämpötila tulisi olla välillä + 15 C - + 20 C.

Betonin lämpötilan noustessa, betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus eli betonin suhteellinen kosteus nousee. Ilmiö on päinvastainen kuin pelkällä ilmalla, jossa lämpötilan noustessa suhteellinen kosteus laskee vesipitoisuuden (g/m²) pysyessä samana. Betonissa lämpötilan nousu saa aikaan sen, että huokosten pintaan fysikaalisesti sitoutunutta vettä höyrystyy huokosten ilmatilaan. Tällöin ilmatilan vesihöyrypitoisuus kasvaa ja sen seurauksena myös suhteellinen kosteuspitoisuus kasvaa. Jossain vaiheessa saavutetaan raja, jonka jälkeen lämpötilan noustessa suhteellinen kosteus lähtee laskemaan (Rakenne kuivuu). Ilmiö on riippuvainen mm. betonin huokosrakenteesta, hydrataatioasteesta, vesisementtisuhteesta, iästä ja kosteudesta. Tästä johtuen ei ole pystytty laatimaan riittävän tarkkoja korjauskertoimia, joiden avulla betonin RH voitaisiin muuttaa jotain tiettyä lämpötilaa vastaavaksi.

Jos betonia on lämmitetty esim. kuivatuksen takia, betonin tulee antaa jäähtyä rakennuksen käyttölämpötilaan ennen mittausreikien porausta ja mittausta. Mikäli reiät porataan lämmitettyyn betoniin, mittausreikään voi rakenteen jäähtyessä kondensoitua kosteutta. Lämpötilaero mitta-anturin ja betonin välillä aiheuttaa mittausrvirheen. Jo 1 C asteen lämpötilaero anturin ja betonin välillä voi aiheuttaa 5 % RH muutoksen suhteellisen kosteuden lukemassa. Tällainen voi käytännössä syntyä esimerkiksi, jos ulkovi avataan talvella mittauksen aikana, anturiin paistaa aurinko tai mittaus tehdään lämmöneristeen läpi. Jos anturi on kylmempi kuin mitattava betoni, tulokseksi saadaan todellista korkeampia arvoja. Jos anturi on lämpimämpi kuin mitattava betoni, tulokseksi saadaan todellista alhaisempia arvoja. Lämpötilamuutokset voivat aiheuttaa myös mittausreiässä kosteuden tiivistymistä jo ennen mittausanturin asentamista. Mittauksen aikaisien lämpötila muutosten rajoittamiseksi mitattavan tilan ovet ja ikkunat tulee pitää suljettuina ja mittapiste tulee tarvittaessa lämmöneristää. Mikäli lämpötila ei ole hallittavissa, mittaus tulee tehdä näytepalamenetelmällä. (Merikallio, 2002, s. 13-16)

5.2.7 Näytepalamittaus

Betonirakenteen kosteusmittaus voidaan aina tehdä myös näytepalamenetelmällä. Näytepalamenetelmällä tehdyn mittauksen tulokset saadaan nopeammin, kuin porareikämittauksesta. Menetelmää voidaan käyttää

lämpötilaskaalassa -20 +80 °C tai kun työalueella vallitsevat ilmasto-olosuhteet ovat epävakait, tai kun betonin lämpötila on porareikämittaukselle selvästi liian alhainen tai korkea tai jos tulos tarvitaan nopeasti tai pyritään muutoin tarkkaan mittaustulokseen. Käytettäessä näytepalamittausta, rakenteen ja sisäilmaston lämpötila ja lämpötilaerot eivät vaikuta saatavan kosteuspitoisuusarvon luotettavuuteen. (RT 14-10984, 2010, s. 4)

5.2.7.1 Näytepalojen otto

Mittauspisteessä betonirakenteeseen porataan 10 – 16 mm poranterällä halkaisijaltaan n. 100 – 150 mm piiri. Reiät porataan mittaussyvyyteen asti. Piirin sisään jäänyt betoni piikataan tai hakataan (moskalla ja taltalla) irti, jolloin irronneen betonikappaleen alta paljastuu ns. näytteenottopinta. Betonipala voidaan myös irrottaa kuivaporauskruunun avulla. Näytteenottopinnan syvyys tarkistetaan. Tavoitteena on n. 5 mm mittaussyvyyttä ylempänä oleva pinta. Syvyyden ollessa oikea, pinnasta piikataan/pilkotaan betonin murusia (ei pölyä). Murusia ei tule ottaa aivan porauspinnan läheisyydestä (>5 mm etäisyys). Muruset laitetaan välittömästi koeputkeen yhdessä kosteusmittapään kanssa siten, että murusten määrä on n. 1/3 koeputken tilavuudesta. Lämmitettyä betonia mitattaessa murusten täytyy olla mahdollisimman suuria. Putken pää tiivistetään vesihöyryntiiviiksi huolellisesti materiaalilla, jonka kosteuskapasiteetti on alhainen. Mittauksessa käytettävän mittapään kosteuskapasiteetin tulee olla alhainen eli mittapää itse ei saa sitoa merkittäviä määriä kosteutta. Mittapään tulee lisäksi olla tiivis, ettei kosteus pääse kulkeutumaan mittapään vartta pitkin ulos koeputkesta.

5.2.7.2 Näytepalojen siirto ja tasaantumisaika

Näytteenoton jälkeen koeputket, joissa on sekä betoninäytepalat että mittapää, siirretään +20 C asteen vakioämpötilaan. Siirron ajaksi koeputket tulee laittaa lämpöeristettyyn kuljetusastiaan suurten lämpötilavaihteluiden minimoimiseksi. Esimerkiksi talvella tulee estää koeputken jäähtymisen kosteuden tiivistymisriskin vuoksi. Näytepalojen annetaan tasaantua vakioämpötilassa (+20 C) halutusta mittauksen tarkkuudesta riippuen 2-12 tuntia. Tarkkuutta vaativissa päällystettävyyssmittauksissa tasaantumisaika on > 6tuntia. Erittäin tiivistä betonia ($v/s < 0,5$) mitattaessa tasaantumisaika tulee olla pidempi. (RH/Abs) ja lämpötila sekä mittausanturin numero. Tulokset kirjataan mittauspöytäkirjaan.

Näytepalamittaus asentamatta mittapäävälittömästi mittausputkeen. Jos mittapää ei voida asentaa heti koeputkeen, jossa betoninäytteet ovat, tulee näytemäärää suhteessa koeputken ilmatilaan kasvattaa. Koeputken suu tiivistetään vesihöyryntiiviisti. Näin betonimurusten ytimissä oleva kosteus varmuudella riittää oikean tasapainokosteuden uudelleen tuottamiseen koeputkeen, vaikka osa heti murusista koeputkeen vapautu-

neesta kosteudesta poistuisikin mittapään asennusvaiheessa. Jos mittapäättä ei kyetä asentamaan putkeen samaan aikaan näytepalojen kanssa, saattaa mittaustarkkuus olla ainakin hieman normaalia näytepalamittausta huonompi. (RT 14-10984, 2010, s. 12)

