



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Riku-Oskari Ojajärvi

---

## **Betonilattian kuivumisajan arviointi eri laskentamenetelmillä**

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talorakennustekniikka

Tekijä: Riku-Oskari Ojajärvi

Työn nimi: Betonilattian kuivumisajan arviointi eri laskentamenetelmillä

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 65

Liitteiden lukumäärä: 13

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laskea kuivumisaika-arviot betonisille rakennetyypeille eri laskentamenetelmillä. Kuivumisaika-arviot auttavat suunnittelijoita kosteudenhallinnassa sekä auttavat rakennusvaiheessa arvioimaan, koska päällystämisen voi aloittaa ilman kosteusvaurioriskiä. Rakennetyypit ovat ala- ja välipohjarakenteita. Yläpohjarakenteet rajattiin pois tästä opinnäytetyöstä. Kuivumisaika-arviot laskettiin By2020 kuivumisaika-arvio -ohjelmalla ja Merikallion kehittämällä taulukkomenetelmällä.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään betonia materiaalina sekä eri betoninlaatuja vaikutusta niiden kuivumiseen. Betonin ominaisuuksissa käsitellään betonin erilaisia huokosia, vesisementtisuhdetta (v/s) ja lujuusominaisuuksia. Teoriaosuudessa käsitellään lisäksi olosuhteen vaikutusta betonin kuivumiseen sekä käsitellään keinoja, joilla voitaisiin parantaa kuivumisprosessia. Esitellään laskentamenetelmät pääpiirteittäin.

Opinnäytetyön tuloksena saadaan rakennetyypeille kuivumisaika-arviot. Laaditut kuivumisaika-arviot auttavat suunnittelijoita hahmottamaan betonirakenteiden kuivumista erilaisissa olosuhteissa sekä arvioimaan rakennushankeen toteuttajien kanssa, saavutetaanko riittävän matala kosteuspitoisuus vaaditussa ajassa. Opinnäytetyön avulla pyritään ehkäisemään vaurioita, jotka saattavat aiheutua liian märän betonin päällystämisestä.

<sup>1</sup> Asiasanat: Laskentamenetelmät, alapohjat, välipohjat, betonirakenteet, ilmankosteus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Structural Design

Author: Riku-Oskari Ojajärvi

Title of thesis: Comparison of curing time estimates of concrete floor with different calculation methods

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2023

Number of pages: 65

Number of appendices: 13

---

The purpose of the thesis was to research drying time estimations for different types of concrete. The estimations assist designers in moisture management and in choosing structures for different purposes based on their drying time. This also to reduce the overlaying of structures too early. Drying time estimations were carried out using two different calculation methods. The calculation methods used were the By2020 software and the Merikallio table method.

The theoretical part of the thesis discussed the characteristics of the different structures. The theoretical part dealt, also, with the effect of concrete properties on drying and the impact of surrounding on drying and how the improvement of the conditions affects drying. In addition, the calculation methods were introduced in the theoretical background. The thesis dealt only with the base and intermediate floor structures. The upper soles were outlined from the thesis.

The results of the study were the drying time estimates for different types of concrete. Providing tools to designers to check the drying of concrete structures under different environmental conditions. When assessing the timetable for the construction phase, the drying time estimates assist in detecting when the concrete plate is dry enough for coating.

<sup>1</sup> Keywords: Concrete, Concrete structure, Calculation methods,

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Opinnäytetyön tausta .....	9
1.2 Opinnäytetyön tavoite.....	9
1.3 Opinnäytetyön tilaaja.....	10
1.4 Opinnäytetyön rakenne .....	10
2 BETONIN KUIVUMISEEN VAIKUTTAVAT ASIAT.....	12
2.1 Betonin osa-aineet .....	12
2.2 Kovettuneen betonin mikrorakenne.....	14
2.3 Kovettuneen betonin ominaisuudet .....	16
2.4 Betonin kosteus.....	17
2.4.1 Rakenteesta johtuva kosteus .....	17
2.4.2 Kastuminen .....	17
2.4.3 Betonin suhteellinen kosteus .....	18
2.5 Betonirakenteen kuivuminen .....	19
2.6 Kuivumisesta aiheutuva kutistuminen .....	25
2.7 Betonilattian päällystäminen.....	27
2.8 Kuivumisajan arvioinnin laskumenetelmät.....	31
2.8.1 Merikallion taulukkomenetelmä.....	31
2.8.2 By2020:n kuivumisaika-arvio .....	32
3 KUIVUMISAJAN ARVIOT BY2020-OHJELMALLA.....	34
3.1 Laskennassa käytetyt arvot.....	34
3.2 Alapohjarakenteet .....	34
3.2.1 Rakennetyyppi AP-X.....	34
3.2.2 Rakennetyyppi AP-Y.....	36

3.2.3	Rakennetyyppi AP-Z.....	38
3.3	Välipohjarakenteet.....	40
3.3.1	Rakennetyyppi VP-X.....	40
3.3.2	Rakennetyyppi VP-Y.....	41
3.3.3	Rakennetyyppi VP-Z.....	43
4	KUIVUMISAJAN ARVIO MERIKALLION LASKENTAMENETELMÄLLÄ .....	45
4.1	Laskennassa käytetyt arvot.....	45
4.2	Alapohjarakenteet .....	45
4.2.1	Rakennetyyppi AP-X.....	45
4.2.2	Rakennetyyppi AP-Y.....	46
4.2.3	Rakennetyyppi AP-Z.....	47
4.3	Välipohjarakenteet.....	48
4.3.1	Rakennetyyppi VP-X.....	48
4.3.2	Rakennetyyppi VP-Y.....	49
4.3.3	Rakennetyyppi VP-Z.....	50
5	KUIVUMISAJAN ARVIOIDEN VERTAILU .....	52
5.1	Laskentamenetelmien erot.....	52
5.2	Alapohjarakenteet .....	53
5.2.1	Rakennetyyppi AP-X.....	53
5.2.2	Rakennetyyppi AP-Y.....	54
5.2.3	Rakennetyyppi AP-Z.....	56
5.3	Välipohjarakenteet.....	57
5.3.1	Rakennetyyppi VP-X.....	57
5.3.2	Rakennetyyppi VP-Y.....	58
5.3.3	Rakennetyyppi VP-Z.....	59
6	TULOSTEN POHDINTAA .....	62
7	KUIVUMISAIKA-ARVIOIDEN TEKEMINEN.....	63
8	YHTEENVETO .....	64
	LÄHTEET .....	65
	LIITEET .....	1

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuvio 1. Erään betonin hygroskooppinen tasapainokäyrä +20 °C:n lämpötilassa .....	19
Kuvio 2. Erilaisten rakenteiden kuivumissuunnat .....	22
Kuvio 3. Arvostelusyvytydet erilaisilla rakenteilla .....	31
Kuvio 4. Kuivumisajan arvioinnin laskentakaavan periaate Merikallion menetelmällä .....	32
Taulukko 1. Vesi-sementtisuhteen (v/s) vaikutus kapillaarihuokosien umpeutumiseen. ....	15
Taulukko 2. Betonin vesihöyrynläpäisevyys samalla betonilaadulla eri kosteudessa .....	21
Taulukko 3. Ilmassa kosteuspitoisuus (g/m <sup>3</sup> ) eri lämpötiloissa .....	23
Taulukko 4. Vuosien 1991–2020 kuukausikohtaiset lämpötila ja RH%:n keskiarvot.....	24
Taulukko 5. Mahdollinen kutistuma kuivumisen eri vaiheissa. ....	26
Taulukko 6. Suhteellisen kosteuden raja-arvot .....	28
Taulukko 7. Rakennetyyppi AP-X:n kuivumisaika-arviot eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) By2020.....	36
Taulukko 8. Rakennetyyppi AP-Y:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) By2020.....	38
Taulukko 9. Rakennetyyppi AP-Z:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) By2020.....	39
Taulukko 10. Rakennetyyppi VP-X:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) By2020.....	41
Taulukko 11. Rakennetyyppi VP-Y:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) By2020.....	42

Taulukko 12. Rakennetyyppi VP-Z:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi- sementtisuhteella (v/s) By2020.....	44
Taulukko 13. Rakennetyyppi AP-X:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi- sementtisuhteella (v/s) (taulukkomenetelmä).....	46
Taulukko 14. Rakennetyyppi AP-Y:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi- sementtisuhteella (v/s) (taulukkomenetelmä).....	47
Taulukko 15. Rakennetyyppi AP-Z:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi- sementtisuhteella (v/s) (taulukkomenetelmä).....	48
Taulukko 16. Rakennetyyppi VP-X:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi- sementtisuhteella (v/s) (taulukkomenetelmä).....	49
Taulukko 17. Rakennetyyppi VP-Y:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi- sementtisuhteella (v/s) (taulukkomenetelmä).....	50
Taulukko 18. Rakennetyyppi VP-Z:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi- sementtisuhteella (v/s) (taulukkomenetelmä).....	51
Taulukko 19. Rakennetyypin AP-X kuivumisaika vertailu. ....	54
Taulukko 20. Rakennetyypin AP-Y kuivumisaika vertailu. ....	55
Taulukko 21. Rakennetyypin AP-Z kuivumisaika vertailu.....	57
Taulukko 22. Rakennetyypin VP-X kuivumisaika vertailu. ....	58
Taulukko 23. Rakennetyypin VP-Y kuivumisaikavertailu. ....	59
Taulukko 24. Rakennetyypin VP-Z kuivumisaikavertailu.....	61

## Käytetyt termit ja lyhenteet

### Absoluuttien

<b>ilman kosteus</b>	Kosteuden maksimimäärä, jonka ilma pystyy tietyssä lämpötilassa sitomaan. Mittayksikkö g/m <sup>3</sup> tai kg/m <sup>3</sup> .
<b>Arvostelusyvyys</b>	Mittaussyvyys, jossa päällystysraja-arvon tulee ennen päällystämistä alittua.
<b>Haihtumissuunta</b>	Suunta, johon betoni voi haihduttaa siihen fysikaalisesti sitoutunutta vettä.
<b>Hydrataatioreaktio</b>	Kemiallinen reaktio, joka syntyy, kun sementtiin sekoitetaan vettä.
<b>Ilman suhteellinen kosteus</b>	Ilmassa olevan vesihöyryn määrä prosentteina suhteessa siihen, kuinka paljon vesihöyryä ilmassa voi enimmillään olla.
<b>Kuivumisaika</b>	Aika, joka menee betonilla kuivumiseen, jotta se voidaan päällystää.
<b>Kuivumisaika-arvio</b>	Arvio, jossa arvioidaan betonin kuivumista eri olosuhteissa ja vesisementtisuhteessa.
<b>Sementtipasta</b>	Yleisnimitys betonin sisältämälle vedelle, sementille, ilmalle ja seosaineille.
<b>Tasapainokosteus</b>	Kosteuspitoisuus, jonka aine saavuttaa kuivuessaan riittävän kauan. Kosteuspitoisuuteen vaikuttavat ympäröivän ilman suhteellinen kosteus, lämpötila sekä materiaalin ominaisuudet.
<b>Vesihöyryn diffuusio</b>	Kosteuden siirtymisen ilmiö, jossa suuremmasta osapaineesta oleva vesihöyry pyrkii siirtymään kohti pienempää osapainetta.
<b>Vesi-sementtisuhte</b>	Veden suhte sementin määrään sementtipastassa.



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Kosteudenhallintaan on alettu kiinnittää nykyisin entistä enemmän huomiota. Esimerkkinä on Kuivaketju10-hankkeet, mutta myös muissa projekteissa kiinnitetään huomiota kosteudenhallintaan. Asetus 782/2017 ohjaa myös hankkeita ottamaan kosteudenhallintaa aikaisempaa kattavammin huomioon. Kuivaketju10-toimintamallissa käytetään kymmenen kohdan riskilistaa, jossa ovat keskeisimmät kosteusvaurioriskin aiheuttajat (Kuivaketju10, 2018). Esimerkiksi Kuivaketju10 -järjestelmän kohdassa 8 ”kosteiden betonirakenteiden päällystäminen aiheuttaa päällystemateriaalin turmeltumisen” on eri rakennusvaiheiden asioita, joihin tulee erityisesti kiinnittää huomiota. Kaikkiin työvaiheisiin on tehty omat riskilistansa, jotka korostavat erilaisia asioita, joita juuri kyseisessä vaiheessa tulee erityisesti huomioida.

Betonin kuivuminen on tärkeää, jotta liian märkää betonia ei päällystettäisi heikosti kosteutta läpäisevällä materiaalilla. Tällöin päällysteen alle voi jäädä huomattavasti kosteutta, joka on haitallista rakenteelle pitkällä aikavälillä. Tällaisista tilanteista saattaa seurata sisäilmaongelmia ja jopa rakenteen homevaurio.

## 1.2 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyössä tarkastellaan erilaisten betonirakenteiden kuivumisaikaa laskennallisesti. Opinnäytetyön on tilannut Ramboll Finland Oy. Laskennalla pyritään saamaan käsitys erilaisten betonirakenteiden kuivumisajoista, joita voidaan jatkossa käyttää suunnittelun apuna. Opinnäytetyöllä halutaan lisätä tietoutta betonin kuivumisprosessista sekä kiinnittää huomiota erilaisten rakenteiden kuivumisaikaan.

Opinnäytetyössä käsitellään vain ala- ja välipohjan erilaisia rakennetyyppejä. Yläpohjia ei siinä tässä työssä tutkita. Lattiat päällystetään liimattavilla päällysteillä tai niihin asennetaan sivelvä vedeneristys. Pinnoitemassojen raja-arvoja ei opinnäytetyössä käsitellä, koska niillä on erilaisia ominaisuuksia ja siksi hyvin erilaiset raja-arvot kuin liimattavilla päällysteillä.

Opinnäytetyön tilaaja haluaa olla mukana kehittämässä omaa toimintaansa kosteusteknisissä asioissa. Tilaaja haluaa olla rakentamassa ja kehittämässä omalta osaltaan parempaa ja kestävämpää rakentamista. Myös suunnittelijoiden tietoa betonirakenteiden kuivumisesta halutaan lisätä.

### **1.3 Opinnäytetyön tilaaja**

Opinnäytetyön tilaajana on Ramboll Finland Oy, joka on osa Ramboll-konsernia. Perustajat Børge Rambøll ja Johan Hannemann aloittivat toiminnan vuonna 1945 Tanskassa (Ramboll, i.a.-a). He suunnittelivat aluksi radiomastoja. Nykyään Ramboll-konserni toimii 35 eri maassa ja se työllistää noin 17 000 asiantuntijaa globaalisti. Toimistoja on yli 200 eri puolilla maailmaa. Vuonna 1971 perustettu Ramboll-säätiö on yrityssäätiö, joka on Ramboll Group A/S:n pääomistaja (Ramboll, i.a.-b). Säätiöomisteisuus takaa työntekijöille vakaan ja innoittavan työpaikan pitkällä tähtäimellä. Ramboll-säätiö jakaa vuosittain useita eri lahjoituksia tutkimukseen ja tekniikan alan koulutukseen.

Suomessa toimivat konserniin kuuluvat Ramboll Finland Oy ja Ramboll CM Oy. Ramboll Finland Oy työllistää Suomessa noin 2500 asiantuntijaa (Ramboll, i.a.-c). Pääkonttori sijaitsee Espoossa. Lähiaikojen tunnetuimpia projekteja on Helsinki-Vantaa-lentoaseman laajennus ja Tampereen Kansi-Areena. Molemmat näistä hankkeista ovat menestyneet tietomalli kilpailuissa kansainvälisesti. Pohjanmaan alueella Ramboll Finland Oy on ollut mukana erilaisissa hankkeissa, kuten esimerkiksi Vaasan uuden sairaalan BH5-allianssin hankkeessa sekä parhaillaan rakenteilla olevassa Seinäjoen asemansuudussa.

### **1.4 Opinnäytetyön rakenne**

Opinnäytetyön alussa on teoriaosuus, jossa käsitellään betonin ominaisuuksia. Lisäksi tarkastellaan ilmiöitä, jotka liittyvät kuivumisprosessiin oleellisesti. Teoriaosuudessa avataan myös kuivumisprosessiin liittyvää termistöä ja esitellään lakimääräyksiä ja ohjeistuksia. Tämän jälkeen esitellään laskentaohjelmat ja niiden käyttämät kaavat niiltä osin, kun se on mahdollista ja työn näkökulmasta oleellista. Laskentamenetelmien eroavaisuuksia sekä niiden vaikutusta kuivumisaika-arvioon käydään myös läpi.

Opinnäytetyön seuraavassa osassa lasketaan kuivumisaika-arviot rakennetyypeille. Rakennetyypit ovat ala- ja välipohjarakenteita. Laskentaohjelmina käytetään BY2020 kuivumisaika-arvio -ohjelmaa (Betoniyhdistys, 2020) ja Merikallion tekemää taulukkolaskentaa, jonka hän on julkaisut kirjassaan *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi (2002)*. Laskentamenetelmillä saadut tulokset käydään läpi yksitellen.

Seuraavassa vaiheessa vertaillaan laskentamenetelmistä saatuja tuloksia toisiinsa. Lopuksi käydään läpi tuloksia yleisesti. Pohditaan, voidaanko kuivumista rakenteissa jollain tavalla nopeuttaa. Sen jälkeen esitetään tulosten yhteenveto ja omaa pohdintaa aiheen ympäriltä. Lopussa arvioidaan, onko opinnäytetyö täyttänyt sille asetetut tavoitteet.

## 2 BETONIN KUIVUMISEEN VAIKUTTAVAT ASIAT

### 2.1 Betonin osa-aineet

Betonin kolme pääraaka-ainetta ovat vesi, sementti ja kiviaines (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s.24). Betoni tehdään sekoittamalla edellä mainitut osa-aineet keskenään. Osa-aineiden suhde on tärkeä betonin ominaisuuksille ja säilyvyydelle. Seokseen voidaan lisätä erilaisia lisäaineita ja seosaineita.

