



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# KUIVUMISAIKOJEN MÄÄRITTÄMINEN LATTIABETONEILLE

Jaakko Sairanen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2019  
Biotuote- ja prosessitekniikka  
Prosessitekniikka



# TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Biotuote- ja prosessitekniikka  
Prosessitekniikka

SAIRANEN, JAAKKO:

Kuivumisaikojen määrittäminen lattiabetoneille

Opinnäytetyö 79 sivua, joista liitteitä 15 sivua  
Huhtikuu 2019

---

Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Ruduksen kanssa ja tarkoitus oli määrittää kuivumisajat eri lattiabetoneille. Tavoitteena oli laatia esite, joka sisältää betonilattioiden ja kuivumisen kannalta huomioitavia asioista sekä kokeellisesti määritetyt kuivumisajat. Esitteen avulla pyrittiin lisäämään Ruduksen asiakkaiden tietoisuutta aiheesta ja täten vähentämään mahdollisia ongelmia, joita betonilattioissa tulee usein vastaan. Kuivumisajat määritettiin viidelle eri betonilaadulle kahdessa osiossa muuttamalla betonien vesi-sementtisuhteita. Ensimmäisessä osiossa vesi-sementtisuhteet olivat reseptin arvoja pienemmät ja toisessa reseptinmukaiset. Kuivumisaikojen määrittämisessä käytettiin porareikämenetelmää ja yhteen suuntaan kuivuvaa rakennetta. Jokaisessa laatussa oli kaksi mittapistettä, joten kokonaisuudessaan mittapisteitä oli 20 kappaletta. Mittauksista saaduista suhteellisista kosteuksista laskettiin keskiarvot ja näiden keskiarvotulosten perusteella laadittiin kuivumiskäyrät.

Kuivumisessa tavoitekosteudeksi asetettiin betonin suhteellisen kosteuden arvo 85 %, koska tämä arvo on useiden päällystemateriaalien kannalta betonin tavoitekosteus. Kuivumisaajoista nopeimmin tavoitekosteuteen pääsi molemmissa osioissa nopeasti päällystettävä lattiabetoni. Normaalit lattiabetonit, jotka sisälsivät normaalisti kovettuvaa sementtiä, saavuttivat tavoitekosteuden seuraavaksi. Hitaimmin tavoitekosteuksiin pääsivät sulfaatinkestävät betonilaadut, jotka sisälsivät normaalisti kovettuvaa sulfaatinkestävää sementtiä. Vesi-sementtisuhteen pienentäminen nopeutti kuivumista kahdella betonilaadulla, kahdella se taas toimi hidastavana tekijänä. Nopeasti päällystettävien betonien kuivumistuloksiin vesi-sementtisuhteen muutoksilla ei ollut merkittävää vaikutusta. Työn tavoitteena tehtävään esitteeseen sisällytettiin toisen osion massojen kuivumiskäyrät, koska niissä vesi-sementtisuhteet olivat reseptinmukaiset. Tämän lisäksi esite sisälsi huomioitavia seikkoja kuivumisesta ja toimenpiteitä mahdollisten halkeamien estämiseksi.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että sementtityypillä on vaikutusta kuivumisnopeuksiin. Pienempien vesi-sementtisuhteiden massojen pitäisi kuivua aluksi nopeammin ja tällöin myös saavuttaa tavoitekosteuden nopeammin, mutta näin ei kokeellisessa osiossa tapahtunut. Tähän on mahdollisesti syynä liian pienet erot massojen valmistuksen vedenkäytössä. Työssä tehty esite sisältää huomioitavia asioita ja toimenpiteitä sekä toisen osion kuivumiskäyrät, joiden avulla asiakkaat saavat hyödyllistä perustietoa aiheesta. Tuloksiin vaikuttavat erityisesti kuivumissuunta, laatan paksuus ja olosuhteet. Jatkomittauksia ajatellen olisi hyödyllistä kerätä tuloksia eri paksuisista laatoista sekä ottaa mukaan myös kahteen suuntaan kuivuvat rakenteet. Lisäksi tulosten kerääminen asiakkaiden kohteiden olosuhteita vastaavissa tiloissa olisi hyödyllistä.

---

Asiasanat: betonilattia, kuivuminen, suhteellinen kosteus

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences  
Bioproduct and Process Engineering  
Process Engineering

SAIRANEN, JAAKKO:

Determination of Drying Times for Floor Concretes

Bachelor's thesis 79 pages, appendices 15 pages  
April 2019

---

The objective of this thesis was to determine drying times for different floor concretes. The purpose was to create a leaflet that includes drying time measurement results and knowledge about concrete floors and drying. The subject came from a need to increase knowledge concerning drying and decrease possible problems that usually occur on concrete floors. The empirical part was carried out by using a borehole method. The drying time measurements were made for structures that allowed drying from one side. The structures were seven centimeters deep and kept in non-changing conditions. The measurements were carried out in two parts for five different floor concretes. The drying times were measured twice for same five concretes, but water-cement ratios were changed between sections so that the first section had lower ratios than second. Each structure had two measurement points. Drying graphs were drawn using average values for each concrete.

The fastest drying took place in a fast-coated floor concrete type that had regular cement. Regular floor concretes that had regular cement reached the target next. The slowest drying took place in concretes that had sulfate resistant regular cement. The differences between water-cement ratios gave mixed results. For two concretes drying happened faster with lower ratios, for two concretes the opposite took place and for fast coated floor concrete it had no significant effect.

Findings indicate that cement type has an effect on the drying times. Lowering water-cement ratios should lead to faster drying in the beginning and allow earlier coating. This did not happen in empirical part partly because differences were so small in water usage. Results and leaflet provide customers basic information about drying. Leaflet provides things to consider and procedures for ensuring good concrete floors.

---

Key words: concrete floor, drying, relative humidity

## SISÄLLYS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO.....  | 6  |
| 2     | BETONILATTIAT.....                                       | 7  |
| 2.1   | Betonilattioiden perustyytit.....                        | 7  |
| 2.2   | Betonilattioiden saumat .....                            | 8  |
| 2.3   | Keskeisiä vaatimuksia lattioille .....                   | 9  |
| 2.4   | Pinnoitus ja päällystys.....                             | 11 |
| 2.4.1 | Pinnoitemateriaalit .....                                | 12 |
| 2.4.2 | Yleisimmät päällysteet .....                             | 14 |
| 2.5   | Jälkihoito.....  | 16 |
| 3     | KUIVUMINEN .....   | 19 |
| 3.1   | Kuivumiseen vaikuttavat tekijät .....                    | 20 |
| 3.2   | Kosteus.....   | 22 |
| 3.3   | Eristys .....  | 23 |
| 3.4   | Kutistuminen ja halkeilu .....                           | 24 |
| 3.4.1 | Plastinen kutistuma .....                                | 25 |
| 3.4.2 | Viruma.....  | 26 |
| 3.4.3 | Kuivumiskutistuma .....                                  | 26 |
| 4     | KOKEELLINEN OSUUS .....                                  | 28 |
| 4.1   | Betonin laadulliset mittaukset.....                      | 34 |
| 4.2   | Suhteellisen kosteuden mittaus .....                     | 44 |
| 5     | JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....                         | 58 |
|       | LÄHTEET.....   | 63 |
|       | LIITTEET .....   | 65 |
|       | Liite 1. Tuotannon tavoiteilmamäärät .....               | 65 |
|       | Liite 2. LA 30 16 S3 (606A) mittaustulokset.....         | 66 |
|       | Liite 3. LA 30 16 S3 (600A) mittaustulokset.....         | 67 |
|       | Liite 4. LA 30 16 S3 SR+Pika (606B) mittaustulokset..... | 68 |
|       | Liite 5. LA 30 16 S3 SR+Pika (600B) mittaustulokset..... | 69 |
|       | Liite 6. LA 37 16 S3 (606C) mittaustulokset .....        | 70 |
|       | Liite 7. LA 37 16 S3 (600C) mittaustulokset .....        | 71 |
|       | Liite 8. LA 37 16 S3 SR+Pika (606D) mittaustulokset..... | 72 |
|       | Liite 9. LA 37 16 S3 SR+Pika (600D) mittaustulokset..... | 73 |
|       | Liite 10. NP 30(37) 16 S3 (606E) mittaustulokset.....    | 74 |
|       | Liite 11. NP 30 16 S3 (600E) mittaustulokset.....        | 75 |
|       | Liite 12. Esite lattiabetonien kuivumisesta.....         | 76 |

**LYHENTEET JA TERMIT**

|           |   |
|-----------|---|
| LA        | normaali lattiabetoni                         |
| NP        | nopeasti päällystettävä lattiabetoni          |
| v/s-suhde | vesi-sementtisuhte                            |
| $RH$      | suhteellinen kosteus, %                       |
| $RH_{kr}$ | kriittinen kosteus, %                         |
| $T_m$     | betonin lämpötila, °C                         |
| $T_h$     | huoneen lämpötila, °C                         |
| $S$       | lieriölujuus, MPa                             |
| $K$       | kuutiolujuus, MPa                             |
| $\rho_t$  | tuoreen betonin tiheys, kg/m <sup>3</sup>     |
| $\rho_k$  | kovettuneen betonin tiheys, kg/m <sup>3</sup> |

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Rudus Oy, joka on kivipohjaisia rakennusmateriaaleja valmistava yritys. Opinnäytetyön aiheena on kuivumisaikojen määrittäminen lattiatbetoneille, joka tuli yrityksen tarpeesta saada tietoutta omien betonilaatujen todellisista kuivumisnopeuksista ja saattaa tämä tieto asiakkailleen, jotta he välttyisivät ongelmilta, joita liian kostea betoni tuottaa eteenkin pinnoitteisiin ja päällysteisiin. Opinnäytetyön tarkoitus on määrittää kuivumisajat ennalta määrätyille betonilaaduille ja luoda esite, joka sisältää huomioon otettavia asioita kuivumisesta sekä kokeellisesti määritetyt kuivumiskäyrät. Esitteen on myös tarkoitus toimia pohjana mahdollisten jatkomittausten tuloksia varten.

Työn teoriaosuus on jaettu kahteen osaan, joista ensimmäinen käsittelee betonilattioita ja toinen betonin kuivumista. Betonilattioiden osalta työssä esitetään yleisimmät betonilattiatyypit, lattioiden saumat ja lattioille asetettuja vaatimuksia. Pinnoitteet ja päällysteet ovat merkittävä tekijä lattioissa, joten työssä esitellään yleisimpiä pinnoite- ja päällystämateriaaleja. Lisäksi syvennyttään betonin jälkihoitoon. Teoriaosuuden toisessa osiossa kerrotaan kuivumisesta, esitellään kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä, kerrotaan kosteudesta, eristyksestä, kutistumisesta ja halkeilusta. Molemmat osiot on rajattu koskemaan lattioita ja ulkopuolelle on jätetty kaikki muun tyyppiset rakenteet. Teoriaosuuden tarkoitus on toimia perustana esitteen sisältämään teoriaan.

Työn kokeellinen osuus koostuu kolmesta osasta, joita ovat betonimassojen valmistus, laadulliset mittaukset ja betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. Kokeellisessa osiossa käytetään viittä eri betonimassaa. Massat valmistetaan kahdessa osiossa ja kummassakin osiossa käytetään samoja massoja, mutta eri vesi-sementtisuhteita niin, että ensimmäisen osion massojen vesi-sementtisuhteet ovat pienemmät kuin toisen osion massojen. Laadullisissa mittauksissa esitetään käytetyt laadulliset mittaukset, mittaustulokset sekä ohjearvot. Suhteellisen kosteuden mittaaminen osiossa kerrotaan mittausten suorittamisesta ja esitetään mittausten perusteella piirretyt kuivumiskäyrät, joita hyödynnetään työn perusteella tehtävässä esitteessä.