Näytepalamittaus normaalia pienemmällä näytemäärällä tai epätarkalla syvyydellä Näytepalamittaus on mahdollista tehdä hyvinkin pienellä koeputkella, jolloin betonimääräkin voi vastaavasti olla esitettyä pienempi. Tällöin näytteenotto on erityisen vaativaa ja pienikin virhe esimerkiksi tiivistyksessä saattaa johtaa siihen, että betoninäytteiden kosteuspitoisuus ei riitä aikaan saamaan koeputkeen mittaussyvyydellä vallinnutta betoni-huokosten kosteuspitoisuutta. Pienempi näytemäärä hidastaa tasaantumista, mutta johtaa oikeaan tulokseen, jos betonimurusissa koeputkeen tuotu kosteusmäärä on riittävä. Hyvin pientä näytteenottokuoppaa käytettäessä saattaa näytteiden mukana tulla betonia näytteenottokuopan reunantyoöstöpinnasta. Tällöin koeputkeen saatetaan siirtää huokosia, joihin poistetun betonin kosteutta on siirtynyt työstössä. Tuloksissa saattaa siten olla mukana porareikämittaukseen aina liittyvää porauksen vaikutusta. Vaihtoehtoisesti työstöpinta (kuopan reuna) on saattanut kuivahtaa esimerkiksi timanttilaikkaa käytettäessä. Tällaisten mittausten tarkkuutta on hyvin vaikea arvioida. Jos näytteenottoa ei tehdä täsmälliseltä syvyydeltä esimerkiksi käytettäessä kooltaan liian pientä, halkaisijaltaan alle 50mm:n kuoppaa, saadaan tulokseksi jonkinlainen keskiarvo näytteenottosyvyydeltä aivan kuten porareikämittauksella ilman oikeanlaista mittauserästä. Tulokseen vaikuttaa hyvin voimakkaasti betonirakenteen kosteusjakauma, jossa tilanteesta riippuen saattaa olla hyvinkin merkittävää vaihtelua. (RT 14-10984, 2010, s. 12)

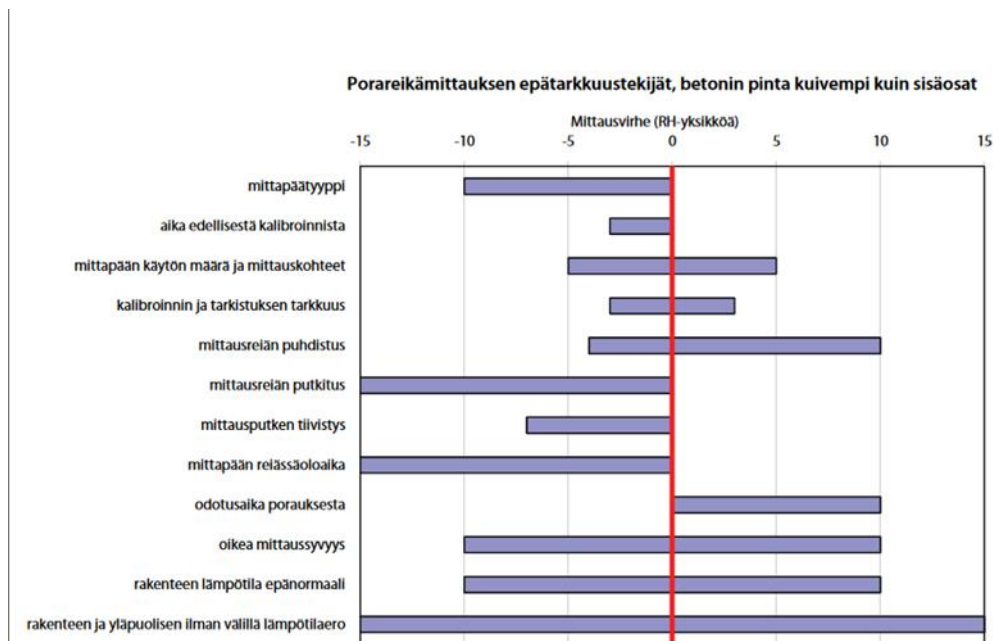
5.2.8 Mittaustarkkuus ja luotettavuus

Mittauksen luotettavuuden arviointi Hyväänkin mittaukseen liittyy yleensä useita epävarmuustekijöitä, jotka mittauksessa sekä tulosten tulkinnessa tulee ottaa huomioon. Mittauksen luotettavuuteen vaikuttavia perustekijöitä ovat mittalaitteiden tarkkuus, mittauksen suoritusta vastaa aiheuttavat epätarkkuustekijät ja olosuhdetekijät. Kuvaan 12 on koottu eri tekijät suunta- ja suuruusluokkatietoineen. (RT 14-10984, 2010, s. 9)

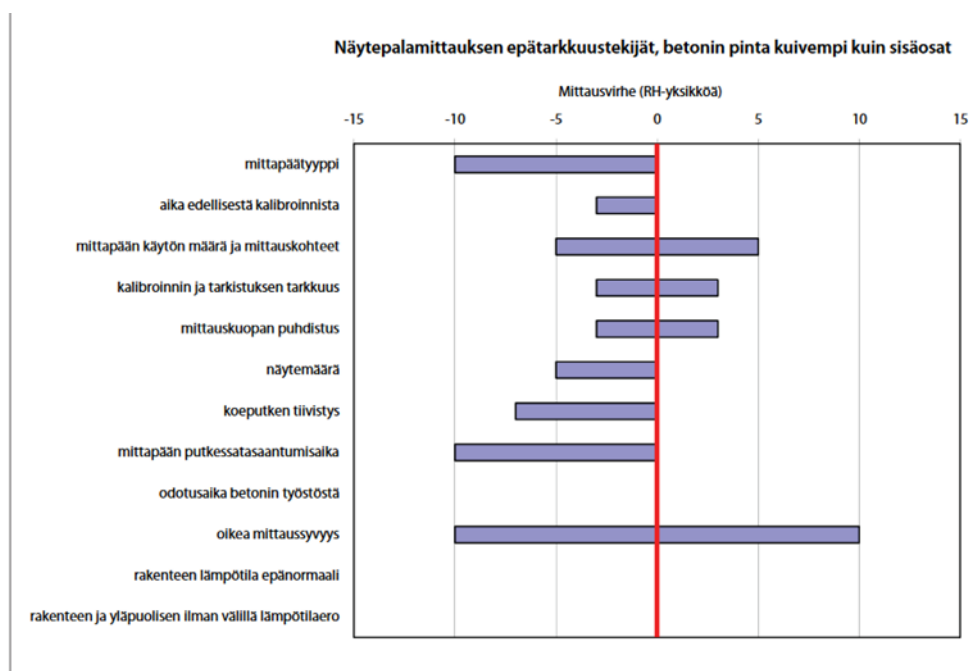
Kuvassa 17 esitetty porareikämittauksen epävarmuustekijöitä ja niiden aiheuttaman mittauseräpätarkkuuksien suuruuksia.

Kuvassa 18 esitetty koepalamittauksen epävarmuustekijöitä ja niiden aiheuttaman mittauseräpätarkkuuden suuruuksia.

Kuten molemmat kuvat havainnollistavat, on kosteusmittaus hyvin herkkä epävarmuustekijöille. On myös hyvin tärkeää, että kosteusmittaaja tuntee nämä epävarmuustekijät.



Kuva 17. Porareikämittauksen epävarmuustekijät
(RT 14-10984, 2010, s. 9)



Kuva 18. Koepalamittauksen epävarmuustekijät
(RT 14-10984, 2010, s. 9)

Mittaus ilman käsitystä sen pätevyydestä ja mittaustulos ilman käsitystä tulokseen liittyvästä mittausepä tarkkuudesta on merkityksetön. Mittausepä tarkkuus tulee aina ilmoittaa mittaustulosten yhteydessä. (Merikallio, 2009, s. 77)

Lyhyesti muotoiltuna mittaajan tulee aina tiedostaa saavansa tosiarvoista poikkeavia tuloksia. Oleellista on tiedostaa, kuinka paljon mittaustulokset ovat vääristyneistä.