**Sementti.** Sementti sitoo kiviaineksen yhteen kovaksi massaksi eli sementtikiveksi, kun se on reagoinut veden kanssa (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s.24). Tätä seosta kutsutaan sementtiliimaksi tai sementtipastaksi. Sementin laadulla ja määrällä voidaan muokata betonin ominaisuuksia. Sementin kemiallinen koostumus vaikuttaa betoniin eri vaiheissa, kuten työstettävyyteen, lujuuden- ja lämmönkehitykseen. Sillä on myös vaikutuksia betonin säilyvyyteen.

Sementit luokitellaan viiteen pääryhmään (SFS, 2013, s. 14):

- CEM I Portlandsementti
- CEM II Portlandseossementti
- CEM III Masuunikuonasementti
- CEM IV Pozzolaaniseimentti
- CEM V Seossementti.

Sementtilaatuja CEM I ja CEM II käytetään yleisimmin Suomessa (Semtu. i.a). Tarkastellaan esimerkiksi sementtilaatua CEMII/B-M 42,5 N. Tätä sementtiä käytetään kuivumisaikalaskelmissa myöhemmin (Betoniyhdistys, 2020, s. 4). CEM II tarkoittaa portlandseossementtiä ja M tarkoittaa, että seosaineita on vähintään kaksi erilaista. Tällöin sementti voi esimerkiksi sisältää 65–79 % klinkkeriä, 25–35 % silikaa, kuonaa, lentotuhkaa tai kalkkikiveä ja muita aineita n. 0–5 % (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 30). Merkintä 42,5 tarkoittaa sementin puristuslujuutta 28 päivän kohdalla. Merkintä N tarkoittaa normaalia varhaislujuutta eli sementti on normaalisti kovettuvaa. Kirjain R tarkoittaa korkeaa varhaislujuutta eli nopeasti kovettuvaa sementtiä.

**Kivi-aines.** Kiviainesta tarvitaan betoniin noin 65–80 % betonin massasta (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 43). Tästä syystä kiviaineksen laadulla on merkittäviä vaikutuksia betonin ominaisuuksiin.

Kiviaineksena voidaan käyttää luonnon kiviaineksia, jotka voivat sisältää raskaita malmipitoisia tai kevyitä vulkaanisia kiviaineksia (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 43). Suomessa käytetään yleensä graniittipohjaista luonnonkiveä. Luonnon kiviainekset voivat olla seulomalla tai murskaamalla saatuja. Murskeet ovat lähiaikoina lisääntyneet luonnonkiven huonon saatuuden vuoksi.

**Vesi.** Betonin valmistukseen käyvät juomakelpoiset luonnonvedet ja vesijohtovesi (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 59). Vesi ei kuitenkaan saa sisältää suuria määriä kloridia. Vesi reagoi sementin kanssa. Veden määrällä on vaikutusta betonin ominaisuuksiin.

**Seosaineet.** Betonimassaan voidaan sekoittaa erilaisia seosaineita, jotka tuovat erilaisia ominaisuuksia valmiiseen betoniin. Tiettyihin raja-arvoihin asti voidaan olettaa seosaineiden toimivan betonissa sideaineena (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 56). Betonin valmistamiseen käytettävien seosaineiden pitää olla CE-merkittyjä.

Seosaineet, joita tyypillisesti lisätään betonimassaan, ovat (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 56):

- masuunikuonajauhe
- silika
- lentotuhka.

Masuunikuona ja lentotuhka parantavat betonin myöhäislujuutta, mutta heikentävät varhaislujuutta (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 56–58). Betonimassan hydraatiolämpö pienenee seosaineita käyttäessä, joten talvibetonointiin näiden käyttöä ei suositella. Silika lisää betonimassan veden tarvetta samassa suhteessa kuin sementtiä vähennetään.

**Lisäaineet.** Lisäaineilla voidaan saada betoniin erilaisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat betonimassaan tai kovettuneen betonin ominaisuuksiin (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 60–61). Lisäaineilla pyritään parantamaan betonin teknisiä ominaisuuksia. Esimerkiksi pakkasenkestävää betonia tai korkealujuusbetonia olisi todella vaikeaa tehdä ilman lisäaineita.

Betonissa käytettävät erilaiset lisäaineet ovat (Suomen betoniyhdistys, 2018, s.61)

- notkistimet
- huokostimet
- kiihdyttimet
- hidastimet.

Notkistimia käytetään betonimassoissa, joissa on tarvetta saada lisää työstettävyyttä (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 62) Usein tällaisissa massoissa veden määrä on pieni. Pienellä vesisementtisuhteella (v/s) saadaan lujuusominaisuuksia paremmaksi, mutta työstettävyys on huonoa. Tällöin työstettävyyden parantamiseksi käytetään notkistimia.

Huokostimilla saadaan betonimassaan lisää ilmahuokoisia (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 63). Betoniin saadaan näin suojahuokosia, jotka auttavat sitä vastaanottamaan veden jäätymisestä aiheutuvan paineen. Näin betoni saadaan kestävämpään pakkasta paremmin ilman vaurioita.

Hidastimilla saadaan siirrettyä reaktioajan pituutta, jotta välttyttäisiin työsaumoilta (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 64). Varsinkin lämpöisissä olosuhteissa hidastimilla saadaan työstettävyysaikaa pidemmäksi, koska sementin sitoutumisreaktio betonissa hidastuu.

Kiihdyttimiä ei enää käytetä yleisesti betonimassoissa paitsi ruiskubetonissa (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 63–64). Kiihdyttimien korvaajana käytetään esimerkiksi vesisementtisuhteen pienentämistä tai kuumaa betonia.

## 2.2 Kovettuneen betonin mikrorakenne

Kovettunut betonimassa koostuu runkoaineesta ja sementtikivestä (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 81–82). Hydrataatioreaktion seurauksena sementtikiveen syntyy erilaisia huokosia. Sementtigelikiteiden väliin jääviä ilmahuokoisia kutsutaan geelihuukoiksi. Geelihuukokset ovat kooltaan 1–5 nm. Vesi liikkuu hyvin hitaasti geelihuukoissa ja se ei yleensä jäädy.

Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa yli 0,4 geelikiteet eivät pysty kokonaan täyttämään ketjuuntuneiden sementtipartikkelien väliin jäävää tilaa (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 81–84). Näistä tyhjästä tiloista syntyy kapillaarihuokosia. Kapillaarihuukokset ovat kooltaan noin 0,00001 mm–0,001 mm. Alle 0,4 vesi-sementtisuhteessa (v/s) ja täydellisen hydrataation

jälkeen betoniin ei jää lainkaan kapillaarihuokosia. Taulukossa 1 on esitetty kapillaarihuokosten umpeutumisaika vuorokausina. Laskenta alkaa, kun vesi ja sementti on keskenään sekoitettu. Huokosten katsotaan umpeutuneen silloin, kun ne eivät enää muodosta yhtenäistä verkostoa (Merikallio ym., 2007, s. 17–18). Kapillaarihuokosilla on vaikutusta betonin kastumiseen ja kuivumiseen. Betonin kuivumista käsitellään tarkemmin alaluvussa 2.5.

Taulukko 1. Vesi-sementtisuhteen (v/s) vaikutus kapillaarihuokosten umpeutumiseen (Merikallio ym. 2007, s. 18).

<b>vesi-sementtisuhte</b>	<b>Hydrataatioaika (vuorokautta)</b>
<b>0,4</b>	3
<b>0,45</b>	7
<b>0,50</b>	14
<b>0,6</b>	182 eli 6 kuukautta
<b>0,7</b>	365 eli 1 vuosi
<b>yli 0,7</b>	ei koskaan

Betoniin syntyy huokostamisen seurauksena ilmahuokosia eli suojahuokosia (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 84). Nämä huokokset suojaavat betonia pakkaselta. Suojahuokosten taseiselle jaolle betonissa on annettu betoninormeissa erilaisia vaatimuksia. Suojahuokokset toimivat kapillaarihuokosten kanssa yhdessä, kun jäätyminen lisää painetta kapillaarihuokosissa ja vesi virtaa suojahuokosiin. Sulaessa tämä tapahtuu toisinpäin.

Betoniin tulee valamisen ja tiivistämisen seurauksena tiivistyshuokosia (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 84). Tiivistyshuokokset kerääntyvät yleensä muotin ja betonipinnan rajapintaan. Ottamalla näytteitä ja tutkimalla mikroskoopilla voidaan kovettuneesta betonista tehdä analyysi betonin kokonaishuokosmäärästä.

### 2.3 Kovettuneen betonin ominaisuudet

Puristuslujuus on kovettuneen betonin tärkein ominaisuus (Suomen betoniyhdistys, 2018, s. 84). Vesi-sementtisuhde määräytyy halutun puristuslujuuden arvon kautta (Finnsementti, i.a.-a). Puristuslujuuteen vaikuttaa myös monia muita tekijöitä, esimerkiksi sementin laatu ja kovettumislämpötila.

Tässä työssä tullaan käsittelemään yleisimpiä betonin puristuslujuuksia. Yleisimmät betonin lujuusluokat normaalissa rakentamisessa ovat C20/25–C50/60 (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 85). Puristuslujuudet voivat olla merkinnöiltään erilaisia, koska osa materiaalista on vanhaa, jolloin myös lujuusmerkinnät ovat erilaiset. Nämä merkintätavat ovat olleet käytössä ennen kuin eurokoodien merkintätavat otettiin käyttöön. Esimerkiksi vanhassa aineistossa K30-lujuusluokan betonista merkintä tarkoittaa samaa kuin nykyinen eurokoodin mukainen merkintä C25/30, eli molempien lujuus kuutiokoekappaleen määrittelyssä on sama 30 MPa:a (Finnsementti, i.a.-b). Merkinnässä ensimmäisenä oleva numeroarvo tarkoittaa lieriökoekappaleen puristuslujuutta, ja tässä tapauksessa se on 25 MPa:a.

Betonin vetolujuus on noin kymmenesosa sen puristuslujuudesta (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 89–90). Käytännössä on vähän rakenteita, jotka mitoitettaisiin betonin vetolujuuden mukaan. Betoniin sijoitettavalla raudoituksella otetaan vastaan kuormituksesta aiheutuvat vetojännitykset. Teräkset mitoitetaan kestäämään näitä kuormia. Teräksen koko ja määrä betonissa määräävät betonimassassa käytettävän raekoon (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 267).

Valittaessa betonin lujuusluokkaa käytetään betonirakenteiden suunnitteluohjetta (Suomen betoniyhdistys, 2018, s. 55). Ohjeessa käsitellään betonilujuuden valintaa erilaisille rakenteille. Betonilujuuden valintaa vaikuttavat esimerkiksi jänneväli, kuormitukset ja käyttötarkoitus. Betonin lujuutta ei valita kuivumisajan perusteella. Kuivumisarvio tehdään rakenteelle sen jälkeen, kun on valittu rakennetyyppi, jota käytetään. Kuivumisarvion kautta voidaan tutkia erilaisia ratkaisuja, joilla voidaan nopeuttaa kuivumista.



## 2.4 Betonin kosteus

### 2.4.1 Rakenteesta johtuva kosteus

Alaluvussa 2.2 on todettu, että betonimassaan tarvitaan vettä. Betonimassan valmistamisessa betoniin tulee kosteutta seokseen tarvittavan veden muodossa. Vedestä vain noin 25 % sitoutuu betonimassaan kemiallisesti (Merikallio ym., 2007, s. 13). Sitoutuneen veden määrä lasketaan sementin määrästä. Jäljelle jäävä vesi sitoutuu fysikaalisesti betoniin. Normaaliolosuhteissa kemiallisesti sitoutunut vesi ei pääse haihtumaan betonista. Fysikaalisesti sitoutunut vesi on haihtumiskykyistä ja pääsee poistumaan betonista ajan kuluessa. Tärkeää on muistaa, että betonin kemiallisen sitoutumisen päätyttyä ja saavutettua tavoitelujuuden betoni voi, se voi olla edelleen kostea (mts. s. 14). On siis hyvä muistaa, että vaikka betonin pinta vaikuttaa kuivalta, se saattaa silti vielä sisältää hyvinkin paljon kosteutta.

Betoniin sitoutuneen veden määrä on riippuvainen sementin määrästä (Merikallio ym., 2007, s. 13–14). Samalla vesimäärällä, mutta sementin määrää lisäämällä betoniin kemiallisesti sitoutuneen veden määrä nousee. Huokosrakenteella on myös vaikutusta veden sitoutumiseen ja kulkeutumiseen betonissa. Fysikaalisesti sitoutunut vesi jää betonihuokosten pintaan tai betonihuokosiin, mistä se ajan myötä haihtuu olosuhteiden mukaan.

### 2.4.2 Kastuminen

Betoni on hygroskooppinen aine, eli se pystyy vastaanottamaan ja luovuttamaan kosteutta olosuhteiden muuttuessa. Betoni pyrkii tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa (Merikallio ym., 2007, s. 17). Jos esimerkiksi ympäröivä ilmankosteus on 60 %, betoni luovuttaa siihen asti kosteutta, kunnes se on saavuttanut tasapainokosteuden ympäröivän kosteuden kanssa. Sama tapahtuu myös toisinpäin, eli kun ilman on betonia kosteampaa, betoni imee itseensä ilmasta kosteutta. Kosteuden siirtymistä ilman kautta kutsutaan kostumiseksi.

Betoni on huokoinen materiaali, joka mahdollistaa kapillaarisen veden imeytymisen (Merikallio ym., 2007, s. 17). Betonin ollessa kosketuksissa vapaan veden tai kostean materiaalin kanssa alkaa tapahtua kapillaarista imeytymistä. Aiemmin betonin mikrorakennetta käsittelevässä alaluvussa 2.2 on kerrottu, miten kapillaarihuokokset syntyvät. Huokosrakenteella on suuri vaikutus siihen, miten vesi pääsee liikkumaan betonissa (Merikallio ym., 2007, s. 18).

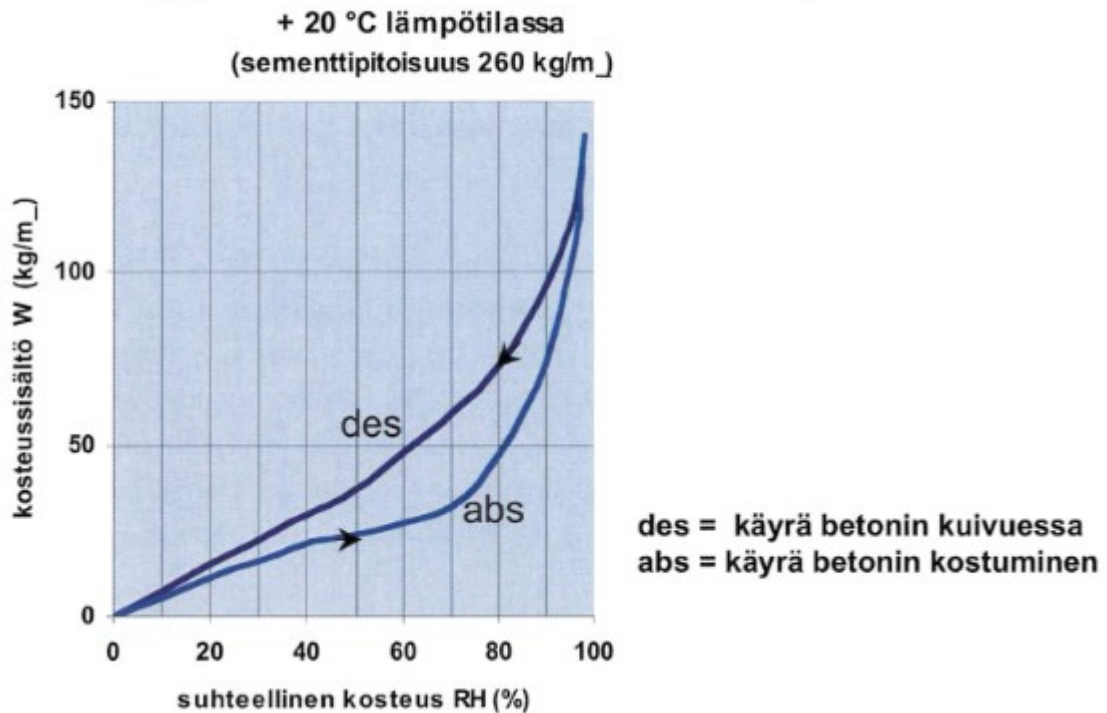
Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa alle 0,6 ja hydrataatioreaktioiden edettyä lähes loppuun menevät huokokset kiinni ja katkaisevat yhtenäisen kapillaarisen verkoston. Silloin betonissa ei voi tapahtua enää kapillaarista veden siirtymistä. Vesi-sementtisuhteen ollessa yli 0,7 huokokset eivät mene lainkaan kiinni, joten betoniin jää avoin kapillaarisen veden siirtymisen mahdollistava verkosto.

### 2.4.3 Betonin suhteellinen kosteus

Suhteellisella kosteudella (RH %) tarkoitetaan vesihöyryä, joka on betonihuokosissa (Merikallio ym., 2007, s.15). Suhteellisen kosteuden (RH %) arvo ei kerro, kuinka paljon kosteutta betoni sisältää  $\text{kg/m}^3$  kohden. Vesihöyryn lisäksi huokosten pintaan sitoutuu eli absorboituu vesimolekyylejä. Absorptiovoimien sitoma kosteuden määrä riippuu huokosten ominaispinta-alasta ja vesihöyrypitoisuudesta. Vesimolekyylit sitoutuvat kerroksittain. Pintaa lähimpänä oleva kerros on voimakkaimmin sitoutunut.