## 2 BETONILATTIAT

### 2.1 Betonilattioiden perustyyppit

Maanvarainen lattia on laatta, joka valetaan lämmöneristeen päälle tai maata vasten. Eriste voi olla joko suoraan betonilaatan alla tai vaihtoehtoisesti eristeen ja laatan väliin voidaan sijoittaa täytekerros, joka vähentää eristeeseen kohdistuvaa painetta ja jakaa kuormitusta suuremmalle alalle. Maanvaraisen laatan käytössä edellytyksenä on, että maapohja on hyvin kantava ja laatan paksuuden tulisi olla vähintään 80 mm. Laatan mitoitukseen vaikuttavat pakkovoimat ja näitä ovat kuivumiskutistuma sekä lämpötilan muutosten seurauksena aiheutuvat voimat. Pakkovoimia voidaan hallita saumajaolla, raudoituksella, alustan ja laatan välisen kitkan säädöllä sekä rakennesuunnittelulla. Yleisimmin maanvaraiset lattiat valetaan yhdestä betonista ja tehdään samalla kertaa pintaan asti. (Betonilattiat 2014, 10)

Paalulaatta on tarkoitettu heikon kantavuuden omaaville maapohjille ja se valetaan suoraan maata vasten. Laatan mitoituksessa maapohjan kuormankantokykyä ei oteta huomioon ja itse laatta mitoitetaan kantavana teräsbetonirakenteena tai teräskuitubetonirakenteena. (Betonilattiat 2014, 11)

Pintabetonilattia on jo kovettuneen betonin päälle valettu ei-rakenteellinen laatta, joka on kokonaan kiinnitetty alustaansa tai irrotettu alustastaan. Mikäli laatta on osittain irtainen, se johtaa laatan käyristymiseen sekä halkeiluun. Irrotettu laatta tehdään, mikäli tarunta alapuolisen betonirakenteen kanssa on epävarma ja nämä ovat myös usein paksumpia ja paremmin raudoitettuja kuin kiinnitetyt. Kokonaan irti oleminen on irrotetulle laatalle tärkeää ja se toteutetaan irrotuskerroksella. Raudoitus tarvitaan, mikäli laatan paksuus on yli 60 mm ja se toteutetaan sijoittamalla raudoitus halkeilun takia laatan yläpintaan. Mikäli raudoitus tehdään vain kutistumisen aiheuttaman halkeilun vähentämiseen, niin se voidaan korvata käyttämällä kuitubetonia, joka sisältää teräskuituja tai synteettisiä makrokuituja. Kuiduilla ei kuitenkaan voida korvata raudoitusta, jos se on rakenteellisena ratkaisuna. (Betonilattiat 2014, 11–12)

Kelluva pintabetonilattia tarkoittaa lattiaa, joka on valettu ääntä eristävän maton päälle ja se on paksuudeltaan noin 80 mm. Koska lattia on melko ohut, sen seurauksena reunojen kohoaminen ja halkeilu ovat yleisimpiä ongelmia. Lisäksi eristyksen tasaisuus on tärkeää, koska pienetkin kosketuskohdat rakenteeseen vaikuttavat negatiivisesti äänieristykseen. Kelluvan pintabetonilattian valmistuksessa on kolme tärkeää huomioon otettavaa asiaa, joita ovat pieni kosteusero, halkeilun esto sekä reunojen kohoamisen vähentäminen. Nämä toteutetaan muun muassa välttämällä lattian kastumista, valitsemalla nopeasti kuivuva betonimassa, käyttämällä kuitubetonia ja tekemällä laatasta mahdollisimman tasapaksu. (Betonilattiat 2014, 12–13)

## 2.2 Betonilattioiden saumat

Betonilattioissa käytetään neljää erityyppistä saumaratkaisua, joita ovat liikunta-, kutistumis-, irrotus- ja työsaumat. Saumat ovat lattioissa yleisimmin heikoin kohta ja on tärkeää valita oikeantyyppinen saumaratkaisu, joka täyttää käyttöolosuhteiden asettamat vaatimukset. Saumojen reunoilla on tapana halkeilla herkästi, mikäli ne ovat kovan kuormituksen alla. (Betonilattiat 2014, 77)

Liikuntasauma on saumatyyppi, jossa laatta on kokonaan halki ja sen tarkoituksena on antaa laatalle liikkumavaraa, joka sallii lyhentymisen, pitenemisen ja kiertymisen. Saumojen suunnittelussa on huomioitava ympäristön lämmön ja kosteuden vaikutukset. Liikuntasauma voi myös toimia työsaumana ja ne toteutetaan käyttämällä tukevia, esivalmistettuja liikuntasaumalaitteita. Liikuntasaumalaitteiden tarkoituksena on siirtää valun aikaista kuormitusta sauman yli ja laitteen valinnassa tulee huomioida kuormansietokyky sekä sauman todennäköinen aukeama. (Betonilattiat 2014, 78)

Kutistumissaumojen tarkoitus on vähentää kuivumiskutistuman seurauksena laattaan syntyvää vetojännitystä sekä halkeilua. Kutistumissaumoina käytetään joko raudoitettuja tai raudoittamattomia sahattuja saumojia, jotka sallivat sauman avautumisen ja kulmanmuutoksen. Ero raudoitetun ja raudoittamattoman sauman välillä on, että raudoitetuilla saumoilla on parempi kuormankantokyky, mutta ne eivät kykene liikkumaan yhtä vapaasti kuin raudoittamaton ja täten halkeilevat helpommin. Sahattu sauma on sahalla tehty ja suunnilleen 30 % laatan paksuuden syvyinen ura, joka on tehty noin 3 millimetrisellä



terällä. Sahattujen urien kohdalle muodostuu kutistushalkeamia, koska laatan vetokestävyys on heikentynyt uran kohdalta (Betonilattiat 2014, 77–78). Sauman reunat halkeilevat helposti, kun niihin kohdistuu räsitusta esimerkiksi kulkuneuvojen ylittäessä niitä. Tällöin betoni alkaa kulua sauman kohdalta ja mikäli kulumiseen ei puututa, voi saumasta syntyä suurempi kuoppa, joka on jo turvallisuusriski. Tältä voidaan välttyä täyttämällä sauma siihen tarkoitettulla täyteaineella, jolloin reunoihin ei enää kohdistu yhtä suurta räsitusta ja ne eivät pääse halkeilemaan. (Murphy 2014)

Irrotussaumojen tarkoitus on estää suunnittelemattomien pakkovoimien vaikutus maanvaraiseen laattaan käyttämällä irrotuskaistaa eli noin 10 – 20 mm paksua solupolyeteenimattoa, jonka avulla laatta saadaan erotettua kaikista rakenteista, joista se halutaan erottaa. Nämä saumat antavat laatalle liikkumatilaa vaaka- ja pystysuunnassa rakennuksessa olevien kiinteiden osien suhteen. (Betonilattiat 2014, 79)

Työsaumalla tarkoitetaan sellaista saumaa, jossa sen avautuminen tai kulmanmuutos ei ole mahdollista ja niiden tarkoituksena on useimmiten rajata saumattomien lattioiden päivitettäviä valualueita toisistaan. Työsaumojen raudoituksessa on huomioitava, että raudoituksen vetokestävyys on oltava suurempi kuin betonin vetolujuuden, koska tällöin rauditus estää saumojen aukeamisen. Työsaumoja käytetään yleisimmin pintabetonilattioissa ja maanvaraisissa lattioissa. (Betonilattiat 2014, 77, 79)

### **2.3 Keskeisiä vaatimuksia lattioille**

Vaatimukset suoruuden ja tasaisuuden suhteen ovat riippuvaisia tilan käyttötarkoituksesta, mutta yleisesti ottaen tilassa olevien laitteiden käytön ja vedenpoiston tulisi onnistua ilman lattiasta johtuvia ongelmia. Lattiat voivat olla joko suoria tai kaltevia. Suorissa lattioissa käytetään suoruuden vertailukohteena vaakasuoraa tasoa ja kaltevissa lattioissa vertailuun käytetään ennalta suunniteltua kaltevuutta. Tasaisuudella tarkoitetaan lattiassa olevia korkoeroja, jotka ovat pinnassa olevaa aaltoilua ja kuoppaisuutta, mutta pinnan karheus ei ole tasaisuuden arvosteluperusteena. Lattiassa käytettävät pinnoitus-, ja päällysteaineet luovat myös omat vaatimuksensa tasaisuudelle. (Betonilattiat 2014, 17)

Kulumista voidaan mitata joko käsittelemättömältä tai käsitellyltä betonipinnalta, jossa testauslaite kuluttaa lattian pintaa ja mitataan, kuinka monta millimetriä pinta on kulunut. Kokeita ovat muun muassa teräspyöräkoee, jossa laitteessa olevat teräspyörät kuluttavat betonin pintaa ja koe kestää 2000 kierrosta sekä Böhme-koe, joka on tarkoitettu sirotteiden kestävyiden mittaamiseen. (Betonilattiat 2014, 19–21)

Kulutuskestävyyteen vaikuttavat useat asiat ja ne alkavat jo suunnittelupöydältä, sillä oikeanlaisen betonikoostumuksen valinta on ensimmäinen vaikuttava tekijä. Valun aikana pinnan viimeistely ja betonin jälkihoito valun jälkeen vaikuttavat myös. Kulutuskestävyyttä voidaan parantaa muutamilla toimenpiteillä, joita ovat koneellinen hienointi ja pinnan viimeistely tai kuivasirotteen käyttö. Kuivasirotteella tarkoitetaan hienoa jauhetta, joka sisältää sementin lisäksi kiviainesta tai metallia. Aluksi sirote levitetään betonin päälle, kun massan on vielä tuoretta, jonka jälkeen se hierretään kiinni betoniin. (Betonilattiat 2014, 164–165) Sirote tarvitsee vettä toimiakseen. Betonin pinnan kosteus saa aikaan kemiallisen reaktion sirotteessa olevan sementin kanssa, jolloin sirote kovettuu betonin pinnalle. Mikäli kosteutta ei vapaudu alusbetonista riittävästi, seurauksena on heikko kiinnittyminen ja mahdollinen lohkeilu. Sirotteiden kanssa käytettävän betonin vesi-sementtisuhteen tulisi olla suurempi kuin 0,5. Betonin huokostaminen heikentää sirotteiden tarttuvuutta betoniin. (Suomen Betonilattiayhdistys Ry n.d., 4, 7, 9)

Säilyvyyteen vaikuttavat ympäristörasitukset, kuten jäätymis-sulatusrasitus, suolarasitus ja korroosio. Suunnittelukäyttöiällä tiukennetaan toimenpiteitä, joita tehdään ympäristörasituksia vastaan. Säänkestävyys koskee betoneita, jotka joutuvat olemaan ulkona ja kestämään kosteita sekä kylmiä olosuhteita. Kloridit aiheuttavat korroosiota betoniteräksissä, jolloin teräs haurastuu. Tämän estämiseksi betonista pyritään tekemään mahdollisimman tiivistä, jottei kloridit pääsisi rakenteisiin. Tämän toteuttaminen onnistuu vesi-sementtisuhteen muuttamisella. Betonin käyttöikä suunnitellaan usein joko 50 tai 100 vuodelle, mutta lattiat suunnitellaan normaalisti 50 vuodelle. Lattioiden vesitiiveys testataan vain, jos sille on aiheutta eli jos on olemassa syöpymisvaara tai lattialle on asetettu tiiveysvaatimus. (Betonilattiat 2014, 26)

Pinnan laadun kannalta ulkonäkö on merkittävässä asemassa. Ulkonäön kannalta tarkastellaan värin tasaisuutta, mikäli käytetään väribetonia, pintahalkeamia, hierrosta ja hionnasta jääviä jälkiä sekä tasaisuutta. Mikäli betonipinta päätetään jättää näkyville, hal-

keamat näkyvät selvästi. Jos pintahalkeilua ei sallita valmiilta lattialta, niin betonin valinta, jälkihoito sekä olosuhteet on huomioitava entistä tarkemmin. Pintahalkeamia muodostuu muun muassa plastisen halkeilun ja kuivumiskutistuman seurauksena. (Betonilattiat 2014, 27)