5.2.9 Suuntaa-antavat mittaukset

Rakennekosteuden kuivumisprosessin seurannassa ei aina ole tarpeen saada tarkkoja mittaustuloksia. Osana olosuhdeseurantaa voidaan käyttää pintakosteudenilmaisimia, kunhan ymmärtää käytettyyn menetelmään liittyvät epävarmuustekijät. Pintakosteudenilmaisimien toiminta perustuu koestettavan rakenteen sähkönjohtavuuden muutokseen. Laitteen ilmoittama luku nousee koestettavan rakenteen sähkönjohtavuuden noustessa. Laite ei siis anna lukemaa missään suureessa, jolla voidaan rakenteen todellista vesisisältöä arvioida. Laitteen käyttö perustuukin saatujen lukemien vertailuun eri puolilla rakennetta.

Pintakosteudenilmaisimen käytössä epävarmuutta tulkintaan tuo rakenteessa olevat muut seikat kosteuden lisäksi: sementtimäärä, hydratoitumisaste, alkalisuus, lisäaineet sekä sähkö- ja vesijohdot. Esimerkiksi, jos kahden eri vesi-sideainesuhteen omaavan betonin suhteellinen kosteus on sama, pintakosteusmittaus voi antaa korkeampia kosteuslukemia suuremman sementtimäärän sisältävästä betonista.

Pintakosteusilmaisimien käytössä saatuihin lukemiin vaikuttaa muiden tekijöiden lisäksi mm. mittaajan tapa käsitellä laitetta, koestettavan pinnan epätasaisuus ja laitteen toimintahäiriöt.

Esimerkiksi mittalaitteen koestimen ollessa kontaktissa kahteen pintaan yhtä aikaa, näyttää laite korkea lukemaa sähkönjohtavuudesta huolimatta. Pintakosteudenilmaisimien heikkouksena on myös mittaussyvyyden epävarmuus. Useimmat laitteet havainnoivat vain muutaman senttimetrin syvyyteen saakka olevat sähkönjohtavuuden vaihtelut. Mittausmenetelmän epävarmuustekijöistä huolimatta pintakosteudenosoittimia hyödynnetään esimerkiksi kosteusmittauspisteitä valittaessa. Lisäksi kuivaamisen tehostusvaiheessa puhaltimia käytettäessä voidaan pintakosteudenilmaisinta käyttää laitteita siirreltäessä havainnoimaan mihin suuntaan puhaltimia suunnataan, kun puhaltimien suuntaamisia joudutaan vaihtelevaan haitallisen kuivumiskutistumaliikkeitten vähentämiseksi. Pintakosteudenilmaisimella ei koskaan tehdä päätöstä rakenteen päällystämisestä.

6 MITTAUSTULOSTEN RAPORTOINTI

Kosteusmittauksista laaditaan aina mittausraportti, joka toimitetaan tilaajalle. Mittausraportissa saadut mittaustulokset esitetään riittävän selkeälukuisesti. Raportista tulee ilmetä:

Kohde, Mittaajan tiedot, Kohteen kuvaus, rakenneratkaisu, pohjapiirustus, mittauspisteiden sijainti, mittausajankohta, käytetyt mittalaitteet, kalibrointiajankohdat, kuvaus mittausten menetelmästä, sisä- ja ulkoilman olosuhteet, mittaussyvyydet, mittaustulokset, tulosten tulkinta, mittausepä-tarkkuustarkastelu, valokuvia mittauspisteistä. (Merikallio, 2002, s. 29)

Oheisessa kuvassa esimerkki mittaustulosten esittämisestä mittausraportissa. Mittausraportissa tulokset tulee ilmoittaa riittävän selkeästi helppolukuisuuden huomioimiseksi.

Mittapiste	Suht. kost. (%)	Lämpötila (°C)	g/m ³	Mittapää / kalibroitu
Sisäilma	57.8	22,1	11,3	Vaisala HM42/04/2019
Ulkoilma	76.5	12.3	8.3	Vaisala HM42/04/2019

Mittapiste	Mittaussyvyys (mm)	Suht. kost. (%)	Lämpötila (°C)	g/m ³	Mittapää / kalibrointi	
1	Lämmönjako-huone	20	67.5	20.2	11.8	Vaisala HMP40S (19.) kalib 11/18
1	--"	50	80.9	20.3	14.2	Vaisala HMP40S (32.) kalib 11/18
2	Tila 102	20	90.1	20.5	16.0	Vaisala HMP40S (48.) kalib 10/18
2	Tila 102	50	85.0	20.3	14.9	Vaisala HMP40S (52.) kalib 10/18

Kuva 19. Esimerkki kosteusmittaustuloksista mittausraportissa

7 KUIVUMISAJAN ARVIOINTI

Rakenteiden kuivumisaikaa arvioitaessa huomioon otettavia tekijöitä ovat:

Tavoitekosteus:

Riippuu päällystemateriaalin kosteudensietokyvystä ja vesihöyrynläpäisyominaisuuksista

Rakenne:

Rakenteen paksuus, pääseekö rakenne kuivumaan yhteen vai kahteen suuntaan?

Käytetty betonilaatu:

Vesimenttisuhde, maksimiraekoko, notkeus

Kuivumisolosuhteet:

Kastumisaika, lämpötila, ilman suhteellinen kosteus

Kuivumisaika-arvioiden pohjalta määritetään, minkälaiset olosuhteet työmaalle tulee luoda, jotta päällystettävien rakenteiden kuivuminen tapahtuisi tavoiteaikataulun mukaisissa puitteissa. Rakentamisen aikana työmaalla seurataan kuivatuksen tehokkuutta sisäilman lämpötila- ja kosteusmittauksin sekä rakennekosteusmittauksin.

”Kuivumisaika-arviota laadittaessa on syytä huomioida, että ne ovat suunta-antavia ja tarkoitettu käytettäväksi esimerkiksi rakentamisaikataulujen, työmaan kosteudenhallinnan ja kuivatuksen suunnitteluun. Todellinen varmuus rakenteen riittävästä kuivumisesta saadaan vain mittaamalla betonin kosteus”. (Merikallio, 2002, s. 32)

7.1 Kosteusraja-arvot

Rakennusurakoitsijan tulee aina huolehtia betonirakenteiden riittävästä kuivumisesta ennen päällystystöihin ryhtymistä. Riittävä kuivumisen taso on esitetty joko työselostuksessa tai urakka-asiakirjoissa on viitattu johonkin tiettyyn julkaisuun, jonka mukaisia pinnoituskosteusraja-arvoja noudatetaan.

Raja-arvoissa noudatetaan kuitenkin aina ensisijaisesti tuotevalmistajan määrittämiä olosuhdevaatimuksia tuotetakuun ylläpitämiseksi. Mikäli tuotevalmistaja ei ole määrittänyt noudatettavaa raja-arvoa, on urakoitsijan tällöin hyvän rakennustavan mukaisesti noudatettava esim. SisäRYL2000 julkaisussa esitettyjä raja-arvoja.