Betonissa oleva vesihöyry ja huokosien pintaan sitoutunut vesi muodostavat yhdessä kosteussisällön (W). Kosteussisältö voidaan ilmoittaa joko  $\text{kg/m}^3$ :lle tai paino-%:na. Suhteellisen kosteuden (RH %) ja kosteussisällön W ( $\text{kg/m}^3$ ) tai kosteuspitoisuuden u (paino-%) suhteesta voidaan tehdä tasapainokosteudenkäyrä (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 533–534). Käyrästä voidaan katsoa, kuinka paljon tietyssä betonissa on kosteutta tietyssä suhteellisessa kosteudessa (RH %) ja tietyssä lämpötilassa. Kahdella eri betonilaadulla tasapainokäyrissä voi olla hyvinkin paljon eroa. Kosteussisältö ( $\text{kg/m}^3$ ) on erilaista eri betonilaaduissa, koska niiden huokosrakenteessa on eroavaisuuksia. Käyrästä on kaksi erilaista käyrää, joista toinen kuvaa absorptiota eli veden vastaanottamista ja toinen kuvaa desorptiota eli veden luovuttamista (Kuvio 1.). Molemmissa tilanteissa betonissa on erilainen kosteussisältö ( $\text{kg/m}^3$ ). Käyrästä voidaan pitää suuntaa antavina. Jotta käyriä voitaisiin pitää tarkkoina kosteussisällön ( $\text{kg/m}^3$ ) kuvaajina, niitä pitäisi tehdä monessa eri lämpötilassa ja kaikille betonilaaduille erikseen. Yleensä kosteussisältömittaukset tehdään betonin ollessa  $+20\text{ }^\circ\text{C}$ :sta (Kuvio 1.).

## Betonin hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä



Kuvio 1. Erään betonin hygroskooppinen tasapainokäyrä +20 °C:n lämpötilassa (Merikallio ym., s. 16).

Betonin kosteussisällön (kg/m<sup>3</sup>) tai kosteuspitoisuuden (paino-%) ja suhteellisen kosteuden (RH %) välille ei pystytä määrittämään luotettavaa suhdetta. Kosteussisältöä ei siis ikinä saa muuttaa suhteelliseksi kosteudeksi (RH %) minkään käyrän perusteella. Virheen mahdollisuus voi olla todella suuri, jos mittaustuloksia muutetaan.

### 2.5 Betonirakenteen kuivuminen

Betonin kuivuminen alkaa sitoutumiskuivumisesta, kun hydrataatioreaktion aikana betonimassassa olevaan sementtiin sitoutuu kemiallisesti vettä noin 25 painoprosenttia sementin määrästä (Merikallio, 2002, s.33). Tätä kutsutaan sitoutumiskuivumiseksi. Tämän lisäksi betoniin jää haihtumiskykyistä vettä. Pelkän sitoutumiskuivumisen ansiosta betonin suhteellinen kosteus voi laskea 98–90 %:iin riippuen betonilaadusta.

Betoniin fysikaalisesti sitoutunut vesi on haihtumiskykyistä (Merikallio, 2002, s. 33). Betonissa kuivumista alkaa tapahtua, kun fysikaalisesti sitoutunut vesi alkaa haihtua pois (Merikallio ym., 2007, s. 13). Haihtuminen alkaa betonimassassa, kun ulkopuolelta ei enää tule

lisäkosteutta sekä ympäröivä ilma pystyy vastaanottamaan rakenteesta haihtuvan kosteuden. Haihtumista tapahtuu siihen asti, kunnes betoni on saavuttanut tasapainokosteuden ympäristönsä kanssa. Jotta betonihuokokset saavuttavat tasapainokosteuden ympäröivän ilman kanssa, tulee huokosista poistua kosteutta (Merikallio, 2002, s. 33). Lähempänä pintaa olevat huokokset luovuttavat kosteuden ilmaan. Samalla muut rakenneosien huokokset siirtävät kosteuden kuiviin pintahuokosiin. Kosteuden siirtyminen pintahuokosiin tapahtuu kapillaarisen imun tai diffuusion avulla. Betonin huokosissa yleensä kuivumisvaiheessa on suurempi suhteellinen kosteuspitoisuus kuin ympäröivässä ilmassa, joten betoni haihduttaa vettä ilmaan näiden rajapintojen kautta. Tätä ilmiötä voidaan kutsua siirtymiskuivumiseksi tai, kun se tapahtuu ilman kanssa, sitä kutsutaan haihtumiskuivumiseksi.

Pinnasta kostean betonin kuivuminen on riippuvainen vain haihtumismahdollisuuksista (Merikallio, 2002, s. 34). Haihtumisen takia pintakerrosten kosteuspitoisuus pienenee ja syvemmältä kappaleen sisältä alkaa siirtyä kosteutta pintakerrokseen. Kosteuden siirtyminen syvemmältä pintaa on riippuvaista ensisijaisesti kapillaarisesta veden siirtymisestä. Kapillaarinen veden siirtyminen tarvitsee yhtenäisen vedellä täyttyneen huokosverkoston. Hydrataatio-reaktion vaikutuksesta kapillaarihuokosten verkosto alkaa sulkeutua tai huokokset alkavat täyttyä ilmalla. Huokosten täyttyminen ilmalla estää kapillaarisen kosteuden siirtymisen, eli jäljelle jää vain diffuusion avulla tapahtuva kuivuminen.

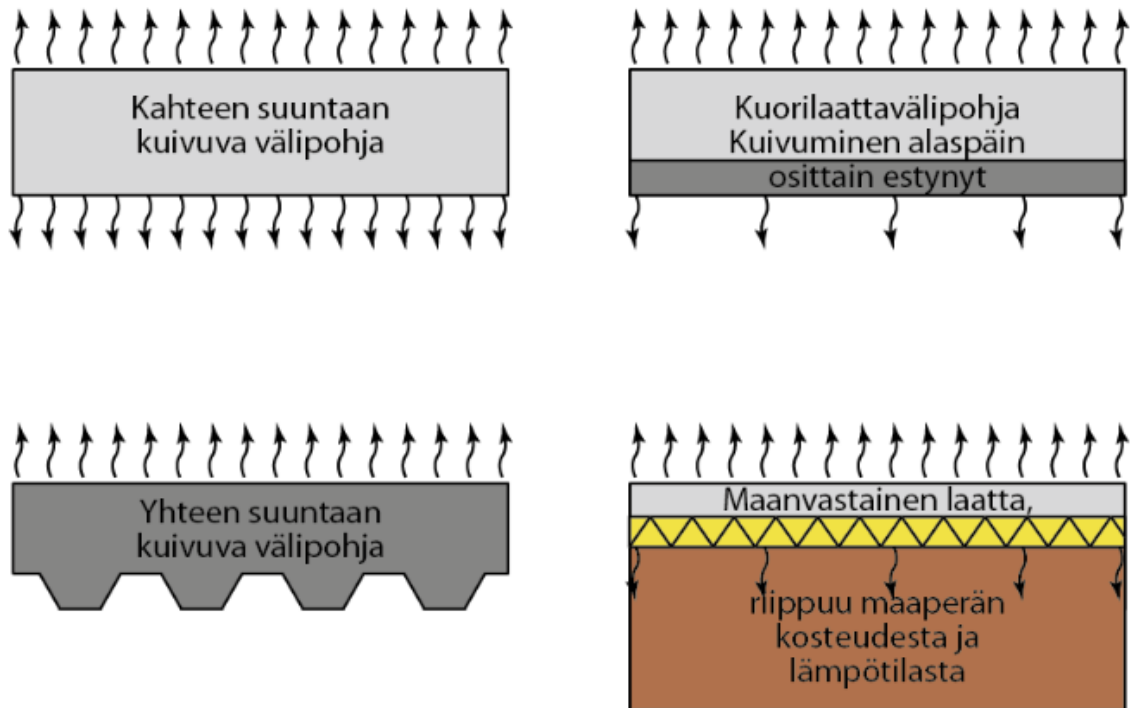
Betonilaatu vaikuttaa myös kuivumiseen etenemiseen (Merikallio ym., 2007, s. 21–22). Betonin yksi ominaisuuksista on vesihöyrynvastus, joka johtuu betonin tiiveydestä. Vesi-sementti-suhteen ollessa pieni betoni on tiivistä eli, vastustaa vesihöyryn siirtymistä. Tällöin betonin kosteuden siirtymistä pintaa estävä tekijä hidastaa kuivumisprosessia. Taulukossa 2 esitellään betonin vesihöyryvastuksia eri kosteuspitoisuuksilla. Betonin ollessa kostea sen vesihöyrynläpäisevyys on suurempi kuin kuivempana. Betonin kuivuesssa sen vesihöyrynläpäisevyys pienenee. Tämä aiheuttaa betonin kuivumisprosessin hidastumisen, koska vesihöyryn eteneminen hidastuu kohti haihtumiskykyistä pintaa.

Taulukko 2. Betonin vesihöyrynläpäisevyys samalla betonilaadulla eri kosteudessa (Merikallio ym., 2007, s. 22)

<b>betoni ja kosteus</b>	<b>paksuus (mm)</b>	<b>vesihöyrynläpäisevyys (m<sup>2</sup>/s)</b>
<b>K30 (v/s = 0,79) RH 93 %</b>	10	2,71 x 10 <sup>-7</sup>
<b>K30 (v/s=0,79) RH 55 %</b>	10	2,08 x 10 <sup>-7</sup>

Betonin lämmöllä voidaan vaikuttaa kuivumisen nopeuteen (Merikallio ym., 2007, s. 21). Betonin lämpöä nostamalla huokosissa olevan vesihöyryn paine kasvaa, mikä auttaa kosteuden siirtymistä pintaan huokosrakenteen kautta. Tehokkain tapa kuivumisen nopeuttamiseksi on nostaa betonin lämpötilaa.

Betonirakenteen paksuudella ja kuivumissuuntien määrällä on vaikutus rakenteen kuivumisen kestoon (Merikallio ym., 2007, s. 22) (Kuvio 2.). Paksussa rakenteessa kosteus joutuu siirtymään pitemmän matkan ennen kuin se saavuttaa betonin pintaosan, josta haihtuminen ympäröivään ilmaan voi tapahtua. Kuivumissuunnan muuttuessa matka lähimpään haihtumispintaan kasvaa. Esimerkiksi muovin tai liittolevyn päälle valettaessa kuivuminen on estetty alaspäin. Jos kuivumissuuntia on kahden sijasta vain yksi, kosteuden siirtymisen matka haihtumiskykyiseen pintaan saman paksuisella rakenteella keksinkertaistuu. Rakenteen kasvaessa kaksinkertaiseksi ja toisen kuivumissuunnan puuttuessa rakenteen kuivumisen aika voi jopa nelinkertaistua. Esimerkiksi maanvarainen alapohja saattaa kuivua alaspäin (Kuvio 2.). Tämä riippuu maaperän kosteudesta ja lämpötilasta. Kuorilaattarakenne kuivuu osittain alaspäin. Kuorilaattarakenteen vesihöyrynvastuksesta ja kosteuspitoisuudesta riippuu, kuinka paljon kuorilaattarakenne pystyy vastaanottamaan betonilaatasta tulevaa kosteutta. Kuorilaatan vedenimukyky riippuu rakenteen kosteuspitoisuudesta ja vesi-sementtisuhteesta (v/s).



Kuvio 2. Erilaisten rakenteiden kuivumissuunnat (Merikallio ym., 2007, s. 23).

**Olosuhteet.** Kuivumiselle tärkeää on ympäröivät olosuhteet, kuten ilman suhteellinen kosteus eli kuinka paljon ympäröivä ilma pystyy sitomaan haihtuvaa kosteutta itseensä (Merikallio ym., 2007, s. 20). Ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden (RH %) tehokkaimman kuivumisen kannalta tulisi olla 50 % (Merikallio, 2002, s. 35). Suhteellisen kosteuden ollessa pieni ilma pystyy vastaanottamaan paremmin betonista haihtuvaa kosteutta. Betonin lämpötilan tulisi olla +20 °C, jotta kuivuminen olisi riittävän nopeaa. 25–30 °C:ssa kuivuminen nopeutuu merkittävästi. Tätä suurempaa lämpötilaa ei käytetä muualla kuin vesivaurioiden nopeassa kuivatuksessa. Korkea lämpötila lisää nuoren betonin halkeilua ja kutistumista huomattavasti. Esimerkiksi betonilaatu C25/30 luovuttaa 28 vuorokauden aikana +20 °C:ssa ja suhteellisen kosteuden (RH %) ollessa 45 % vettä noin 35 kg/m<sup>3</sup>, kun taas +10 °C:ssa ja suhteellisen kosteuden (RH %) ollessa 70 % luovuttaa vettä vain noin 16 kg/m<sup>3</sup>. Ilman vaihtuvuus on tärkeää, koska betonin haihduttaessa kosteutta ympäröivään ilmaan sen suhteellinen kosteus kasvaa ja kosteuden sitomiskyky heikkenee.

Lämpötilan ollessa alhainen ilmankosteuden sitoutumiskyky on pieni, joka hidastaa kuivumista (Alitalo ym., 2021). Ilman suhteellisen kosteuden ollessa pieni ja lämpötilan ollessa

korkealla, saavutetaan parhaat kuivumisolosuhteet, koska ilma pystyy sitomaan itseensä suuria määriä kosteutta, jota betonimassa haihduttaa ilmaan kuivuessaan.

Lämpötilalla on hyvin huomattavia vaikutuksia ilman absoluuttisen kosteuspitoisuuden määrään. Taulukossa 3 on esitetty erilaisissa olosuhteissa, kuinka paljon ilmassa voi olla kosteutta. Ilma saavuttaessa RH 100 %:n eli absoluuttisen kosteuspitoisuuden vesihöyry alkaa tiivistyä. Jos esimerkiksi olosuhteet ovat +10 °C ja RH 70 %, ilmassa on kosteutta 6,62 g/m<sup>3</sup>. Uudeksi ilman suhteelliseksi kosteudeksi saadaan RH 43 %, kun lämpötila nostetaan +18 °C:een. Lämpötilaa nostamalla saadaan paremmat olosuhteet kuivumiselle. Suhteellisen kosteuden pienentyessä myös vesihöyryn osapaine pienenee. Tämä auttaa betonimassaa kuivumaan, koska betonin vesihöyryn osapaine on suuri ja se pyrkii tasaantumaan pienemmän osapaineen suuntaan.

Taulukko 3. Ilmassa kosteuspitoisuus (g/m<sup>3</sup>) eri lämpötiloissa (Willman, 2015, s. 7).

t(°C)	RH 100 % (g/m <sup>3</sup> )	RH 70 % (g/m <sup>3</sup> )	RH 50 % (g/m <sup>3</sup> )
-20	0,88	0,62	0,44
-10	2,20	1,54	1,10
0	4,85	3,4	2,43
10	9,45	6,62	4,73
18	15,37	10,76	7,69
20	17,28	12,10	8,64
30	30,31	21,22	15,16

**Vuodenaika.** Vuodenaika vaikuttaa ilman suhteellisen kosteuteen ja lämpötilaan. Kesällä lämpötila on korkealla ja ilman suhteellinen kosteus on noin RH 60–80 %. Lämpötilan ja

ilman suhteellinen kosteuden ollessa korkealla kuivumiselle vaadittujen olosuhteiden toteuttaminen on hyvinkin haastavaa, koska ilman lämpötilaa ei voida nostaa tarpeeksi korkealle halkeiluvaaran vuoksi. Kunnan kuivamisolosuhteet tulevat syksyllä noin syys-lokakuussa, kun ilman lämpötila laskee alle +10 °C. Syksyllä ilman suhteellinen kosteus voi olla hyvinkin korkealla. Lämpötilan ollessa alhainen saadaan ilmaa lämmittämällä suhteellinen kosteus alhaisemmaksi. Näin ollen olosuhteiden hallinta on helpompaa. Talvella olosuhteiden hallinta on helpointa, koska on vuoden kylmin aika. Talvella ulkoilman suhteellinen kosteus on korkealla kuten alla olevasta (Taulukko 4.) voidaan todeta. Ilman lämmittämällä saadaan suhteellinen kosteus putoamaan. Taulukossa 4. on esitetty vuosien 1991–2020 ajalta kerätyt kuukausikohtaiset keskiarvot ilman suhteellisesta kosteudesta (RH%) ja lämpötilasta (Ilmatieteen laitos, i.a). Vuodessa ei ole montaa hyvää kuukautta kuivumiselle ilman, että olosuhteita parannetaan lämmittämällä ja kuivattamalla.

Taulukko 4. Vuosien 1991–2020 kuukausikohtaiset lämpötila ja RH%:n keskiarvot (Ilmatieteen laitos, i.a).

kuukausi	°C ka.	RH% ka.	g/m <sup>3</sup>
tammikuu	-5,6	86	2,76
helmikuu	-6	85	2,62
maaliskuu	-2,3	81	3,24
huhtikuu	3,6	76	3,95
toukokuu	9,8	73	6,86
kesäkuu	14,3	75	9,225
heinäkuu	17,1	77	11,24
elokuu	15,5	80	10,61
syyskuu	10,4	82	7,95
lokakuu	4,6	85	5,68
marraskuu	0,3	87	4,32
joulukuu	-3,2	87	3,33

Betonin kuivuessa sen veden imukyky kasvaa (Merikallio ym., 2007, s. 22–23). Alkuvaiheessa ei haittaa, jos betoni pääsee kastumaan, koska betonin huokokset ovat täynnä vettä ja suhteellinen kosteus on korkealla. Kun betonissa suhteellinen kosteus (RH %) laskee, samalla veden imukyky kasvaa, eli pahimmassa tapauksessa betonivalun kastuminen saattaa



viivästyttää kuivumista 20 viikolla alkuperäisestä. Vesivahinkokohteissa täysin kastuneen vanhan betonin kuivuminen voi kestää huomattavasti kauemman kuin nuoren betonin kuivuminen. Betonin kuivumisen voidaan katsoa alkaneeksi vasta sitten, kun ulkopuolelta ei tule rakenteeseen uutta kosteutta ja ilman suhteellinen kosteus (RH %) on riittävän alhaisella tasolla (Merikallio, 2002, s. 36).

Betonirakenteiden kuivumisajat tulee arvioida osana työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaa (Merikallio ym., 2007, s. 23). Arvioiden perusteella voidaan ajoissa valita toimenpiteet, joilla saadaan betoni kuivumaan riittävästi ennen päällystämistä.

