



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Betonirakenteiden kuivumisen optimointi

Eeli Kiviahde

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö

Maaliskuu 2024

TIIVISTELMÄ

Betonirakenteiden kuivumisen optimointi

Eeli Kiviahde

Oulun yliopisto, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2024, 42 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Matti Kangaspuoskari

Betonirakenteiden kuivuminen on tahdistava tekijä monelle sisätyövaiheelle. Tiukat aikataulut rakentamisessa luovat paineita mahdollisimman nopealle betonin kuivumiselle. Kuivumisajan optimoinnilla on huomattava taloudellinen vaikutus rakennushankkeessa. Kosteusvaurioiden välttämiseksi betonirakenteiden tulee kuivua riittävän paljon ennen pinnoitus- tai päällystystöitä. Rakenteen kuivuminen tulee myös varmistaa aina kosteusmittauksilla.

Kandidaatintyön tavoitteena on syventää ymmärrystä betonirakenteiden kuivumisprosessista ja selvittää merkittävimmät kuivumiseen vaikuttavat tekijät. Lisäksi työn tavoitteena on esittää toimenpiteitä kuivumisen nopeuttamiselle. Työssä esitetään myös kuivumisen varmistamisen menetelmiä ja pureudutaan konkreettisiin ongelmakohtiin työmaalla.

Kirjallisuuskatsauksen tuloksista selviää, että oikeanlaisilla menetelmillä ja strategioilla betonirakenteiden kuivumista voidaan nopeuttaa merkittävästi. Erityisesti kuivumisolosuhteet ovat ratkaisevassa roolissa betonin kuivumiselle. Tärkeintä on tehdä kuivumisaika-arvioiden pohjalta kohteen aikataulusta realistinen ja suunnitella tarvittavat toimenpiteet etukäteen. Tärkeää on myös seurata kuivumista jatkuvasti, jotta voidaan varautua riskeihin ja reagoida mahdollisiin ongelmiin. Lisäksi työ tarjoaa konkreettisia ratkaisuja kuivumiseen, jotta projekti saadaan vietyä maaliin ajallaan ja laadukkaasti.

Asiasanat: betonin kuivuminen, kosteusmittaus, kuivumisaika

ABSTRACT

Optimization of concrete structure drying

Eeli Kiviahde

University of Oulu, Degree Programme of Civil Engineering

Bachelor's thesis 2024, 42 pp.

Supervisor at the university: Matti Kangaspuoskari

The drying of concrete structures is a crucial factor in scheduling interior building works. Tight construction schedules put pressure on concrete to dry quickly as possible. Optimizing drying time has a significant economic impact on a construction project. To avoid moisture damage, concrete structures should be allowed to dry as much as necessary before coating or flooring. The drying of the structure should also always be verified by moisture measurements.

The aim of the thesis was to deepen the understanding of the drying process in concrete structures and to identify the main factors affecting drying. In addition, the aim was to present methods to accelerate the drying process. The thesis also presents methods to ensure drying and discusses practical problems on site.

The results of the literature review show that with the right methods and strategies, concrete structures can be dried significantly faster. Especially the drying conditions play a crucial role in the drying of concrete. The key is to make the site schedule realistic based on drying time estimates and to plan the necessary procedures in advance. It is also important to monitor the drying process continuously in order to react to any problems. The work also provides practical solutions to the drying process to ensure that the project is completed on time and to a high quality standard.

Keywords: concrete drying, moisture measurement, drying time

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on antanut mahdollisuuden syventyä mielenkiintoiseen betonirakenteiden kuivumisen maailmaan. Työn kirjoittaminen on ollut antoisa prosessi, joka on haastanut minut syventämään ymmärrystäni betonirakenteiden kuivumisesta ja sen optimoinnista.

Haluan kiittää kandidaatintyön toimeksiantajaa NCC Suomi Oy:tä, työn kirjoittamisen mahdollistamisesta joustavasti. Haluan kiittää myös kandidaatintyön ohjaajaani Matti Kangaspuoskaria työn tarkastamisesta ja nopeista vastauksista erinäisiin kysymyksiini. Lisäksi haluan kiittää työkavereitani ja läheisiäni tuesta työn tekemiseen.

Oulu, 11.3.2024

Eeli Kiviahde

Eeli Kiviahde

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

TERMIEN MÄÄRITELMÄT

1 Johdanto	7
2 Betoni	8
2.1 Mistä betoni muodostuu	8
2.2 Betonin valmistus	10
2.3 Betonointi	11
2.4 Betonin kovettuminen	13
3 Betonin kuivuminen	17
3.1 Miksi betonin pitää kuivua	17
3.2 Kosteus betonissa	18
3.3 Miten betoni kuivuu	19
4 Kuivumiseen vaikuttaminen	21
4.1 Olosuhteet	21
4.2 Betonilaatu	24
4.3 Rakennetyyppi	26
5 Kuivumisen varmistaminen	28
5.1 Kosteusmittaus	28
5.2 Mittausmenetelmät	28
5.3 Mittauspisteiden valinta ja syvyys	30
6 Ongelmakohdat	31
6.1 Deltapalkki	31
6.2 Muovimatto	32
7 Kuivumisen nopeuttaminen	34
7.1 Kuivatusputkisto	34
7.2 Lämmitys	35
8 Yhteenvedo	37
LÄHDELUETTELO	39

TERMIEN MÄÄRITELMÄT

Absoluuttinen kosteus

Ilmaisee, montako grammaa vesihöyryä sisältyy kuutiometriin ilmaa (g/m^3)

Hydrataatioreaktio

Sementin ja veden välinen reaktio, jossa vesi sitoutuu kemiallisesti ja fysikaalisesti sementtiin.

Hygroσκοoppisuus

Huokoisen aineen kyky sitoa itseensä ilman vesihöyryä ja luovuttaa vesihöyryä ilmaan.

Sementtikivi

Sementtikivellä viitataan sementin ja veden eli sementtiliiman kovettumistulokseen.

Sementtiliima

Sementtiliima on veden ja sementin seos ennen kovettumista. Sementtiliimalla viitataan myös betonin pintaan nousevaan tiiviiseen, mutta hauraaseen kerrokseen.

Suhteellinen kosteus, RH (relative humidity)

Suhteellinen kosteus ilmaisee prosentteina, kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä siihen nähden, mitä kyseisessä lämpötilassa voi olla enimmillään vesihöyryä.

Vesi-sementtisuhte, v/s

Betonimassan sisältämän vesimäärän ja sementin painon suhde.

1 JOHDANTO

Betoni on yleisin rakennusmateriaali maailmassa. Betonirakenteiden kuivuminen on merkittävä ja moniulotteinen ilmiö, joka vaikuttaa olennaisesti rakennushankkeen aikatauluun ja kustannuksiin. Betonin kuivumisen arviointi on monimutkaista ja haluttu tarkkuus on usein vaikea saavuttaa. Valmiissa rakennuksessa liiallinen kosteus betonissa voi aiheuttaa lattianpäällystevaurioita, jotka vaikuttavat ihmisten terveyteen ja ovat kalliita korjata. Mediassa aihe on usein esillä lähinnä negatiivisessa valossa, kun betonirakenteita on päällystetty liian aikaisin, joka on johtanut sisäilmaongelmiin.

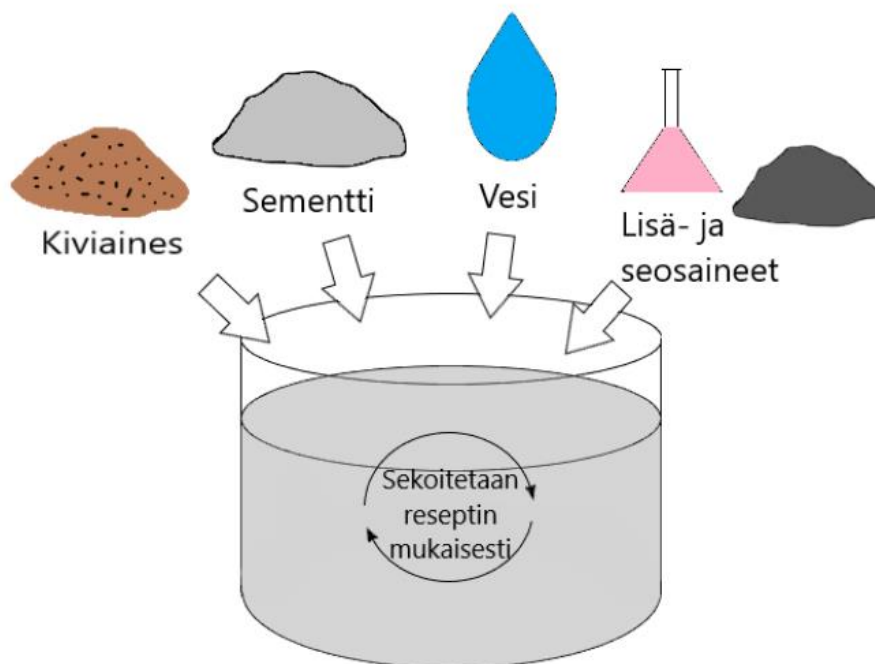
Kandidaatintutkielman aihe saatiin OYS 2030 F-rakennuksen sairaalatyömaalta, jossa tiukan aikataulun vuoksi vaaditaan betonin mahdollisimman nopeaa kuivumista. Kohteen pääurakoitsijana toimii NCC Suomi Oy ja tilaajana Pohjois-Pohjanmaan hyvinvointialue Pohde. Työssä selvitetään ja tarkastellaan betonirakenteiden kuivumisen prosesseja rakennusprojektissa. Tavoitteena on arvioida, miten kuivumista voidaan optimoida, jotta rakennusprojekti saadaan maaliin tavoitteiden ja vaatimusten mukaisesti. Työssä esitetään myös ratkaisuja betonirakenteiden kuivumisen nopeuttamiselle.

Työn ulkopuolelle rajataan tarkempi syventyminen työmaan olosuhteiden varmistamiseen ja hallintaan. Betonirakenteiden kosteusmittausmenetelmien luotettavuutta ei ole tarkoitus tutkia, eikä syventyä betonilattioiden pinnoitukseen ja päällystämiseen.

2 BETONI

2.1 Mistä betoni muodostuu

Betoni on kivi, joka syntyy kovettumalla betonimassasta. Sen keskeiset ainesosat ovat sementti eli sideaine, vesi ja kiviaines. Tämän lisäksi betonin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa lisäaineilla, seosaineilla ja kuiduilla. Lisäaineiden, seosaineiden ja kuitujen osuus on pieni suhteessa keskeisiin ainesosiin. Betonin osa-aineiden tulee olla vapaita vahingollisista aineista, jotka huonontavat terästen tai betonin ominaisuuksia. Kuvassa 1 on esitetty betonin osa-aineet (Suomen Betoniyhdistys ry. 2021, s. 14–18). Betoni voi koostua esim. 14 % sementistä, 79 % kiviaineksesta ja 7 % vedestä (Väisänen 2005, s. 17).



Kuva 1. Betonin osa-aineet (mukaillen Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 24).

Sementin tehtävä on muodostaa veden kanssa kestävä ja luja sementtiliima. Sementtiliima sitoo yhteen muut betonin osa-aineet. Sementti pystyy kovettumaan myös veden alla. Sementti on merkittävässä osassa betonin ominaisuuksissa, sillä sen

kemialliset ominaisuudet vaikuttavat erityisesti betonin kuivumisnopeuteen sekä lujuuskehitykseen (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 24–26). Sementti koostuu savesta, kvartsista, luonnon mineraaleista ja pääraaka-aine kalkkikivestä. Sementin valmistuksessa savi ja kalkkikivi poltetaan kiertoilmauunissa noin 1400 celsiusasteessa. Näin muodostuu sementtiklinkkeri. Reaktio tuottaa hiilidioksidia ja vettä. Tämän jälkeen klinkkeri jäädytetään nopeasti noin. 200 °C. Lopuksi klinkkeri jauhetaan ja lisätään samalla tarvittavat seosaineet sekä kipsi ja näin syntyy sementti (Väisänen 2005, s. 15).

Veden tarkoitus betonissa on muodostaa sementtiliima sementin kanssa. Hanasta tulevaa vettä voidaan lähes aina käyttää betonin valmistukseen. Veden kloridipitoisuus ei saa olla liian korkea, sillä se voi aiheuttaa raudotteiden ruostumista. Vesi ei saa myöskään sisältää esim. rasvoja tai öljyjä, sillä ne voivat vaikeuttaa betonin kovettumista. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 59–60.)