On kuitenkin huomioitava, että eri julkaisuissa saattaa olla eroja päällystämateriaalikohtaisissa kosteusraja-arvoissa. Lisäksi kahdella ei valmistajalla saattaa olla esitettyinä samasta tuotteesta kaksi eri raja-arvoa.

Myös eri maissa on erilaisia käytänteitä ja vaatimuksia. Eroja saattaa olla suuruusluokissa sekä mittayksiköissä esim. %, RH, p-%. Lattiarakenteen vaadittava kuivatusaika saattaakin vaihdella merkittävästi muutamasta viikosta yli puoleen vuoteen riippuen siitä minkä julkaisun ohjeita noudatetaan. (Merikallio, 2009, s. 54-57)

Kuvassa 20 esitetty yleisimpien päällystämateriaalien suositeltavia kosteusraja-arvoja. Kosteusraja-arvo pyritään aina ensisijaisesti selvittämään tuotevalmistajalta.

Lattianpäällyste	Betonin RH (%) arviointisyvyydellä (A) ¹⁾	Betonin ja/tai tasoitteen RH (%) pinnassa ja 1...3 cm:n syvyydellä (0,4xA)
Kelluva lautaparketti ja alusmateriaali	85	75
Alustaan liimattava lautaparketti	Normaali betoni 85	75
	Erikoisbetoni w<0,5	
Laminaatti	85	75
Mosaiikkiparketti	Normaali betoni	75
	Erikoisbetoni w<0,5	
Muovimatot	85	75
Linoleumi	85	75
Kumimatot	85	75
Tekstiilimatto, tiivis alusta (pvc, kumi, kumilateksisively) tai luonnonmateriaalista tehty	85	75
Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta	90	75
Muovi-, kumi- ja linoleumilaatat	90	75

¹⁾Arviointisyvyys A on rakenteen paksuudesta riippuva kosteusmittausvyvyys. Kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa mittaussyvyys on 20 % rakenteen paksuudesta ja yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa 40 %. Maksimimittaussyvyys on 70 mm.

Kuva 20. Betonilattian pinnoitusraja-arvoja eri päällystemateriaaleille. (Betonilehti n.d)

Nykyisille uudisrakennushankkeissa noudatettavilla betonilattian kosteusraja-arvoille ei löydy materiaalin ominaisuudet ja kosteusmittausmenetelmä huomioon ottavia tieteellisiä perusteita. Raja-arvoissa ei oteta huomioon erilaisia rakenteita, betonin kosteuden-siirtokykyä eikä erilaisten päällystemateriaalin kykyä läpäistä betonista haihtuvaa kosteutta. Näillä tekijöillä on kuitenkin merkittävä vaikutus betonilattian kosteuskäyttäytymiseen päällystämisen jälkeen. Puupohjaisten lattiapäällysteiden kuten parketin ja laminaatin kosteusraja-arvot ovat pääsääntöisesti turhan alhaisia. Seurauksena voi olla betonilattian tarpeettoman pitkä kuivatusaika ja siitä johtuvat ylimääräiset kustannukset. Tiiviiden muovimattojen kosteusraja-arvot saattavat puolestaan olla liian korkeita, mikä voi johtaa kosteusvaurioon sekä siitä aiheutuviin toiminnallisiin, taloudellisiin ja jopa terveydellisiin haittoihin. Tiiviiden lattiapäällysteiden kosteusraja-arvojen alentamisen sijaan sekä taloudellisesti että toiminnallisesti järkevämpi vaihtoehto on kehittää päällystemateriaaleja sellaiseen suuntaan, että niiden vesihöyrynläpäisevyys ja kosteudenkestävyys paranevat. Näin betonilattian vaadittavaa kuivumisaikaa saadaan lyhennettyä ja samalla kuitenkin kosteusvaurioriskiä pienennettyä. (Merikallio, 2009, s. 54-57)

7.2 Kosteusraja-arvon vaikutus kuivatusaikaan

Lattiapäällystemateriaalin vaatiman alustabetonin suurimman sallitun kosteusraja-arvon vaikutusta betonirakenteen vaatimaan kuivumisaikaan on tutkittu vertaamalla tietyn betonikoekappaleen kuivumisesta tavoitekosteusarvoon suhteellisena kosteutena (RH). Tutkimus on toteutettu valamalla normaalin vesisideainesuhteen betonia (0.7) tiiviiseen muovilaatikoon 110 mm paksuna kerroksena mallintaen yhteen suuntaan kuivuvaa

betonirakennetta. Tutkimuksessa betonirakenteen kosteusmittaukset suoritettiin RT 14-10984 – kortin mukaisesti porareikämittauksena syvyyksiltä 20mm ja 45 mm. Mittaus suoritettiin Vaisala Oyj:n valmistamilla HMP44 lämpötila- ja kosteusmittapäillä. Tutkimuksessa mitattiin kuivumiseen käytettyä aikaa tarkastelusyvydeltä 45 mm. Rakenne kuivui RH 95 % tasoon n. 3 viikossa. RH 90% tasoon n. 8 viikossa, RH 85 % tasoon 18 viikossa ja RH 80% tasoon n. 34 viikossa.

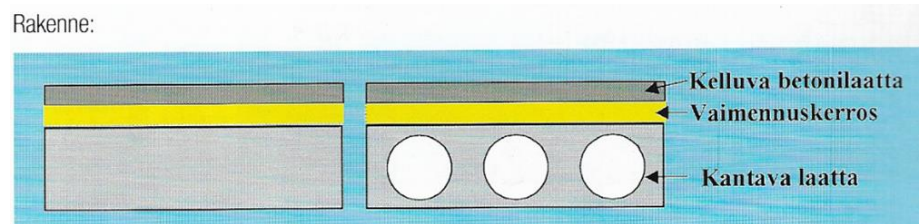
Näin ollen esimerkiksi kelluvan lautaparketin päällystettävyysskuivumisaika voi vaihdella 3 viikosta (RH 95%) aina 34 viikkoon (RH 80%) riippuen mitä raja-arvoa noudatetaan. Käytännössä joidenkin materiaalivalmistajan vaatima RH 65% ei ole mahdollista toteuttaa tällä tarkastelusyvydellä normaalin rakennusaikataulun puitteissa. Materiaalivalmistajien ilmoittamalla tuotekohtaisilla päällystettävyysskuivusraja-arvoilla on merkittävä vaikutus betonisen lattiarakenteen vaadittavaan kuivumisaikaan ja sen myötä rakennusaikatauluun sekä kustannuksiin. Tarpeettoman alhaiset kosteusraja-arvot ovat rakennusurakoitsijan kannalta epäedullisia. Nämä johtavat usein aikataulun viivästymiseen ja lisäkuivatustarpeisiin. (Merikalio, 2009, s. 54-57)

7.3 Kuivumisaika-arvion laskenta

Kuivumisaika-arvion laskenta on aina rakennetyyppikohtainen. Laskentamalleja sekä -ohjelmia on markkinoilla useita. Ohessa esimerkkejä erilaisten rakennetyyppien kuivumisaika-arvioista.