## 2.6 Kuivumisesta aiheutuva kutistuminen

Kuivumiskutistuminen on betonin materiaaliominaisuus (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 146–147). Jälkihoidolla ei voida juurikaan vaikuttaa loppukutistumaan. Jälkihoitoa pidentämällä saavutetaan vain vähän pienempi kutistuma kuin tavanomaisella jälkihoidolla. Jälkihoidon lyhentäminen ja voimakas kuivatus kasvattavat loppukutistumaa. Kutistuminen alkaa, kun betonin kuivuminen alkaa. Oletuksena pidetään, että ensimmäisen kuukauden aikana kutistumisesta tapahtuu noin 35 %, noin 80 % kokonaiskutistumasta tapahtuu 3 kuukauden aikana ja noin 90 % vuoden aikana. Kuivumiskutistuman suuruus on yleensä noin 0,5–1,5 mm/m:llä, mutta normaalibetoneissa harvoin yli 0,8 mm/m:llä. Suuremman kutistuman aiheuttajana yleensä ovat betonin koostumuksessa olevat asiat, jotka poikkeavat normaalista betonista, tai kuivuminen on voimakasta ja se on alkanut varhaisessa vaiheessa. Taulukosta voidaan todeta kutistumisen olevan suurimmillaan, kun betonin suhteellinen kosteus on yli 95 %.

Betonimassassa tapahtuu erilaisia muodonmuutoksia. Nämä muodonmuutokset johtuvat betoniseosaineiden reagoidessa toistensa kanssa sekä erilaisten olosuhteiden vaikutuksesta. Autogeeninen kutistuminen johtuu hydrataatioreaktiosta (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 147). Autogeeninen kutistuma syntyy, sillä sementin ja veden yhteenlaskettu tilavuus on suurempi kuin sementtikiven tilavuus. Betonimassan reagoidessa sementtikivi kuivuu sisäisesti. Sementtikiven kuivuessa sisäisesti se kutistuu, mikä taas lisää kuivumiskutistumaa betonissa. Autogeeninen kutistuma suurenee vesisementtisuhteen ( $v/s$ ) pienentyessä. Käytännössä sillä on merkitystä vasta, kun vesisementtisuhte ( $v/s$ ) on  $<0,45$ . Autogeenistä kutistumaa voidaan kutsua kemialliseksi kutistumiseksi.

Betonissa voi tapahtua plastista kutistumaa, kun betonin pinta kuivuu muuta massaa nopeammin (Suomen betoniyhdistys, 2018, s. 146). Plastista kutistuma tapahtuu betonin ollessa plastisessa vaiheessa, kun sen pinnalta haihtuvan veden määrä on suuri mutta syvemmältä ei tule riittävästi haihtuvan kosteuden korvaavaa kosteutta. Plastista kutistumista tapahtuu esimerkiksi valettaessa ulkona tuulisissa ja aurinkoisissa olosuhteissa tai talvella lämmityksissä sisätiloissa, joita lämmitetään puhaltimella, joka luo betonin pintaan saman vaikutuksen kuin tuuli. Tällainen ilmiö synnyttää betonin sisälle veto- ja puristusjännityksiä. Tämä saattaa johtaa betonipinnan halkeiluun. Suurin plastisen kutistuman vaara on silloin, kun vesisementtisuhte on pieni ja betoni haihduttaa vettä paljon.

Taulukko 5. Mahdollinen kutistuma kuivumisen eri vaiheissa (Merikallio ym., 2007, s. 66).

<b>Kutistuma (mm/m)</b>	<b>Betonin RH % arviointisyvyydellä</b>
<b>0,45–0,65</b>	95
<b>0,35–0,55</b>	90
<b>0,3–0,4</b>	85
<b>0,2–0,3</b>	80

Betonin koostumuksella on monimutkainen vaikutus kutistumaan (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 148). Lattiabetonissa harvoin voidaan toteuttaa mitään isoja toimenpiteitä kutistuman pienentämiseksi. Työstettävyys ja lattian viimeistelyvaatimukset ohjeistavat lattiabetonin koostumusta, ja tämän takia kutistumaan ei voida pienentää, jotta näitä vaatimuksia pystytään noudattamaan. Esimerkiksi alentamalla vesi-sementtisuhdetta (v/s) teoriassa saadaan kutistumaa pienemmäksi sekä halkeilua vähennettyä. Alhaisella vesi-sementtisuhteella autogeeninen kutistuma kasvaa. Plastisen kutistuman riski kasvaa huomattavasti, kun vesi-sementtisuhdetta (v/s) lähdetään pienentämään. Alhaisella vesi-sementtisuhteella (v/s) pintaan asennettavien erilaisten sirotteiden tartunta heikkenee, kun betonista ei nouse riittävästi vettä pintaan sirotteen sisältämän sementin vatimaan tarpeeseen. Kutistuma kasvaa, kun

sementtipastassa vesi-sementtisuhte nousee. Betonissa tämä asia pätee myös vesi-sementtisuhteen ollessa 0,2–0,6.

## 2.7 Betonilattian päällystäminen

Betonilattiaa päällystäessä tulee olla varmuus, että betonin suhteellinen kosteus (RH %) on riittävän alhainen, että se ei aiheuta vauriota päällysteelle. (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 534). Riittävän alhaisella suhteellisen kosteuden (RH%) arvolla varmistetaan, että päällystämisen jälkeen päällysteen ja betonin rajapintaan ei keräänny liian paljoa kosteutta, joka voisi vaurioittaa päällystemateriaalia.

Esimerkiksi jos betonilattia päällystetään puupäällysteellä, betoni pyrkii tasapainokosteuteen päällysteen ja ympäröivän ilman kanssa (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 528). Betoni luovuttaa kosteutta siihen asti, kunnes päällysteen ja betonin huokosrakenne ovat tasapainokosteudessa. Monet huokoiset päällysteet voivat imeä kosteutta alusbetonista. Tämä voi aiheuttaa päällysteiden turpoamista ja mahdollisesti irtoamisen alusbetonista. Osa päällystysmateriaaleista estää vesihöyryn kulkeutumista rakenteen haihtumiskykyiseen pintaan. Esimerkkinä tästä ovat parkettilattiat, joiden alle laitetaan huonosti vesihöyrynläpäisevää materiaalia.

Tasoitekerros lisätään yleensä ennen betonirakenteen päällystämistä (Merikallio ym., 2007, s. 42–43). Sillä on tarkoitus tasata alusta päällystämistä varten. Tasoite vaikuttaa betonin kuivumiseen, koska tasoitteessa on kosteutta, jota ei voida estää imeytymästä alusbetoniin. Tasoitekerrokset ovat yleensä noin 5–20 mm paksuja. Merikallio arvio tasoitteen kuivumisajaksi noin 5 mm/viikossa. Hyvissä olosuhteissa tasoite kuivuu noin 1–7 vuorokaudessa. Tasoite voi nostaa 20 mm:n syvyydellä alusbetonissa kosteusprosenttia noin 10 prosenttiyksikköä. Mitä paksumpi tasoitekerros on, sitä syvemmillä kosteuden nousu tapahtuu. Kun betonin vesi-sementtisuhte on pieni kasteleva vaikutus jää pienemmäksi. Yleisimmät tasoitteet vaativat, että alusbetonin suhteellinen kosteus ei ole yli 90 %. Tällä varmistetaan, että kosteuden kriittinen arvo ei ylitä päällystämisen jälkeen tasoitekerroksessa.

Puupäällysteillä ja muovimatoilla suhteellisen kosteuden arvo pitää olla alle RH 85 % ennen päällystämistä (Rakennustieto, 2013, s. 5). RH 85 %:n raja-arvon tulee toteutua arvostelusyvydellä A. Betonin pinnasta noin 10–30 mm:n syvyydellä suhteellinen kosteus pitää olla alle RH 75 % ennen kuin päällystämistä voidaan aloittaa. Erikoisbetoneilla on käytössä samat raja-arvot. Suhteellisten kosteuden raja-arvojen tulee toteutua arvostelusyvyyksillä.

Erialaisten materiaalien suhteellisen kosteuden RH% raja-arvot arvostelusyvyyksillä esitetään taulukossa 6.

Taulukko 6. Suhteellisen kosteuden raja-arvot (Rakennustieto, 2013, s. 5)

<b>Päällystemateriaali</b>	<b>Betonin (RH %) arvostelusyvyys A</b>	<b>Betonin/tasoitteen (RH %) arvostelusyvyys 10–30 mm pinnasta (Ax0,4)</b>
<b>Laminaatti +vesihöyrytiivis alusmateriaali</b>	85	75
<b>Alustaan liimattava lauta-parketti</b>	85	75
<b>-normaali betoni</b>	85	75
<b>-erikoisbetoni (0,5 &gt; v/s)</b>	85	75
<b>Mosaiikkiparketti</b>	85	75
<b>-normaali betoni</b>	85	75
<b>-erikoisbetoni (0,5&gt;v/s)</b>	85	75

Siveltävillä vedeneristeillä on omat raja-arvonsa päällystämiseksi (RH %) (Merikallio ym., 2007, s. 71). Lähes kaikilla sertifioituilla siveltävillä vedeneristeillä betonialustan suhteellisen kosteuden (RH %) tulee olla 85–90 %, jotta ne voidaan turvallisesti ilman kosteusvaurioriskiä levittää lattian päälle sekä pystytään todentamaan, että suurin osa alusbetonin kutistumisesta on tapahtunut. Aiemmassa betonin kutistumista käsittelevässä luvussa on tarkempaa tietoa kutistumisesta (Taulukko 5.). Vedeneriste päästää itsensä läpi vesihöyryä, mutta tämä vesihöyrynläpäisevyys voi olla hyvin erilainen eri valmistajien tuotteilla. Arvostelusyvyysarvot ovat vesieristetyissä rakenteissa samat kuin kuivantilan rakenteissa. Päällystämisen voi aloittaa, kun mittaustulokset näyttävät alle RH 85–90 %. Tarkemmat ohjeet päällystämisen raja-arvosta löytyvät valmistajilta.

Arvostelusyvyys  $A$  on laskettu kaavassa (2.1) yhteen suuntaan kuivuvalla rakenteelle (Rakennustieto, 2021, s.29). Kaavassa (2.2) on laskettu kahteen suuntaan kuivuvalla rakenteelle arvostelusyvyys  $A$ . Jos ontelolaatan päälle tehdään 60 mm tai suurempi valu, tulee tehdä kaavan (2.3) mukainen lisämittaus sekä mittaus kaavan (2.4) syvyydeltä. Jos ontelolaatan päälle levitetään vähintään 5 mm paksu tasoitekerros tai enemmän, tulee tehdä mittaus kaavan (2.3) syvyydeltä. Sen lisäksi tasoitteen ja ontelon rajapinnasta tulee tehdä toinen mittaus ( $d_2$ ). Mittauksia tehdään jokaiseen rakenteeseen vähintään kahdelta eri syvyydeltä. Kaavan (2.5) arvostelusyvydeltä tehdään mittaukset kuorilaattarakenteelle, jossa on 60 mm tai paksumpi valettu rakenne. Kaava (2.5) käy myös yhteen suuntaan tai kahteen suuntaan kuivuvalla rakenteelle. Kololaattarakenteessa mittaus suoritetaan kaavan (2.5) mukaan.

Arvostelusyvyden  $A$  määritelmä yhteen suuntaan kuivuvalla rakenteella (Rakennustieto, 2021, s. 29):

$$A_1 = 0,4 * d \leq 70mm \quad (2.1)$$

missä

$A_1$  on arvostelusyvyys

$d$  on rakenteen paksuus

Arvostelusyvyden  $A$  määritelmä kahteen suuntaan kuivuvalla rakenteella (Rakennustieto, 2021, s. 29):

$$A_1 = 0.2 * d \leq 70mm \quad (2.2)$$

missä

$A_1$  on arvostelusyvyys

$d$  on rakenteen paksuus

Arvostelusyvyden  $A$  määritelmä ontelolaatan päälle 60 mm tai suurempi valettu rakenne (Rakennustieto, 2021, s. 29). Määritelmää voidaan käyttää myös 5 mm tai suuremman tasoitekerroksen rakenteessa:

$$A_1 = d_2 + 20mm \leq 70mm \quad (2.3)$$

missä

$d_2$  on valetun rakenteen tai tasoitteen paksuus

Arvostelusyvyiden B määritelmä ontelolaatan päälle 60 mm tai suurempi valettu rakenne (Rakennustieto, 2021, s. 29):

$$A_2 = d_2 * 0,5 \quad (2.4)$$

missä

$A_2$  on B arvostelusyvyys

Toisen arvostelusyvyiden A määritelmä laattarakenteella, joka on yhteen tai kahteen suuntaan kuivuva, ontelolaatan päällä oleva 60 mm tai suurempi valettu rakenne, ontelolaatan päälle 5 mm tai suurempi tasoitekerroksen rakenne tai kuorilaattarakenne (Rakennustieto, 2021, s. 29):

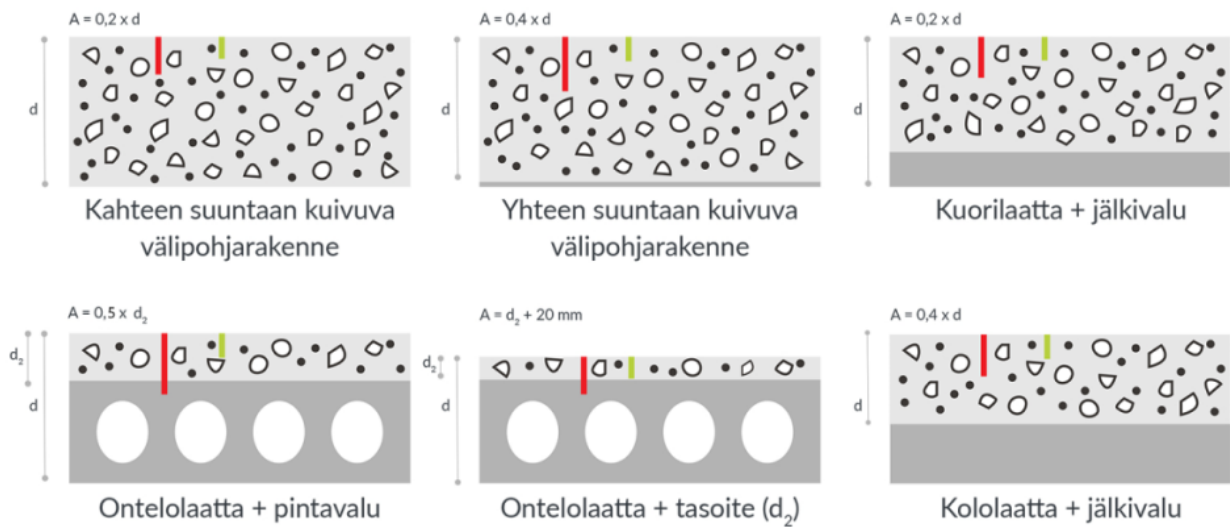
$$A_2 = A_1 * 0,4 \quad (2.5)$$

missä

$A_1$  on A arvostelusyvyys

$A_2$  on B arvostelusyvyys

Arvostelusyvydet erilaisilla rakenteilla löytyvät kuvioista 2. Arvostelusyvyksiä käytetään kosteudenmittaamiseen työmaalla (Rakennustieto, 2021, s. 1). Kuivumisaika-arviot tehdään syvemmälle arvostelusyvydelle (Merikallio, 2002, s. 39). Apuna kosteusmittauksessa käytetään arvostelusyvyttä B. Arvostelusyvydellä B mitataan pintakerroksen kosteutta noin 10–30 mm:n syvyydeltä. By2020-ohjelman antamissa tuloksissa kuivumisaika-arvioissa annetaan kosteuspitoisuuden arvo myös arvostelusyvydelle B. Näin voidaan verrata todellista mittaustulosta arvioiden antamiin tulokseen.



Kuvio 3. Arvostelusyvytydet erilaisilla rakenteilla (Betoniyhdistys, 2020).

## 2.8 Kuivumisajan arvioinnin laskumenetelmät

### 2.8.1 Merikallion taulukkomenetelmä

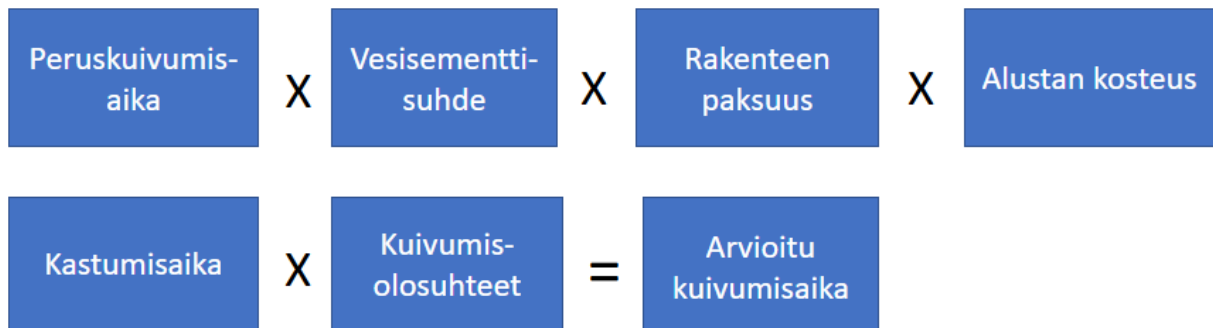
Merikallio on julkaisut laskentamenetelmän kirjassaan Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Kirja on vuodelta 2002.

Laskentamenetelmää voidaan käyttää rakenteille (Merikallio, 2002, s. 38)

- maanvaraiselle teräsbetonilaatalle
- massiiviselle teräsbetonirakenteelle
- liittorakenteelle
- kuorilaattarakenteelle
- ontelolaattavälipohjille
- kelluville pintabetonilaatoille.