Lattiapinnan tulisi olla mahdollisimman pölyämätön. Pölyäminen on seuraus betonimassan erottumisesta ja sitä pyritään rajoittamaan toteutustavan ja massan valinnoilla sekä käsittelemällä pinta pölynsidonta-aineella tai silikaattikäsittelyllä. Silikaattikäsittelyssä silikaatti imeytetään massaan, jossa se reagoi kalsiumhydroksidin kanssa. Tällöin syntyy tiivis pinta, joka on kestävämpi sekä pölyämättömämpi kuin ennen käsittelyä. (Betonilattiat 2014, 28)

Hierto on työmenetelmä, jonka avulla pinta saadaan hyväksi niin tasaisuuden kuin ulkonäön näkökulmista. Työ voidaan toteuttaa joko käsin työntämällä tai päältä ajettavalla koneella. Lattian hierrossa tärkeintä on oikea ajoitus. Oikea aika hierrolle on, kun vesi, joka erottuu pintaan, on poistunut massasta. Hierto suoritetaan useassa osassa aloittaen levyhierrolla ja lopuksi viimeistellen pinta siipihierrolla. (Betonilattiat 2014, 163–164)

## 2.4 Pinnoitus ja päällystys

Pinnoitus on betonilattian käsittelyä pinnoitemateriaalilla, jonka avulla pyritään välttämään ongelmia, joita ilmenisi käsittelemättömille lattioille rasituksen ja olosuhteiden vaikutuksesta. Pinnoitteen valinnassa tulee kiinnittää huomiota siihen, että pinnoite on sopeva työolosuhteiden sekä kohteen käyttötarkoituksen näkökulmista. Huomioon otettavia seikkoja ovat liikenne, kuormitustyyppi, kemikaalit, lämpötilat, auringon valo, käyttöikä, kovettumisaika sekä erilaiset erityisvaatimukset, joita voivat olla esimerkiksi antistaattisuus sekä hygieniavaatimukset. (Betonilattioiden pinnoitusohjeet 2010, 11)

Päällystemateriaalit asennetaan useimmiten betonin pinnalla olevan tasoitteen päälle tai suoraan betonin pinnalle liimaamalla. Osassa rakenteita käytetään alusmateriaaleja päällysteen ja tasoitteen välissä. Ennen päällysteiden asentamista on tärkeää selvittää, että betoni on kuivunut tarpeeksi mittasyvyydeltä, joka määräytyy rakenteen tyypin mukaan sekä pinnasta. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 6, 16–34)

### 2.4.1 Pinnoitemateriaalit

Pintakyllästysaineilla pyritään vähentämään pölyämistä siten, että betonin pinnan kaliumkarbonaatti, joka on pehmeää sekä herkästi pölyävää kovetetaan sekä pinnan huokokset suljetaan käsittelyssä tapahtuvan kemiallisen reaktion avulla. Tämänlaisessa käsittelyssä betonin kosteudelle ei ole rajoituksia eikä käsittely vaikuta kitkaominaisuuksiin taikka muodosta erillistä kalvoa pinnalle. (Betonilattioiden pinnoitusohjeet 2010, 25)

Imeytysaineet toimivat pintakyllästysaineiden tapaan pölyämistä vähentävinä aineina ja niiden käytöllä pyritään sitomaan pöly sekä täyttämään pinnan huokokset. Imeytysaineet ovat liuote- tai vesiohenteisia polymeerilakkoja, jotka ovat matalaviskoosisia. Käsittelyssä pintaan muodostetaan hyvin ohut kalvo, joka on korkeintaan 0,02 millimetriä paksu. (Betonilattioiden pinnoitusohjeet 2010, 25)

Epoksinpinnoitteet jaetaan liuotinohteisiin, vesiohenteisiin ja liuotteettomiin pinnoitteisiin. Liuotinohteiset pinnoitteet muodostavat tiiviin kalvon ja tarttuvat todella hyvin alustaansa, jonka tulee olla kuiva. Vesiohenteiset pinnoitteet päästävät vesihöyryä lävitseen ja toimivat hyvin myös hieman kostealla betonialustalla, mutta niillä on tapana kuitua voimakkaasti. Liuotteettomat pinnoitteet kestävät lievää mekaanista rasitusta sekä tavallisimpia polttoaineita, pesuaineita sekä öljyjä ja ne tarttuvat hyvin alustaansa muodostaen noin 0,2 – 0,4 millimetriä paksun pinnoitteen. Epoksinpinnoitteille betonin suhteellisen kosteuden maksimiarvo on 97 % ja lämpötilan olisi oltava yli + 15 °C. (Betonilattioiden pinnoitusohjeet 2010, 25, 31, 47)

Polyuretaanit ovat elastisia materiaaleja, jotka kestävät hyvin iskuja, kulutusta sekä halkeamia. Polyuretaanilla pinnoitettu pinta on vesitiivis sekä omaa hyvän kemikaalikestävyyden, mutta auringon valossa se saattaa muuttua värisävyään UV-säteilyn seurauksena. Ne ovat kuitenkin herkkiä kosteudelle ja suhteellisen kosteuden maksimiarvoksi on annettu 90 % ja lämpötilan olisi oltava yli + 15 °C. (Betonilattioiden pinnoitusohjeet 2010, 26, 31, 47)

Akryylipinnoitteet omaavat hyvän rasituksen ja iskunkeston, mutta ne eivät kestä aromaattisia taikka kloorattuja aineita. Pinnoitepaksuudet ovat usein kolmen ja neljän millimetrin välissä, ne kovettuvat nopeasti ja työstö onnistuu alhaisissakin lämpötiloissa. Akryylin käytössä on huomioitava, että betonipinnassa ei tulisi olla kosteutta sekä, että tilan

ilmanvaihto on kunnossa pinnoitteen kovettumisen takia. Akryylipinnoitteille betonin suhteellisen kosteuden maksimiarvo on 97 %. (Betonilattioiden pinnoitusohjeet 2010, 26, 31)

Sementtipolymeeripinnoitteet ovat sekoitus erikoissementtiä ja polymeerimuovia, jolloin saadaan molempien hyviä puolia esille. Näillä pinnoitteilla on hyvä lämmön- ja kemikaalien kesto sekä mekaaniset ominaisuudet. Lisäksi ne kovettuvat nopeasti ja työstäminen onnistuu alhaisissakin lämpötiloissa sekä päästävät vesihöyryä lävitseen. (Betonilattioiden pinnoitusohjeet 2010, 27)

Vinyyliesteripinnoitteet ovat hyviä olosuhteisiin, joissa vaaditaan erinomaista lämmön- ja kemikaalienkestokykyä ja kun pinnoitteen on kestävä mekaanista rasitusta. Vinyyliesteripinnoitteet ovat noin yhden millimetrin paksuisia tai vaihtoehtoisesti viiden millimetrin paksuisia hierrettäviä pinnoitteita. (Betonilattioiden pinnoitusohjeet 2010, 27)

Polyurea omaa hyvän lämmön- ja kemikaalienkeston sekä kovettuu nopeasti. Tämä pinnoite on levitettävä kaksikomponenttiruiskua käyttäen, koska se sisältää kahta komponenttia eli polyamiinia ja isosyanaattia, joiden väliseen reaktioon perustuu pinnoitteen kovettuminen. (Betonilattioiden pinnoitusohjeet 2010, 27)

Pinnoitemateriaalien työstössä on tärkeää huolehtia työolosuhteista. Ilman suhteellinen kosteus saa olla korkeintaan 80 % ja pinnan lämpötilan olisi oltava korkeampi kuin ilman kastepistelämpötilan, jottei kosteus pääsisi tiivistymään alustaan. Pinnoitus tehdään vasta, kun betoni on vähintään seitsemän vuorokautta kovettunut ja saavuttanut 80 % tavoitelluudesta. Jos pinnoite tehdään tuoreelle betonille, käytetään pohjustetta. Pinnoitteen kovettumisen kannalta on tärkeää, että kohteen lämpötila on noin + 20 °C ja kovettumiselle varataan riittävästi aikaa. Ohjearvoksi on annettu yhdestä kolmeen päivää ennen kuin kohdistetaan mekaanista rasitusta ja kolmesta seitsemään päivää ennen kuin pintaan käytetään kemikaaleja. (Betonilattioiden pinnoitusohjeet 2010, 47–48)

## 2.4.2 Yleisimmät päällysteet

Parketit voidaan eritellä kelluvaan lautaparkettiin, alustaansa liimattavaan lautaparkettiin ja mosaiikkiparkettiin. Lautaparketit on valmistettu puusta, joka muuttaa muotoaan hie-  
man riippuen kosteudesta siten, että puu turpoaa kosteuden kasvaessa ja kutistuu kosteu-  
den laskiessa. Puu toimii parhaiten, kun sitä ympäröivän ilman ja alustan suhteelliset kos-  
teudet ovat 35–60 % välillä. Kelluvassa lautaparketissa tasoitteen ja lautaparketin väliin  
asennetaan alusmateriaali, jonka tavoitteena on eristää askelääntä. Alusmateriaalit lä-  
päisevät jonkin verran vesihöyryä, jonka vuoksi alusbetonin tulisi olla tarpeeksi kuivaa  
ennen alusmateriaalin asennusta. Betonin kosteus ei vaikuta parkettiin kriittisesti silloin,  
kun alusmateriaalin vesihöyryn läpäisevyys on huomattavasti pienempi kuin parketin.  
Tällöin kosteus ei pääse kerääntymään parkettiin. Alusmateriaali ei saa kuitenkaan olla  
täysin tiivis, koska silloin betonin kosteus jää alusmateriaalin alle ja voi aiheuttaa vahin-  
koa tasoitteisiin. Alustaansa liimattavissa lautaparketeissa parketti liimataan suoraan ta-  
soitteen päälle. Tärkeää tämän tyyppisessä parketissa on huolehtia, että parketilla on liik-  
kumistilaa kosteusliikkeiden takia ja, että liimauksessa käytetty liima kestää parketin  
muodonmuutokset. Betonin pinnan tulisi lisäksi olla riittävän puhdas sekä luja. Mosaiik-  
kiparketit voidaan liimata betonin pintaan, vanerin päälle, joka on pultattuna ja liimattuna  
betonin pintaan tai tasoitteen päälle huomioiden puun tarvitseman liikkumisvaran. (Me-  
rikallio, Niemi & Komonen 2007, 16–23, 27–28)

Laminaattipäällyste koostuu pääosin puusta ja siihen vaikuttavat kutistuminen ja turpoa-  
minen lautaparkettien tapaan. Laminaatti asennetaan tasoitteen päälle asennetun alusma-  
teriaalin päälle ja alusmateriaalin alle asennetaan tiivis muovikalvo, jolloin alustan kos-  
teus ei pääse vaikuttamaan laminaattiin merkittävästi. Suositus ilman suhteellisen kosteu-  
den osalta on sama kuin lautaparketeillakin eli 35–60 %. Ilman suhteellinen kosteus on  
käytännössä ainoa kosteuslähde, joka pääsee vaikuttamaan laminaattiin, koska alustasta  
pääsee vain todella pieni määrä kosteutta läpi eristyksen ansiosta. (Merikallio, Niemi &  
Komonen 2007, 24–26)

Muovi-, kumi-, tekstiili- ja linoleum matot sekä laatat ovat tiiviitä päällysteitä, jotka lii-  
mataankin joko suoraan betonin pintaan tai tasoitteen päälle. Tiiviitä päällysteitä käytettäessä  
kosteus voi kertyä päällysteen alle, jolloin liimat voivat vaurioitua, jonka seurauksena voi  
esiintyä kupruilua sekä värimuutoksia. Päällystemateriaaleille on annettuna enimmäisar-  
vot suhteelliselle kosteudelle ennen kuin päällystys voidaan aloittaa. Arvot ovat betonin

arviointisyvyydeltä eli 0,4 kertaa rakenteen paksuus yhteen suuntaan kuivuvassa laatassa sekä betonin/tasoitteen pinnasta. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 6, 31–34) Nämä arvot on kerättyä taulukkoon (taulukko 1), johon on kerätty myös parkettien ja laminaatin enimmäisarvot.