Kiviaines eli runkoaine on rakentamisessa yleisesti karkea materiaali, kuten sora, hiekka ja kalliomurske. Kiviainesta on betonista n. 65–80 %, joten sillä on huomattava vaikutus betonin ominaisuuksiin. Kiviaines ei saa sisältää epäpuhtauksia ja sen laatu tutkitaan tarkasti, jotta varmistetaan soveltuvuus betonin valmistukseen. Kiviaineen maksimirakoko on yleensä 8–32 mm. Rakoko tulisi valita mahdollisimman isoksi rajoitteet huomioon ottaen. Tällöin vedentarve pienenee, betonin pastamäärä vähenee ja se on yleensä myös halvempaa. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 43–73.)

Seosaineilla voidaan pyrkiä vaikuttamaan eri ominaisuuksiin ja ne voivat toimia runko- ja sideaineena. Seosaineita ovat silika, masuunikuonajauhe, lentotuhka, ilmajäädytetty ferrokromikuona ja jauhegranuloitu, pelletoitu tai ilmajäädytetty masuunikuona. Masuunikuona pienentää betonin hydrataatiolämpöä, joten sitä voidaan käyttää massiivivaluissa. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 56–59.)

Lisäaineilla voidaan vaihdella betonin ominaisuuksia. Niillä voidaan vaikuttaa kovettuneen betonin sekä betonimassan ominaisuuksiin. Lisäaineilla on päävaikutus, mutta niillä voi myös olla sivuvaikutuksia, jotka tulee ottaa huomioon. Yleisimmät lisäaineet ovat notkistimet, huokostimet, hidastimet ja kiihdyttimet. Notkistimet tekevät betonista työstettävämpää, joka taas antaa mahdollisuuden vähentää vettä. Huokostimilla lisätään betonin ilmapitoisuutta, jolloin betonissa olevalla vedellä on enemmän tilaa

jäätyä. Näin saadaan betonista pakkasenkestävää. Hidastimilla saadaan betonin sitoutuminen hidastumaan. Tätä voidaan tarvita esimerkiksi pitkien kuljetusmatkojen takia. Kiihdyttimet puolestaan nopeuttavat betonin kovettumista ja sitoutumista, jotka nopeuttavat talvella jäätymislujuuden saavuttamista. Muita lisäaineita ovat esimerkiksi pakkaslisäaineet, kutistumanestoaineet ja vesitiiveyttä parantavat aineet. Betonia voidaan myös värjätä väripigmenteillä. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 60–66.)

Betoniin voidaan myös sekoittaa kuituja, jotka ovat yleensä muovi- tai teräskuituja. Kuidut parantavat betonin veto- ja taivutuslujuutta. Teräskuituja käyttämällä voidaan vähentää betonilattian raudoituksen tarvetta. Betonilattioissa kuidut vähentävät myös plastista kutistumaa sekä halkeilua. Polymeerikuituja eli muovikuituja on mikropolymeerikuidut sekä makropolymeerikuidut. Makropolymeerikuidut ovat paksuudeltaan n. millimetrin luokkaa ja niitä käytetään yleensä jäännösvetolujuuden parantamiseksi. Mikropolymeerikuidut ovat pienempiä, noin hiuksen paksuisia ja niitä käytetään vähentämään betonin halkeilua palotilanteissa. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 66–67.)

2.2 Betonin valmistus

Betonin valmistusta varten pitää ensin tehdä betonin suhteitus. Tämä tarkoittaa osa-aineiden valitsemista sopivassa suhteessa, jotta betoniin saadaan vaaditut ominaisuudet. Vaaditut ominaisuudet tulevat rakennesuunnittelijalta (esim. lujuus), mutta myös työmaalta (esim. työstettävyys). Betonin suhteituksessa pyritään, että sen valmistaminen on mahdollisimman kustannustehokasta (Neville 2011, s. 2354–2396). Suhteituksella voidaan myös pyrkiä vähentämään betonin vesimäärää eli pienentämään vesisementtisuhdetta ja näin lyhentämään kuivumisaikaa. Betonin suhteitus tehdään nykypäivänä yleisesti tietokoneohjelmilla. Betonin valmistajat käyttävät usein valmiita reseptejä betonin valmistukseen (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 155–160).

Betonia voidaan valmistaa myös kuivabetonista, johon lisätään vain vesi. Isommat määrät valmistetaan kuitenkin valmisbetonitehtailla, joista se kuljetetaan työmaalle. Osa-aineet punnitaan tarkasti valitun reseptin mukaisesti ja laitetaan sekoittimeen. Osa-aineiden annostelujärjestys voi vaihdella riippuen lisäainetyypistä. Sekoitusaikakin on ennalta määritelty, jotta betonimassasta saadaan tasalaatuinen. Valmisbetonitehtailla

laadunvalvonta on tärkeää osa-aineiden ja valmiin massan osalta. Sementin, veden ja kiviainesten osalta poikkeamat eivät saa ylittää yli 3 prosenttia. Betonimassasta tehdään tarvittaessa koelieriö, jotta voidaan varmistua halutusta puristuslujuudesta. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 300–310.)

2.3 Betonointi

Betonointi eli betonin valaminen on oleellinen vaihe rakennusprosessissa. Betonointi vaatii tarkkaa suunnittelua, ammattitaitoa ja huolellista toteutusta, sillä betonoinnilla on suora vaikutus lopputuotteen laatuun ja kestävyYTEEN. Betonirakenteet ovat yleisimmin raudoitettuja eli teräsbetonirakenteita. Betonilla on hyvä puristuslujuus, mutta heikko vetolujuus. Vetolujuuden parantamiseksi betonirakenteet yleensä raudoitetaan. Betonoinnin työvaiheisiin kuuluvat aloittavat työt, valu ja lopettavat työt. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 209–212.)

Betonointiin valmistautuminen alkaa aloittavilla töillä, joita ovat suunnitelmien laatiminen, aloituspalaveri, työntekijöiden perehdytys ja työkohteen vastaanottotarkastus. Betonoinnissa tarvittavia suunnitelmia ovat esimerkiksi tehtäväsuunnitelma, työn turvallisuussuunnitelma ja betonityösuunnitelma. Aloituspäivästä käydään nämä suunnitelmat läpi yhdessä työntekijöiden kanssa. Näin varmistetaan, että työ voidaan toteuttaa laadukkaasti ja turvallisesti. Samalla voidaan perehdyttää työntekijät työkohteeseen ja muihin työmaalla käynnissä oleviin työvaiheisiin. Aloituspäivästä tulee käydä läpi, että betonia ei saa notkistaa lisäämällä siihen itse vettä, koska tämä hidastaa kuivumista ja heikentää betonin lujuutta. Työkohteen vastaanottotarkastuksessa tarkistetaan rauditus- ja muottityöt. Näiden lisäksi katsotaan kulkureitit, sähkö, valaistus ja olosuhteet. Muottityöt ovat olennainen osa betonointia, sillä ne määrittävät millainen valettavasta rakenteesta tulee. Muottikierto ja rauditus tulee suunnitella hyvin, jotta betonointi sujuu kitkattomasti (Suomen Betoniyhdistys ry.). Talvibetonoinniksi luokitellaan alle +5 celsiusasteen lämpötilassa tapahtuva betonointi. Kylmässä betoni kovettuu hitaampaa ja kylmyys voi vaurioittaa betonirakennetta. Betonimassan tulee pysyä yli 5 °C. Talvella valu suojataan ja lämmitetään, jotta se saavuttaa jäätyislujuu den, 5 MN/m², ennen kuin se jäätyy (Rakennustieto ry.).

Betoni kuljetetaan työmaalle valmisbetonitehtaalta pyörintäsäiliöautolla, joka pitää betonimassan tasalaatuisena, tiivistettynä ja työstettävänä. Betoni voidaan siirtää työmaalla esimerkiksi pumppaamalla, nosturilla nostoastiaa käyttäen tai valukourua pitkin. Betonimassa on tarkoitus saada muottiin saumattomasti ja tiiviisti. Valussa tulee ottaa huomioon nousunopeus, massan pudotuskorkeus ja kerrosten paksuus. Betonimassa tiivistetään tärysauvalla, joka poistaa ilmaa massan sisältä. Tärysauvan koko, tärytyssyvyys ja tärytysväli määritellään betonointisuunnitelmassa (Suomen Betoniyhdistys ry. 2021, s. 71–74). Valupinta voidaan jättää tiivistuspinnalle, mutta betonilattioissa se yleensä oikaistaan esimerkiksi linjalaudalla. Betonilattioissa pinta voidaan hiertää, jolloin siitä saadaan laadukkaampi ja tasaisempi. Hierto tapahtuu useampi tunti valun jälkeen ja se voidaan tehdä käsin tai eri koneilla (Suomen Betoniyhdistys ry. 2023, s. 85–90).

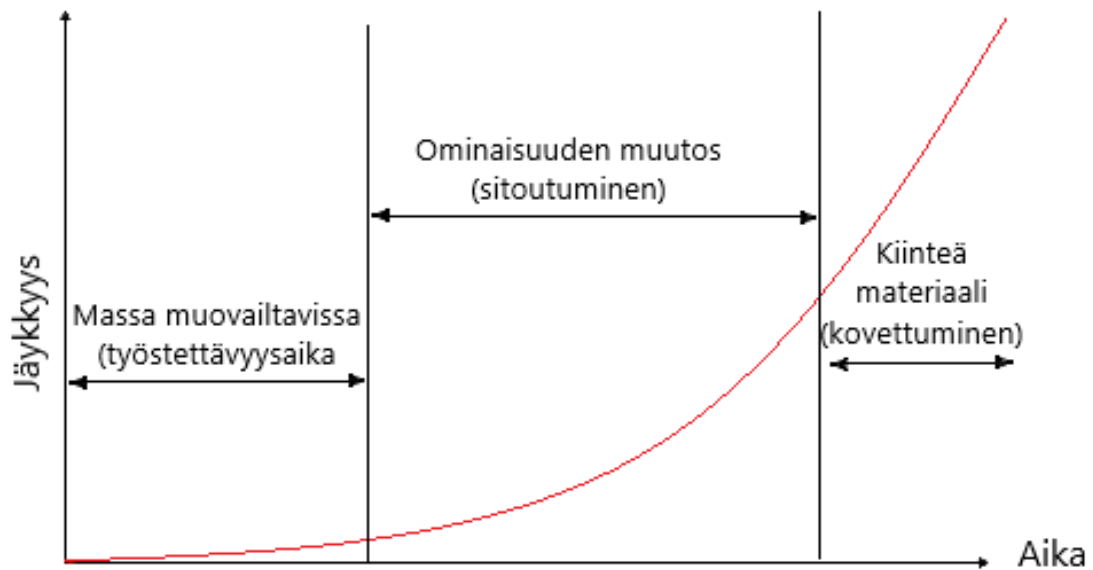
Betonoinnin lopettavia töitä ovat työvälineiden huolto, siivous, muottien purku, lujuudenkehityksen varmistus, betonointipöytäkirjan teko ja betonin jälkihoito. Lujuudenkehitystä seurataan laskennallisesti, kun tunnetaan betonin lämpötila ja siinä käytetty sementti. Lujuutta tulee seurata, jotta tiedetään milloin muotit saa purkaa aikaisintaan tai milloin betoni on saavuttanut jäätymslujuuden. Muottien purkua varten lujuuden tulee olla vähintään 60 % nimellislujuudesta, jos erillisellä selvityksellä ei ole toisin määrätty. Betonointipöytäkirjaan kirjataan betonoinnin olosuhteet ja toteutus. Kirjattavia asioita ovat esimerkiksi valunopeus, aloitus, lopetus, sää, tarkastukset, valettu rakenne, osoite, betonilaatu ja betonityönjohtaja. Betonipöytäkirjan teko on tärkeä työvaihe, sillä sen pohjalta voidaan arvioida betonin kuivumista eri valulohkoilla. (Suomen Betoniyhdistys ry.)

Betonin jälkihoito on tärkeä osa betonointia, koska sillä on merkittävä vaikutus lopullisen betonirakenteen laatuun ja kestävyys. Jälkihoidon tavoitteena on optimoida betonin kovettumista edistämällä sen vahvuutta ja estämällä halkeilua sekä muita haitallisia vaikutuksia. Jälkihoito talviolosuhteissa voi tarkoittaa jäätymsen estämistä eli lämmittämistä, suojaamista ja lämmöneristämistä. Massiivivaluissa tulee rajoittaa betonin liian suuria lämpötilaeroja ja maksimilämpötilaa. Betonilattioissa pyritään estämään pinnan liian nopea kuivuminen, joka aiheuttaa halkeilua. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 341–343.)