Laskentamenetelmässä käytetään taulukoita, joista otetaan erilaisia arvoja laskentaan (Merikallio, 2002, s.39). Taulukoista otetaan vesi-sementtisuhteelle (v/s), rakenteen paksuudelle, alustan rakenteelle, kastumiselle ja olosuhteille omat kertoimet, joita sitten käytetään laskennassa (Kuvio 2). Jokaiselle rakenteelle on määritelty peruskuivumiskäyrä, josta saadaan rakenteen peruskuivuminen viikkoina. Kertoimissa on määritelty valmiiksi olosuhteiden ja rakenteen tekijät, jotka pidentävät tai lyhentävät kuivumisaikaa. Kuivumisaikaan vaikuttavien

tekijöiden selvityksen jälkeen voidaan kaavaan sijoittaa arvot, joista saadaan tuloksena kuivumisaika-arvio.



Kuvio 4. Kuivumisajan arvioinnin laskentakaavan periaate Merikallion menetelmällä (Merikallio, 2002, s. 39).

### 2.8.2 By2020:n kuivumisaika-arvio

By2020 on Betoniyhdistyksen julkaisema laskentaohjelma, jolla voidaan arvioida betonirakenteen kuivumista sekä voidaan tehdä myös päällystyksen riskiarvio (Betoniyhdistys, 2020, s. 4–5). Laskentaohjelma on FEM-pohjainen, joten se mahdollistaa yksityiskohtaisemman kuivumisen tarkastelun erilaisissa rakenteissa. Tämä mahdollistaa, että rakenne voidaan arvioida siinä aikataulussa kuin se tehdään, koska laskentaan pystytään laittamaan tasoitteen tai pintavalun ajankohta. Näin saadaan kuivuminen vastamaan todellista olosuhdetta.

Laskentamenetelmää voidaan käyttää seuraaville rakennetyypeille (Betoniyhdistys, 2020, s. 10–11):

- eristämätön tai eristetty paikallavalettu teräsbetonilaatta 40–400 mm
- ontelolaatta pintabetonilaatalla 50–200 mm
- ontelolaatta tasoitteella 10–20 mm
- kuorilaattarakenne pintavalulla 40–400 mm
- paikallavalettu yhteen tai kahteen suuntaan kuivuva rakenne pintavalulla 40–200 mm
- paikallavalettu yhteen tai kahteen suuntaan kuivuva rakenne ilman pintavalua 60–400 mm



- kerrokselliset betonilaatat yhteen tai kahteen suuntaan kuivuvat, paikallavalu 60–400 mm / 40–200 mm
- kololaatat jälkivalulla 80–200 mm.

Ohjelmassa käytettävät arvostelusyvytydet ovat RT 103333 -kortin mukaiset (Betoniyhdistys, 2020, s.14). Ohjelma ottaa mittausepävarmuudet huomioon.

### 3 KUIVUMISAJAN ARVIOT BY2020-OHJELMALLA

#### 3.1 Laskennassa käytetyt arvot

Rakennetyyppien laskennassa käytettiin kahta eri betonilaatua. Betonilaadut olivat C25/30 ja C30/37. Betoneilla on eri vesi-sementtisuhteet (v/s). C25/30:n vesi-sementtisuhteena (v/s) käytettiin 0,7. C30/37:n vesi-sementtisuhteena (v/s) käytettiin 0,6.

Laskennassa tarkasteltiin kahteen eri vuodenaikaan tehtyä betonirakennetta. Aloitusajankohdiksi valittiin 1. tammikuuta ja 1. heinäkuuta. Tammikuussa tehdyn rakenteen todettiin alkavan kuivua heti jälkihoidon jälkeen. Heinäkuussa todettiin betonirakenteen alkavan kuivua 90 päivän kuluttua rakenteen valamisesta. Jälkihoidon kesto laskennassa oli 14 päivän. Yleensä jälkihoito kestää noin 7–14 päivän.

Laskennassa käytettiin kahdenlaisia olosuhteita. Laskennassa käytettiin hyviä ja huonoja olosuhteita. Hyvissä olosuhteissa käytettiin ilman suhteellisenä kosteutena RH 50 %:a ja lämpötilana +18 °C:ta. Huonoissa olosuhteissa käytettiin ilman suhteellisenä kosteutena RH 70 %:a ja lämpötilana +10 °C:ta.

Laskenta antaa arvion, koska tasoite tai pintavalu voidaan asentaa rakenteen päälle. Laskennan pääasiallinen tarkoitus on simuloida betonirakenteen kuivuminen huomioiden tasoitteen asennus. Ohjelma antaa kokonaisarvion kuivumisesta. Kuivumisajat ovat kuitenkin vain arvioita, joten ennen päällystämistä tulee rakenteen todellinen kosteus selvittää mittaamalla.

#### 3.2 Alapohjarakenteet

##### 3.2.1 Rakennetyyppi AP-X

Rakennetyyppi AP-X on maavarainen alapohja, joka on yhteen suuntaan kuivuva betoni-laatta. Betonilaatan päälle levitetään tasoitekerros ennen päällystämistä. By2020-ohjelman tulokset on esitetty kootusti taulukossa 7.

Taulukon tiedot on koottu By2020-laskentaohjelman antamista tuloksista. Rakennetyypin tulokset löytyvät liitteestä 2. Tulokset sisältävät kaikki laskennan antamat tulokset ja kuivumisen käyrän, jossa näkyvät eri vaiheessa kuivumista tapahtuvat muutokset (liite 2.).

Tuloksista voidaan todeta, että olosuhteilla on suuri merkitys kuivumisaikaan. Huonoissa olosuhteissa B-arvostelusyvyydellä ei saavuteta kriittistä RH%:n raja-arvoa simulaation aikana. Ilman suhteellisen kosteuden (RH%) ollessa lähellä päällystämisen kriittistä raja-arvoa voidaan todeta, että betonin täytyy päästä lähes tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa, jotta se alittaa kriittisen päällystämisen raja-arvon (RH 75 %) B-arvostelusyvyydellä. Tämä pitkittää kuivumisprosessia huomattavasti. Diffuusion vaikutus pienenee, mitä lähempänä tasapainokosteutta ollaan. Vesihöyry siirtyy huokosista diffuusion vaikutuksesta, koska osapaine-erot ovat pieniä. Niinpä diffuusio on hitaampaa, ja se hidastaa kosteuden siirtymistä haihtumispintaan.

Huonoissa olosuhteissa A-arvostelusyvyydellä kriittinen raja-arvo alitetaan noin 350–360 päivässä riippuen betonin vesi-sementtisuhteesta (taulukko 7.). Betoni kuivuu syvemmältä helpommin kriittisen raja-arvon alle, koska kriittinen raja-arvo on A-arvostelusyvyydellä RH 85 %. Arvostelusyvyuden A kosteus mitataan tällaisessa rakenteessa 0,4 kertaa paksuus eli 40 % laatan paksuudesta. Arvostelusyvyuden B mittaussyvyys on 0,4 kertaa arvostelusyvyys A eli 40 % arvostelusyvyydestä A. Kaavat ovat selitetty tarkemmin aiemmin kappaleessa 2.7.

Hyvissä olosuhteissa molemmilla arvostelusyvyyksillä saavutetaan kriittiset raja-arvot. Olosuhteilla on vaikutuksensa kuivumiseen myös paremmissa oloissa. Tammikuussa tehty betoni kuivaa nopeammin, koska se alkaa kuivua heti jälkihoidon jälkeen. Heinäkuussa tehty betoni taas alkaa kuivua vasta syksyllä eli 90 päivän kuluttua. Vesi-sementtisuhte (v/s) parantaa kuivumisprosessia huomattavasti. Pelkällä vesisementtisuhteen (v/s) muutoksella nopeutetaan betonin kuivumista noin 28–37 pv eli noin 1 kuukausi. Vesi-sementtisuhteella on siis suuri merkitys kuivumisen nopeuteen hyvissä olosuhteissa, joissa voidaan betonin todeta kuivuvan. Tuloksista voidaan myös todeta, että vuodenajasta muodostuu toinen merkittävä tekijä kuivumisprosessille. Pelkällä vuodenajan optimoinnilla voidaan saavuttaa noin 36–45 päivän eli noin 1–1,5 kuukauden ajan säästö. Kun huomioidaan nämä kaksi asiaa, voidaan saavuttaa noin 73 päivän eli noin 2–2,5 kuukauden ajansäästö.

Tasoite voidaan asentaa, kun rakenne on saavuttanut sille annetun päällystämisen raja-arvot. Tasoitteen asennuksessa heinäkuussa tehdyn betonin osalta ei ole eroja, koska

kuivumista tapahtuu ennen varsinaista kuivumisjakson alkua. Molemmat betonilaadut ovat lähellä päällystämisen raja-arvoa. Tammikuussa tehdyssä betonissa huomataan sen sijaan eroa. Tässä tapauksessa betonin valinnalla säästetään 15 päivää aikaa. Alkamisajankohdalla säästetään 35–50 päivää aikaa. Kokonaisajansäästö nähdään vertailemalla hyvissä olosuhteissa vesi-sementtisuhdetta ja valun vuodenaikaa. Tällä säästetään noin 50 päivää eli noin 1,5 kuukautta, jos voidaan optimoida betonia valettaessa vuodenaika ja betonin vesi-sementtisuhde (v/s).

Tuloksista nähdään olosuhteiden merkitys betonin kuivumiselle. Huonoissa olosuhteissa kuivuminen kestää lähes vuoden ja hyvissä olosuhteissa kuivuminen kestää noin 99–172 päivää.

Taulukko 7. Rakennetyyppi AP-X:n kuivumisaika-arviot eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) By2020.

<b>AP-X</b>				
	RH 70 %, +10°C		RH 50 %, +18°C	
	1.tammi	1.heinä	1.tammi	1.heinä
Valupäivä	14	14	14	14
Jälkihoito kesto (pv)	14	14	14	14
Kuivatusjakso alkaa pv päästä valusta	14	90	14	90
Tasoiheen asennus (pv)	170	170	80	115
C25/30, 0,7 (v/s) (pv)	340*	360*	136	172
Tasoiheen asennus (pv)	170	170	65	115
C30/37, 0,6 (v/s) (pv)	340*	360*	99	144
*vain A-arvostelusyvytydellä kriittinen RH 85 %:n raja-arvo alitetaan kuluneessa ajassa (pv)				

### 3.2.2 Rakennetyyppi AP-Y

Rakennetyyppi AP-Y on ontelolaattarakenteinen ryömintätilallinen alapohja. Rakenteen päälle tullaan levittämään tasoite ennen päällystämistä. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1. Tulokset on esitetty koottuna taulukossa 8. Tulokset on saatu By2020-laskentaohjelmasta.

Tulokset löytyvät liitteestä 5. Tulokset sisältävät menetelmän kaikki laskennan antamat tulokset ja kuivumisen käyrän, jossa näkyvät eri vaiheessa kuivumista tapahtuvat muutokset (liite 5.).

Arvostelusyvyys A:n tulos mitataan syvyydeltä, joka saadaan, kun ontelolaatan päälle tulevan tasoite- tai valukerroksen paksuuteen lisätään 20 mm. Arvostelusyvyys B:n syvyys saadaan, kun arvostelusyvyden A mitasta otetaan 40 %.

Tuloksista voidaan todeta olosuhteiden merkitys kuivumisille. Huonoissa olosuhteissa kuivuminen kestää karkeasti 467 % pidempään kuin hyvissä olosuhteissa. Tulosten keskiarvoa käyttämällä hyvien ja huonojen olosuhteiden välinen erotus on 542 päivää.

Huonoissa olosuhteissa kuivumiseen vaikuttaa ilman korkea suhteellinen kosteus ja matala lämpötila. Tässä tapauksessa molemmat kriittiset raja-arvot alitetaan simulaation aikana. Koska kuivuminen huonoissa olosuhteissa vie aikaa kuivumisprosessissa, menetetään vesi-sementtisuhteen ja vuodenajan edut.

Vesi-sementtisuhteella on vaikutusta kuivumiseen. Tämä huomataan hyvien olosuhteiden kohdasta. Tasoitteen levityksen jälkeen rakenteen kuivuminen tapahtuu pienemmällä vesi-sementtisuhteella noin 16–26 päivää nopeammin kuin isommalla suhteella.

Valun ajankohta tuo oman vaikutuksensa betonirakenteen kuivumiseen. Pelkän vuodenajan valinnalla voidaan säästää aikaa tasoitteen asennuksen alkuun noin 50 päivää. Vuodenajan valinnalla säästetään päällystämässä noin 39–49 päivää. Ajankohdalla säästetään noin 65 päivää eli noin 2 kuukautta.

Taulukko 8. Rakennetyyppi AP-Y:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) By2020.

<b>AP-Y</b>				
	RH 70 %, +10°C		RH 50 %, +18°C	
	1.tammi	1.heinä	1.tammi	1.heinä
Valupäivä				
Jälkihoito kesto (pv)	14	14	14	14
Kuivatusjakso alkaa pv päästä valusta	14	90	14	90
Tasoiheen asennus (pv)	100	110	50	100
C25/30, 0,7 (v/s) (pv)	733	657	107	146
Tasoiheen asennus (pv)	90	110	50	100
C30/37, 0,6 (v/s) (pv)	580	662	81	130

### 3.2.3 Rakennetyyppi AP-Z

Rakennetyyppi AP-Z on kololaattarakenteinen ryömintätilallinen alapohja, joita käytetään tyyppillisesti märkätilassa. Rakenteen päälle tullaan levittämään tasoite ennen vedenerityksen asennusta. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1. Tulokset on esitetty kootuna taulukossa 9. Tulokset on saatu By2020-laskentaohjelmasta.

Tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 6. Tulokset sisältävät kaikki laskennan antamat tulokset ja kuivumisen käyrän, josta näkyvät eri vaiheessa kuivumista tapahtuvat muutokset (liite 6.).

Rakenteeseen asennettavan vedenerityksen takia kriittisenä päällystämisen arvona käytetään RH 90 %. Kriittinen päällystämisen raja-arvo tulee tarkistaa aina valmistajalta ennen vedenerityksen asennusta. Eräs valmistaja sallii päällystämisen, kun betonilaatan suhteellinen kosteus on RH 90 %.

Arvostelusyvyys A:n tulos mitataan syvyydeltä, joka saadaan, kun otetaan jälkivalun paksuudesta 40 %. Arvostelusyvyys B:n mitta saadaan, kun arvostelusyvyiden A mitasta otetaan 40 %.

Tuloksista huomataan, että hyvissä olosuhteissa vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7 tasoiheen asennus voidaan aloittaa noin 130–160 päivän kuluttua riippuen vuodenajasta. Vesi-sementtisuhteen ollessa 0,6 tasoiheen asennus voidaan aloittaa noin 110–150 päivän

kuluttua. Tästä huomataan, että vuodenaika auttaa rakennetta kuivumaan. Tasoitteen tuoma lisäkosteus vaikuttaa hiukan loppukuivumiseen, koska suuremman vesi-sementtisuhteen (v/s) betonilaatta imee itseensä helpommin kosteutta. Kappaleessa 2.5 on tarkemmin tietoa, mistä tämä johtuu. Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7 vedeneristyksen asentaminen voidaan aloittaa noin 140–180 päivän kuluttua tai 20 päivän päästä tasoitteen asennuksesta. Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 vedeneristyksen asentaminen voidaan aloittaa noin 120–170 päivän kuluttua tai tasoitteen asennuksesta noin 10 päivän kuluttua.

Huonoissa olosuhteissa tasoitteen asennus voidaan aloittaa vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7 noin 240–250 päivän kuluessa. Vesisementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6, tasoitteen asennus voidaan aloittaa noin 210–240 päivän kuluttua. Huonoissa olosuhteissa nähdään tasoitteen tuoman lisäkosteuden vaikutus loppukuivumiseen. Betonilaatta, jossa on isompi vesi-sementtisuhte (v/s), imee itseensä enemmän kosteutta tasoitteesta, mikä pidentää kuivumisaikaa. Päälystäminen voidaan aloittaa vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7 noin 280–290 päivän kuluessa tai tasoitteen asennuksesta noin 40 päivän kuluttua. Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 vedeneristyksen asennus voidaan aloittaa noin 230–270 päivän kuluttua tai tasoitteen asennuksesta noin 20–30 päivän kuluessa.

Taulukko 9. Rakennetyyppi AP-Z:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) By2020.

AP-Z				
	RH 70 %, +10°C		RH 50 %, +18°C	
	1.tammi	1.heinä	1.tammi	1.heinä
Valupäivä				
Jälkihoito kesto (pv)	14	14	14	14
Kuivatusjakso alkaa pv päästä valusta	14	90	14	90
Tasoitteen asennus (pv)	240	250	130	160
C25/30, 0,7 (v/s) (pv)	280	290	150	180
Tasoitteen asennus (pv)	210	240	110	150
C30/37, 0,6 (v/s) (pv)	230	270	120	160

### 3.3 Välipohjarakenteet

#### 3.3.1 Rakennetyyppi VP-X

Rakennetyyppi VP-X on ontelolaattarakenteinen välipohja. Ontelolaatan päälle tehdään paikallavalukerros, jonka päälle tulee tasoitekerros. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1.

Tulokset on esitetty kootusti taulukossa 9. Laskenta on suoritettu By2020-laskentaohjelmalla. Tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 7. Tulokset sisältävät kaikki laskennan antamat tulokset ja kuivumisen käyrän, josta näkyvät eri vaiheessa kuivumista tapahtuvat muutokset.

Arvostelusyvytydet A ja B ovat; Arvostelusyvytyys A:n tulos mitataan syvyydeltä, joka saadaan, kun ontelolaatan päälle tulevan tasoite- tai valukerroksen paksuuteen lisätään 20 mm. Arvostelusyvytyys B:n syvytyys saadaan, kun arvostelusyvytyden A mitasta otetaan 40 %.

Tuloksista huomataan kuivumisolosuhteiden merkitys. Hyvien ja huonojen olosuhteiden väliin jää 450 päivää, eli kuivuminen kestää noin 320 % pidempään huonoissa olosuhteissa. Hyvissä ja huonoissa olosuhteissa päällystämisen kriittiset raja-arvot alitetaan (taulukko 10.) kuluneessa ajassa. Kun ilman suhteellinen kosteus on matala ja lämpötila korkeammalla, kuivumisprosessi nopeutuu huomattavasti huonoihin olosuhteisiin verrattuna.