TAULUKKO 1. Enimmäisarvot suhteelliselle kosteudelle syvyydellä 0,4 kertaa rakenteen paksuus yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa sekä betonin/tasoitteen pinnasta (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 19, 22, 25, 29, 34, muokattu)

| Materiaali  | <i>RH</i> (%) arviointisyvyydellä 0,4 x rakenteen paksuus | <i>RH</i> (%) betonin/tasoitteen pinnasta |
|---|---|---|
| <b>Kelluva lautaparketti + alusmateriaali</b>               | 85  | 75  |
| <b>Alustaan liimattava lautaparketti</b>                    |   |   |
| tavallinen betoni   | 85  | 75  |
| betoni $v/s < 0,5$  | 90  | 75  |
| <b>Laminaatti + tiivis alusmateriaali</b>                   | 85  | 75  |
| <b>Mosaiikkiparketti</b>                                    |   |   |
| tavallinen betoni   | 85  | 75  |
| betoni $v/s < 0,5$  | 90  | 75  |
| <b>Muovimatto</b>   | 85  | 75  |
| <b>Linoleum</b>   | 85  | 75  |
| <b>Kumimatto</b>  | 85  | 75  |
| <b>Tekstiilimatto tiiviillä alustalla</b>                   | 85  | 75  |
| <b>Täyssynteettinen tekstiilimatto ilman alusrakennetta</b> | 90  | 75  |
| <b>Kumi-, muovi- ja linoleum laatta</b>                     | 90  | 75  |

## 2.5 Jälkihoito

Jälkihoito on toimenpiteitä, joiden avulla betonin kovettuminen turvataan ja se aloitetaan heti valun jälkeen ja jatketaan niin pitkään, kunnes betoni on saavuttanut tarvittavat ominaisuudet. Kosteuden ja lämpötilan tulisi olla oikealla tasolla ja rakenteen suojaaminen jäätymiseltä, auringon säteilyltä, tuulelta, sekä vesi- että lumisateelta on tärkeää. Lattioissa jälkihoito aloitetaan jo pinnan tasaamisen jälkeen, koska lattiat ovat kutistumisherkkiä rakenteita. Kylmissä olosuhteissa massan, rakenteen ja muottien lämmittäminen tulisi myös huomioida, koska betonin sitoutuminen on silloin tavallista hitaampaa. Yleisimpiä jälkihoitotoimenpiteitä ovat kastelu vedellä, jälkihoitoaineen käyttö, muottien paikoilleen jättäminen eteenkin viileillä ilmoilla ja lämpöeristeiden sekä tiiviiden muovipeitteiden käyttö. Jälkihoito jaetaan varhaisjälkihoitoon ja varsinaiseen jälkihoitoon. (Petrow 2016, 49–50)

Varhaisjälkihoito aloitetaan jo pinnan tasauksen jälkeen ja sen tarkoituksena on, että vettä ei pääsisi poistumaan betonin pinnalta liikaa taikka liian nopeasti. Tässä vaiheessa betoni on vielä märkää, joten sitä ei suojata taikka kastella vedellä, mutta jälkihoito toteutetaan ilmaa kosteuttamalla sekä käyttämällä jälkihoitoaineita, jotka voidaan sumuttaa pinnalle. Varhaisjälkihoito kestää niin pitkään, kunnes betoni kestää hierron. Lattioissa varhaisjälkihoitoainetta laitetaan tasatuille pinnoille valun aikana ja se on tarpeellista halkeilun estämiseksi. (Petrow 2016, 50–51)

Varsinainen jälkihoito alkaa heti, kun hierto on valmis ja sillä pyritään estämään kovettuneen betonin pinnasta veden haihtumista. Aluksi pintaan lisätään jälkihoitoaine, jonka jälkeen pinta voidaan peittää käyttämällä olosuhteiden kannalta soveltuvaa suojakalvoa. Jälkihoitoa jatketaan niin pitkään, kunnes on saavutettu rasitusluokan kannalta tarpeellinen lujuus. Rasitusluokissa X0 ja XC1 pyritään saavuttamaan 50 % nimellislujuudesta, luokissa XF2 ja XF4 tulisi saavuttaa 80 % nimellislujuudessa ja muissa rasitusluokissa 70 % nimellislujuudesta on riittävä. (Petrow 2016, 51–52) Taulukosta (taulukko 2) nähdään, kuinka betonin lämpötila vaikuttaa lujuudenkehitykseen eri lujuusluokissa ja saadaan vähimmäisajat jälkihoidolle. Taulukon massoissa on käytetty CEM II/B (S-LL) 42,5 sementtiä. (Johansson & Mannonen 2016, 73) Merkintä C25/30 tarkoittaa, että standardilieriön puristuslujuuden tulisi olla 25 MPa ja 150 millimetrinen kuution puristuslujuuden tulisi olla 30 MPa, mutta tulokset muunnetaan Suomessa vastaamaan kuution puristuslujuutta (Finnsementti n.d.a).



TAULUKKO 2. Eri kovettumisolosuhteiden suositellut jälkihoitoajat vuorokausina (Johansson & Mannonen 2016, 73, muokattu)

| $T$ (°C) | Aika (d), jolloin 50 % nimellislujuudesta |        |        | Aika (d), jolloin 70 % nimellislujuudesta |        |        | Aika (d), jolloin 80 % nimellislujuudesta |        |        |
|----------|---|--------|--------|---|--------|--------|---|--------|--------|
|          | C25/30                                    | C30/37 | C35/45 | C25/30                                    | C30/37 | C35/45 | C25/30                                    | C30/37 | C35/45 |
| + 10     | 9   | 7      | 6      | 17  | 15     | 13     | 24  | 22     | 20     |
| + 20     | 4,5                                       | 3,5    | 3      | 8,5                                       | 7,5    | 6,5    | 12  | 11     | 10     |
| + 30     | 3   | 2,5    | 2      | 5   | 4,5    | 4      | 7,5                                       | 7      | 6      |
| + 40     | 2   | 1,5    | 1      | 3,5                                       | 3      | 2,5    | 5   | 4,5    | 4      |

Betoni voidaan suojata joko vettä läpäisemättömällä kalvolla tai läpäisevällä peitteellä. Läpäisemättömän kalvon on tarkoitus estää kosteuden häviö massasta. Kalvo on suorassa yhteydessä betonin pintaan ja suljettu nurkista, jolloin kalvon ja betonin väliin jää kosteutta, koska se ei pääse poistumaan. Kalvo tulisi asettaa vasta, kun betoni on tarpeeksi kovaa, jottei se aiheuta painumia massaan. Kalvon väri tulee myös ottaa huomioon varsinakin ulkona olevissa valuissa, koska valkoinen heijastaa auringonsäteilyä pois päin ja musta imee itseensä lämmittäen betonin pintaa. Haittapuolena läpäisemättömälle kalvolle on, että betoniin jää läikkiä kosteudesta. Läpäisevällä peitteellä betonin pinta pidetään vain vähän kosteana, jotta kosteusjälkiä ei syntyisi ja niitä käytetään vain pienemmissä kohteissa. Peitemateriaalille on tärkeää, että se ei itse jätä jälkiä betonin pintaan. (Choo & Newman 2003, 3/5–3/6)

Jälkihoidon kannalta poikkeuksellisista rasitusluokista rasitusluokka X0 tarkoittaa, että syöpymisrasituksen tai korroosion riskiä ei ole ja, että ympäristöolosuhteilla ei ole vaikutusta rakenteiden käyttöikään. XC rasitusluokassa betonin tulisi kestää karbonatisoitumisesta johtuvaa teräskorroosiota ja XC1 on tarkoitettu kuiville tai jatkuvasti märille olosuhteille. XF rasitusluokka on tarkoitettu jäätymis- ja sulamisrasituksen kestoon. XF2 ja XF4 rasitusluokkien tulee molempien kestää jäänsulatusaineita ja niiden erona on, että XF2 on tarkoitettu kohtalaiseen vedellä kyllästymiseen ja XF4 suureen vedellä kyllästymiseen. (Punkki & Räisänen 2017, 13, 17, 20, 22) Taulukkoon (taulukko 3) on kerätty kaikki rasitusluokat ja niiden määritelmät, jotka perustuvat käyttöolosuhteisiin.

TAULUKKO 3. Betonin rasitusluokat ja niiden käyttöolosuhteisiin perustuvat määritelmät (Punkki & Räisänen 2017, 13, 17–20, 22–23, muokattu)

| Rasitus-luokka | Määritelmä  | Rasitus-luokka | Määritelmä  |
|----------------|---|----------------|---|
| <b>X0</b>      | Syöpymisrasituksen tai korroosion riskiä ei ole           | <b>XD</b>      | Teräskorroosio kloridien seurauksena (ei meriveden) |
| <b>XC</b>      | Teräskorroosio karbonatitumisen seurauksena               | XD1            | Kohtalainen kosteus                                 |
| XC1            | Jatkuvasti märät tai kuivat olosuhteet                    | XD2            | Kostea, pääsee harvoin kuivumaan                    |
| XC2            | Kostea ja harvoin kuiva                                   | XD3            | Vaihtelevasti kostea ja kuiva                       |
| XC3            | Kohtalaisen kostea  | <b>XS</b>      | Teräskorroosio meriveden kloridien seurauksena      |
| XC4            | Kastumista ja kuivumista jaksoittain                      | XS1            | Tuulen mukana kulkeutuvat kloridit                  |
| <b>XF</b>      | Sulamis- ja jäätymisrasitus                               | XS2            | Merivedessä   |
| XF1            | Ei jäänsulatusainetta ja kohtalaisesti kyllästetty veteen | XS3            | Vesirajassa   |
| XF2            | Jäänsulatusaine ja kohtalainen kyllästys veteen           | <b>XA</b>      | Kemiallinen rasitus                                 |
| XF3            | Ei jäänsulatusainetta ja suuri kyllästys veteen           | XA1            | Heikko kemiallinen rasitus                          |
| XF4            | Jäänsulatusaine ja suuri kyllästys veteen                 | XA2            | Kohtalainen kemiallinen rasitus                     |
|                |   | XA3            | Suuri kemiallinen rasitus                           |

### 3 KUIVUMINEN

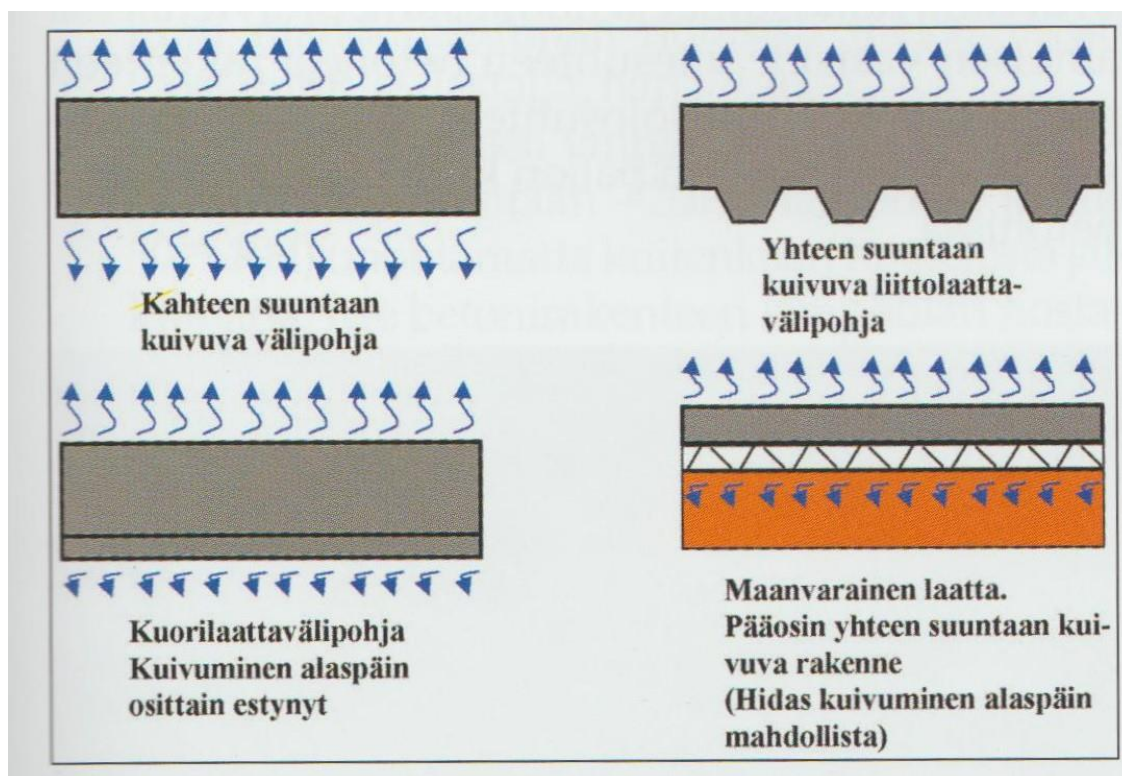
Betonin kovettuessa vesi ja sementti muodostavat sementtiliiman, jonka tarkoitus on sitoa runkoaineet toisiinsa. Kovettumisreaktiossa osa vedestä sitoutuu kemiallisesti betoniin eikä pääse enää poistumaan tavallisissa olosuhteissa. Kemiallinen sitoutuminen on hidas prosessi, joka alkaa parin tunnin kuluttua massan valmistuksesta ja saattaa kestää hyvinkin pitkään ennen kuin se on täysin valmis. Noin 15 vuorokauden kuluttua reaktio on jo lähes tapahtunut. Kovettumisreaktiossa veden vähenemistä kemiallisen sitoutumisen seurauksena kutsutaan sitoutumiskuivumiseksi. (Merikallio 2002, 33)