Betonille vaurioita voivat aiheuttaa mm. auringonpaiste, tuuli, ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila. Auringonpaiste, tuuli ja kuiva ilma voivat kuivattaa betonipintaa liian nopeasti. Liian nopeaa haihtumista estetään kastelemalla rakennetta ja suojaamalla se muovikalvolla. Kosteanä pitäminen on tärkeää, jotta betonipinta saavuttaa tarvittavan lujuuden ja tiiveyden. Kosteudella myös estetään kutistumishalkeilu. Kosteanä pitäminen aloitetaan heti, kun se on mahdollista ja jatketaan 1–2 viikkoa. Mattoja, lämmitystä ja lämpöeristettyjä muotteja käytetään talviolosuhteissa. Kovettumislämpötila on tärkeä pitää oikeana, jotta betonin lujuudenkehitys ei häiriinny liian korkean tai alhaisen lämpötilan vuoksi. Betonia voi joutua tarvittaessa jäädyttämään massiivivaluissa tai kesällä. Betonin lujuuden kehitystä seurataan laskennallisesti lämpötilan ja ajan perusteella. Betonia ei saa pitää kosteanä liian kauan, jotta kuivuminen voi alkaa (Suomen Betoniyhdistys ry. s. 341–344). Varhaisjälkihoitoaineen sumutus voidaan tehdä samalla, kun oikaistaan betonipinta. Tätä käytetään, kun on suuri riski plastiselle kutistumalle. Suuren riskin voi aiheuttaa esimerkiksi kova tuuli. Varhaisjälkihoitoaine muodostaa kalvon betonin päälle, joka hidastaa kuivumista (Suomen Betonilattiyhdistys ry.).

2.4 Betonin kovettuminen

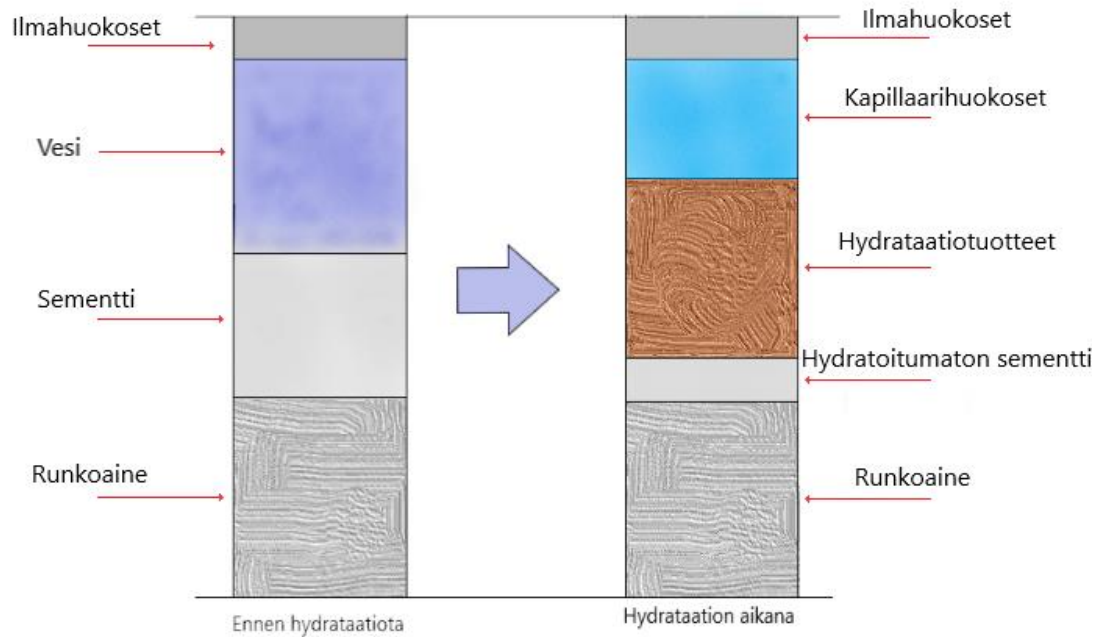
Betonin sitoutuminen ja kovettuminen ovat oleellinen osa prosessia, jossa betoni saavuttaa lujuutensa ja säilyvyytensä. Kovettumisen alkuvaiheessa ja plastisessa tilassa tapahtuvia ilmiöitä ovat plastinen kutistuma, plastinen painuma, betonimassan työstettävyyden menetys ja tilavuuden muutokset. Betonin sekoituksen jälkeen alkavat heti hydrataatioreaktiot eli sementin ja veden kemialliset reaktiot. Sitoutuminen alkaa n. 2–4 tunnin päästä betonimassan sekoituksesta. Tällöin betonin lujuudenkehitys alkaa ja työstettävyyttä heikkenee. Betonin kovettuminen on prosessi, jossa betonimassa kovettuu ajan myötä hydrataatioreaktioiden seurauksena ja saavuttaa lopullisen lujuudenkehityksen. Kuvassa 2 esitetään betonimassan jäykkyyden muutos ajan suhteen. Tilavuus betonissa voi muuttua, kun siitä haihtuu vettä, kemiallisten reaktioiden seurauksena tai rakenteen lämpötilan muuttuessa. Rakenteen tilavuuden pienentyessä rakenne kutistuu. Betonin alkuvaiheessa tapahtuvaa kutistumista sanotaan plastiseksi kutistumaksi ja kovettuneen betonin kutistumaa sanotaan kuivumiskutistumaksi. Alkuvaiheessa ja kovettumisvaiheessa tapahtuu myös autogeenistä kutistumaa, joka tapahtuu kemiallisten reaktioiden seurauksena. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018 s. 69–75.)



Kuva 2. Betonin jäykistyminen ajan suhteen (mukaiillen Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 36).

Plastiseksi painumaksi kutsutaan pystysuuntaista kutistumaa, joka tapahtuu ennen sitoutumista. Vesi pyrkii nousemaan tuoreessa betonimassassa kevyimpänä ylöspäin ja näin tiivistetyn rakenteen tilavuus pienenee, joka voi aiheuttaa halkeamia. Tilavuuden muutoksen estäminen, esimerkiksi raudoituksella, voi aiheuttaa näihin kohtiin plastisesta painumisesta johtuvia halkeamia (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018 s. 76). Plastinen kutistuma on kutistumista vaakatasossa, joka aiheutuu veden haihtumisesta pinnalta. Plastisen vaiheen kutistumishalkeamia voi syntyä, kun pinnalle ei erotu yhtä paljon uutta vettä, kuin siitä kuivuu. Tällöin betonipinta kuivuu ja siihen tulee vetojännityksiä (Komonen 2010). Kemiallinen kutistuma tapahtuu, kun vesi ja sementti reagoivat ja syntyy yhdisteitä, joiden yhteenlaskettu tilavuus on pienempi kuin sementin ja veden. Reaktiossa betoni kutistuu ja siihen muodostuu vetojännityksiä. Autogeeninen kutistuma on betonin silminnähtävää tilavuuden muutosta, joka on peräisin kemiallisesta kutistumisesta. Autogeeninen ja kemiallinen kutistuma ovat noin neljä tuntia samoja, jonka jälkeen betoniin muodostuu huokosia, jotka eivät pienennä betonin silminnähtävää tilavuutta. Vesi-sementtisuhteen kasvaessa autogeeninen kutistuma yleensä pienenee. Autogeenistä kutistumaa ei voida täysin poistaa, koska se johtuu sementin hydratoitumisesta (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 79–80).

Kovettunut betoni muodostuu sementtikivestä ja kiviaineksesta. Sementtikivellä viitataan sementin ja veden eli sementtiliiman kovettumistulokseen. Sementtikivi muodostuu hydrataatiotuotteista, vedestä, hydratoitumattomasta sementistä ja huokosista. Kuvassa 3 esitetään betonin osa-aineiden suhteet ennen hydrataatiota ja hydrataation aikana. Sementtikivi koostuu eri huokosista, joita ovat kapillaarihuokokset, geelihuokokset, supistumishuokokset, suojahuokokset sekä tiivistyshuokokset. Huokosten koot ovat järjestyksessä pienimmästä isoimpaan geelihuokokset, kapillaarihuokokset, suojahuokokset ja tiivistyshuokokset. Geelihuokokset ovat sementtigelikiteiden väliin jäävää vapaata vesitäytteistä tilaa. Tila on hyvin pieni ja veden liikkeet niin hitaita, että vesi harvemmin jäätyy. Tiivistyshuokokset eivät ole betonin tärytyksessä poistuneet ja niitä syntyy varsinkin muottipinnoissa. Sementin ja veden reaktioissa muodostuvien tuotteiden tilavuus on pienempi kuin lähtöaineiden, joka aiheuttaa tyhjiä supistumishuokosia. Suojahuokosia voidaan lisätä lisäaineilla, jotta veden jäätyessä ja paineen noustessa vesi virtaisi kapillaarihuokosista suojahuokosiin. Kapillaarihuokosissa vesi pääsee liikkumaan, jäätymään ja imeytymään betoniin. Kapillaarihuokokset aiheutuvat ylimääräisestä vedestä, joka on usein tarpeen massan työstettävyydelle. Kapillaarihuokosten määrä nousee vesi-sementtisuhteen noustessa. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 81–84.)



Kuva 3. Betonin osa-aineiden suhteet ennen hydrataatiota ja sen aikana (mukailen Suomen Betoniyhdistys ry. 2019, s. 81).

3 BETONIN KUIVUMINEN

3.1 Miksi betonin pitää kuivua

Maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellään rakennusten terveellisyyden vaatimukset: Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen. Rakennuksesta ei saa aiheutua terveyden vaarantumista sisäilman epäpuhtauksien, säteilyn, veden tai maapohjan pilaantumisen, savun, jäteveden tai jätteen puutteellisen käsittelyn taikka rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi. (MRL 117 c § 2012.)

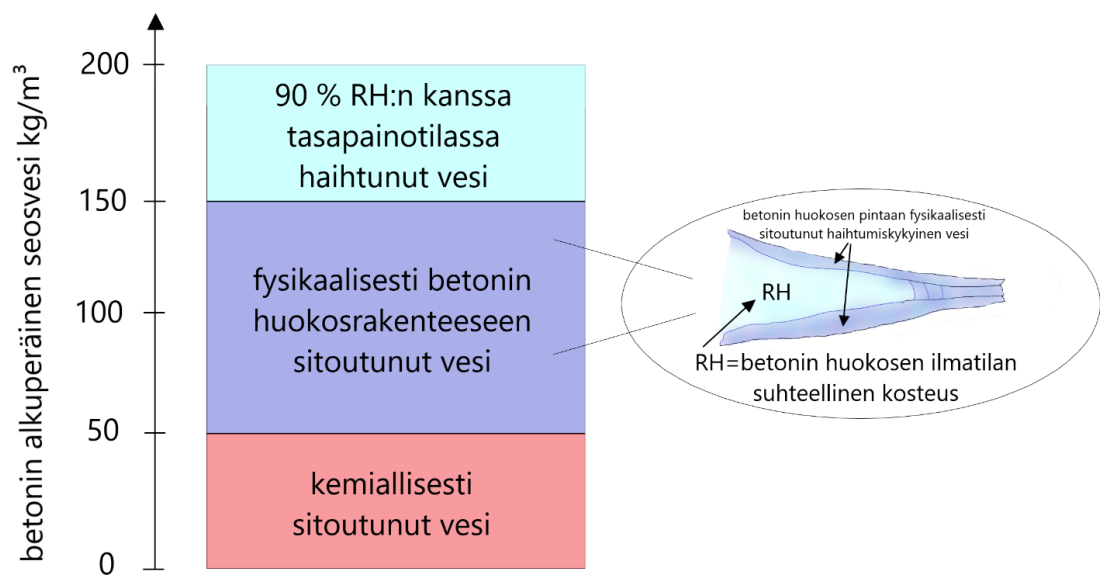
Ympäristöministeriön asetuksessa tarkennetaan tätä lakia seuraavasti: Rakennusvaiheen vastuuhenkilön on huolehdittava siitä, että rakenteissa olevan kosteuden ja rakennuskosteuden kuivumisaste mahdollistaa rakenteiden peittämisen kuivumista hidastavalla ainekerroksella, pinnoitteella tai rakenteella vaurioita aiheuttamatta. Rakennusvaiheen vastuuhenkilön on huolehdittava kosteusmittauksin rakenteiden asianmukaisesta kosteuspitoisuudesta seuraavaan työvaiheeseen siirtymistä varten. (KostTeknA 782/2017.)

Betonin tulee kuivua, jotta se voidaan pinnoittaa tai päällystää eri materiaaleilla. Liian suuri kosteus lattiapäällysteen alla voi johtaa erilaisiin vaurioihin. Kosteusvauriot voivat heikentää sisäilmanlaatua ja myös aiheuttaa näkyviä vaurioita. Valmiissa rakennuksessa kosteusvauriot tuovat myös huomattavia korjauskustannuksia. Betonin vaadittuun kuivumisaikaan vaikuttavat mm. betonin ominaisuudet, rakenne, rakenteen ympärillä olevan ilman olosuhteet ja tavoitekosteus, joka riippuu pinnoite- tai päällystemateriaalin kosteudensietokyvystä. Kuivumisaikaa optimoimalla voidaan saada rakennusprojektin läpimenoaika lyhennettyä ja kustannuksia pienennettyä. Kuivumisen viivästyminen voi hidastuttaa rakennusprojektin kokonaisuikataulua ja nostaa työmaan käyttö- ja yhteiskuluja. (Merikallio 2009, s. 1–19.)