Huonoissa olosuhteissa kuivumiseen vaikuttaa ilman korkea suhteellinen kosteus ja matala lämpötila. Kuivumisen ollessa hidasta menetetään vesi-sementtisuhteesta (v/s) ja vuodenajasta tulevat edut.

Hyvissä olosuhteissa huomataan vuodenajan vaikutus kuivumisprosessiin. Vuodenajan valinnalla voidaan saavuttaa 40–50 päivän ajallinen säästö. Tasoitteen asennuksen jälkeen kuivumisprosessi etenee samassa vauhdissa. Vesi-sementtisuhteen (v/s) edut saavutetaan hyvissä olosuhteissa. Vesi-sementtisuhteen (v/s) muutoksella saavutetaan noin 20 päivän ajallinen säästö. Kokonaisuudessaan vesi-sementtisuhteen (v/s) ja vuodenajan valinnalla saavutetaan noin 50 päivän eli noin 1,7 kuukauden ajallinen säästö.



Taulukko 10. Rakennetyyppi VP-X:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) By2020.

VP-X				
	RH 70 %, +10°C		RH 50 %, +18°C	
Valupäivä	1.tammi	1.heinä	1.tammi	1.heinä
Jälkihoito kesto (pv)	14	14	14	14
Kuivatusjakso alkaa pv päästä valusta	14	90	14	90
Tasoitteen asennus (pv)	95	105	48	96
C25/30, 0,7 (v/s) (pv)	569	567	102	141
Tasoitteen asennus (pv)	90	110	41	97
C30/37, 0,6 (v/s) (pv)	560	565	80	129

### 3.3.2 Rakennetyyppi VP-Y

Rakennetyyppi VP-Y on paikallavalettu välipohjarakenne. Paikallavalun päälle levitetään tasoitekerros. Tarkemmat tiedot rakenteesta löytyvät liitteestä 1.

Tulokset ovat esitetty kootusti taulukossa 11. Laskenta on suoritettu By2020-laskentaohjelmalla. Tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 8. Tulokset sisältävät kuitenkin laskennan antamat tulokset ja kuivumisen käyrän, josta näkyvät eri vaiheessa kuivumista tapahtuvat muutokset (liite 8.).

Arvostelusyvyys A:n tulos mitataan 20 % syvyydeltä laatasta. Arvostelusyvyys B:n syvyys saadaan, kun arvostelusyvyiden A mitasta otetaan 40 %.

Rakenteessa huomataan hyvien ja huonojen olosuhteiden ero, joka on todella iso. Olosuhteiden väliin jää noin 1300 päivää eli 3,5 vuotta. Tässä huomataan, millainen vaikutus olosuhteilla on kyseisessä rakenteessa. Huonojen olosuhteiden tapauksessa kuivuminen kestää todella kauan, eikä se ole rakentamisen aikataulun kannalta realistinen. Tässä tapauksessa on syytä kiinnittää huomioita työmaan olosuhteisiin.

Hyvissä olosuhteissa kuivumisen kesto on rakentamisen kannalta realistinen. Vuodenajan valinnalla huomataan olevan vaikutusta noin 20–40 päivää ajallista säästöä tasoitteen asennuksen alkamiseen. Rakenne kuivuu tasoittamisen jälkeen samalla vauhdilla riippumatto

vuodenajan valinnasta, joten ajallista säästöä syntyy noin 20–50 päivää riippuen minkälaista vesi-sementtisuhdetta (v/s) käytetään.

Vesi-sementtisuhteella (v/s) on merkittävä vaikutus kuivumisprosessiin, koska tasoitteen asennusvaiheessa betonin hydrataatioreaktio on edennyt pitkälle. Vesi-sementtisuhteen merkitys huomataan tässä, koska 0,7 (v/s) huokokset eivät sulkeudu, kun taas 0,6 (v/s) huokokset sulkeutuvat ennen tasoitteen asentamista. Tasoitteessa oleva vesi ei pääse imeytymään yhtä helposti pienemmän vesi-sementtisuhteen betoniin kuin suuremman suhteen betoniin. Luvussa 2.4 on tarkemmin käsitelty betonin kastumista sekä luvussa 2.2 on käsitelty tarkemmin betonin huokoisrakennetta. Vesisementtisuhteen (v/s) muutoksella saavutetaan noin 65–77 päivän ajan säästö riippuen, mihin vuodenaikaan kyseinen valu toteutetaan.

Voidaan laskea kokonaisajan säästö, kun otetaan molemmat kuivumiseen liittyvät asiat käsitelyyn (Taulukko 11.). Jos rakenteeseen valitaan pienempi vesi-sementtisuhte (v/s) ja valun toteutusajaksi tammikuu, aikaa säästetään noin 105 päivää eli noin 3,4 kuukautta.

Tulosten perusteella suunnittelijoiden kannattaa harkita tarkasti tällaisten rakenteiden kohdalla vesi-sementtisuhdetta. Betoninlujuuden kasvattamisella saadaan vesi-sementtisuhteen pienennystä, joka auttaa rakenteen kuivumista.

Taulukko 11. Rakennetyyppi VP-Y:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) By2020.

VP-Y				
	RH 70 %, +10°C		RH 50 %, +18°C	
	1.tammi	1.heinä	1.tammi	1.heinä
Valupäivä				
Jälkihoito kesto (pv)	14	14	14	14
Kuivatusjakso alkaa pv päästä valusta	14	90	14	90
Tasoitteen asennus (pv)	550	550	260	280
C25/30, 0,7 (v/s) (pv)	1633	1644	311	338
Tasoitteen asennus (pv)	550	550	210	250
C30/37, 0,6 (v/s) (pv)	1422	1523	233	274

### 3.3.3 Rakennetyyppi VP-Z

Rakennetyyppi on liittorakenne, eli rakenteessa on liittolevy, jonka päälle tehdään betoni. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1.

Tulokset on esitetty kootusti taulukossa 12. Laskenta on suoritettu By2020-laskentaohjelmalla. Tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 9. Tulokset sisältävät kuinkin laskennan antamat tulokset ja kuivumisen käyrän, josta näkyvät eri vaiheessa kuivumista tapahtuvat muutokset (liite 9.).

Tuloksista huomataan, että kuivumisaika on pitkä jopa hyvissä olosuhteissa (Taulukko 11.). Laatta on vain yhteen suuntaan kuivuva, mistä tämä kuivumisen pitkä kesto johtuu. Liittolevy estää toisen suuntaan tapahtuvan kuivumisen.

Arvostelusyvyys A:n tulos mitataan 40 % syvyydeltä laatasta. Arvostelusyvyys B:n syvyys saadaan, kun arvostelusyvyiden A mitasta otetaan 40 %. Arvostelusyvyiden A mitta voi olla enintään 70 mm.

Hyvissä olosuhteissa laatan päälle voidaan asentaa tasoite, kun vesi-sementtisuhte (v/s) on 0,7 noin 355–390 päivän kuluttua rakenteen valamisesta. Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 tasoite voidaan asentaa noin 280–340 päivän kuluttua rakenteen valamisesta. Tasoitteen asennus on arvioitu tapahtuvan, kun rakenne alittaa molemmissa arvostelusyvyyksissä päällystämisen raja-arvot. Päällystäminen voidaan aloittaa vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7 noin 414–447 päivän kuluessa valusta tai noin 60–70 päivän kuluttua tasoitteen asennuksesta. Vesi-sementtisuhteella (v/s) 0,6 päällystäminen voidaan aloittaa noin 300–360 päivän kuluttua valusta tai noin 20–25 päivän kuluttua tasoitteen asennuksesta. Vuodenaika vaikuttaa vähemmän isomman vesi-sementtisuhteen (v/s) betonin kuivumiseen kuin pienemmän suhteen omaavaan betoniin. Vuodenaika nopeuttaa kuivumista 35 päivää vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7. Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 vuodenaika nopeuttaa kuivumista 60 päivää.

Rakenteen kuivumisessa huomataan, että vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa pienempi tasoitteen asennuksesta johtuvaa kosteuden imeytymistä tapahtuu vähemmän kuin hieman suuremman suhteen omaavassa betonissa. Tämä voidaan todeta, kun vertaillaan kuivumisaikaa tasoitteen asennuksesta päällystämisen aloittamiseen.

Huonoissa olosuhteissa rakenteen kuivuminen on todella hidasta. Voidaan siis todeta, että olosuhteisiin tulee kiinnittää erityistä huomiota, kun rakennetaan tällaisia rakenteita. Tuloksista nähdään, että kuivuminen vie noin 2000 päivää eli noin 5,4 vuotta.

Kuivumisaikaan voidaan vaikuttaa vesi-sementtisuhteen (v/s) valinnalla ja vuodenajan valinnalla. Lämpötilan ja kosteusolosuhteiden parantamisella voidaan myös nopeuttaa kuivumista. Kuivumisolosuhteista on tarkemmin luvussa 2.5.

Taulukko 12. Rakennetyyppi VP-Z:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) By2020.

VP-Z				
	RH 70 %, +10°C		RH 50 %, +18°C	
	1.tammi	1.heinä	1.tammi	1.heinä
Valupäivä	1.tammi	1.heinä	1.tammi	1.heinä
Jälkihoito kesto (pv)	14	14	14	14
Kuivatusjakso alkaa pv päästä valusta	14	90	14	90
Tasoitteen asennus (pv)	850	900	355	390
C25/30, 0,7 (v/s) (pv)	2115	1100*	414	447
Tasoitteen asennus (pv)	750	800	280	340
C30/37, 0,6 (v/s) (pv)	1940	1000*	303	360
*vain A-arvostelusyvytydellä kriittinen RH% alitetaan kuluneessa ajassa (pv)				

## 4 KUIVUMISAJAN ARVIO MERIKALLION LASKENTAMENETELMÄLLÄ

### 4.1 Laskennassa käytetyt arvot

Laskennassa käytetään samoja lähtöarvoja kuin By2020-ohjelmalla lasketuissa kuivumisaika-arvioissa. Tulosten vertailu toistensa kanssa on näin helpompaa. Vertailussa nähdään laskentamenetelmien erot paremmin samanlaisilla lähtöarvoilla.

Laskenta antaa suoraan kuivumisaajan. Arvioita laskettaessa tasoitteen vaikutusta kuivumiseen ei huomioida. Merikallio arvio tasoitteen kuivuvan noin 5 mm/vk. Tämän takia laskennan antamaan tulokseen tulee lisätä 1–2 viikko kuivumisaikaa olosuhteitten mukaan, jotta voidaan olla varmoja kuivumisesta. Kuivumisaajat ovat kuitenkin vain arvioita, joten ennen päällystämistä tulee rakenteen todellinen kosteus selvittää mittaamalla.

### 4.2 Alapohjarakenteet

#### 4.2.1 Rakennetyyppi AP-X

Laskennassa tarkasteltiin rakennetyyppiä AP-X. Rakenne on maanvarainen ja yhteen suuntaan kuivuva. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1. Kuivumisaika-arvio on laskettu Merikallion taulukkomenetelmällä. Taulukkoon 13. on kerätty laskennan antamat tulokset. Tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 4. Tulokset on annettu viikoissa. Laskenta alkaa, kun betonimassa on valettu rakenteeseen.

Tuloksista huomataan olosuhteiden vaikutus kuivumiseen. Huonoissa olosuhteissa betonirakenne on valmis päällystettäväksi 14–28,6 viikon kuluessa riippuen vesi-sementtisuhteesta (v/s). Hyvissä olosuhteissa betonirakenne voidaan päällystää 9–18,4 viikon kuluessa riippuen vesi-sementtisuhteesta. Olosuhteiden vaikutus lisää 5–10 viikkoa kuivumisaikaan riippuen käytetystä vesi-sementtisuhteesta (v/s).

Vesi-sementtisuhte nopeuttaa kuivumisprosessi huomattavasti hyvissä olosuhteissa. Rakenne kuivuu kaksi kertaa nopeampaa 0,6 (v/s) kuin suuremmalla vesi-sementtisuhteella. Tämä johtuu vesi-sementtisuhteen (v/s) muodostamasta huokosrakenteesta betonimassa. Tätä aihetta on käsitelty tarkemmin luvussa 2.

Taulukko 13. Rakennetyyppi AP-X:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) (taulukkomenetelmä).

<b>AP-X</b>		
olosuhteet	RH 70 %, +10°C	RH 50 %, +18°C
Jälkihoito kesto (vk)	2	2
C25/30, 0,7 (v/s) (vk)	28,6	18,4
C30/37, 0,6 (v/s) (vk)	14	9
Tuloksiin lisättävä 1 viikko tasoitteesta aiheutuvasta kosteuslisästä.		

#### 4.2.2 Rakennetyyppi AP-Y

Rakennetyyppi AP-Y on ontelolaattarakenteinen ryömintätilallinen alapohja. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1. Kuivumisaika-arvio on laskettu Merikallion taulukkomenetelmällä. Taulukkoon 14. on kerätty laskennan antamat tulokset. Tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 5. Tulokset ovat annettu viikoissa.

Huonoissa olosuhteissa rakenne on päällystämiseen valmis 21,8–31,5 viikossa. Hyvissä olosuhteissa rakenne on päällystämiseen valmis 14–21,8 viikossa. Hyvien ja huonojen olosuhteiden ero on huomattava, joten aikaa säästetään 8–10 viikkoa aikaa olosuhteiden huomioimisella kuivumisprosessin aikana.

Vesi-sementtisuhte nopeuttaa kuivumista. Suhdetta pienentämällä saadaan kuivumisaikaa lyhyemmäksi. Tätä on käsitelty aiemmin luvussa 2. Tässä tapauksessa kuivuminen nopeutui noin 6–10 viikkoa riippuen olosuhteista.

Vesi-sementtisuhteen valinnalla ja olosuhteiden seurannalla voidaan säästää jopa 17 viikkoa. Tämä tarkoittaa noin 4,2 kuukauden säästöä ajassa.

Taulukko 14. Rakennetyyppi AP-Y:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) (taulukkomenetelmä).

<b>AP-Y</b>		
olosuhteet	RH 70 %, +10°C	RH 50 %, +18°C
Jälkihoito kesto (vk)	2	2
C25/30, 0,7 (v/s) (vk)	31,5	20,3
C30/37, 0,6 (v/s) (vk)	21,8	14
Tuloksiin lisättävä 1 viikko tasoitteesta aiheutuvasta kosteuslisästä.		

#### 4.2.3 Rakennetyyppi AP-Z

Rakennetyyppi AP-Y on kololaattarakenteinen ryömintätilallinen alapohja, joka on märkätilassa. Rakenteen päälle tullaan levittämään tasoite ennen vedenerityksen asennusta. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1. Tulokset on esitetty koottuna (Taulukko 15.). Kuivumisaika-arvio on laskettu Merikallion taulukkomenetelmällä. Tulokset ovat annettu viikoissa. Tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 6.

Rakenteeseen asennettavan vedenerityksen takia kriittisenä päällystämisen arvona käytetään RH 90 %. Kriittinen päällystämisen raja-arvo tulee tarkistaa aina valmistajalta ennen vedenerityksen asennusta. Eräs valmistaja sallii päällystämisen, kun betonilaatan suhteellinen kosteus on RH 90 %.

Hyvissä olosuhteissa vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7 kuivumiseen kuluu noin 18,6 viikkoa. Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 kuivumiseen kuluu noin 10,8 viikkoa. Vedeneritys voidaan asentaa noin 11–19 viikon kuluttua riippuen vesi-sementtisuhteesta (v/s).

Huonoissa olosuhteissa kuivumiseen menee huomattavasti kauemmin. Näissä olosuhteissa kuivumiseen menee noin kaksinkertainen aika verrattuna hyviin olosuhteisiin. Vedenerityksen asennus voidaan aloittaa vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7 noin 28,3 viikon kuluttua. Vesi-sementtisuhteen ollessa 0,6 asennus voidaan aloittaa noin 15,3 viikon kuluttua.

Taulukko 15. Rakennetyyppi AP-Z:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) (taulukkomenetelmä).

<b>AP-Z</b>		
olosuhteet	RH 70 %, +10°C	RH 50 %, +18°C
Jälkihoito kesto (vk)	2	2
C25/30, 0,7 (v/s) (vk)	27,3	17,6
C30/37, 0,6 (v/s) (vk)	15,3	9,8
Tuloksiin lisättävä 1 viikko tasoitteesta aiheutuvasta kosteuslisästä.		

### 4.3 Välipohjarakenteet

#### 4.3.1 Rakennetyyppi VP-X

Rakennetyyppi VP-X on ontelolaatta välipohja. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1. Kuivumisaika-arvio on laskettu Merikallion taulukkomenetelmällä. Taulukkoon 16. on kerätty laskennan antamat tulokset. Tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 7. Tulokset on annettu viikoissa.

Tuloksista huomataan, että rakennetyyppi AP-Y ja VP-X ovat samanlaiset rakenteet. Laskennassa tai tuloksissa ei tule eroavaisuuksia. Laskenta ei huomioi, onko kyseessä alapohja- vai välipohjarakenne. Laskennassa ei oteta huomioon rakenteen sijaintia rakennuksessa.



Taulukko 16. Rakennetyyppi VP-X:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) (taulukkomenetelmä).

VP-X		
olosuhteet	RH 70 %, +10°C	RH 50 %, +18°C
Jälkihoito kesto (vk)	2	2
C25/30, 0,7 (v/s) (vk)	31,5	20,3
C30/37, 0,6 (v/s) (vk)	21,8	14
Tuloksiin lisättävä 1 viikko tasoitteesta aiheutuvasta kosteuslisästä.		

#### 4.3.2 Rakennetyyppi VP-Y

Rakennetyyppi VP-Y on paikallavalettu välipohjarakenne, joka on kahteen suuntaan kuivuva. Paikallavalun päälle levitetään tasoitekerros. Kuivumisaika-arvio on laskettu Merikallion taulukkomenetelmällä. Taulukkoon 17. on kerätty laskennan antamat tulokset. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1.