Kovettumisreaktion käyttämän veden jälkeen betonissa on vielä jäljellä paljon haihtumiskykyistä vettä, joka on sitoutuneena fysikaalisesti huokosrakenteeseen. Kuivuminen on veden poistumista ja sitä tapahtuu niin pitkään, kunnes betonin ja ilman suhteelliset kosteudet ovat tasapainossa. Betonin suhteellinen kosteus on aluksi 100 % ja laskee muuttaman prosentin sitoutumiskuivumisen seurauksena. Betonista haihtuu vettä ilmaan, koska sen suhteellinen kosteus on ilmaa suurempi ja samalla syvemmällä betonissa oleva kosteus siirtyy pintaa kohti, josta se voi taas haihtua ilmaan. Tätä kutsutaan haihtumiskuivumiseksi ja se tapahtuu kapillaarisen siirtymän ja diffuusion avulla. Kapillaarista siirtymää tapahtuu silloin, kun betonin huokosverkosto on täynnä vettä ja vielä yhtenäinen, jolloin kuivumisnopeus on suuri. Kapillaarisen siirtymän aiheuttaa materiaalissa olevan veden pintajännityksen seurauksena syntyvä huokosalipaine, joka vaikuttaa kaikkiin suuntiin materiaalissa (Sisäilmayhdistys 2008). Kovettumisreaktio katkaisee huokosverkostoa betonin kovettuessa, jolloin kapillaarinen siirtyminen vähenee ja vettä siirtyy pääosin diffuusion avulla. Diffuusiassa veden siirtyminen perustuu betonin huokosten vesihöyryn osapaineisiin, jotka vaihtelevat massan eri osissa ja pyrkivät tasoittumaan. Tällöin kosteus siirtyy suuremmasta paineesta pienempään paineeseen. Veden haihtuessa pinnan vesimäärä vähenee, jolloin veden osapaine laskee. Tämä johtaa siihen, että syvemmältä betonista vettä alkaa kulkeutua pintaa kohti. Betonin kuivuminen diffuusion avulla on hidasta verrattuna kapillaariseen siirtymään. Betonin kuivumisessa tavoitteena ei ole yleensä tasapainokosteus ympäristön kanssa vaan pinnoitteen tai päällysteen vaatimuskosteus, jotka ovat usein 80–90 %. (Merikallio 2002, 33–34)

### 3.1 Kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat rakenneratkaisu, valutilan olosuhteet, betonin lämpötila sekä betonin ominaisuudet. Lisäksi pinnan puhtaanapito sekä jäykkien ja suurirakeisten massojen käyttö nopeuttavat kuivumista. (Merikallio 2002, 35–37)

Mahdollisia rakenneratkaisuita lattioille ovat yhteen tai kahteen suuntaan kuivuvat laatat ja välipohjat, joissa kuivuminen voi tapahtua osittain kahteen suuntaan, täysin kahteen suuntaan tai vain yhteen suuntaan. Osittain kahteen suuntaan kuivuvia rakenteita ovat esimerkiksi maanvaraiset laatat, joissa haihtuminen tapahtuu pääosin yhteen suuntaan ja todella hitaasti siltä puolelta, joka on maata vasten. Yhteen suuntaan kuivuvat rakenteet kuivuvat huomattavasti hitaammin kahteen suuntaan kuivuviin verrattuna, koska haihtuminen tapahtuu pinnasta, jolloin kosteus joutuu siirtymään pahimmillaan koko laatan paksuuden verran päästäkseen pintaan. Kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa kosteuden tarvitsee pahimmillaan siirtyä puolestavälistä laattaa. Kuivumisnopeuteen vaikuttaa lisäksi rakenteen paksuus. (Merikallio 2002, 35) Kuvassa (kuva 1) on kuvattuna erilaisia yhteen ja kahteen suuntaan kuivuvia rakenteita ja kosteuden siirtymistä niissä.



KUVA 1. Kosteuden siirtyminen erilaisissa rakenteissa (Merikallio 2002, 35)

Valutilan olosuhteet kuten ilmvirratt, suhteellinen kosteus sekä lämpötila vaikuttavat kuivumiseen siten, että korkeampi lämpötila nopeuttaa kuivumista koska kovettumisreaktio tapahtuu nopeammin suotuisissa olosuhteissa. Ilmavirtaukset nopeuttavat pinnan kosteuden haihtumista merkittävästi. Kuivumisen kannalta ilman suhteellinen kosteus on optimaalinen silloin, kun se on noin 50 %. Lämpötila vaikuttaa kuivumiseen oleellisesti, koska lämpötilan noustessa betonin huokosissa olevan vesihöyryn osapaineet kasvavat, jolloin kosteus siirtyy nopeammin rakenteessa ja lämmin vesi haihtuu nopeammin. Betonin sekä ympäristön lämpötilan tulisi olla vähintään + 20 °C, jotta kuivuminen tapahtuisi riittävän nopeasti, mutta nostettaessa lämpötilat lähemmäs + 30 °C kuivumisnopeus kasvaa huomattavasti. Korkeita lämpötiloja ei suositella kuivumisen alkuvaiheessa halkeilun välttämiseksi. Betonin lämpötila on oleellisempi kuivumisen kannalta kuin ilman lämpötila, mutta ilmaa lämmittämällä voidaan myös nopeuttaa kuivumista. Kuivumisen oletetaan alkavan vasta, kun lisäkosteutta ei pääse rakenteeseen. (Merikallio 2002, 35–36)

Betonin ominaisuuksista huokosrakenne vaikuttaa kuivumisnopeuteen merkittävästi, koska betonin yhtenäisissä huokosissa tapahtuu kapillaarista siirtymää, jolloin veden siirtyminen pintaan on tehokasta. Huokosverkoston katketessa siirtyminen hidastuu. Betonin vesi-sementtisuhde vaikuttaa tähän huokosverkoston katkeamiseen siten, että alhaisemmissa vesi-sementtisuhteissa verkosto katkeaa nopeammin kuin korkeissa. Alhaisen vesi-sementtisuhteen massoilla haihtuminen on hitaampaa, mutta sementtiä on niin paljon, että kemiallisesti sitoutuu merkittävä osa vedestä ja haihdutettavaa vettä on vähemmän jäljellä. Näillä massoilla kuivuminen on aluksi nopeaa, mutta hidastuu merkittävästi noin 90 % suhteellisen kosteuden jälkeen. Tavoitekosteuksiin päästään nopeasti valitsemalla tarpeeksi pienen v/s-suhteen omaava betoni. Kuivumista voidaan nopeuttaa lisäaineilla kuten huokostimilla ja notkistimilla. (Merikallio 2002, 36) Huokostimet luovat betoniin pieniä ilmakuplia, joiden avulla voidaan vähentää tarvittavan veden määrää, mutta niiden päätarkoitus on luoda huokosverkosto, joka suojaa betonia sulamisen ja jäätyamisen aiheuttamilta vaurioilta. Notkistimien käytössä tarkoituksena on vähentää betonin valmistamiseen käytettävän veden määrää ja samalla parantaa betonin työstettävyyttä. (Rixom & Mailvaganam 1999, 77, 104, 132, 278)

### 3.2 Kosteus

Kosteutta voi päätyä rakenteisiin useaa eri reittiä. Sade ei vaurioita sellaisenaan betonia, mutta vaikuttaa eristemateriaaleihin, joita käytetään rakenteissa kuten sahanpuruun, sellu- ja mineraalivillaan niin, että ne saattavat tuhoutua. Eristeiden suojaus heti on kannattavaa, koska silloin vältytään myöhemmiltä vahingoilta. Ilma sisältää myös kosteutta ja lähes kaikkiin rakenteisiin ilma pääsee vaikuttamaan. Ilma ja sen kosteus pääsevät tunkeutumaan rakenteisiin rakenteissa olevien huokosten kautta. Ilman sisältämä vesimäärä on riippuvainen lämpötilasta niin, että suuremmissa lämpötiloissa ilman vesipitoisuus on suurempi kuin alhaisemmissa lämpötiloissa. Ilma voi sisältää vain tietyn määrän vettä. Maaperä sisältää myös kosteutta ja rakenteiden kannalta maan huokosten sisältämä vesihöyry on merkittävä. Yleensä maaperän suhteellisen kosteuden oletetaan olevan 100 % tehdessä laskelmia rakenteiden kosteuksista. (Björkholtz 1997, 40, 43, 49) Betoni olisi hyvä suojata sateelta ja muulta kastumiselta mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, koska kosteuden pääsy rakenteeseen vaikuttaa betonin kuivumiseen hidastaen sitä merkittävästi. Mitä pidempään kosteus pääsee vaikuttamaan betoniin, sitä kauemmin kuivuminen kestää. (Merikallio 2002, 36)

Suhteellisella kosteudella tarkoitetaan ilmassa olevan vesihöyryn ja kyseisen lämpötilan kannalta maksimaalisen kosteuden suhdetta ja se ilmoitetaan prosentteina. Esimerkiksi sumuisen ilman suhteellinen kosteus on 90 %. (Ilmatieteenlaitos 2018) Betoni pyrkii jatkuvasti saavuttamaan suhteellisen kosteuden osalta tasapainotilaa ympäristön kanssa joko antamalla tai ottamalla kosteutta ympäristöstä. Betonin tapauksessa suhteellinen kosteus eli  $RH$  on betonin huokosten ilmatilassa olevaa suhteellista kosteutta. Betonissa kosteutta kertyy huokosissa ilmatilaan sekä pinnalle. Betonin huokosrakenne vaikuttaa siihen, kuinka paljon kosteutta pääsee sitoutumaan, jolloin eri betonien kosteuspitoisuudet voivat vaihdella vaikka suhteellinen kosteus olisikin sama. (Merikallio 2002, 10) Kriittinen kosteus  $RH_{kr}$  tarkoittaa ylärajaa, jolloin rakennusmateriaali toimii pitkään tyydyttävällä tasolla. Esimerkiksi lattialiimoissa kriittisen kosteuden arvo on noin 90 %, koska kyseisessä kosteudessa liimojen tartuntalujuudet eivät ole vielä heikentyneet merkittävästi. Kosteuden kannalta rakennusmateriaalit toimivat parhaiten, kun niitä käytetään olosuhteissa, joissa kriittisiin kosteuksiin ei ylltetä. (Björkholtz 1997, 60)