Esimerkki 1:

Kelluva pintalaatta 50 mm. Betoni C25/30.
Runkolaatan kosteus RH 90 – 95 %



Kuva 21. Rakenne

Kuivumisolosuhteet:
yli 2 vko:a kosteassa, sitten +25 °C / RH 50 %
Tavoitekosteus: RH 85 %

Laskentaesimerkki:

Peruskuivumisaika 8 vko:a

X

runkolaatan kosteuskerroin 1,1

X

pintalaatan paksuuskerroin 0,8

X

pintalaatan v/s kerroin 1,0

X

jälkihoitokerroin 1,0

X

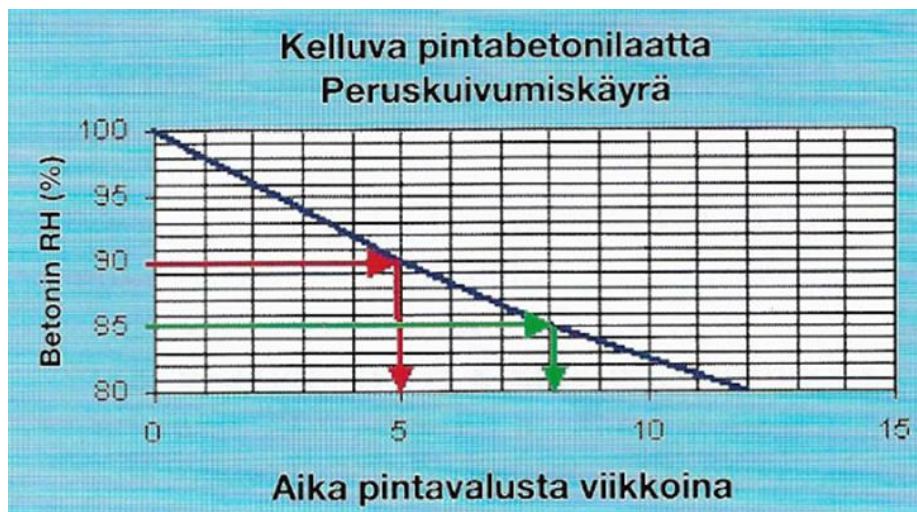
kuivumisolosuhdekerroin 0,7

= 4,9 => 5 viikkoa.

Laskentakaava:



Kuva 22. Laskentakaava (Merikallio, 2002. s. 56)



Kuva 23. Peruskuivumiskäyrä (Merikallio, 2002. s. 56)

Kertoimet:

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

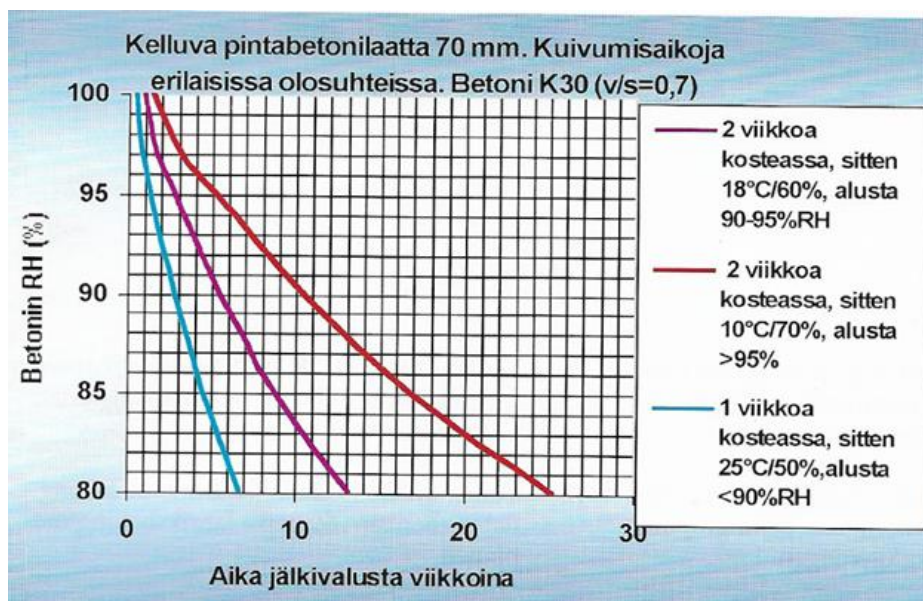
Kelluvan laatan paksuus (mm)	Vesisideainesusuhde (v/s)		
	0,7	0,6	0,5
50	0,8	0,7	0,7
70	1,0	0,8	0,8
90	1,2	1,1	1,1
100	1,5	1,3	1,3

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

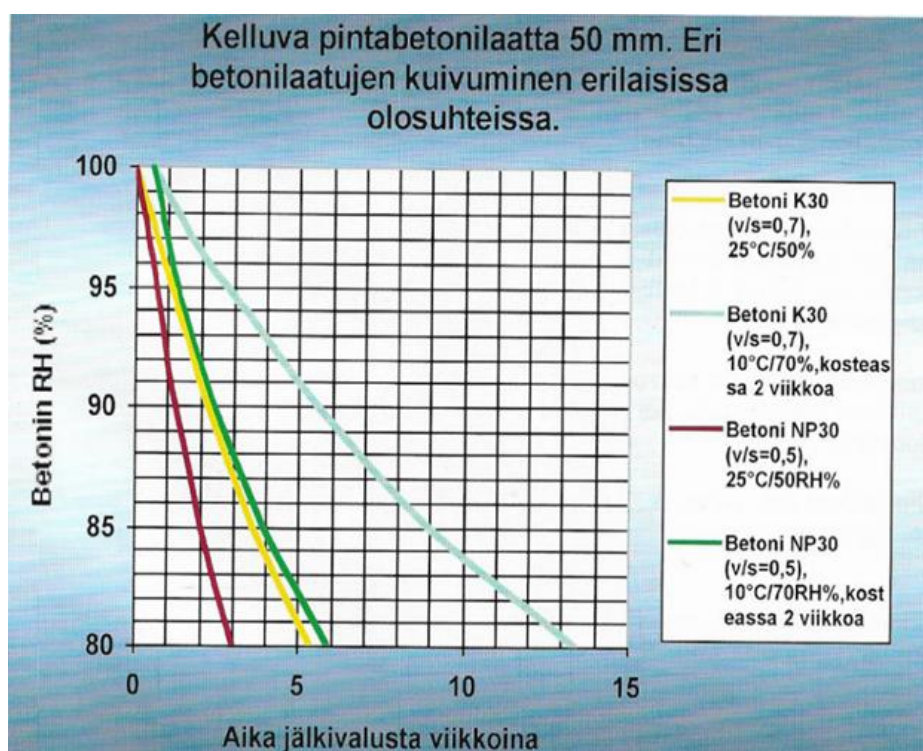
Kastuminen	Pintabetonin vesisideainesusuhde		
	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0

Kuva 24. Laskennassa käytettävät kertoimet. (Merikallio, 2002. s. 56)

Oheisissa kuvissa esitetty esimerkissä käytetyn betonirakenteen kuivumisaikoja erilaisissa olosuhteissa ja erilaisissa lähtötilanteissa.