Huonoissa olosuhteissa päällystämisen voi aloittaa vasta 80,1–151 viikon kuluttua riippuen vesisementtisuhteesta. Hyvissä olosuhteissa päällystämisen voi aloittaa 42,4–79,9 viikon kuluttua.

Vesi-sementtisuhteen muutoksella saavutaan paljon etua. Suhteen muutoksella voidaan säästää noin 36–70 viikkoa riippuen olosuhteista eli noin 0,7–1,34 vuotta.

Tuloksista voidaan todeta rakenteen olevan paksu, koska kuivuminen vie todella kauan. Työmaalla on otettava huomioon rakenteen hidas kuivuminen. Ennen päällystämistä on syytä varmistaa, että rakenne on todella kuivunut. Kuivumista rakenteessa voidaan nopeuttaa nostamalla lämpötilaa muutaman asteen ja vesi-sementtisuhteen pienentämisellä.

Taulukko 17. Rakennetyyppi VP-Y:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) (taulukkomenetelmä).

VP-Y		
olosuhteet	RH 70 %, +10°C	RH 50 %, +18°C
Jälkihoito kesto (vk)	2	2
C25/30, 0,7 (v/s) (vk)	151	79,9
C30/37, 0,6 (v/s) (vk)	80,1	42,4
Tuloksiin lisättävä 1 viikko tasoitteesta aiheutuvasta kosteuslisästä.		

#### 4.3.3 Rakennetyyppi VP-Z

Rakennetyyppi VP-Z on liittolaattarakenne eli rakenteessa on teräksinen liittolevy, jonka päälle valetaan betonilaatta. Betonilaatan päälle asennetaan tasoite ennen päällystämistä. Kuivumisaika-arvio on laskettu Merikallion taulukkomenetelmällä. Taulukkoon 18. on kerätty laskennan antamat tulokset. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1.

Hyvissä olosuhteissa rakenteen kuivumisaika on 112 viikkoa vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7. Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 kuivumisaika on 54,4 viikkoa. Tuloksiin tulee lisätä yksi viikkoa lisää kuivumisaikaa, koska laskennassa ei oteta tasoitteen asennuksesta johtuvaa kosteuslisää huomioon.

Huonoissa olosuhteissa rakenteen kuivumisaika vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7 on 211,7 viikkoa eli noin 4 vuotta. Vesisementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 kuivumisaika on 103 viikkoa. Tulokseen ei sisälly tasoitteen asennuksesta johtuvaa kosteuslisää, joten kuivumisaikaan pitää lisätä yksi viikko lisää.

Taulukko 18. Rakennetyyppi VP-Z:n kuivumisaika-arvio eri olosuhteissa ja vesi-sementtisuhteella (v/s) (taulukkomenetelmä).

<b>VP-Z</b>		
olosuhteet	RH 70 %, +10°C	RH 50 %, +18°C
Jälkihoito kesto (vk)	2	2
C25/30, 0,7 (v/s) (vk)	174,3	112,1
C30/37, 0,6 (v/s) (vk)	84,6	54,4
Tuloksiin lisättävä 1 viikko tasoitteesta aiheutuvasta kosteuslisästä.		

## 5 KUIVUMISAJAN ARVIOIDEN VERTAILU

### 5.1 Laskentamenetelmien erot

Laskentamenetelmissä on paljon eroja johtuen siitä, että menetelmät on tehty eri vuosikymmenillä. Merikallion menetelmää tehdessä tietokonepohjaiset simulaatiot olivat kalliita ja vaikeita toteuttaa. Kahden vuosikymmenen aikana on tapahtunut huomasti kehitystä tietokonesimulaatioissa. Merikallion menetelmä on tehty vuonna 2002. Suomen Betoniyhdistys on tehnyt By2020 kuivumisaika-arvio-ohjelman vuonna 2020.

Merikallion menetelmässä ei oteta huomioon vuodenaikaa eikä tasoitteen asennuksesta johtuvaa kosteuslisäystä, joka pidentää kuivumisaikaa. Merikallion menetelmässä betonin suhteellinen kosteus RH% lasketaan arvostelusyvyydelle A. Laskennasta ei saada arvostelusyvyydelle B kuivumisaikaa. Menetelmällä voidaan laskea liittorakenteita sekä kelluvia betonilattioita, joita By2020-ohjelmassa ei ole. Menetelmästä on helppoa tehdä Excel-laskentapohja.

By-2020-ohjelmassa voidaan laittaa tasoitteen asennukselle haluttu päivänmäärä betonin valamisesta. By2020-ohjelma sisältää paljon tietoa, jonka avulla se simuloi betonirakenteen kuivumista. By2020-ohjelmassa ei ole liittorakennetta eikä kelluvaa laattarakennetta. Ohjelmassa voidaan silti laskea nämä rakennetyypit. Välipohjarakenteesta voidaan tehdä vain yhteen suuntaan kuivuva, jolloin se on käytännössä samankaltainen rakenne kuivumisprosessin kannalta kuin liittolaatta. Kelluva laatta voidaan simuloida kuorilaattana. Tällöin pitää kuitenkin huomioida, että simulaatio ei välttämättä vastaa todellista tilannetta, koska kelluva lattiarakenne tehdään yleensä ontelolaatan päälle. Kuivumisprosessi on kuitenkin pääperiaatteiltaan samankaltainen kyseisillä rakenteilla.

Merikallion menetelmä on helpompikäyttöinen kuin By2020-ohjelma, koska hänen kirjassaan *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi (2002)* avataan arviointiprosessi helposti myös vähemmän kokeneelle henkilölle. Kaikki Merikallion menetelmän tiedot ovat kyseisessä kirjassa. Kirjassa on myös valmiit kuivumisaika-arviot valituilla olosuhteilla ja niiden kuivumiskäyrät. Lukiessa kirjaa tulee huomioida, että kerrotut asiat ovat voineet muuttua, koska kirja on vanha. By2020-ohjelma on Betoniyhdistyksen tekemä ohjelma, joka toimii

tietokoneella ja vaatii lisenssin. Itse ohjelma on kyllä helppokäyttöinen mutta tietämystä kuivumisprosessista tarvitaan hieman enemmän. Molemmat ovat hyviä menetelmiä.

## 5.2 Alapohjarakenteet

### 5.2.1 Rakennetyyppi AP-X

Rakennetyyppi AP-X on maanvarainen alapohja. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1 ja kuivumisaika laskennat liitteestä 2. Taulukossa 19. on kerätty tiedot By2020-ohjelman ja Merikallion taulukkomenetelmän antamista tuloksista. Tarkemmat tulosten läpikäynnit esiteltiin kappaleissa 4.2 ja 4.3.

Tuloksia vertailemalla huomataan, että Merikallion menetelmä antaa huonommille olosuhteille lyhyemmän kuivumisaika-arvion kuin By2020-ohjelma. By2020-ohjelma antaa vain kuivumisaika-arvion arvostelusyvyydelle A, koska arvostelusyvyydellä B ei aliteta kriittistä raja-arvoa simulaation aikana.

Hyvissä olosuhteissa menetelmillä ei ole suurta ero tuloksissa. Vuodenaika, jolloin betonin kuivuminen on alkanut, tekee isoimmat erot kuivumisaikaan. Merikallion menetelmä ei huomioi vuodenajan vaikutusta.

Rakennetyypin kuivumiseen tarvitaan hyvissä olosuhteissa noin 20 viikkoa suuremmalla vesisementtisuhteella (v/s). Vesisementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 kuivumisaikaa voidaan muuttamalla viikolla pienentää (Taulukko 17.).

Huonoissa olosuhteissa rakennetyypin kuivumisajan määrittäminen on haasteellista, koska BY2020-ohjelmalla tehdyllä simulaatiolla vain arvostelusyvyydellä A alitetaan päällystämiskosteuden kriittinen raja-arvo. Tämä on käyty tarkemmin läpi aiemmin alaluvussa 3.2.2. Arvioiden välinen erotus on noin 10–15 viikkoa. Voidaan todeta, että huonoissa olosuhteissa kuivumisen arviointi on vaikeampaa kuin hyvissä.

Taulukko 19. Rakennetyypin AP-X kuivumisaika vertailu.

<b>AP-X</b>			
Päällystämisen arvioitu aloitus eri laskentamenetelmillä. (viikossa)		<b>olosuhteet</b>	
		RH 70 %, +10°C	RH 50 %, +18°C
<b>merikallion taulukko menetelmä</b>	C25/30, 0,7 (v/s)	29,6	19,4
	C30/37, 0,6 (v/s)	22,8	15
<b>by2020 kuivumisaika-arvio</b>	C25/30, 0,7 (v/s) tammikuu	48,6*	19,4
	C25/30, 0,7 (v/s) heinäkuu	51,4*	24,6
	C30/37, 0,6 (v/s) tammikuu	48,6*	14,1
	C30/37, 0,6 (v/s) heinäkuu	51,4*	20,6
*vain A-arvostelusyvytydellä kriittinen RH 85 %:n raja-arvo alitetaan kuluneessa ajassa. Merikallion menetelmän tuloksiin lisätty 1 vk kuivumisaikaa.			

### 5.2.2 Rakennetyyppi AP-Y

Rakennetyyppi AP-Y on ontelolaatta rakenteinen ryömintätillinen alapohja. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1 ja kuivumisaikalaskennat liitteestä 5. Taulukossa 20. on kerätty tiedot By2020-ohjelman ja Merikallion taulukkomenetelmän antamista tuloksista. Tarkemmat tulosten läpikäynnit esiteltiin luvuissa 4.2 ja 4.3.

Tuloksia katsomalla huomataan, että rakennetyypit VP-X ja AP-Y rakennetyypit ovat Merikallion menetelmän laskennassa samanlaiset (Taulukko 18. ja 19.), koska menetelmä ei ota huomioon, missä rakenne sijaitsee. Menetelmässä oletetaan, että molemmilla puolilla rakennetta on samat olosuhteet. By2020-ohjelman tuloksia vertailemalla rakennetyyppien välillä huomataan, että ohjelma ottaa huomioon ryömintätillasta tulevan kosteuden rakenteeseen. Ryömintätillan kosteuspitoisuus riippuu vuodenajasta. Vuodenajan vaikutusta kosteuspitoisuuden tarkastellaan luvussa 2.5. Luvun taulukkoon 4. on kerätty noin 30 vuoden ajalta kuu-kausikohtaiset keskiarvot lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta.

Tuloksia vertailemalla voidaan todeta, että laskentamenetelmät antavat hyvin samankaltaiset kuivumisaika-arviot hyvissä olosuhteissa. Huonoissa olosuhteissa menetelmien tulokset ovat

erittäin kaukana toisistaan. Merikallion menetelmässä kuivumisaika-arvio annetaan vain arvostelusyvyydelle A.

Huonoissa olosuhteissa ilman suhteellinen kosteus on lähellä päällystämisen kriittistä raja-arvoa, mikä tarkoittaa, että betonin pintakerroksen on päästävä lähes tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa. Pintakerros kuivuu hitaammin, koska osapaine-erot ovat pienet, joten diffuusiolla siirtyvän kosteuden nopeus pienentyy huomattavasti.

Tuloksista voidaan todeta, että hyvissä olosuhteissa vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 kuivumisaika on noin 15–19 viikkoa riippuen vuodenajasta. Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7 kuivumisaika on 16–21 viikkoa riippuen vuodenajasta. Huonoissa olosuhteissa kuivumisajan määrittäminen on hyvin haastavaa, koska tulokset ovat hyvin kaukana toisistaan. By2020-ohjelman ottaessa enemmän asioita huomioon laskennassa voidaan arvioida, että todellinen kuivuminen on lähempänä ohjelman antamia tuloksia kuin Merikallion menetelmää. Varmuuden saamiseksi tulisi tehdä kokeellisia mittauksia, jotta voidaan todeta, kumpaa menetelmää lähempänä tulokset ovat. Tällaisia kuivumisolosuhteita tulisi kuitenkin välttää mahdollisimman paljon.

Taulukko 20. Rakennetyypin AP-Y kuivumisaika vertailu.

<b>AP-Y</b>			
Päällystämisen arvioitu aloitus eri laskentamenetelmillä. (viikossa)		olosuhteet	
		RH 70 %, +10°C	RH 50 %, +18°C
<b>merikallion taulukko menetelmä</b>	C25/30, 0,7 (v/s)	32,5	21,3
	C30/37, 0,6 (v/s)	22,8	15
<b>by2020 kuivumisaika-arvio</b>	C25/30, 0,7 (v/s) tammikuu	104,7	15,3
	C25/30, 0,7 (v/s) heinäkuu	93,9	20,9
	C30/37, 0,6 (v/s) tammikuu	82,9	11,6
	C30/37, 0,6 (v/s) heinäkuu	94,57	18,6
Merikallion menetelmän tuloksiin lisätty 1 vk kuivumisaikaa.			

### 5.2.3 Rakennetyyppi AP-Z

Rakennetyyppi AP-Z on kololaattarakenteinen välipohja. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1 ja kuivumisaikalaskennat liitteestä 6. By2020-ohjelman ja Merikallion taulukkomenetelmän tulokset on kerätty vertailun helpottamiseksi samaan taulukkoon (Taulukko 21.) Tarkemmat tulosten läpikäynnit ovat ylempänä luvuissa 3.2 ja 4.2.

Tuloksista voidaan todeta, että hyvissä olosuhteissa kuivumisajat ovat samansuuruiset. Paitsi Merikallion menetelmä antaa kuitenkin pienemmälle vesi-sementtisuhteelle (v/s) huomattavasti nopeamman kuivumisen kuin By2020-ohjelma. Merikallion menetelmä ei huomioi, että rakenne on ryömintätilainen ja rakenteen molemmilla puolilla on erilaiset olosuhteet. Ryömintätilassa saattaa olla hyvinkin korkea suhteellinen kosteus, joka hidastaa rakenteen kuivumista alaspäin tai estää sen kokonaan. Merikallion menetelmässä ei huomioida, että rakenteen alapuolelle pitää tulla eristettä, joka myös hidastaa kuivumista alaspäin. Tärkein kuivumissuunta on ylöspäin. Tämän takia kuivumisaika betonille on hiukan korkeampi kuin 10,8 viikkoa. Tämä sama asia korostuu, kun tarkastellaan huonojen olosuhteiden tuloksia.

Hyvissä olosuhteissa vedenerityksen asentaminen voidaan aloittaa vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7 noin 20–26 viikon kuluttua. Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 asennus voidaan aloittaa noin 15–23 viikon kuluttua.

Huonoissa olosuhteissa vedeneristyksen asentaminen voidaan aloittaa vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7 noin 30–41 viikon kuluttua. Vesi-sementtisuhteen ollessa 0,6 asennus voidaan aloittaa noin 20–38 viikon kuluttua. Huonoissa olosuhteissa huomataan, että kuivumisen arviointi ei ole helppoa, koska aikavälit kuivumisen arvioiden välillä ovat suuret.



Taulukko 21. Rakennetyypin AP-Z kuivumisaika vertailu.

<b>AP-Z</b>			
Päällystämisen arvioitu aloitus eri laskentamenetelmillä. (viikossa)		olosuhteet	
		RH 70 %, +10°C	RH 50 %, +18°C
<b>merikallion taulukko menetelmä</b>	C25/30, 0,7 (v/s)	28,3	18,6
	C30/37, 0,6 (v/s)	16,3	10,8
<b>by2020 kuivumisaika-arvio</b>	C25/30, 0,7 (v/s) tammikuu	40,0	21,4
	C25/30, 0,7 (v/s) heinäkuu	41,4	25,7
	C30/37, 0,6 (v/s) tammikuu	32,9	17,1
	C30/37, 0,6 (v/s) heinäkuu	38,6	22,9
Merikallion menetelmän tuloksiin lisätty 1 vk kuivumisaikaa.			

### 5.3 Välipohjarakenteet

#### 5.3.1 Rakennetyyppi VP-X

Rakennetyyppi VP-X on ontelolaattarakenteinen välipohja. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1 ja kuivumisaikalaskennat liitteestä 7. Taulukoon 22. on kerätty tiedot By2020-ohjelman ja Merikallion taulukkomenetelmän antamista tuloksista. Tarkemmat tulosten läpikäynnit ovat ylempänä luvuissa 4.2 ja 4.3.

Tuloksia katsomalla huomataan, että rakennetyypit VP-X ja AP-Y rakennetyypit ovat Merikallion menetelmän laskennassa samanlaiset (Taulukko 20. ja 22.). Rakennetyypissä AP-Y on avattu tarkemmin tämä asia.

Tuloksista huomataan, että hyvissä olosuhteissa molemmilla menetelmillä saadaan hyvin samankaltaiset tulokset. By2020-ohjelman tuloksista huomataan vuodenajalla vaikutus kuivumiseen. Hyvissä olosuhteissa rakennetyypin kuivumisaika on noin 15–20 viikkoa vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7. Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 kuivumisaika on noin 12–18 viikkoa.

Huonoissa olosuhteissa huomataan, että menetelmien antamien tulosten välille syntyy eroja. Menetelmien erot ovat kuitenkin hieman pienempiä kuin rakennetyypillä AP-Y saadut tulokset. Tuloksista huomataan, että huonoissa olosuhteissa kuivumisen arviointi on tässäkin tapauksessa hyvin hankalaa. By2020-ohjelman ottaessa enemmän asioita huomioon voidaan tehdä oletus, että kuivuminen olisi lähempänä näitä tuloksia kuin Merikallion menetelmän tuloksia. Varmuuden saamiseksi tulisi tehdä kokeellisia mittauksia, että voidaan todeta, kumpaa menetelmää lähempänä tulokset ovat. Tällaisia kuivumisolosuhteita tulisi kuitenkin välttää mahdollisimman paljon.

Taulukko 22. Rakennetyypin VP-X kuivumisaika vertailu.