### 3.3 Eristys

Lämmöneristys on tärkeä osa rakennetta ja sen onnistuminen on tärkeää. Eristyksen tulisi toimia koko rakenteen kestoajan. Kosteus vaikuttaa negatiivisesti eristeisiin ja niiden suojaaminen on tärkeää, koska kostuneen eristeen eristyskyky on heikko. Eristeiden kastuminen voi tapahtua kuljetuksessa, varastoinnissa, rakentamisen aikana sekä rakenteen sisällä. Erilaisia eristemateriaaleja ovat solumuovit, solulasi, mineraalivillat ja kevytsora. Solumuovit ja solulasi ovat sadetta kestäviä lähes tiiviitä eristeitä, joissa vesi pääsee vain eristeen pintaan, mutta ei syvemmälle. Solumuovit on kuitenkin suojattava sateelta. Mineraalivilla ei kestä kosteutta ja niiden suojaaminen kastumiselta on tärkeää. Kevytsora on eriste, joka päästää kosteuden lävitseen eikä pilaannu mineraalivillan tavoin. Rakenteessa tulee olla tuuletus, jolloin vesi pääsee poistumaan eristeestä. Mikäli kevytsoraa käytetään eristeenä suljetussa tilassa, on se suojattava kosteudelta. (Björkholtz 1997, 35)

Lattioissa lämmöneristys voidaan sijoittaa joko betonin alle tai päälle. Molemmissa tapauksissa maan ja rakenteen väliin tehdään kerros, jonka tarkoituksena on estää maapohjan kapillaarinen vedenpääsy rakenteeseen sekä ohjata se salaojaan. Tämän kerroksen tekemiseen voidaan käyttää esimerkiksi sepeliä ja kevytsoraa sellaisenaan tai mineraaliviljaa ja solumuovia vedenpääsyn estämiseen, mutta niiden alle tarvitaan erillinen salaojitettava kerros. (Björkholtz 1997, 113) Vedeneristeet sijoitetaan betonin ja päällysteen väliin ja niiden tehtävä on estää veden pääsy rakenteisiin. Vedeneristeiden tulee myös kestää jatkuvaa kastumista ja olla tarpeeksi sitkeitä, jotta alustassa tapahtuvat liikkeet eivät vaurioittaisi niitä. Vedeneristeille suositeltu suhteellisen kosteuden arvo, jolloin eriste voidaan asentaa, on 85–95 % arviointisyvyydeltä ja pinnan *RH* tulisi olla 75 %. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 44–45)

Kun lämmöneriste on betonilaatan alla, eristemateriaali on lähempänä maaperää. Ilman sekä maaperän suhteellinen kosteus voi olla mitä vain melkein kuivasta sataan prosenttiin ja vesihöyry voi siirtyä lattiaan joko huoneilmasta tai maaperästä. Huoneilman vesihöyry ei ole haitallinen, koska lattia on usein pinnoitettu niin, että se ei pääse tunkeutumaan rakenteisiin. Maaperän vesihöyryt taas voivat olla haitallisia, koska ne voivat tunkeutua pinnoitteiden alle, josta ne eivät pääse poistumaan pinnoitteiden tiiviiden takia. Betonin alla eristemateriaaleina voidaan käyttää mineraaliviljaa, kevytsoraa tai solumuovia. Eristyksessä on huomioitava rakennuksen leveys ja vuoden keskilämpötila niin, että mitä le-

veämpi rakennus ja mitä alhaisempi on sijainnin keskilämpötila, sitä paksumpi eriste tarvitaan. Eristeet rakennuksen reunoilla vaikuttavat pintalämpötiloihin ja keskellä kosteuteen. Kaikki puiset osat on myös eristettävä betonilta, koska puu voi lahota, koska betonin suhteellinen kosteus on kuivumisen alkuvaiheessa suurempi kuin puun kriittinen kosteus, joka on 75 %. (Björkholtz 1997, 113–115)

Kun lämmöneristys laitetaan betonin yläpuolelle, betoni sijaitsee lähempänä maaperää. Tällöin betonin yläpintaan sijoitetaan kosteuseriste, joka estää kosteuden pääsyn lämmöneristeeseen. Puulattiat ovat yleisin sovellus, jossa eristys asetetaan betonilaatan päälle. Tällöin huoneilman kosteus on otettava huomioon ja varmistuttava, että se ei ole lähellä puun kriittistä kosteutta, tähän voidaan vaikuttaa ilmanvaihdon avulla. Lämmöneristeinä käytetään tavallisesti solumuovia, koska se on kovaa materiaalia ja kestää siihen upotettavat naulauspuut. (Björkholtz 1997, 115)

### 3.4 Kutistuminen ja halkeilu

Betonin kutistuminen johtuu kuivumisesta. Kutistumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat sementtimäärä, sementtilaatu, vesi-sementtisuhde sekä massassa käytetyn kiviaineksen rae-  
koko sekä määrä. Kutistumista voidaan pienentää pienentämällä sementtimäärää ja vesi-sementtisuhdetta sekä käyttämällä suurirakeista kiviainesta ja lisäämällä kiviaineksen kوناismäärää. Kutistuminen voi myös olla palautuvaa, eli kosteuden kasvaessa betonin tilavuuskin kasvaa. Päälystämisen näkökulmasta *RH* 80 % on arvo, jolloin kutistuminen ei enää vaikuta erityisesti päälysteisiin. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 36–37)

Betonissa kutistuminen ja halkeilu liittyvät läheisesti toisiinsa ja ne alkavat jo, kun betoni on vielä plastisessa tilassa ja jatkuvat pitkään vielä kovettuneessa massassa. Lattioille tyypillisimpiä kutistuman ja halkeilun tyyppejä ovat plastinen kutistuma, jota tapahtuu, kun betoni on vielä plastisessa tilassa. Lisäksi kovettuneessa lattiassa viruma ja kuivumiskutistuma voivat aiheuttaa halkeilua. (Petrov 2016, 26, 30, 56)



### 3.4.1 Plastinen kutistuma

Plastinen kutistuma on vaakatasossa tapahtuvaa betonin tilavuuden muutosta pinnasta haihtuvan veden seurauksena, kun valusta on kulunut vain muutamia tunteja. Syy plastiselle kutistumalle on, että ennen kuin massa ehtii sitoutumaan, vettä on jo haihtunut ja massa on päässyt kuivumaan liikaa. Betonin kutistuminen on seuraus sementin, veden ja veden pintajännityksen seurauksena syntyvästä kalvojännitystilasta, joka aiheuttaa veto-voimia ja betoni kutistuu. Samanaikaisesti betonin huokokset siirtävät vettä alhaalta ylöspäin muodostuneen alipaineen avulla. Veden haihtuessa sementti ja kiviaines liikkuvat massassa alaspäin täyttäen tilan, jonka haihtuva vesi jättää tyhjäksi ja tällöin betonin tilavuus pienenee yhtä paljon kuin vettä haihtuu ja halkeamia ei pääse syntymään. Halkeamia syntyy, mikäli kiviaines ja sementtihiukkaset eivät pääse liikkumaan alaspäin ja korvaamaan veden jättämää tyhjää tilaa, jolloin pintaan syntyy vetojännityksiä ja betoniin voi muodostua halkeamia. (Petrow 2016, 15)

Lämpötila ja kosteuserot pyrkivät tasoittumaan valetun rakenteen ja ympäristön välillä. Tasoittumiseen vaikuttavat ilmavirtaukset sekä auringon säteily. Jos betonirakenteen lämpötila on ympäristön lämpötilaa korkeampi, lämpövirrat kuljettavat kosteutta betonin pinnasta ilmaan ja rakenteen lämpötila laskee, jonka seurauksena betoni kutistuu. Tällöin betonin pintaan voi kertyä halkeamia, mutta niiltä voidaan välttyä peittämällä betoni heti, kun levitys ja tasoitus on tehty käyttämällä tiivistä lämpöä eristävää peitettä. Jos ympäristön lämpötila on valettua betonirakennetta suurempi, pinnasta haihtuu kosteutta ympäristöön ja tällöin pintakerrokseen voi syntyä halkeilua, joka ei kuitenkaan ulotu pintaa syvemmälle. Halkeilulta voidaan välttyä peittämällä betoni mahdollisimman aikaisessa vaiheessa peitteellä, joka estää haihtumista. Jos ympäristön ja betonin lämpötilat ovat yhtä suuret, lämmön siirtymistä ei tapahdu, mutta kosteutta siirtyy betonista ympäristöön ja riski plastiseen halkeiluun on olemassa, joten haihtumista tulisi estää peitteellä. (Petrow 2016, 16–17)

### 3.4.2 Viruma

Viruma on kuormitetussa betonissa tapahtuvaa pitkän ajanjakson muodonmuutosta, joka tarkoittaa rakenteiden taipumista. Viruma voi olla sekä haitallinen että hyödyllinenkin ilmiö ja se saattaa pienentää halkeilua vähentämällä jännitystä, mutta yleisesti ottaen se on haitallista. Virumaan vaikuttavat betonin lujuus, ikä kuormitettaessa, kuormitustaso ja kuormituksen kesto aika. Lisäksi kosteudella ja rakenteellisilla mitoilla on vaikutusta. Viruman pienentäminen on mahdollista antamalla betonille aikaa kovettua rauhassa ja lisäämällä kuormittavat tekijät myöhemmin tai jos tämä ei ole mahdollista, niin nostamalla lujuutta. (Petrov 2016, 22–23)

Virumassa materiaalin atomit tai molekyylit järjestäytyvät uudelleen, kun materiaali on rasituksen alla. Tämä uudelleenjärjestäytyminen vie tietyn aikaa ja jos materiaali on pitkään rasituksen alla, virumaa alkaa muodostua, koska uudelleenjärjestäytyminen on ehtinyt tapahtua. Betonissa vesimolekyylien uudelleenjärjestäytyminen on syynä virumaan. (Li 2011, 208, Mindessin 2003 mukaan)

### 3.4.3 Kuivumiskutistuma

Kuivumiskutistumaa tapahtuu kovettuneessa betonissa, kun betoni kutistuu veden poistumisen seurauksena. Betonirakenteeseen jää aina vapaata vettä, joka reagoi sementin kanssa ja rakenteen kuivuessa poistuu betonista. Rakenteen kuivumiseen vaikuttaa käytetyn betonilaadun lisäksi rakenteen tyyppi, mitat ja ympäristön olosuhteet. Halkeamia syntyy, mikäli betoni ei pääse kutistumaan ja betoniin kohdistuvat jännitykset ovat voimakkaampia mitä betoni pystyy vastaanottamaan. Lattioissa kuivuminen on epätasaista ja aiheuttaa käyristymistä sekä reunojen nousua, joiden seurauksena voi mahdollisesti syntyä halkeamia. Lattioiden halkeamat pilaavat sen näytävyyden ja niiden korjaaminen on vaikeaa. (Petrov 2016, 23–24, 56)

Kuivumiskutistuman seurauksena syntyvät halkeamat vähentävät rakenteiden käyttöikää ja ovat visuaalinen haitta. Tämän välttämiseksi on olemassa toimenpiteitä, joiden avulla pyritään hallitsemaan kutistumista. Ensimmäisenä keinona voidaan käyttää raudoitusta, joka ei kutistu betonin tapaan rajoittaen kutistumista betonin ollessa sidoksissa raudoitteeseen. Raudoitteen rajoittaessa kutistumista raudoitteeseen kohdistuu puristusrasitusta

ja betoniin syntyy jännitteitä, jolloin voimat ovat keskenään tasapainossa. Tällöin kutistumisen aiheuttamat halkeamat ovat jakautuneet tasaisesti ja ovat kooltaan hyvin pieniä. Toisena keinona voidaan käyttää kuituja, jotka pienentävät kutistumishalkeilua tehokkaasti kuitujen ja betonin välille muodostuvien sidosten ansiosta. Kolmantena keinona on laajenevan betonin käyttäminen, jonka on tarkoitus kompensoida kutistumista. Viimeisenä keinona on käyttää kemiallista seosta, jolla voidaan vähentää kutistumaa. Tämä seos on nestemäinen orgaaninen seos, joka sisältää polypropeeniglykolin johdannaisia. (Li 2011, 205, Berken 1999 mukaan)

#### 4 KOKEELLINEN OSUUS

Kokeellisessa osuudessa määritettiin viidelle eri lattiabetonille kuivumiskäyrät porareikämenetelmällä käyttäen yhteen suuntaan kuivuvaa rakennetta. Koe suoritettiin kahdessa osassa käyttäen samoja massoja, mutta massojen valmistuksen hienosäätö hoidettiin eri tavalla. Ensimmäisessä osassa säätö tehtiin veden avulla ja toisessa osassa notkistimen avulla. Kokeen ensimmäisen osan massat (606A-E) valmistettiin 19.11.2018 ja toisen osan massat (600A-E) 28.1.2019 Konalan keskuslaboratoriossa.