3.2 Kosteus betonissa

Betonista löytyy aina jonkin verran kosteutta. Betonissa oleva kosteus on pääsääntöisesti peräisin betonin valmistuksessa käytetystä vedestä. Betoni voi myös kastua betonoinnin jälkeen esimerkiksi sateiden tai vesivahinkojen seurauksena. Betoni voi myös imeä itseensä ympäristön vesihöyryä tai siihen voi nousta kapillaarisesti kosteutta esimerkiksi maanvaraisessa betonilattiassa maaperän kosteudesta. (Merikallio ym. 2007, s. 13.)

Betonin vedestä valtaosa tarvitaan betonin sekoittamiseen tasaiseksi sekä työstämiseen ja tiivistämiseen. Hydrataatioreaktioissa kemiallisesti sitoutuvan veden määrä on noin 25 painoprosenttia sementin painosta. Loppu betonin vedestä on fysikaalisesti sitoutunutta haihtumiskykyistä vettä, joka sijaitsee betonin kapillaarihuokosissa sekä muissa huokosissa ja tyhjätiloissa. Betoni voi absorboida eli sitoa ja desorboida eli luovuttaa vesihöyryä ja siirtää sitä diffuusiolla. Maanvaraisessa betonilattiassa täyttömaasta voi siirtyä diffuusiolla vesihöyryä huoneilmaan, jos täyttömaan vesihöyrynpitoisuus on suurempi kuin huoneilman. Kosteus voi siirtyessään tiivistyä esimerkiksi tiiviin lattiamateriaalin alapintaan (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 74 ja s. 529–533). Betonin haihtumiskykyisen veden määrä voidaan esittää esimerkiksi painoprosenttina betonin kuivapainosta. Yleensä betonin kosteutta kuvataan suhteellisena kosteutena. Betonin suhteellinen kosteus tarkoittaa betonin huokosilman suhteellista kosteutta. Betonirakenteen lämpötila ja huokosrakenne vaikuttavat betonin kosteuspitoisuuteen. Kahdella betonilla voi olla sama suhteellinen kosteus, mutta kosteuspitoisuus voi vaihdella. Betonin suhteellisessa kosteudessa ei oteta huomioon huokosten pintaan kiinnittynyttä kosteutta. Suhteellinen kosteus on parempi mittari kuin kosteuspitoisuus, koska se ilmaisee paremmin haitallisuuden päällystemateriaalille. Kuvassa 4 esitetään betonin kosteuden jakautuminen (Merikallio 2009, s. 13–26).



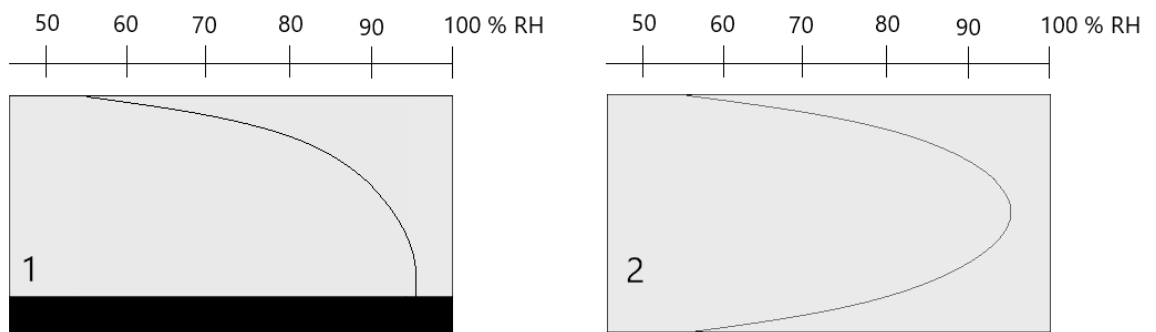
Kuva 4. Betonin valmistamiseen käytetyn veden (200 kg/ m^3) jakaantuminen kun betoni on kuivunut 90 % suhteelliseen kosteuteen (mukaillen Merikallio ym. 2007, s. 13).

3.3 Miten betoni kuivuu

Betonin suhteellinen kosteus on aluksi 100 %. Betonin kovettuessa sen suhteellinen kosteus laskee n. 90–98 prosenttiin kemiallisten reaktioiden seurauksena. Normaalilla rakennebetonilla suhteellinen kosteus laskee vain n. 98 prosenttiin, jolloin kuivuminen edellyttää vielä haihtumiskuivumista. Betoni hygroskooppisena materiaalina pyrkii aina tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa joko kuivumalla tai kostumalla. Rakennusaikana betonin tulee kuivua tavoitekosteuteen, jonka määrittävät pinnoite- ja päällystemateriaalit. Päällystemateriaali voi esimerkiksi edellyttää betonin suhteellisen kosteuden olevan enintään 85 %. Betonin ei tarvitse kuivua haluttuun kosteuteen läpikotaisin eli riittää kun betoni kuivuu vaadittuun kosteuteen määrättyllä arviointisyvyydellä. Betonin ollessa vielä märkä siirtyy kosteus pääasiassa kapillaarisesti pintaa kohti, josta se haihtuu. Pinnan kuivuessa ja kapillaarisen kosteuden estyessä ainoaksi tavaksi kosteuden siirtymiselle jää diffuusio. Diffuusiota tapahtuu niin kauan, kuin betonin ja ympäristön suhteellinen kosteus eroaa toisistaan. Betonin vesihöyrynläpäisevyys vaikuttaa sen kuivumisnopeuteen. Vesihöyrynläpäisevyyteen vaikuttaa esimerkiksi betonin kosteus, betonin lämpötila ja betonin laatu. Betonin kuivuessa sen vesihöyrynläpäisevyys pienenee ja kosteuden siirtyminen hidastuu. Näin ollen betonin kuivuminen ei ole lineaarista. Betonin kuivumista voidaan nopeuttaa

nostamalla sen lämpötilaa, jolloin huokosten ilmatilan vesihöyrynpaine kasvaa. (Merikallio ym. 2007, s. 17–21.)

Betonin haihtumiskuumuminen hidastuu koko ajan rakenteen kuivuessa, jolloin haihtumisrintama siirtyy aina syvemmälle rakennetta. Tämän seurauksena betonirakenteeseen kehittyy kosteusjakauma. Kuvassa 5 esitetään suhteellisen kosteuden jakauma yhteen ja kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa. Kosteusjakaumaan vaikuttaa lämpötila, kuivumisjakson pituus, suhteellinen kosteus, betonin ominaisuudet ja kastuminen. Kahteen suuntaan kuivan laatan kosteus on yleensä suurin keskikohdassa. Betonin kuivuminen läpikotaisin tasapainokosteuteen ympäröivän tilan kanssa voi kestää jopa yli 10 vuotta. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 534–537.)



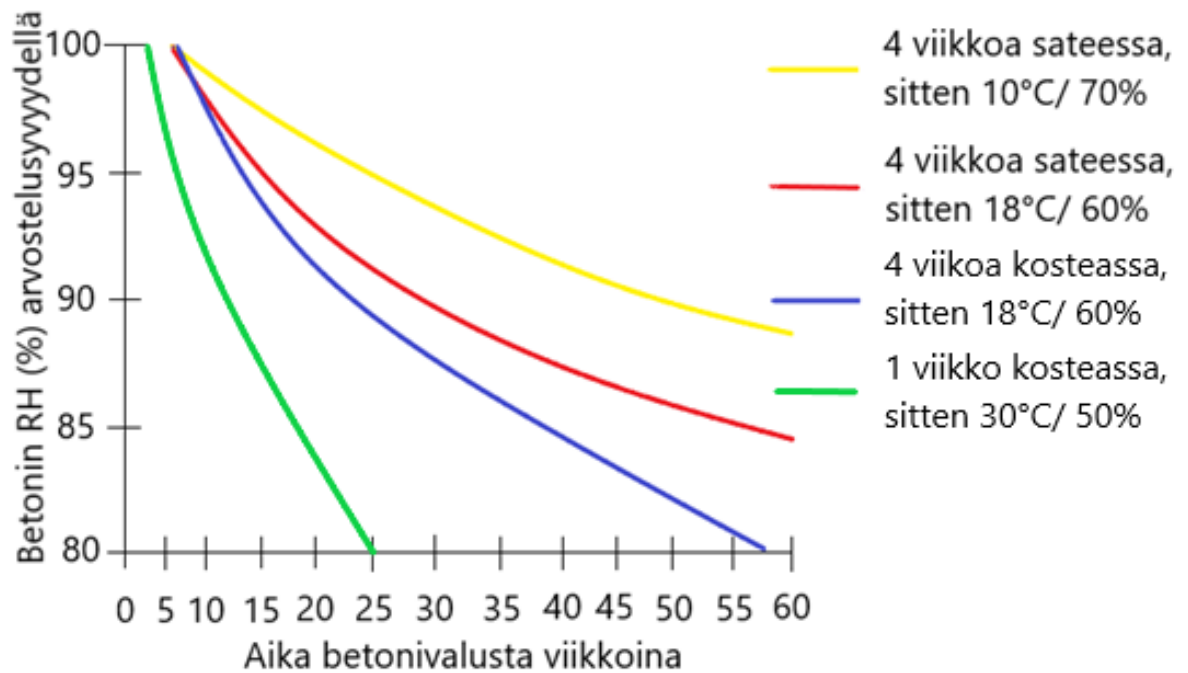
Kuva 5. Betonin suhteellisen kosteuden (RH) jakauma, kun pinta on kuivunut 55 % haihtumiskuumuminen seurauksena. Yhteen suuntaan kuivuvassa (1) suhteellinen kosteus on korkeimmillaan rakenteen alaosassa ja kahteen suuntaan kuivuvassa (2) rakenteen keskellä (mukaillen Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 536).

4 KUIVUMISEEN VAIKUTTAMINEN

4.1 Olosuhteet

Betonin kuivumisolosuhteiden tarkoituksena on varmistaa betonin kovettuminen, estää sen halkeilu, estää betonin kastuminen, pitää betonipinta puhtaana ja varmistaa sen kuivuminen. Ympäröivän ilman suhteellisella kosteudella ja lämpötilalla on huomattava vaikutus betonin kuivumiseen. Ilman vaihtuminen sekä ilmavirtaus vaikuttavat myös kuivumiseen. Mitä paremmat kuivumisolosuhteet ovat, sitä nopeammin betoni pystyy luovuttamaan kosteuttaan ilmaan. Betonin jälkihoidon aikana tulee kuitenkin pitää ilma tarpeeksi kosteana ja rajoittaa ilman virtausta, jotta betonissa ei tapahdu liian suurta kutistumista. Kuvassa 6 esitetään eri olosuhteiden vaikutus betonin kuivumiseen. Olosuhteidenhallinnan toimenpiteitä ovat esimerkiksi osastointi, ilmankuivaus, siivous, ilmanvaihto, lämmitys ja jatkuva olosuhteiden seuraaminen. Olosuhteiden suunnittelussa tulee arvioida vaadittavat toimenpiteet betonin kuivumistavoitteiden saavuttamiseksi (Suomen Betoniyhdistys ry.). Betonipinnan puhtaana pito on myös tärkeää, sillä rakennuspöly, lika ja rakennusmateriaalit betonin pinnalla heikentävät kuivumista (Consair Oy).