<b>VP-X</b>			
Päällystämisen arvioitu aloitus eri laskentamenetelmillä. (viikossa)		olosuhteet	
		RH 70 %, +10°C	RH 50 %, +18°C
<b>merikallion taulukko menetelmä</b>	C25/30, 0,7 (v/s)	32,5	21,3
	C30/37, 0,6 (v/s)	22,8	15
<b>by2020 kuivumisaika-arvio</b>	C25/30, 0,7 (v/s) tammikuu	81,3	14,6
	C25/30, 0,7 (v/s) heinäkuu	81,3	20,1
	C30/37, 0,6 (v/s) tammikuu	80	11,4
	C30/37, 0,6 (v/s) heinäkuu	80,7	18,4
Merikallion menetelmän tuloksiin lisätty 1 vk kuivumisaikaa.			

### 5.3.2 Rakennetyyppi VP-Y

Rakennetyyppi VP-Y on paikallavalettu välipohja. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1 ja kuivumisaikalaskennat liitteestä 11. Taulukkoon 23. On kerätty tiedot By2020-ohjelman ja Merikallion taulukkomenetelmän antamista tuloksista. Tarkemmat tulosten läpikäynnit ovat ylempänä luvuissa 4.2 ja 4.3.

Tuloksista huomataan kuivumisen kestävän kauan, vaikka kyseessä on kahteen suuntaan kuivuva rakenne (Taulukko 20.). Huomataan, että hyvien olosuhteiden arviot ovat hyvin lähellä toisiaan, ja ainut poikkeus on Merikallion menetelmän kohdalla, kun vesi-sementtisuhte (v/s) on 0,7. Laskenta antaa tälle muihin nähden kaksinkertaisen tuloksen.

Hyvissä olosuhteissa huomataan, että tällaisissa rakenteissa ei ole suhteessa niin paljon hyötyä vuodenajasta kuin aiemmin käsitellyissä rakennetyypeissä. Vuodenajasta saatu hyöty on noin 5–6 viikkoa. Tästä tarkastelusta ei oteta huomioon Merikallion menetelmän antamaa tulosta vesi-sementtisuhteella (v/s) 0,7, koska voidaan tulosten perusteella olettaa, että kuivuminen on nopeampaa. Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 voidaan todeta kuivumisajaksi noin 34–42 viikkoa. Vesi-sementtisuhteen ollessa 0,7 voidaan arvioida kuivumisajaksi 45–48 viikkoa.

Huonoissa olosuhteissa kuivuminen vie todella kauan. Merikallion menetelmä antaa vain arvostelusyvyydelle A kuivumisaika-arvion, joten tämän takia tuloksissa on suuria eroja. Rakenteen kuivuminen vie monta vuotta, jos olosuhteet pysyvät huonoina. Tällaisilla rakenteilla on syytä kiinnittää erityisesti huomiota olosuhteisiin. Kuivumisaika-arvion tekeminen huonoissa olosuhteissa on hyvin vaikeaa. Kuivumisaika on tulosten antamassa välissä, mutta tapauskohtaista. Tällaiset olosuhteet vaatisivat tarkempaa tutkimusta. Arvion antaminen näin isolle pitkälle ajalle ei ole järkevää.

Taulukko 23. Rakennetyypin VP-Y kuivumisaikavertailu.

<b>VP-Y</b>			
Päällystämisen arvioitu aloitus eri laskentamenetelmillä. (viikossa)		olosuhteet	
		RH 70 %, +10°C	RH 50 %, +18°C
<b>merikallion taulukko menetelmä</b>	C25/30, 0,7 (v/s)	152	80,9
	C30/37, 0,6 (v/s)	81,1	43,4
<b>by2020 kuivumisaika-arvio</b>	C25/30, 0,7 (v/s) tammikuu	233,3	44,4
	C25/30, 0,7 (v/s) heinäkuu	234,9	48,3
	C30/37, 0,6 (v/s) tammikuu	203,1	33,3
	C30/37, 0,6 (v/s) heinäkuu	217,6	39,1
Merikallion menetelmän tuloksiin lisätty 1 vk kuivumisaikaa.			

### 5.3.3 Rakennetyyppi VP-Z

Rakennetyyppi VP-Z on liittorakenteinen välipohja. Rakenne koostuu teräksisestä liittolevystä ja betonilaatasta. Tarkemmat tiedot rakennetyypistä löytyvät liitteestä 1. ja

kuivumisaikalaskennat liitteestä 12. Taulukkoon 24. on kerätty tiedot By2020-ohjelman ja Merikallion taulukkomenetelmän antamista tuloksista. Tarkemmat tulosten läpikäynnit ovat ylempanä luvuissa 4.2 ja 4.3.

Tuloksista huomataan rakenteen kuivumisen kestävän kauan. Kuivumisen keston vaikuttavat rakenteen paksuus sekä kuivumissuuntien määrä. Rakenne kuivuu vain yhteen suuntaan, mikä lisää kuivumisaikaa huomattavasti. Kuivumisen hidastumisen huomataan, kun verrataan rakennetyyppejä VP-X tähän rakennetyyppiin. VP-X on kahteen suuntaan kuivuva rakenne. VP-X on kuitenkin paksumpi rakenne kuin VP-Z. VP-Z:n paksuus on vain 2/3 VP-X paksuudesta. Tästä voidaan todeta konkreettisesti kuivumissuuntien määrän vaikutus rakenteen kuivumisaikaan.

Hyvissä olosuhteissa kuivumiseen kuluu vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,7 noin 60–65 viikkoa riippuen vuodenajasta. Tässä ei huomioida Merikallion menetelmän antamaa tulosta. Merikallion menetelmässä peruskuivumiskäyrä antaa rakenteelle 83 viikkoa kuivumisaikaa, ja kun tähän lisätään kertoimet rakennetyypistä ja olosuhteista, saadaan kuivumisajaksi 122,1 viikkoa. Tässä olisi lisätutkimuksen paikka. Rakennetyypille on vaikea arvioida kuivumisaikaa varmuudella, jos näitä kahta menetelmää verrataan. Vertailemalla muita tuloksia voidaan arvioida, että kuivumiseen kuluva aika on lähempänä By2020-ohjelman antamia tuloksia.

Vesi-sementtisuhteen (v/s) ollessa 0,6 hyvissä olosuhteissa kuivumiseen kuluu noin 44–55 viikkoa riippuen vuodenajasta. Tässä tapauksessa Merikallion menetelmällä ja By2020-ohjelmalla päästään lähes samoihin tuloksiin. Tuloksista voidaan todeta kuivumisen tapahtuvan edellä mainitun ajan kuluessa.

Huonoissa olosuhteissa rakenteen kuivuminen tapahtuu todella hitaasti. Tuloksia vertailtaessa huomataan, että näissä olosuhteissa on hankalaa arvioida kuivumiseen kuluva aikaa. Lyhimmilläänkin kuivumiseen kuluu 85,7 viikkoa eli noin 1,7 vuotta. Tällaisilla rakenteilla on syytä kiinnittää erityistä huomiota olosuhteisiin.

Taulukko 24. Rakennetyypin VP-Z kuivumisaikavertailu.

<b>VP-Z</b>			
Päällystämisen arvioitu aloitus eri laskentamenetelmillä. (viikossa)		<b>olosuhteet</b>	
		RH 70 %, +10°C	RH 50 %, +18°C
<b>merikallion taulukko menetelmä</b>	C25/30, 0,7 (v/s)	175,3	112,1
	C30/37, 0,6 (v/s)	85,7	54,4
<b>by2020 kuivumisaika-arvio</b>	C25/30, 0,7 (v/s) tammikuu	302,1	59,1
	C25/30, 0,7 (v/s) heinäkuu	157*	63,9
	C30/37, 0,6 (v/s) tammikuu	277,1	43,3
	C30/37, 0,6 (v/s) heinäkuu	157*	51,4
*vain A-arvostelusyvytydellä kriittinen RH% alitetaan kuluneessa ajassa Merikallion menetelmän tuloksiin lisätty 1 vk kuivumisaikaa.			

## 6 TULOSTEN POHDINTAA

Tuloksista huomataan erilaisten rakenteiden erot kuivumisessa. Huomataan myös, mitkä ominaisuudet nopeuttavat eniten kuivumista sekä millaiset olosuhteet ovat parhaat kuivumisen kannalta. Tuloksista huomataan lisäksi kuivumissuuntien merkitys kuivumisaikaan. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat rakennetyypit VP-Y ja VP-Z. Rakennetyypissä VP-Y kuivuminen tapahtuu alaspäin ja ylöspäin, kun taas VP-Z:ssä vain ylöspäin. Yhden kuivumissuunnan puuttuminen hidastaa kuivumista huomattavasti. Tämän kaltaisissa rakenteissa olisi hyvä pohtia, voidaanko rakennetta muuttaa jotenkin, että se olisi parempi kuivumisen kannalta. Esimerkiksi vesi-sementtisuhteen (v/s) muutos voisi olla hyvä ratkaisu, jos rakennetta ei voida muuten muuttaa. Vesi-sementtisuhdetta ei voida kuitenkaan laskea kovin alas, koska betonin pintavaatimuksiin pääseminen on tällöin hankalaa.

Tuloksissa ontelolaattarakennetyyppien kuivumisaika-arvioista voidaan todeta, että ontelolaatat ovat hyvä ratkaisu, jos halutaan nopeuttaa kuivumiseen menevää aikaa rakenteellisilla ratkaisuilla. Ontelolaattojen päälle voidaan tehdä ohuempi pintavalu tai vain tasoittaa pinta tasoitteella. Kuivumiseen menee tällöin huomattavan paljon vähemmän aikaa kuin paikalla-valettuun massiivilaattaan. Märkätilojen kohdalla pitää ontelolaatoista tehdä kololaattoja, joihin tulee enemmän valua, mutta märkätilojen päällystämisen raja-arvot ovat korkeammalla, joten tämän ei pitäisi pitkittää päällystämistä kovinkaan paljoa. Vedeneristetyille betonilaatoille on omat kosteuden raja-arvonsa, joita käydään luvussa 2.7 tarkemmin läpi.

Työmaalla olosuhteet vaihtelevat laskentaa paljon enemmän. Laskennassa käytettiin vakioarvoja koko kuivumisjakson ajan. Varsinkin huonoissa olosuhteissa (+10°C ja RH 70 %) voidaan todeta, että kesällä nämä arvot eivät mitään todennäköisemmin ole optimaaliset, koska kappaleessa 2.5 taulukossa 4. on koottu vuosien 1991–2020 väliseltä ajalta keskiarvot lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta. Kun näihin olosuhteisiin verrataan laskennassa käytettyjä olosuhteita, keskilämpötila on muutaman kuukauden ajalla paljon korkeampi kuin laskennassa käytetty arvo +10°C.

Olosuhteilla on siis hyvin suuri merkitys betonin kuivumiseen. Siksi se on erityisesti otettava huomioon, kun valetaan paksuja betonilaattoja. Ohuet laatat tarvitsevat myös hyvät olosuhteet, mutta kuivuvat suhteessa paremmin huonommissakin olosuhteissa paksumpiin verrattuna.

## 7 KUIVUMISAICA-ARVIOIDEN TEKEMINEN

Kuivumisaika-arvioiden tekeminen alkaa rakennetyypin määrittelyllä. Selvitetään betonin lujuusluokka, jota tullaan käyttämään. Betoninlujuusluokka määrää vesi-sementtisuhteen (v/s) betonimassassa. Rakennetyypistä tulee myös selvittää, mitkä asiat hidastavat kuivumista. Kuivumissuunta on hyvä selvittää, jotta voidaan käyttää oikeita arvoja laskuissa. Paksuissa rakenteissa kuivumissuuntien määrä on merkittävässä roolissa kuivumisaikaan.

Kuivumisaikaan vaikuttavat ulkoiset tekijät huomioidaan laskennassa. Olosuhteet tulee selvittää ennen laskemista. Arviot kannattaa tehdä suhteellisen hyvissä olosuhteissa. Arviot ovat silloin lähellä oikeaa kuivumista. Kuivumisaika-arviot tehdään yleensä ennen hankeen aloitusta, joten arvioiden ollessa liian hyviä kuivumiseen varattava aika on liian lyhyt. Toisaalta kuivumisaika-arvioita ei tule tehdä liian huonoissa olosuhteissa, koska sitten arviot menevät todella pitkiksi.

Lähtötietojen selvittyä voidaan alkaa laskea rakenteen kuivumisaika-arviota. Kuivumisaika-arvion laskentamenetelminä voidaan käyttää tässä työssä käytettyjä menetelmiä. Saatujen tulosten perusteella voidaan arvioida rakenteen kuivumisaikaa. Arviointia helpottaa, mitä enemmän laskelmia on tehty samalle rakennetyypille eri olosuhteissa. Arviot ovat kuitenkin vain arvioita, eikä niiden perusteella pidä tehdä rakenteen päällystämiseen liittyviä päätöksiä. Kuivumisaika-arviot auttavat ennakoita määrittelemään kuivumisajan pituutta, jolloin siihen pystytään varaamaan riittävästi aikaa. Näin vältetään kosteusvaurioita, jotka johtuvat betonin hitaasta kuivumisesta ja tästä johtuvasta kosteuden siirtymisestä rakenteeseen.

## 8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laskea kuivumisaika-arviot betonisille rakennetyypeille eri laskentamenetelmillä. Rakennetyypit sisältävät ala- ja välipohjarakenteita. Yläpohjat rajattiin pois tästä opinnäytetyöstä. Kuivumisaika-arviot tehtiin By2020 kuivumisaika-arvio -ohjelmalla ja Merikallion taulukkomenetelmällä.

Opinnäytetyötä tehdessä tekijä sai käsityksen betonin erilaisista ominaisuuksista sekä niiden vaikutuksesta betonilattian kuivumiseen. Tekijä sai tietoa erilaisten kuivumisaika-arviointien teosta sekä oppi tekemään erilaisten lattiarakenteiden kuivumisaika-arviot opinnäytetyössä käyttämillään menetelmillä.

Yläpohjarakennetyyppien kuivumisaika-arvioiden laskeminen olisi tälle opinnäytetyölle seuraava jatkotutkimus. Markkinoille on tullut erilaisia betoneita, joilla yritetään pienentää hiilijalanjälkeä. Näissä betoneissa osa sementistä on korvattu erilaisilla aineilla. Kemiallinen reaktio pysyy tällaisissa betoneissa samanlaisena kuin tavallisessa, mutta kuivumisominaisuudet ovat hiukan erilaisia. Tässä olisi myös mahdollinen jatkotutkimuksen aihe.

Tämä opinnäytetyö sisältää vain kaksi erilaista olosuhdetta ja vesi-sementtisuhdetta (v/s). Seuraavassa tutkimuksessa olosuhteita ja vesi-sementtisuhdetta vaihtamalla saadaan lisää tietoa betonilattian kuivumisajasta.



## LÄHTEET

- Alitalo, S., Illikainen, K., Mikkonen, J., Parkkila, R. & Saarikoski, (2021). *Betonin kuivumisajan arviointi oppilaitosyhteistyönä*. ePooki. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisu. <https://www.oamk.fi/epooki/2021/betonin-kuivumisajan-arviointi-oppilaitosyhteistyona/>
- Betoniyhdistys. (2021). *By 2020 betonin kuivumisaika-arvio manuaali*. [https://www.betoniyhdistys.fi/media/by-2020-betonin-kuivumisaika-arvio-ohjelma/by-2020-betonin-kuivumisaika-arvio\\_manuaali\\_4.1.2021.pdf](https://www.betoniyhdistys.fi/media/by-2020-betonin-kuivumisaika-arvio-ohjelma/by-2020-betonin-kuivumisaika-arvio_manuaali_4.1.2021.pdf)
- Finnsementti. (i.a.-a). *Betonin lujuus riippuu vesi-sementtisuhteesta*. <https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaille/betonin-lujuus-riippuu-vesi-sementtisuhteesta/>
- Finnsementti. (i.a.-b). *Betonin lujuus*. <https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaille/betonin-lujuus/>
- Ilmatieteen laitos. (i.a) *Kosteus-, ilmanpaine- ja lumitilastot*. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/1991-2020-kosteus-ilmanpaine-ja-lumitilastot>
- Ilmatieteen laitos. (2020). *Ilman kosteus*. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>
- Kuivaketju10. (2018). *Kuivaketju10-riskilista*. [http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Riskilista\\_150313.pdf](http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Riskilista_150313.pdf)
- Merikallio, T. (2002). *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi*. Rakennustieto.
- Merikallio, T., Niemi, S., & Komonen, J. (2007). *Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen*. (2. p.). Suomen Betonikeskus. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/02/betonilattiarakenteiden-kosteudenhallinta-ja-paallystaminen-2007.pdf>
- Rakennustieto. (2013). *Sisäryl 2013 rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen sisätyöt. Lisälehti, luvut 752 Parkettityö ja 753 Laminaattipäällystetyö* (RT 14-11103\_L).
- Rakennustieto. (2021). *Betonin suhteellisen kosteuden mitta*us (RT 103333).
- Ramboll. (i.a.-a). *Rambollin arvot ja historia*. [https://fi.ramboll.com/ramboll\\_finland\\_oy/arvot-ja-historia](https://fi.ramboll.com/ramboll_finland_oy/arvot-ja-historia)
- Ramboll. (i.a.-b). *Ramboll-säätiö*. [https://fi.ramboll.com/ramboll\\_finland\\_oy/ramboll-saatio](https://fi.ramboll.com/ramboll_finland_oy/ramboll-saatio)

Ramboll. (i.a.-c). Yritys. [https://fi.ramboll.com/ramboll\\_finland\\_oy](https://fi.ramboll.com/ramboll_finland_oy)

Semtu Oy. (i.a.). *Sementti ja seosaineet*. <https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/sementit-ja-seosaineet>

Suomen Betoniyhdistys. (2018). *Betonilattiat 2018*.

Suomen Betoniyhdistys. (2018). *Betonitekniikan oppikirja by201*. (7. p.).

Suomen Standardisoimisliiton (SFS).(2013). *Sementti. osa 1:Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus*. (SFS-EN 197-1:2013)

Willman, J. (2015). Kosteudenhallinnan menetelmät. [Ylempi AMK-opinnäytetyö, Metropolian Ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97960/kosteude.pdf?sequence=1>

## **LIITEET**

Kaikki liitteet ovat salaisia.