Kuva 25. Kelluva pintabetonilaatta 70 mm (K30 v/s 0,7). Kuivumisaikoja erilaisissa olosuhteissa. (Merikallio, 2002, s. 57)



Kuva 26. Kelluva pintabetonilaatta 50 mm. Eri betonilaatujen kuivuminen erilaisissa olosuhteissa. (Merikallio, 2002, s. 57)

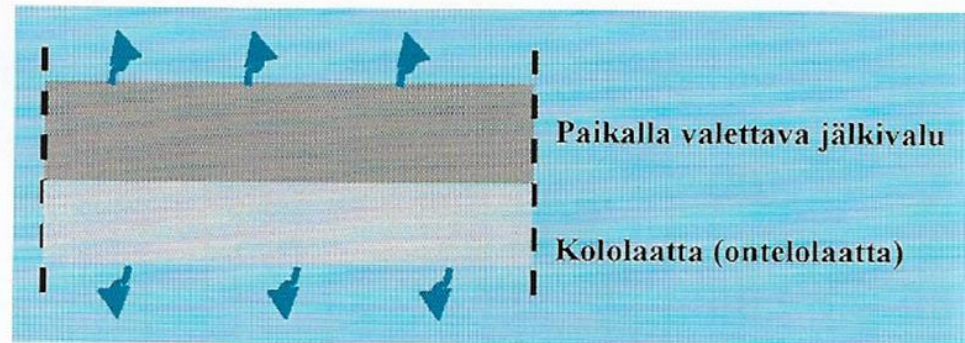
Esimerkki 2:

Ontelolaatta (kololaatta) + jälkivalu 150 mm.

Betoni C25/30 v/s 0,7

Kololaatan kosteus ennen jälkivalua > 95 %

Rakenne:



Kuva 27. Rakenne

Kuivumisolosuhteet: 2 viikkoa sateessa, sitten +18 C / 60 % RH

Tavoitekosteus RH 90 %

Esimerkkilaskelma:

Peruskuivumisaika 10 viikkoa

X

Kololaatan kosteuskerroin 1,5

X

Jälkivalun paksuuskerroin 1,5

X

Jälkivalun v/s kerroin 1,0

X

Kastumisaikakerroin 1,5

X

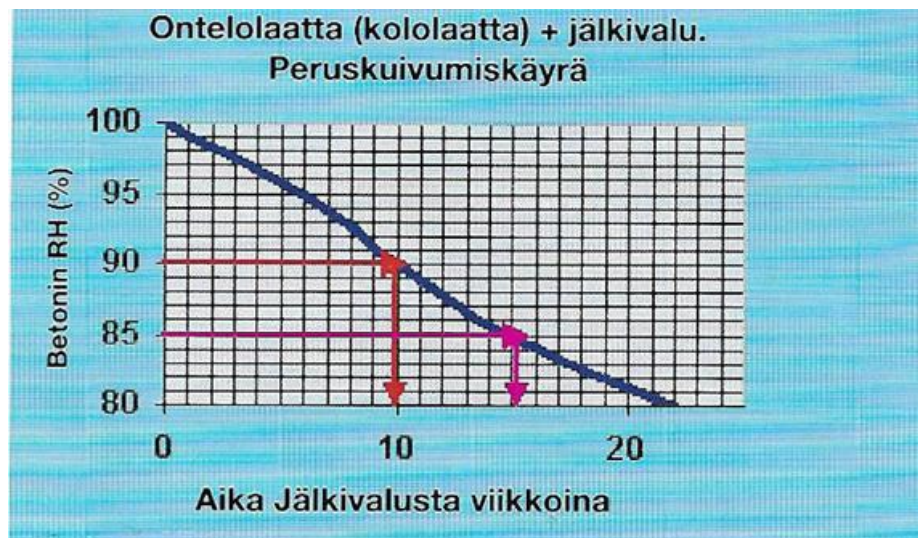
Kuivumisolosuhdekerroin 1,0

$$= 10 \times 1,5 \times 1,5 \times 1,0 \times 1,5 \times 1,0 = 33,75 \Rightarrow 34 \text{ viikkoa}$$

Laskentakaava:



Kuva 27. Laskentakaava. (Merikallio, 2002, s. 54)



Kuva 28. Peruskuivumiskäyrä. (Merikallio, 2002, s. 54)

Kertoimet:

Ontelolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin	Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
Alle 90 %	0,9	0,7	1,0
90-95 %	1,0	0,6	0,7
yli 95 %	1,5	0,5	0,5

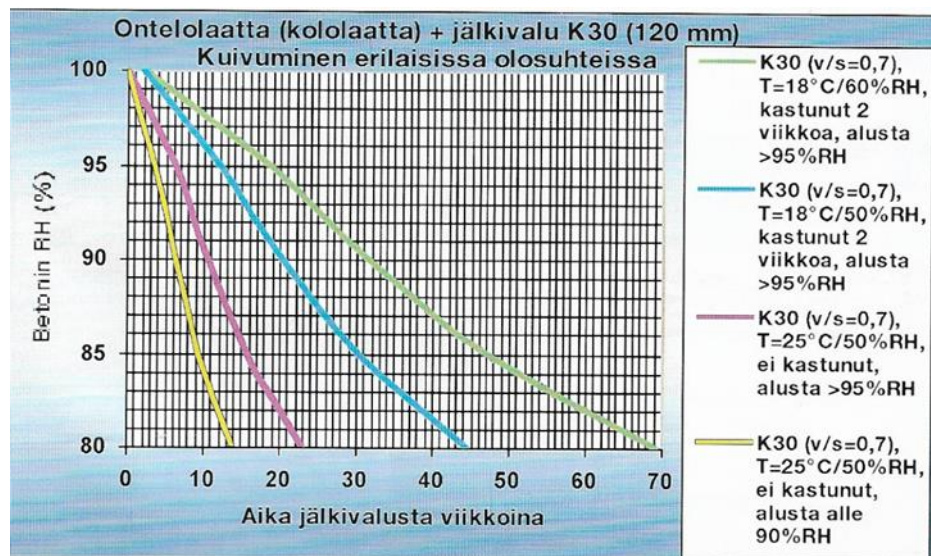
Jälkivalun paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)		
	0,7	0,6	0,5
100	0,8	0,7	0,7
120	1,0	0,9	0,9
150	1,3	1,2	1,2

Kastuminen	Pinta betonin vesisideainesuhde		
	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,2	1,3	1,5

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

Kuva 29. Kertoimet (Merikallio, 2002, s. 54)

Alla olevassa kuvassa esitetty esimerkkirakenteen kuivumisaikoja erilaisissa olosuhteissa ja lähtötilanteissa.



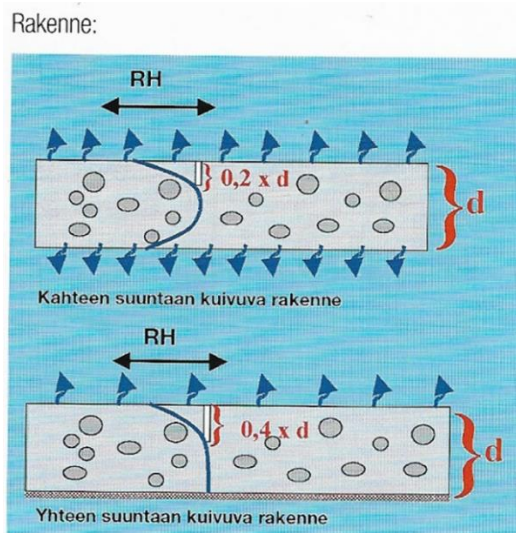
Kuva 30. Kuivumisaikoja erilaisissa olosuhteissa (Merikallio, 2002, s. 55)

Esimerkki 3:

Massiivälipohja 200 mm, Betoni C25/30 (v/s 0,7)

Kastunut > 2 viikkoa, sen jälkeen + 25 C RH 50%

Tavoitekosteus: RH 85 %



Kuva 31. Rakenne. (Merikallio, 2002, s. 41)

Esimerkkilaskelma:

Peruskuivumisaika 37 vko:a

x

v/s kerroin 1,0

x

paksuuskerroin 0,7

x

kuivumissuuntakerroin 1,0

x

olosuhdekerroin 0,7

x

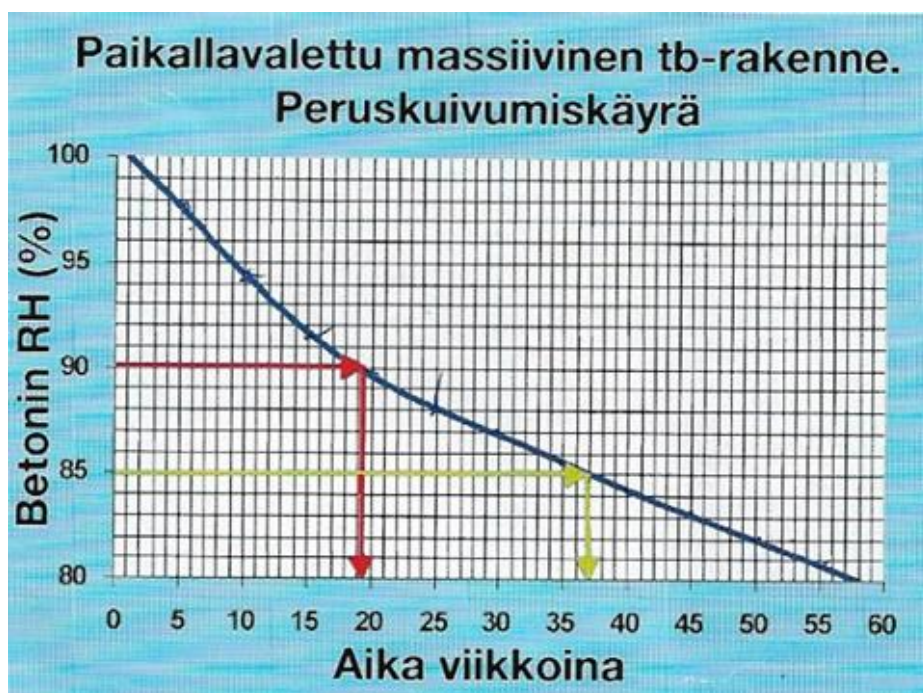
kastumiskerroin 1,5

= $37 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,5 = 27,2 \Rightarrow 27$ viikkoa

Laskentakaava:



Kuva 32. Laskentakaava. (Merikallio, 2002, s. 41)



Kuva 33. Peruskuivumiskäyrä. (Merikallio, 2002, s. 41)

Kertoimet:

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

Rakenteen paksuus (mm)	Vesideainesuhde (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

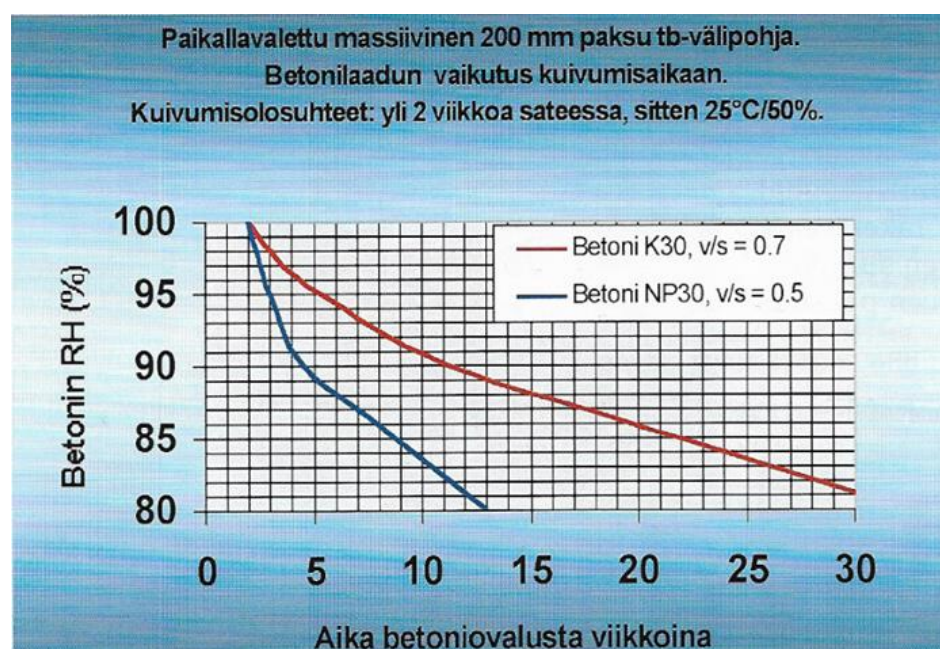
Kuivumisuunta	Vesideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
Kahteen suuntaan	1,0	1,0	1,0	1,0
Yhteen suuntaan	3,2	2,6	2,3	2,0

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

Kastuminen	Vesideainesuhde			
	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

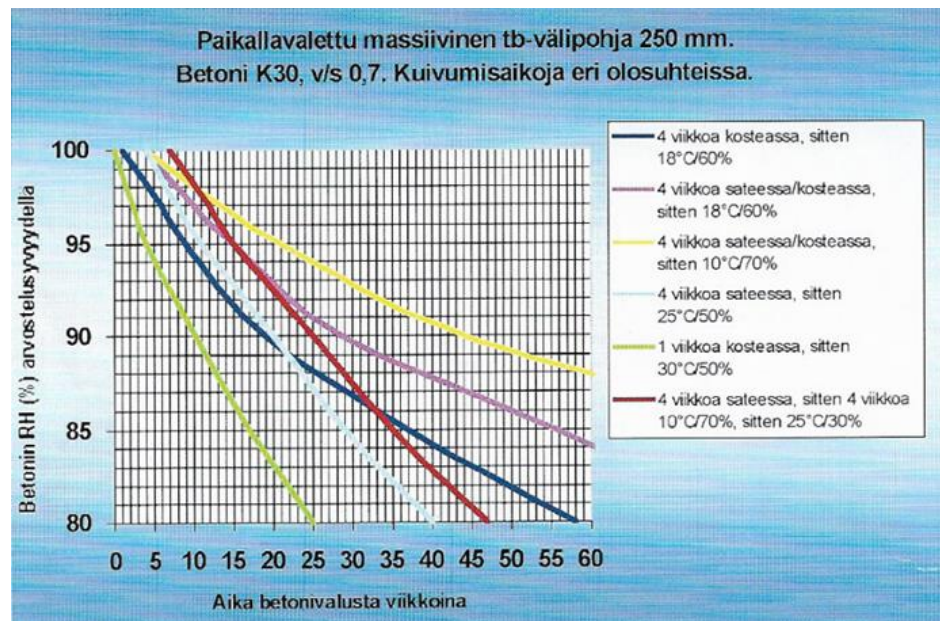
Kuva 34. Kertoimet. (Merikallio, 2002, s. 41)

Oheisissa kuvissa esitetty esimerkkirakenteen kuivumisaikojä erilaisissa olosuhteissa ja lähtötilanteissa.