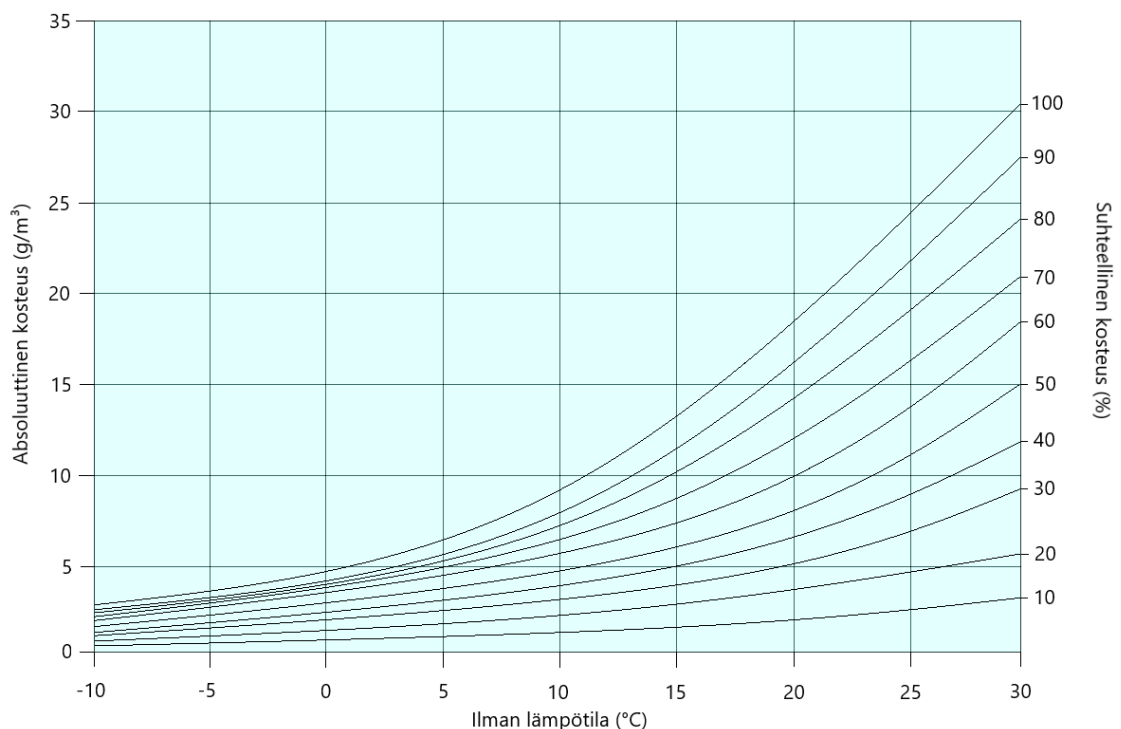
Paikallavalettu massiivinen tb-välipohja 250mm.
 Betoni K30, v/s 0,7. Kuivumisaikoja eri olosuhteissa.



Kuva 6. Massiivisen teräsbetonilaatan arvioituja kuivumisaikoja viikkoina eri olosuhteissa (mukaillen Sisäilmayhdistys ry.).

Betonirakenteen pinnan tiivis sementtiliima voi estää rakenteesta poistuvan kosteuden haihtumista betonipinnalta. Sementtiliiman hiominen on tärkeää heti kun se on vain olosuhteiden puolesta mahdollista. Sementtiliiman hiominen ei nopeuta kuivumista, jos kuivuminen ei ole olosuhteiden puolesta mahdollista. Hiomisen jälkeen betonin pintahuokokset aukeavat, joka nopeuttaa kosteuden poistumista (Merikallio ym. 2007, s. 11-12). Betonia valettaessa sen huokokset ovat melkein täynnä vettä eivätkä ne pysy vastaanottamaan lisää kosteutta, mutta muutaman viikon päästä tapahtuvalla kastumisella voi olla jo huomattava vaikutus betonirakenteen kuivumiseen. Kosteuden poistuminen betonirakenteesta on merkittävästi hitaampaa kuin kosteuden imeytyminen, koska sateet ja muut vedet imeytyvät betoniin kapillaarisesti, mutta poistuvat diffuusion vaikutuksesta. Parin päivän kastuminen voi hidastaa betonin kuivumista useamman viikon. Mitä myöhemmin kastuminen tapahtuu, sitä kauemmin betonin kuivuminen kestää. Vesivahingossa kastuneen vanhan betonin kuivumisaika voi olla moninkertainen verrattuna tuoreen betonin kuivumisaikaan (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 536–538).

Kuivumisolosuhteiden hallintaan liittyy oleellisesti vuodenaajat. Sisäilman suhteelliseen kosteuteen vaikuttaa sisäilman lämpötila, ilmanvaihto, sisäilman kosteuslähteet ja ulkoilman kosteussisältö (g/m^3). Ulkoilman suhteellinen kosteus pysyy suhteellisen samana eri vuodenaikoina, keskimäärin 70-80 %. Ulkoilman absoluuttinen kosteus eli kosteuspitoisuus (g/m^3) sen sijaan vaihtelee huomattavasti eri vuodenaikoina. Ilman lämmitessä siihen mahtuu enemmän kosteutta eli talvella ulkoilman ollessa kylmää sen absoluuttinen kosteus on pieni. Enimmäismäärän eli kyllästyskosteuden ylittäessään vesihöyry tiivistyy ilmasta pois lumena, vetenä, jäänä tai sumuna. Kesällä ja alkusyksystä ulkoilman kosteuspitoisuus on suurimmillaan, jolloin voi olla tarpeellista käyttää ilmankuivaimia sopivan sisäilman suhteellisen kosteuden saavuttamiseksi. Ilmankuivaimia käytettäessä tulee varmistaa, että rakennus on tarpeeksi tiivis. Tasoite- ja betonitoista tulevaa kosteutta voidaan myös kuivattaa ilmankuivaimilla. Keväällä ja loppusyksystä voidaan nopeuttaa betonin kuivumista nostamalla lämpötilaa ja parantamalla ilmanvaihtoa. Talvella ulkoilman kosteuspitoisuus on pieni, jolloin rakennuksen lämmittämällä saadaan sisäilman suhteellinen kosteus alhaiseksi. Kuvasta 7 nähdään, että jos otetaan rakennuksen sisälle ilmaa, jonka lämpötila on $-10\text{ }^\circ\text{C}$ ja suhteellinen kosteus on 70 %, laskee ilman suhteellinen kosteus noin 15 prosenttiin sisäilman ollessa $20\text{ }^\circ\text{C}$. Absoluuttinen kosteus pysyy tällöin samana. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 539-549.)

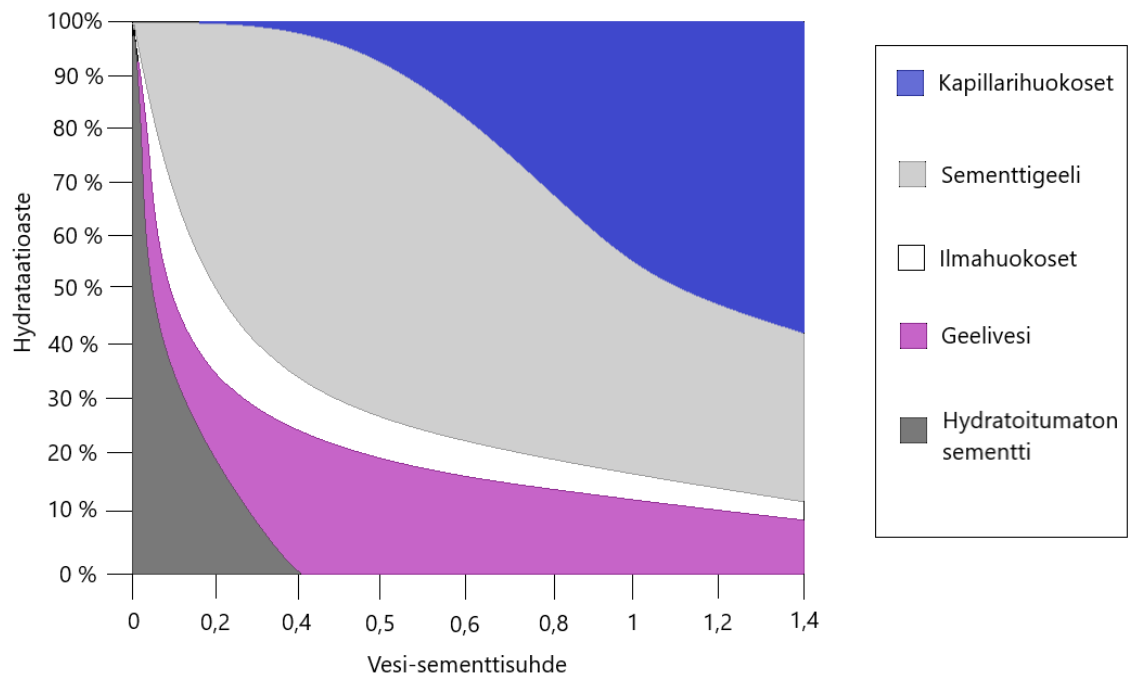


Kuva 7. Ilman lämpötilan vaikutus absoluuttiseen kosteuteen eri suhteellisilla kosteuksilla (mukaillen UNECE.).

4.2 Betonilaatu

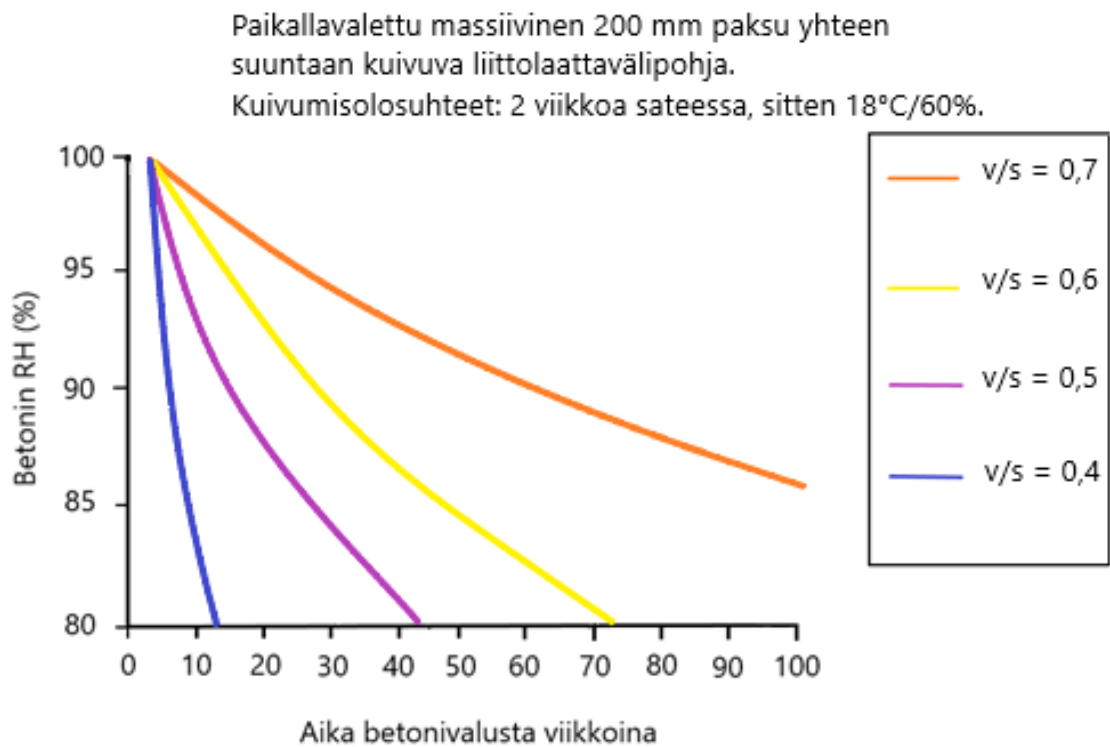
Betonin valinta on olennainen osa betonin kuivumisen suunnittelua. Betonin valintaan osallistuvat työmaan henkilöstö sekä rakennesuunnittelija. Työmaalle tärkeitä asioita ovat kuivumisnopeus, notkeus, hinta, ulkoiset olosuhteet ja tiivistettävyyys. Rakennesuunnittelijalle oleellisia asioita ovat kovettuneen betonin ominaisuudet esimerkiksi lujuusluokka, rasitusluokka ja kuivumiskutistuminen. Betonin valinnassa on hyvä konsultoida betonin valmistajaa. (Merikallio ym. 2007, s. 9–10.)

Betonin kuivumiseen voidaan vaikuttaa oikealla betonin valinnalla jopa kaksikymmenkertaisesti. Kuivumiseen vaikuttaa betonimassan huokostus, vesi-sementtisuhteen pienentäminen ja mahdollisimman suuren maksimiraekoon käyttö kiviaineksessa. Vesi-sementtisuhte kertoo betonimassan vesimäärän ja sementtimäärän suhteen. Betonin alhainen vesi-sementtisuhte tekee betonista tiiviimpää, jonka takia betoni siirtää hitaammin kosteutta, mutta haihtumiskykyisen veden määrä jää pienemmäksi. Kapillaariverkosto betonissa pysyy avoimena sitä pidempään, mitä korkeampi betonin vesi-sementtisuhte on. Tämä mahdollistaa veden nopean imeytymisen betoniin esimerkiksi vesivahingon takia (Suomen Betoniyhdistys ry. 2023, s. 51–56). Betonin vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa korkea myös kapillaarihuokosia on enemmän. Vesi-sementtisuhteen ollessa alle 0,4 ja hydrataation lähentyessä 100 % katoavat kapillaarihuokokset lähes kokonaan. Betonissa on jatkuvasti auki kapillaariverkosto betonin vesi-sementtisuhteen ollessa yli 0,7. Alle 0,6 v/s kapillaarinen liike ei ole mahdollista eli kapillaariverkosto ei ole jatkuva, kun hydrataatio on 100 %. Kuvassa 8 esitetään miten vesi-sementtisuhte vaikuttaa betonin sementtikiven rakenteeseen, kun hydrataatioaste muuttuu (Merikallio ym. 2007, s. 17–18). Matalan vesi-sementtisuhteen omaavalla betonilla suhteellinen kosteus voi laskea kemiallisen kuivumisen seurauksena jopa 90 prosenttiin. Tällaisia betoneja sanotaan itsestään kuivuviksi betoneiksi (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 535).