Valmistuksessa käytettiin keskuslaboratorion myllyä, jolla voidaan valmistaa pieniä koeeriä massaa. Kutakin massaa tehtiin 35 litran annos. Aluksi kuiva-aineet eli kiviainekset ja sementit punnittiin jokaisen massan osalta omaan saaviinsa ja mittatarkkuus tässä oli 0,02 kg, joka oli vaa'an mittatarkkuus. Notkistin ja huokostin punnittiin erikseen pienempiin astioihin käyttäen tarkempaa vaakaa, jonka mittatarkkuus oli 0,0001 kg. Massojen vedet punnittiin omiin ämpäreihinsä ja punnitsemisessa käytettiin samaa vaakaa kuin kuiva-aineiden punnituksessa. Kuiva-aineet, notkistin, huokostin ja vesi pidettiin erillään toisistaan niin pitkään, kunnes massa oli tarkoitus sekoittaa myllyssä.

Ensimmäisessä osassa myllyyn lisättiin aluksi kuiva-aineet, sen jälkeen osa vedestä, jota lisättiin vähän kerrallaan koko sekoituksen ajan. Notkistin ja huokostin lisättiin ensimmäisen vesiannoksen jälkeen ja massa säädettiin sopivaksi veden avulla. Toisessa osassa tehtiin muuten samalla tavalla, mutta kaikki vedet laitettiin kuiva-aineiden jälkeen kerralla myllyyn ja massa säädettiin notkistimen avulla. Sekoitusaika oli kolme minuuttia jokaiselle betonilaadulle. Ensimmäisen osan veden ja toisen osan notkistimen lisäyksessä seurattiin, miten se sekoittuu betoniin myllyn yläpuolella olevasta luukusta. Lisäyksessä pyrittiin siihen, että massasta tulisi koostumukseltaan juuri oikeanlaista ja, että painuma vastaisi sille annettua vaatimusta. Tämän seurauksena ensimmäisessä osassa vettä ja toisessa osassa notkistinta jäi pieni määrä käyttämättä jokaisen massan valmistuksessa, koska betonin koostumus saatiin oikeanlaiseksi pienemmällä määrällä kuin resepti määritteli. Käyttämättömän veden ja notkistimen määrät punnittiin ja kirjattiin ylös.

Massojen valmistukseen käytetyistä raaka-aineista sementit sekä lisäaineet olivat Finnsementin tuotteita. Sementteinä käytettiin Plussementtiä, SR-sementtiä ja Pikasementtiä. Lisäaineina käytettiin Saitti-Parmixia notkistimena ja Ilma-Parmixia huokostimena. Plussementti CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N on normaalisti kovettuvaa, monikäyttöistä ja ympäristöystävällistä sementtiä, jota käytetään betonituotteissa (Finnsementti n.d.e). SR-sementti CEM I 42,5 N - SR3 on sulfaatinkestävää normaalisti kovettuvaa sementtiä, jota käytetään rakenteissa, joihin kohdistuu sulfaattirasitusta. SR-sementin vedentarve on pienempi kuin tavallisella sementillä, jolloin sen avulla voidaan valmistaa pienen v/s-suhteen omaavia massoja. (Finnsementti n.d.f) Pikasementti CEM I 52,5 R on nopeasti kovettuvaa sementtiä, joka mahdollistaa nopean lujuudenkehityksen betonissa (Finnsementti n.d.d). Saitti-Parmix on valmisbetoniin tarkoitettu polykarboksylaattipohjainen notkistin, jonka avulla betonin työstettävyyttä säilyy noin kaksi tuntia massan valmistuksesta (Finnsementti n.d.c). Ilma-Parmix on betonin huokostin, joka luo massaansa sekoituksessa pysyviä ilmahuokosia, jotka ovat kooltaan hyvin pieniä. Ilma-Parmixia käytetään silloin, kun betonin tarvitsee kestää jatkuvaa jäätymistä ja sulamista. (Finnsementti n.d.b)

Valmistetut massat, niiden tunnuksat ja niissä käytetyt raaka-aineet on kirjattu taulukkoon (taulukko 4). Massat ovat merkattuina siten, että ensimmäiset kirjaimet kertovat betonilaadun, vaadittu vähimmäiskuutiolujuus on merkattuna laadun jälkeen, maksimiraekoko ilmaistuna lujuusluokan jälkeen ja viimeisenä kerrotaan painumaluokka. Kiviaineksissa vasemmanpuoleinen numeroarvo kuvastaa minimiraekokoa ja oikeanpuoleinen arvo maksimiraekokoa. Lisäksi kiviainesten merkinnöistä h tarkoittaa hienorakeista ja k karkearakeista kiviainesta. Taulukon lopussa betonilaatu NP 30, on merkitty suluissa lujuusluokkaan 37, koska pienemmän vesimäärän ansiosta saavutettu v/s-suhte on lähempänä NP 37 reseptiä kuin NP 30 reseptiä. Tästä eteenpäin massoihin viitataan taulukossa olevien tunnusten avulla.

TAULUKKO 4. Massoissa käytetyt raaka-aineet

| Tunnus       | Massa               | Sementit    | Kiviaines                            | Lisäaineet                      |
|--------------|---------------------|-------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 606A<br>600A | LA 30 16 S3         | Plus        | 0-8h, 0-8k ja 5-16                   | Saitti-Parmix                   |
| 606B<br>600B | LA 30 16 S3 SR+Pika | SR + Pika   | 0-8h, 0-8k ja 5-16                   | Saitti-Parmix                   |
| 606C<br>600C | LA 37 16 S3         | Plus        | 0-8h, 0-8k ja 5-16                   | Saitti-Parmix                   |
| 606D<br>600D | LA 37 16 S3 SR+Pika | SR + Pika   | 0-8h, 0-8k ja 5-16                   | Saitti-Parmix                   |
| 606E<br>600E | NP 30 (37) 16 S3    | Plus + Pika | 0-5 kivituhka, 0-8h,<br>0-8k ja 5-16 | Saitti-Parmix<br>ja Ilma-Parmix |
|              | NP 30 16 S3         |             |                                      |                                 |

Ensimmäisen osan massojen valmistuksessa käytettyjen raaka-aineiden määrät on ilmoitettu taulukossa (taulukko 5). Taulukossa olevista arvoista käy ilmi, kuinka paljon kutakin raaka-ainetta tarvitaan yhden kuutiometrin valmistamiseen. Sementit sekä kiviainekset on ilmoitettu kaikkien valmistuksessa käytettyjen sementtien sekä kiviainesten summana siten, että sementit ja kiviainekset ovat omissa sarakkeissaan ja lukuarvo on summa taulukon (taulukko 4) laatujen reseptinmukaisista määristä. Tähän on myös kirjattu reseptin mukainen veden määrä sekä massan valmistuksessa todellisuudessa käytetty veden määrä. Vesi on raaka-aineista ainoa, jota käytettiin eri määrä kuin reseptissä oli mainittu ja ne ovat esitettynä tehollisen veden arvoina. Tehollisella vedellä tarkoitetaan betonin vesimäärän ja kiviaineksen vesimäärän erotusta (Betoninormit 2012, 202).

TAULUKKO 5. Ensimmäisen osan massoissa käytetyt raaka-aineet kuutiometrin annokseen

| Tunnus | Sementti<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Vesi (resepti)<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Vesi (käytetty)<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Kiviaines<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Notkistin<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Huokostin<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------|----------------------------------|--|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 606A   | 349                              | 224                                    | 212,4                                   | 1 722                             | 1,326                             | -                                 |
| 606B   | 331                              | 214                                    | 202,5                                   | 1 760                             | 1,491                             | -                                 |
| 606C   | 355                              | 200                                    | 185,4                                   | 1 794                             | 2,450                             | -                                 |
| 606D   | 369                              | 214                                    | 196,3                                   | 1 764                             | 1,849                             | -                                 |
| 606E   | 395                              | 211                                    | 197,0                                   | 1 601                             | 1,979                             | 0,159                             |

Massoissa käytetyn pienemmän vesimäärän seurauksena todelliset vesi-sementtisuhteet olivat pienempiä kuin reseptinmukaisilla vesimäärillä oltaisiin saatu. Vesi-sementtisuhteiden erot on kirjattu taulukkoon (taulukko 6), josta näkyy massan tunnus, reseptin mukainen v/s-suhde sekä saavutettu v/s-suhde. Tämän lisäksi lasketaan reseptin ja saavutetun v/s-suhteen erotus sekä erotuksen suhde reseptissä mainittuun arvoon, jolloin saadaan tuloksena prosenttiosuus, joka kertoo kuinka paljon v/s-suhde on pienentynyt veden vähemmän käytön seurauksena.

TAULUKKO 6. Vesi-sementtisuhteiden eroavaisuudet reseptien ja valmistettujen massojen välillä ensimmäisessä osassa

| Tunnus | v/s (resepti) | v/s (saavutettu) | v/s (resepti) – v/s<br>(saavutettu) | v/s pienentynyt (%) |
|--------|---------------|------------------|-------------------------------------|---------------------|
| 606A   | 0,65          | 0,61             | 0,04                                | 6,2                 |
| 606B   | 0,65          | 0,61             | 0,04                                | 6,2                 |
| 606C   | 0,57          | 0,52             | 0,05                                | 8,8                 |
| 606D   | 0,59          | 0,53             | 0,06                                | 10,2                |
| 606E   | 0,54          | 0,50             | 0,04                                | 7,4                 |

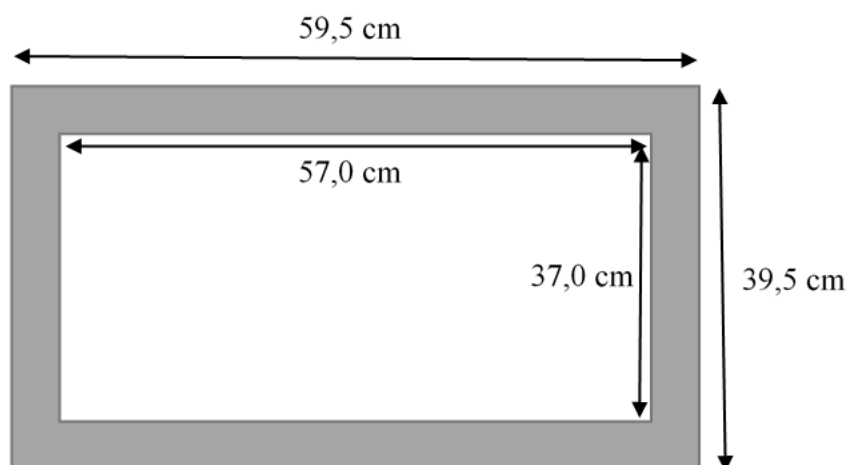
Yllä olevan taulukon perusteella suurin vaikutus vesimäärän vähentämisellä oli massoihin, joiden v/s oli jo aluksi asetettu alhaiseksi. Määrällisesti vettä vähennettiin eniten massasta 606D, jonka v/s-suhde myös putosi prosentuaalisesti eniten. Pienin vaikutus veden vähentämisellä oli massoihin 606A ja 606B.