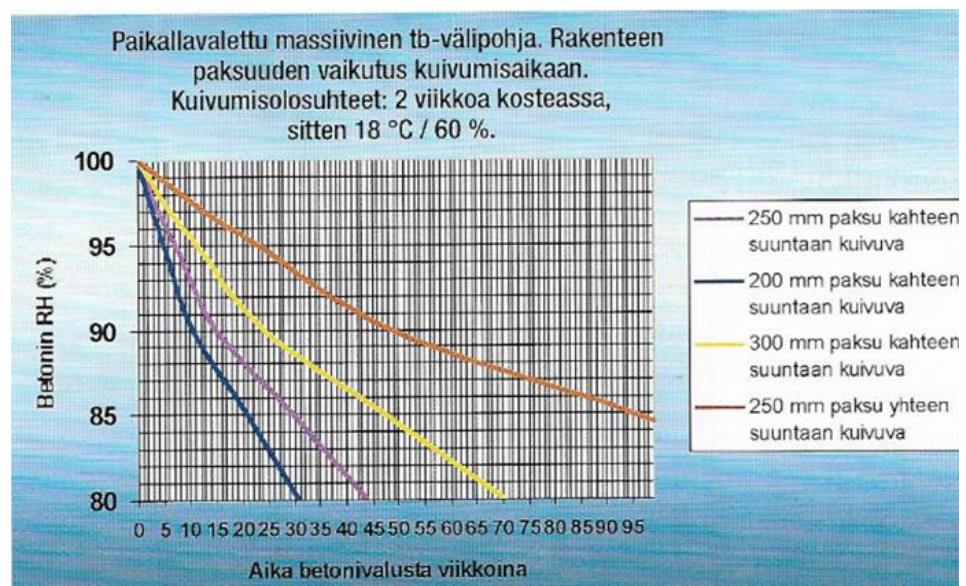


Kuva 35. Massiivinen teräsbetonilaatta 200 mm kuivumisaika viikkoina. Betonin K30 (v/s 0,7) ja NP30 (v/s 0,5) kuivuminen kun rakenne on 2 ensimmäistä viikkoa sateessa ja sitten olosuhteissa +25 °C / RH 50 %

(Merikallio, 2002, s. 42)



Kuva 36. Massiivinen teräsbetonilaatta 250 mm kuivumisaika viikkoina erilaisissa olosuhteissa. Betonin v/s 0,7. (Merikallio, 2002, s. 42)



Kuva 37. Massiivinen teräsbetonilaatta. Betonin v/s 0,7. Rakenteen paksuuden vaikutus kuivumisaikaan. Kuivumisolosuhteet: 2 vko:a kosteassa, sitten +18 °C/RH60% (Merikallio, 2002, s. 42)

8 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä on pyritty osoittamaan, että paikalla valettujen betonilattioiden kosteudenhallinta sekä muu kokonaisuuden hallinta ovat jatkuva keskeytymätön prosessi alkaen suunnittelupöydältä jatkuen aina päällystämiseen asti ja huomioituna on myös tapahtumat, mitkä tapahtuvat päällystämisen jälkeen.

Yhteenvetona voidaan todeta, ettei mitkään ”nyrkkisäännöt” ole toimiva arviointimalli, miten betonirakenteen kuivumisprosessi etenee ja milloin rakenne on päällystettävissä. On tärkeää ymmärtää kaikki ne fysikaaliset riippuvuussuhteet ja muuttujat, jotka vaikuttavat kokonaisuutena onnistuneeseen kosteudenpoistoon ja turvalliseen päällystämiseen. On myös hyvä ymmärtää vaihtoehdot, mitä olosuhdehallinnassa voidaan käyttää ja miten erilaisia olosuhdehallinnan toteutuksia voidaan olosuhdemittauksilla seurata ja siten ohjata olosuhdehallinnan eri muuttujia muuttuvissa ja siten haasteellisissa oloissa.

Markkinoilla on tarjolla lukuisia erilaisia olosuhdehallinnan seurantaan tarkoitettuja mittauslaitteita. On olemassa yksittäiseen lyhytkestoiseen mittaukseen tarkoitettuja mittalaitteita ja tarjolla löytyy myös valmiita paketteja etäseurattavista laitteistokokonaisuuksista, joilla koko rakennustyömaan kaikkia olosuhdetekijöitä voidaan esimerkiksi etänä seurata.

Rakennustyömaan työnjohdon tulee kuitenkin aina perehtyä huolellisesti hankkimiansa laitteistojen epävarmuustekijöistä ja ymmärtää vähintäänkin karkeasti, missä suuruusluokassa käyttämänsä laitteiston mittatarkkuus on. Mittatarkkuus ei kuitenkaan ole niin merkitsevässä roolissa olosuhdeseurantamittauksissa, sillä sujuvaa olosuhdehallintaa saadaan tehtyä karkeammallakin tarkkuudella. Eri asia on päällystettävyyssmittaukset seurantamittauksineen, jotka tulee tehdä tarkimmalla mahdollisella mittausmenetelmällä ja laitteistolla sekä mittauksiin erikoistuneen ulkopuolisen rakennekosteudenmittaajan toimesta.

Paikalla valettujen päällystettävien betonirakenteiden kosteudenhallinnassa on tiedostettava, että puutteet kosteudenhallinnassa rakentamisen aikana saattavat ilmaantua oireiluna vasta kohteen päällystämisen jälkeen tapahtuvassa kosteuden tasaantumisessa, jolloin kohde on jo luovutettu käyttäjälleen. On huomattavasti kalliimpaa ja monimutkaisempaa toteuttaa luotettavia rakennekosteusmittauksia päällystettyihin rakenteisiin kohteen luovutuksen jälkeen. Varmin keino välttää päällystämisen jälkeiset mahdolliset sisäilmaongelmat on olla aktiivinen kosteudenhallinnan suhteen koko rakentamisen ajan ja teettää riittävän laajat rakennekosteuden kosteusjakauman määritykset ennen päällystämistä.

LÄHTEET

Betoni-lehti. (n.d.) Betonilattian-pintatarvikkeet. Haettu 16.2.2020 osoitteesta

<https://betoni.com/arkkitehtisuunnittelu/arkkitehtisuunnittelu/lattiat/betonilattian-pintatarvikkeet/>

Betoni-lehti. (n.d.) Betonityypit ja oikean betonin valinta. Haettu 16.2.2020 osoitteesta <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonityypit-ja-oikean-betonin-valinta/>

Eurofins expert services. (n.d.) Rakenteiden kosteudenmittaaja. Haettu 16.2.2020 osoitteesta:

https://rakentamisesertifikaatit.fi/sertifikaatit/rakenteiden_kosteudenmittaaja

Finanssialan keskusliitto. (2007) Rakennusten ja huoneistojen vesivuotovahinkojen tutkiminen – ohje. Helsinki: Finanssiala Ry

Merikallio, T. (2002) Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Rakennustieto Oy

Merikallio, T. (2009) Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Espoo: TKK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos

Kosomaa, S. Mattila, J. Tepponen, P. (2015). Mitä Betoni on? Betoni-lehden julkaisu 2/2015. Haettu 16.2.2020 osoitteesta https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1502_38-43.pdf

Lattiamies. (n.d.) Tietoa eri betonilaaduista. Haettu 16.2.2020 osoitteesta <https://www.lattiamies.fi/betonitoimitukset.html>

Rakentamisen kosteudenhallinta. (n.d.) Kuivatuksen suunnittelu ja toteutus. Haettu 16.2.2020 osoitteesta:

<http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimet/kuivatus/kuivatuksen-suunnittelu-ja-toteutus>

RT 14-10984. (2010) Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy

Ratu S-1234. (2017) Olosuhteiden vaikutus rakentamisessa. Helsinki: Rakennustieto Oy

Betonilattiat kortisto, Bly-14. (2012) Helsinki: Suomen Rakennusmedia.