Kuva 8. Vesi-sementtisuhteen periaatteellinen vaikutus sementtikiven rakenteeseen (mukaan Merikallio ym. 2007, s. 19).

Betonin maksimirakoko tulisi valita mahdollisimman suureksi, jotta vedentarve vähenee ja betonin pastamäärä pienenee. Notkistavien lisäaineiden käytöllä voidaan mahdollistaa vesimäärän vähentäminen työstettävyyden pysyessä samana. Tehonotkistimilla voidaan saada jopa 30 prosentin veden vähennys huonontamatta betonin työstettävyyttä (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 60–73). Nopeasti päällystettävää betonia kutsutaan NP-betoniksi. NP-betoni koostuu pienemmästä vesi-sementtisuhteesta, suuremmasta määrästä nopeaa sementtiä. Lisäksi sitä on notkistettu ja huokostettu (Anttila 2021). Kuvassa 9 esitetään vesi-sementtisuhteen vaikutus kuivumisaikaan.

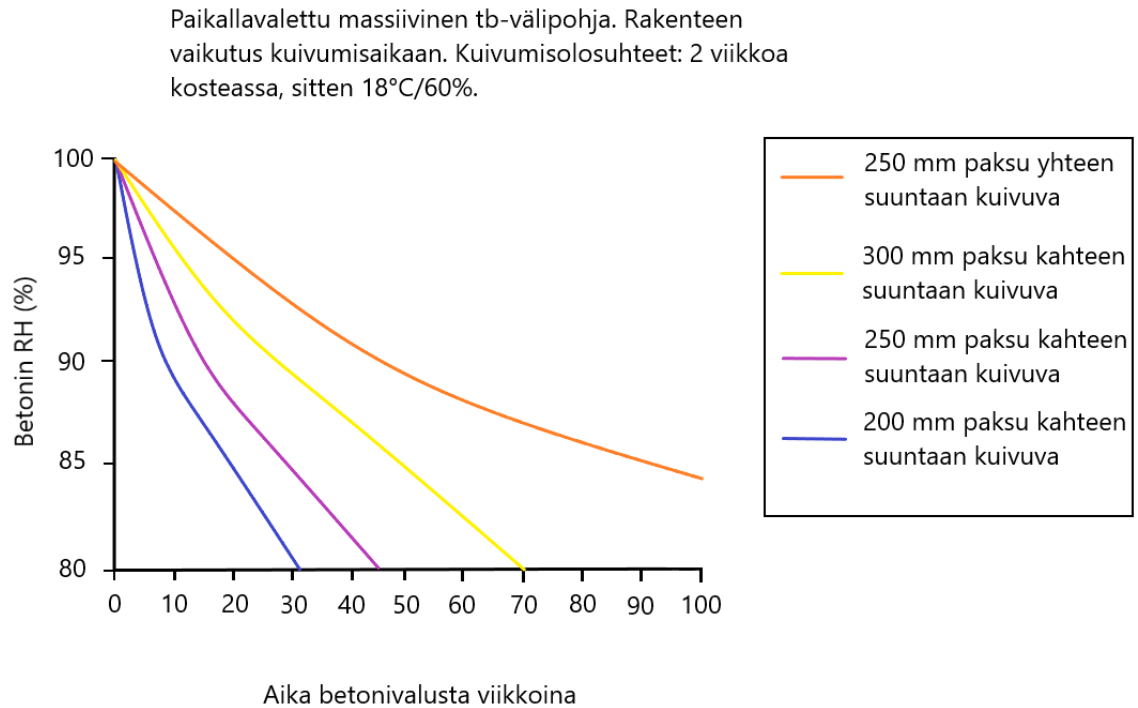


Kuva 9. Vesi-sementtisuhteen vaikutus kuivumisaikaan (mukai­llen Merikallio 2002, s. 43).

4.3 Rakennetyyppi

Rakennepaksuus vaikuttaa huomattavasti kuivumiseen. Rakenteen paksuuden kasvaessa sen sisällä oleva kosteus joutuu siirtymään pidemmän matkan päästäkseen haihtumiskykyiseen pintaan. Rakenteen paksuuden kaksinkertaistuessa tai kuivuessaan vain yhteen suuntaan, voi kuivumisaika nousta jopa nelinkertaiseksi. Tämän takia rakenteet kannattaa tehdä mahdollisimman ohuiksi. Paksuissa rakenteissa taas on tärkeää, että rakenne olisi kahteen suuntaan kuivuva. Kuivumista yhteen suuntaan tapahtuu muovin päälle valettaessa sekä liittolevyrakenteissa. Ontelolaatan päälle valettaessa sekä kuorilaattarakenteissa kuivuminen alaspäin on paljon hitaampaa kuin kuivuminen ylöspäin. Maanvaraisessa lattiassa kuivuminen kahteen suuntaan riippuu maaperän lämpötilasta ja kosteudesta. Maaperän vesihöyrypitoisuuden ollessa korkeampi kuin betonin huokosilman, voi rakenne jopa kostua (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 536–538). Kuvassa 10 esitetään rakenneratkaisun vaikutus kuivumisaikaan. Betonin päälle voidaan myös levittää lattiatasoite, jonka kuivuminen pitää ottaa huomioon. Lattiatasoitteen levittäminen kastelee myös pinnasta kuivunutta betonia uudelleen

(Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 49). Betonin alkalisuus yhdessä veden kanssa on haitallinen monille lattianpäällystysmateriaaleille sekä niiden liimoille. Matala-alkalinen lattiatasoite vähentää vaurioiden riskiä, kunhan betonin kosteus on tarpeeksi alhainen (Alexandersson 2004, s. 3–20).



Kuva 10. Rakenteen paksuuden ja kuivumissuuntien periaatteellinen vaikutus kuivumisaikaan (mukaillen Sisäilmäyhdistys ry.).

5 KUIVUMISEN VARMISTAMINEN

5.1 Kosteusmittaus

Betonirakenteiden kuivuminen riippuu monesta tekijästä, jonka takia ainoa keino varmistua riittävästä kuivumisesta on kosteusmittaukset. Kosteusmittauksia voidaan tehdä valmiista rakennuksista sekä rakennusaikana. Rakennusaikana tehtyjen kosteusmittausten tarkoitus on varmistua tarpeeksi alhaisesta suhteellisesta kosteudesta, jotta rakenne voidaan päällystää tai pinnoittaa. Betonirakenteiden kuivuminen ja pinnoittaminen tai päällystäminen tahdittavat huomattavasti työmaan sisävalmistusvaiheita, jonka takia kosteusmittauksia on hyvä tehdä hyvissä ajoin ennen pinnoitus- ja päällystystöiden aloittamista. Mittauksia voidaan verrata laadittuun aikatauluun ja tarvittaessa lisätä kuivatustoimenpiteitä. Betonin kosteusmittaus on tarkkaa työtä, koska virheellinen mittaus voi johtaa liian aikaiseen pinnoitukseen tai päällystykseen ja näin mahdolliseen kosteusvaurioon. Virheellisen mittauksen takia voidaan myös joutua odottelemaan turhan kauan betonin kuivumista. Kosteusmittauksia tehdään myös kosteusvauriotutkimuksissa ja vesivahinkojen laajuuden selvittelyssä. Yleisiä kosteusmittausmenetelmiä ovat pintakosteudenosoittimet, porareikämittaus ja näytepalamittaus. (Merikallio 2002, s. 9–18.)

5.2 Mittausmenetelmät

Pintakosteudenosoittimilla voidaan mitata kosteutta rakenteen pinnasta. Niiden toiminta perustuu materiaalin sähköisten ominaisuuksien muutoksiin, kun materiaalin vesipitoisuus muuttuu. Pintakosteudenosoittimia on useita erilaisia ja niiden välillä voi olla huomattavia eroja. Tulokset voivat vaihdella eri betonilaaduilla. Pintakosteudenosoitin voi antaa korkeampia lukemia vesi-sementtisuhteen pienentyessä, koska tällöin betoni johtaa paremmin sähköä. Raudoitteet, vesiputket ja sähköjohdot voivat myös kasvattaa lukemaa. Pintakosteudenosoittimet mittaavat vain rakenteen pinnan ominaisuuksia, eivätkä ne mittaa syvemmillä rakenteessa olevaa kosteutta. Pintakosteudenosoittimilla tehtyjä mittauksia ei tule käyttää betonirakenteiden päällystettävyyspäätöksiin. (Merikallio 2002, s. 6–7.)

Porareikämittauksessa porataan rakenteeseen reikä ja mitataan reikään tasaantuneen ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila. Mittaustulos saadaan tietyltä syvyydeltä, kun se on sivuiltaan suljettu (putkitettu) ja se ulottuu tiettyyn syvyyteen. Mittausreiän yläpää tulee myös tiivistää. Porareikämittaus on herkkä lämpötilan muutoksille, jonka takia rakenteen ja mittalaitteen lämpötilat eivät saa muuttua merkittävästi. Mittaus tulisi tehdä siinä lämpötilassa, jossa rakenne on käytönaikaisessa lämpötilassa. Vaihteleva lämpötila tulee ottaa huomioon mittaustuloksia tulkittaessa. Lattian lämmittäminen voi huonontaa mittaustarkkuutta porareikämittauksessa. Mittaukset tulee tehdä näytepalamenetelmällä, jos ilman tai betonin lämpötila on alle 18 °C tai yli 25 °C. (Rakennustieto ry.)

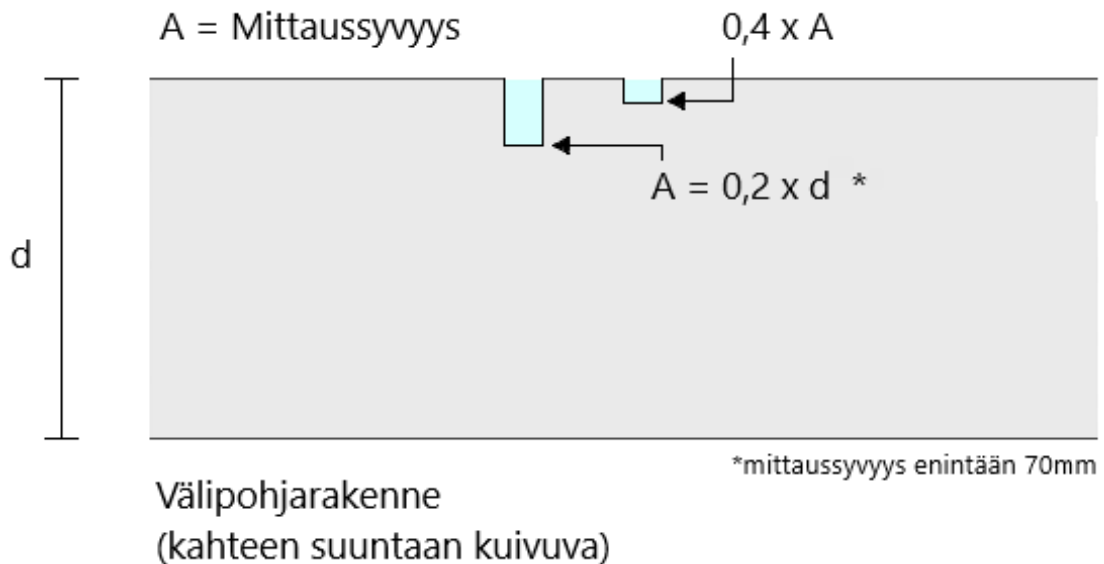
Näytepalamittauksessa porataan betonista halutulta syvyydeltä betonipaloja ja laitetaan ne mittapään kanssa tiiviisti suljettuun koeputkeen. Koeputken annetaan saavuttaa tasapainokosteus betonipalojen ja koeputken ilmatilan välillä, jonka jälkeen ilmatilan suhteellinen kosteus mitataan. Näytepalamittaus voidaan suorittaa korkeissa ja alhaisissa lämpötiloissa (-20...+80 °C). Tämän lisäksi näytepalamittauksen etuna verrattuna porareikämittaukseen on sen nopeus ja sitä pidetäänkin tarkimpana suhteellisen kosteuden mittausmenetelmänä. (Rakennustieto ry.)

Kuivumista voidaan seurata myös jaksoittain tai jatkuvatoimisilla seurantamittauksilla. Tällöin voidaan asentaa rakenteeseen betonoinnin yhteydessä mittalaite, jota ei poisteta. Valuun tai porareikään voidaan myös asentaa mittaosputki, johon anturi voidaan asentaa. Anturi voi olla langallinen tai langaton. Valuun asennettua mittalaitetta ei päästä kalibroimaan välissä, joka kasvattaa laitteen vaatimuksia. Jaksoittain luettavalla seurantamittauksella mittaaminen tapahtuu fyysisesti mittapistellä käymällä (Rakennustieto ry.). Jaksoittain luettava seurantamittalaite on esimerkiksi wiiste solidRH SH1, joka upotetaan valuun ja luetaan lukulaitteella valun päältä. SH1 anturille luvataan mittaustarkkuudeksi ± 2.5 %RH välillä 10...80 %RH ja $\pm 2.5...3$ %Rh välillä 80...100 %RH. Mittaussyvyydeksi valmistaja antaa 15–70 mm (Wiiste Oy). Jatkuvatoimista kosteusseuranta voidaan tehdä esimerkiksi IoT-tekniikalla, joka lähettää dataa jatkuvasti eteenpäin. Jatkuvatoimisen mittauksen etuna on se, että voidaan seurata kosteustilannetta reaaliaikaisesti etävalvonnalla työmaan ulkopuolelta (Rakennustieto ry.). Jatkuvatoiminen mittaoslaite on esimerkiksi wiiste SH1 WAN (IoT), jolla on samat toleranssit kuin manuaalisesti luettavalla (Wiiste Oy). Lopullinen päällystettävyyssmittaus

tehdään kuitenkin vähintään tarkkuusluokalla $\pm 2\%$ RH eli yleensä näytepalamenetelmällä tai porareikämenetelmällä (Rakennustieto ry.).

5.3 Mittauspisteiden valinta ja syvyys

Mittauspisteiden sijainnin valinnassa tulisi ottaa huomioon mm. valuajankohdat, rakennetyyppi, betonilaatu, kuivumisolosuhteet ja vesivahingot tai kastumiset. Periaatteena voi pitää mittauspisteiden sijoittamista oletettavasti kosteimpaan kohtaan. Mittaukset olisi hyvä ottaa kultakin valualueelta ja rakennetyypistä (Merikallio 2002, s. 19–22). Mittaussyvyys valitaan pääsääntöisesti rakenteen paksuuden perusteella, ellei tarkempia vesihöyrynläpäisyominaisuuksia oteta huomioon. Yli 5 mm paksu tasoite pitää ottaa huomioon rakenteen paksuuteen kuuluvana. Kuvassa 11 on esitetty perusmittaussyvyys kahteen suuntaan kuivuvalle välipohjarakenteelle. Joissain tapauksissa esimerkiksi todella paksuissa rakenteissa voi olla syytä mitata normaalia 70 mm:n enimmäissyvyyttä syvemmltäkin. Syvyyksien tarkentaminen edellyttää tapauskohtaista rakennusfysikaalista analyysiä (Rakennustieto ry.).



Kuva 11. Perusmittaussyvyys kahteen suuntaan kuivuvalle välipohjarakenteelle (mukaillen Rakennustieto ry.).

6 ONGELMAKOHDAT

6.1 Deltapalkki

Deltapalkki on teräslevyistä hitsattu, sivuilta rei'itetty ja ontto palkki, joka betonoidaan täyteen työmaalla. Betonin kovettumisen jälkeen Deltapalkki toimii liittopalkkina laatoille sekä paikallavalulle. Deltapalkkien kuivuminen on muuhun rakenteeseen verrattuna hitaampaa, sillä niiden kuivuminen tapahtuu pääosin sivuilla olevien uumien reikien kautta saumavaluun. Kuvassa 12 näkyy välipohjarakenne, jossa Deltapalkin vasemmalla puolella on ontelolaattoja. Ontelolaatan ja Deltapalkin saumavalu kuivuu suurimmaksi osin vain ylöspäin, sillä onteloiden tulppaukset estävät kosteuden siirtymistä onteloiden ilmatilaan ja ontelolaatta on hyvin tiivistä betonia. (Betoniteollisuus ry.)



Kuva 12. Välipohjarakenne, jossa deltapalkki toimii liittopalkkina (OYS 2030 F-rakennus).

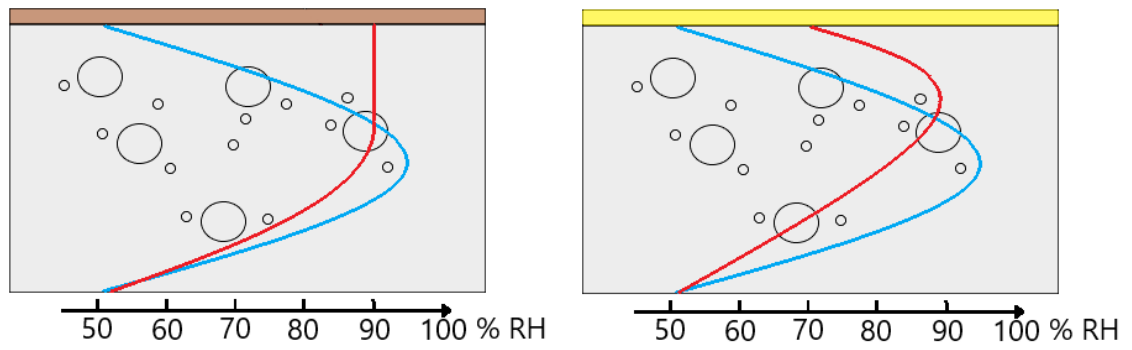
Deltapalkin kuivumisnopeuteen vaikuttavat mm. rakenneratkaisu, betonilaatu, kuivumisolosuhteet ja lämmitys. Alhaisen vesisementtisuhteen betonilla voidaan saada betoni kuivumaan jopa 90 %RH, joka voi olla itsessään riittävä suhteellinen kosteus riippuen päällystysmateriaalista. Deltapalkkien kuivumista voidaan nopeuttaa

lämmityslangoilla, jotka voidaan asentaa palkin sisälle jo tehtaalla. Ennen Deltapalkin betonointia tulee ottaa lämpölankojen liitinpäät ulos palkista. Tiukan aikataulun kohteissa voidaan harkita Deltapalkin vaihtamista betonileukapalkkielementtiin. (Betoniteollisuus ry.)

6.2 Muovimatto

Betonin liian aikainen päällystäminen varsinkin muovimatoilla on yleinen syy uuden rakennuksen sisäilmaongelmille. Muovimatoista haihtuu erilaisia yhdisteitä vielä kauan asentamisen jälkeenkin, jolloin puhutaan ominaispäästöistä eli primääriemissioista. Tämän lisäksi muovimattoja, mattoliimoja ja tasoitteita, yhdessä käyttäen muodostuu yhdisteitä, jotka eivät suoraan tarkoita päällystevauriota. Betonin alkalisuus yhdessä kosteuden kanssa taas voi aiheuttaa muovimatoissa ja niiden liimoissa kemiallista hajoamista, jonka takia voi syntyä ominaispäästöjä suurempia päästöjä eli sekundääriemissioita. Näiden emissioiden yhteisvaikutuksesta sisäilmassa olevien kemiallisten yhdisteiden määrä voi nousta terveydelle haitalliselle tasolle. Muovimatto voi myös irrota alustastaan kosteuden vaikutuksesta. (Ympäristöministeriö 2022.)

Muovimaton liimaamista betonipintaan ilman tasoitetta ei nykyään juurikaan tehdä, koska betonin korkea alkalisuus lisää riskiä päällystevaurioille. Ennen päällystystä tulee varmistaa, että rakenne on arvostelusyvyydeltä riittävän kuiva, jotta kosteus ei pääse muovimaton alla nousemaan liian korkeaksi. Rakenteen pinnan tulee olla myös riittävän kuiva (yleensä 75 %), jotta rakenne voi vastaanottaa mattoliiman kosteuden. Tiukan aikataulun kohteissa muovimattojen tilalle voitaisiin etsiä paremmin vesihöyryä läpäiseviä päällystemateriaaleja, jolloin betonirakenteen ei tarvitsisi kuivua niin paljon. Myös eri muovimattojen vesihöyrynläpäisevyydet vaihtelevat (Ympäristöministeriö 2022). Muovimaton RH arvostelusyvyydellä on yleisesti 85 % ja hyvin hengittävällä akryylipinnoitteella 97 %. Kuvassa 13 esitetään kosteusjakauman ero eri päällystemateriaaleilla, josta nähdään betonin jatkavan kuivumistaan vesihöyryä hyvin läpäisevällä päällysteellä (Rakennustieto ry.).

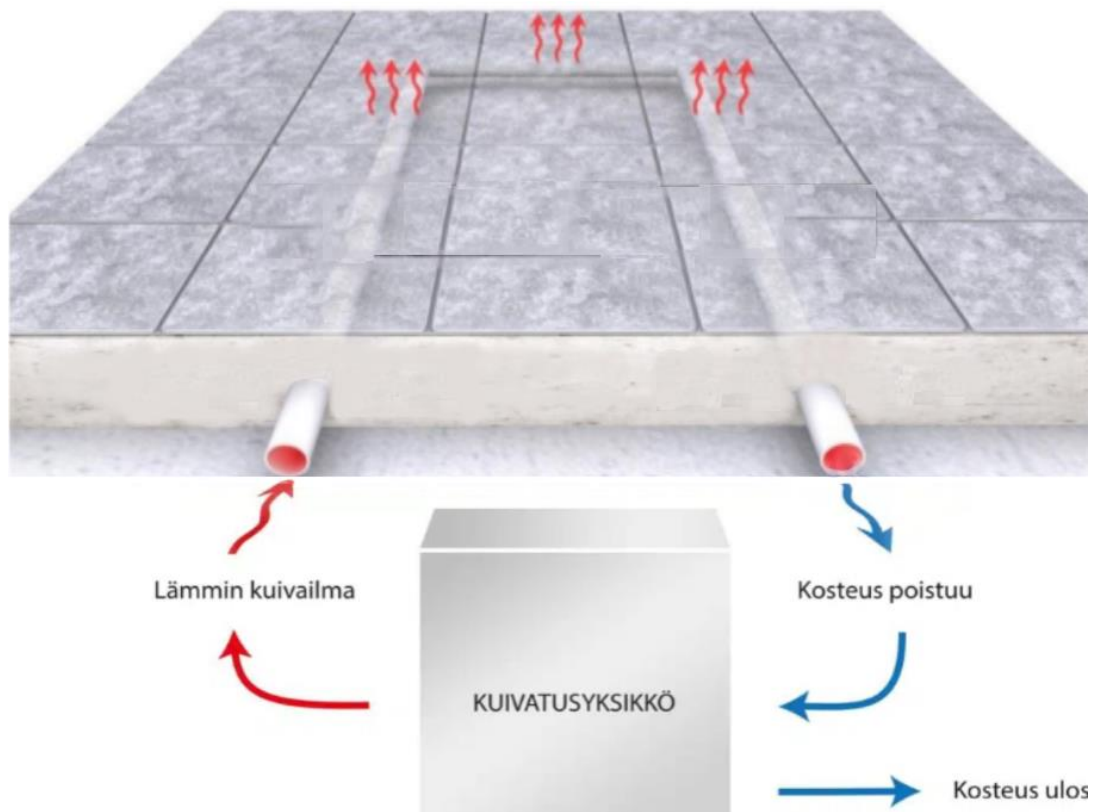


Kuva 13. Periaatteellinen kosteusjakauma kahteen suuntaan kuivuvasta rakenteesta ennen päällystämistä (sininen viiva) ja päällystämisen jälkeen (punainen viiva). Vasemmalla tiivis päällyste ja oikealla vesihöyryä hyvin läpäisevä päällyste (mukaiillen Rakennustieto ry.).

7 KUIVUMISEN NOPEUTTAMINEN

7.1 Kuivatusputkisto

Kuivatusputkistolla voidaan nopeuttaa betonirakenteen kuivatusta. SafeDrying Oy:n kehittämä kuivatusputkisto perustuu betonirakenteen sisälle asennettavaan putkistoon, jossa kiertää lämmin ja kuiva ilma. Putkiston sisällä kiertävä ilma kykenee sitomaan kosteutta pois rakenteesta. Kosteus vietään rakenteesta pois ilmavirtauksella. Kuivatusputkistot on rei'itetty, joka tehostaa kosteuden poistumista rakenteesta kiertävään ilmaan. Putket ovat myös peitetty ilmaa läpäisevällä kankaalla, jotta betoni ei valuvaiheessa tuki putkistoa. Kuivatusputkiston avulla saadaan rakenteeseen kolmas kuivumissuunta, joka ei riipu rakenteen päällystämistä ja ympäröivän tilan kuivumisolosuhteista. Järjestelmällä voidaan mahdollistaa myös kosteuden poistuminen rakenteen päällystämisen jälkeen ja näin pienentää riskiä lattianpäällystevaurioihin. Putkiston avulla tapahtuvan konvektiovirtauksen lisäksi kuivatusputkisto nostaa rakenteen lämpötilaa, joka nopeuttaa kosteuden siirtymistä rakenteesta ulos. Kuivatusputkiston lisänä voidaan myös käyttää esimerkiksi lämmityskaapeleita. Kuvassa 14 on havainnollistettu kuivatusputkiston toimintaperiaatetta. (RIL 2019.)



Kuva 14. Kuivatusputkiston toimintaperiaate (mukaillen SafeDrying Oy).

7.2 Lämmitys

Betonin kuivumista voidaan nopeuttaa nostamalla sen lämpötilaa, jolla tehostetaan kosteuden siirtymistä rakenteen sisältä ulospäin. Rakenteen lämpötilaa voidaan nostaa mm. infrakuivaimella, levykuivaimella, kuivatusputkistolla, ympäröivän ilman lämmittämisellä, lämmityskaapeleilla ja vesikiertoisella lattialämmityksellä (Suomen Betoniyhdistys ry. 2018, s. 507–552). Infrakuivain lämmittää betonin pintaa infrapunasäteilyn avulla (DryPanel Oy). Levykuivain toimii vastuslämmitteisellä ilmankiertotekniikalla. Levykuivain imee huoneilmaa ja lämmittää sen ja puhaltaa sen laitteen alle, jonka jälkeen se ohjataan pois. Laitteen lämmityselementit lämmittävät myös säteilemällä betonirakenteen pintaa (Ramirent Oy). Vesikiertoisen lattialämmityksen muoviputkisto asennetaan betonirakenteeseen valun yhteydessä. Muoviputkien sisällä kiertävä lämmin vesi luovuttaa lämpöä rakenteeseen. Lämmitysmuotoa voidaan käyttää niin työmaa-aikaisena lämmitysmuotona kuin valmiin rakennuksen lämmitykseen (Motiva Oy). Betonirakennetta voidaan myös lämmittää lämmityskaapeleilla, jotka ovat vastuskaapeleita. Vastuskaapeleissa sähkö muuttuu lämmöksi. Lämmityskaapeleiden

etuna on nopea käyttöönottoaika ja helppo asennus. Lämmityskaapeleita käytetään myös talvibetonoinnissa sekä valmiin rakennuksen lämmitykseen (Pistesarja Oy).

8 YHTEENVETO

Betonirakenteiden kuivumisen optimointi on keskeinen haaste rakennusprosessissa, jossa aikataululliset vaatimukset asettavat paineita nopealle betonin kuivumiselle. Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli selvittää kuivumisen merkitystä rakennusprosessissa, käsitellä betonin kuivumisprosessia ja antaa ratkaisuja projektin viemiseksi maaliin ajallaan ja ilman kosteusvaurioita.

Betonin tulee kuivua, jotta se voidaan pinnoittaa tai päällystää eri materiaaleilla. Liian suuri kosteus voi johtaa erilaisiin vaurioihin. Betonissa on aina jonkin verran kosteutta, joka on pääosin peräisin betonin valmistuksessa käytetystä vedestä. Betonissa olevaa vettä tarvitaan sen työstämiseen ja hydrataatioreaktioihin, mutta siinä on myös fysikaalisesti sitoutunutta vettä, josta osan tulisi haihtua. Betonin kovettuessa sen suhteellinen kosteus laskee jo n. 90–98 prosenttiin kemiallisten reaktioiden seurauksena. Betoni pyrkii aina tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa.

Betonin kuivumisen tärkeimpänä asiana voidaan pitää kuivumisolosuhteita, sillä betoni ei pääse kuivumaan olosuhteiden ollessa vääränlaiset. Kuivumisolosuhteisiin kuuluvat mm. ympäröivän ilman suhteellinen kosteus, lämpötila, ilmanvaihto ja betonipinnan puhtaanapito. Betonipinnan tiivis sementtiliima tulisi hioa pois, jotta kuivuminen nopeutuu. Betonin kastuminen tulisi minimoida, sillä kosteuden poistuminen on huomattavasti hitaampaa kuin kastuminen. Rakennuksen vaippa tulisikin saada mahdollisimman nopeasti umpeen. Betonilaatu vaikuttaa myös oleellisesti kuivumiseen. Kuivumista voidaan nopeuttaa betonimassan huokostuksella, suuren maksimiraekoon käytöllä ja vesi-sementtisuhteen pienentämisellä. Matalan v/s omaavalla betonilla suhteellinen kosteus voi laskea kemiallisen kuivumisen johdosta jopa 90 prosenttiin. Rakenteen paksuuden kasvaessa kuivuminen hidastuu merkittävästi. Rakenteen kuivuessa vain yhteen suuntaan kuivuu se huomattavasti hitaampaa kuin rakenne, joka kuivuu kahteen suuntaan.

Kuivumisen ongelmakohtina ovat usein Deltapalkki-rakenteet sekä muovimatolla päällystettävät rakenteet. Deltapalkin kuivumista voidaan nopeuttaa aiemmin mainittujen asioiden lisäksi lämmityslangoilla tai voidaan harkita sen vaihtamista betonileukapalkkielementtiin. Muovimaton vaatimus alhaiselle suhteelliselle kosteudelle

arvostelusyvyydellä hidastaa usein aikataulua. Vaihtoehtoisesti voitaisiin miettiä muovimaton vaihtamista hyvin vesihöyryä läpäisevään pinnoitteeseen, jolloin betonin ei tarvitsisi kuivua niin paljoa. Kuivumista voidaan nopeuttaa yllä mainittujen asioiden optimoinnin lisäksi myös rakenteen lämmittämällä ja/tai kuivatusputkistolla.

Betonirakenteiden kuivuminen tulee suunnitella varhaisessa vaiheessa rakennushanketta, jotta välttyttäisiin ongelmilta. Kuivumisaika-arvio tulisi tehdä jo suunnitteluvaiheessa, jonka pohjalta voitaisiin laatia kohteen aikataulu ja tarvittavat toimenpiteet. Kuivumisen jatkuva seuraaminen on tärkeää, jotta voidaan varmistua aikataulun pitämisestä. Lopullinen päätös pinnoittaa tai päällystää rakenne tulee aina tehdä kosteusmittauksien perusteella. Huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella saadaan betonirakenteet kuivumaan tehokkaasti ja ajallaan.

LÄHDELUETTELO

Alexandersson, J. 2004. Secondary emission from alkali attack on adhesives and PVC Floorings. [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://golvnavigator.se/wp-content/uploads/2014/09/TVBM-31151.pdf> [viitattu 4.2.2024]

Anttila V. Lattiabetonin valinta. [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://www.ruskonbetonietela.fi/wp-content/uploads/2021/04/Lattiabetonien-valinta-20210406-Ruskon-Betoni-Etela.pdf> [viitattu 4.2.2024]

Betoniteollisuus ry. Matalapalkit. [verkkodokumentti] Saatavissa: [Matalapalkit | Palkit | Runkorakenteet | Elementtisuunnittelu](#) [viitattu 9.3.2024]

Betoniteollisuus ry. Päällystettyjen elementtirakenteisten välipohjien kosteustekninen toimivuus osana rakennuksen tervettä elinkaarta. [verkkodokumentti] Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2016/10/BET1603_70-77.pdf [viitattu 3.3.2024]

Consair Oy. Huomioiko Kuivaketju10 rakennuspölyn betonin kuivumisessa? [verkkodokumentti] Saatavissa: [Huomioiko Kuivaketju10 rakennuspölyn betonin kuivumisessa? – Consair Finland](#) [viitattu 1.2.2024]

DryPanel Oy. Teknologia. [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://drypanel.at/fi/teknologia/> [viitattu 2.3.2024]

Komonen J. (2010) Betonirakenteiden kutistuminen ja halkeamien ehkäisy [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://tiedostot.rakennustieto.fi/rakentajainkalenteri/RK100402.pdf> [viitattu 23.1.2024]

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132. [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L17-2P117c> [viitattu 25.1.2024]

Merikallio T. (2002). Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Betonikeskus ry.

Merikallio T. (2009). Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/87dc9335-48f0-4ab4-8e04-5d661d5b7fcb/content> [viitattu 25.1.2024]

Merikallio T., Niemi S., Komonen J. (2007). Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/02/betonilattiarakenteiden-kosteudenhallinta-ja-paallystaminen-2007.pdf> [viitattu 29.1.2024]

Motiva OY. Vesikiertoinen lämmitys – ylläpito ja säätö. [verkkodokumentti] Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/energiatehokas_arki/kodin_saatolaitteet/vesikiertoinen_lammitys_-_yllapito_ ja_ saato [viitattu 2.3.2024]

Neville A.M (2011). Properties of Concrete, 5th edition [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.academia.edu/download/52236036/properties-of-concrete-by-am-neville.pdf> [viitattu 12.12.2023]

Pistesarjat Oy. Betonin kuivumisen nopeuttaminen. [verkkodokumentti] Saatavissa: https://pistesarjat.fi/media/wysiwyg/kuvastot/Bet_Dry_ohjevihko.pdf [viitattu 2.3.2024]

RIL. Tampereen yliopisto. Rakennusfysiikka 2019. [verkkodokumentti] Saatavissa: https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/136624/2019_osa_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 29.2.2024]

Rakennustieto ry. Betonin suhteellisen kosteuden mittausta. [verkkodokumentti]. Saatavissa: [RT-kortistot | RT 103333 \(rakennustieto.fi\)](https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT103333) [viitattu 7.2.2024]

Rakennustieto ry. Betonointi. Menekit ja menetelmät. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%200403> [viitattu 10.1.2024]

Rakennustieto ry. Sisä RYL 2013. [verkkodokumentti] Saatavissa: [RT-kortistot | RT 14-11103 \(rakennustieto.fi\)](https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT1411103) [viitattu 6.3.2024]

Ramirent Oy. Levykuivain. [verkkodokumentti] Saatavissa:
<https://www.ramirent.fi/vuokraa/lammitys-kuivaus-ja-polyntorjunta/kuivaus/tasokuivaimet/472682/levykuivain> [viitattu 2.3.2024]

SafeDrying Oy. SafeDrying-järjestelmä. [verkkodokumentti] Saatavissa:
<https://www.safedrying.fi/toimintaperiaate/> [viitattu 29.2.2024]

Sisäilmayhdistys ry. Rakenteiden kuivattaminen. [verkkodokumentti] Saatavissa:
[Rakenteiden kuivattaminen / Purku, kuivaus ja puhdistus / Kunnossapito ja korjaaminen / Terveelliset tilat / Sisäilmayhdistys \(sisailmayhdistys.fi\)](#) [viitattu 1.2.2024]

Suomen Betoniyhdistys ry. (2018). by 45/ bly 7 Betonilattiat 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Suomen Betoniyhdistys ry. (2023). by 45/ bly 7 Betonilattiat 2023. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Suomen Betoniyhdistys ry. (2018). by 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Suomen Betoniyhdistys ry. (2021). by 65 Betoninormit 2021. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Suomen Betoniyhdistys ry. Betonityöt [verkkodokumentti]. Saatavissa:
<https://www.betonitieto.fi/tyomaat/betonitoiden-johtaminen-talonrakentaminen/betonityot.html> [viitattu 15.12.2023]

Suomen Betoniyhdistys ry. Olosuhde- ja kosteudenhallinta [verkkodokumentti]. Saatavissa: [Olosuhde- ja kosteudenhallinta - Betonitieto](#) [viitattu 1.2.2024]

Suomen Betonilattiyhdistys ry. BLY-3 Betonilattioiden jälkihoito. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://bly.fi/wp-content/uploads/2023/03/bly-3.pdf> [viitattu 23.1.2024]

UNECE. Annex 3. Prevention of condensation damages. [verkkodokumentti] Saatavissa:

<https://wiki.unece.org/display/TransportSustainableCTUCode/2%09Definitions> [viitattu 3.2.2024]

Väisänen, P. (2005). *Betoni – Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle*. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy.

Wiiste Oy. Rakennekosteusmittarit. [verkkodokumentti] Saatavissa: [Langattomat rakennekosteusmittarit betonin kuivumisen seurantaan I Wiiste | Wiiste Oy](#) [viitattu 7.2.2024]

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. 782/2017. [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782#Pidm46434450326224> [viitattu 25.1.2024]

Ympäristöministeriö 2022. Muovimatolla päällystetyt betonilattiat. [verkkodokumentti] Saatavissa: [Muovimatolla+päällystetyt+betonilattiat+-+vauriot,+korjaustarpeen+arviointi+ja+korjaaminen.pdf \(tilatjaterveys.fi\)](#) [viitattu 6.3.2024]