Toisen osion massojen valmistuksessa pyrittiin saavuttamaan reseptinmukaiset v/s-suhteet, jolloin vettä käytettiin reseptinmukainen määrä ja notkistinta vähemmän kuin resepti määritteli. Taulukkoon (taulukko 7) on kirjattu toisen osion massoissa käytetyt raaka-ainemäärät kuutiometrin annokseen ja kirjattu notkistimen reseptinmukainen määrä sekä todellisuudessa käytetty määrä. Veden arvot ovat tehollisen veden toteutuneita arvoja.

TAULUKKO 7. Toisen osan massoissa käytetyt raaka-aineet kuutiometrin annokseen

| Tunnus | Sementti<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Vesi<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Kiviaines<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Notkistin<br>(resepti)<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Notkistin<br>(käytetty)<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Huokostin<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|---|-----------------------------------|
| 600A   | 347                              | 224,0                        | 1 714                             | 1,320  | 0,243   | -                                 |
| 600B   | 330                              | 214,0                        | 1 749                             | 1,490  | 0,984   | -                                 |
| 600C   | 351                              | 200,0                        | 1 776                             | 2,420  | 1,968   | -                                 |
| 600D   | 362                              | 214,0                        | 1 730                             | 1,810  | 0,938   | -                                 |
| 600E   | 393                              | 210,9                        | 1 590                             | 1,950  | 1,200   | 0,158                             |

Heti kunkin betonilaadun valmistuksen jälkeen mitattiin huoneen lämpötila sekä massan laadulliset ominaisuudet eli lämpötila, painuma, tiheys ja ilmamäärä. Näiden jälkeen vallettiin kuivumisaikojen mittaamisessa käytetty laatta kahdessa osassa täryttäen betoni vibraattorilla hiukan yli reunojen. Muotin mitat laatan yläpuolelta katsottuna on esitetty kuvassa (kuva 2). Laatan paksuus on seitsemän senttimetriä ja kuvassa olevat harmaat reunat kuvastavat muotin reunoja.



KUVA 2. Muotin mitat yläpuolelta katsottuna

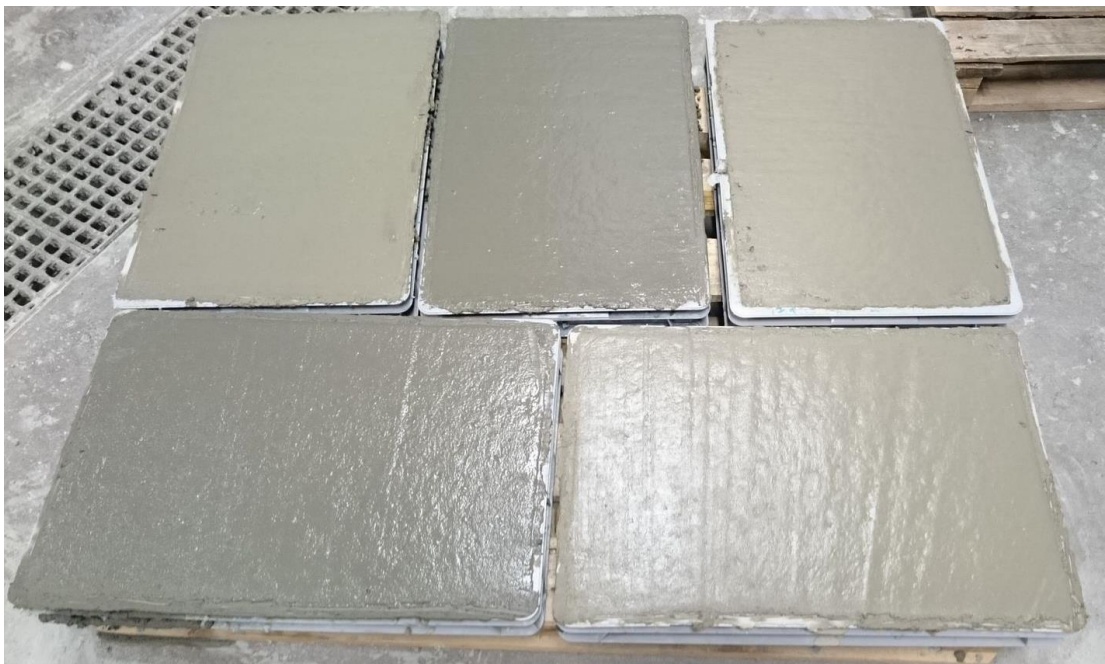
Laatan jälkeen tehtiin yksi puristuslujuus kappale kustakin massasta muoviseen lieriömuottiin, joka on sisähalkaisijaltaan 150 mm ja korkeudeltaan 300 mm. Koekappaleet tiivistettiin kolmessa osassa betoni vibraattorilla. Kuvassa (kuva 3) näkyy ensimmäisessä osassa tehdyt koekappaleet, jotka puristetaan 28 vuorokauden ikäisinä. Koekappaleet ovat kuvassa aakkosjärjestyksessä vasemmalta oikealle. SR-sementtiä sisältäneet betonilaadut tunnistetaan tummasta väristä.





KUVA 3. Puristuslujuuskoekappaleet

Tämän jälkeen laattojen sekä puristuslujuuskappaleiden annettiin kuivua noin kolme tuntia, jonka jälkeen laattojen pinnalle jätetty ylimääräinen betoni hierrettiin pois aluksi puusella lastalla, jonka jälkeen pinta tasoitettiin metallisella lastalla. Laatat, joiden pinnat on tasoitettu näkyvät kuvassa (kuva 4). Tämän jälkeen laatat ja puristuslujuuskappaleet peitettiin vettä läpäisemättömällä muovipeitteellä. Seuraavana päivänä muovipeitteet poistettiin, puristuslujuuskappaleet purettiin muoteistaan paineilman avulla, nimettiin ja vietiin vesialtaaseen kovettumaan, jossa ne olivat täysin upotettuina puristuspäivään asti. Vesialtaan lämpötila oli  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Laattoihin merkattiin tunnus ja valmistuspäivä, mutta niitä ei purettu muoteistaan. Laattoja säilytettiin olosuhteissa, joissa ilman suhteellinen kosteus oli noin 50 % ja lämpötila noin  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



KUVA 4. Laatat, joiden pinnat on tasoitettu

#### 4.1 Betonin laadulliset mittaukset

Betonin laadullisiin mittauksiin kuuluu lämpötilan, painuman, tiheyden, ilmamäärän ja puristuslujuuden mittaaminen. Näiden mittausten tarkoituksena on varmistaa, että betoni on laadultaan hyvää ja käyttökelpoista.

Heti massan valmistuksen jälkeen mitattiin huoneen lämpötila, betonimassan lämpötila, painuma, tiheys ja ilmamäärä. Huoneen lämpötila saatiin seinällä olevasta lämpömittarista, joka antoi tuloksen  $0,1\text{ °C}$  tarkkuudella. Betonimassan lämpötila mitattiin myllyssä olevasta massasta kolmesta eri kohdasta lämpömittarilla, jonka tarkkuus oli  $0,1\text{ °C}$ . Lämpömittari pistettiin betoniin niin, että mittarin kärki oli suunnilleen massan yläpinnan ja myllyn pohjan puolella välissä. Tuloksista laskettiin keskiarvo, joka kirjattiin ylös.

Painumakoe on tarkoitettu käytettäväksi massoille, joiden painuma arvojen tulisi olla arvojen 10 mm ja 210 mm välillä. Tätä pienemmille tai suuremmille painumille tulisi käyttää toisenlaista menetelmää. Painumakokeessa käytetyn massan raekoko ei saa olla yli 40 mm ja mikäli painuma muuttuu muotin poistamisen jälkeen yli minuutin, koetta ei tulisi käyttää. Kokeessa käytetään pohjalevynä levyä, joka ei ime vettä itseensä ja on jäykkä. Tämän päälle asetetaan muotti, jonka sisämitat ovat: korkeus  $300 \pm 2\text{ mm}$ , pohjan halkaisija  $200 \pm 2\text{ mm}$  ja yläosan halkaisija  $100 \pm 2\text{ mm}$ . Muotin tulisi olla vähintään 1,5 mm paksu ja sisäpinnaltaan sileä ontto katkaistu kartio, joka on valmistettu sementtiä kestävästä metallista. Lisäksi muotissa tulee olla kaksi kädensijaa muotin yläosassa sekä kaksi jalkatukea muotin alaosassa, joiden avulla muotti pidetään paikallaan mittauksen ajan. Sulloinsauvana käytetään teräksistä pyöreää päistä pyöristettyä sauvaa, joka on pituudeltaan  $600 \pm 5\text{ mm}$  ja halkaisijaltaan  $16 \pm 1\text{ mm}$ . Lisäksi mitan tulisi olla 30 cm pitkä, jossa nollakohta sijaitsee mitan päädyssä. (SFS-EN 12350-2 2009, 4) Kuvassa (kuva 5) on esitettyä painumakokeessa käytetyt välineet. Mittauksessa käytettiin kiinnityssalvoilla varustettua levyä, johon kartio kiinnitettiin kuvan (kuva 5) mukaisesti.



KUVA 5. Painumakokeessa käytettävät välineet

Kokeen alussa muotti kiinnitetään vaakasuoraan pohjalevyyn kiinnityssalvoilla tai seisomalla jalkatukien päällä. Muotti täytetään kolmessa osassa tiivistäen jokaista osaa sulloinsauvalla iskemällä 25 kertaa siten, että iskut jakautuvat tasaisesti koko alalle ja ovat syvyydeltään hieman yli yhden kerroksen syvyyden. Ylimmän kerroksen tiivistyksessä betoni saattaa vajota, jolloin joudutaan lisäämään betonia hieman yli muotin yläreunan. Kun ylin kerros on tiivistetty, betonin pinta tasataan muotin yläreunaan sulloinsauvalla pyörittämällä. Ennen muotin nostoa ylimääräinen betoni poistetaan levyltä. Muotti poistetaan nostamalla tasaisella nopeudella suoraan ylöspäin ja noston tulisi kestää kahdesta viiteen sekuntia. Painuma on muotin korkeuden ja painuneen betonin korkeimman kohdan välinen erotus. (SFS-EN 12350-2 2009, 5) Painumaa mitattaessa sulloinsauva asetetaan vaakasuorasti kartion yläpintaan ja kartio asetetaan painuneen massan viereen. Painuma saadaan tällöin mittaamalla etäisyys painuneen massan korkeimmasta kohdasta sulloinsauvan alarajaan, joka on kartion ylärajan tasolla. Painumaluokat on ilmoitettu taulukossa (taulukko 8).

TAULUKKO 8. Painumaluokat (Betoninormit 2012, 106)

| Luokka | Painuma (mm) |
|--------|--------------|
| S1     | 10...40      |
| S2     | 50...90      |
| S3     | 100...150    |
| S4     | 160...210    |
| S5     | $\geq 220$   |

Tuoreen betonin tiheys mitataan vesitiiviistä astiasta, jonka tilavuus ja massa tunnetaan. Mittauksessa astian tulee olla jäykkä ja sisäpinnoiltaan sileä. Mitoiltaan astian tulee olla vähintään 150 mm sisämitaltaan ja sen tulee olla tilavuudeltaan vähintään viisi litraa. Betoni voidaan tiivistää sauvatäryttimellä, tärypöydällä, sulloinsauvalla tai sullointangolla. Käytettävän vaa'an tulisi pystyä mittaamaan vähintään 0,01 kg tarkkuudella. (SFS-EN 12350-6 2009, 4) Kokeellisessa osiossa tiivistys toteutettiin tärypöytää käyttämällä kahdessa osassa ja astia oli tilavuudeltaan kahdeksan litraa.

Mittauksen alussa tyhjä astia punnitaan ja saatu massa kirjataan ylös. Astia täytetään vähintään kahdessa osassa välissä tiivistäen valitulla tiivistysmenetelmällä. Itsetiivistyvien betonien tapauksessa astia täytetään kerralla täyteen. Betoni tiivistetään heti, kun se on astiaan laitettu. Tiivistettäessä tärysauvalla tai tärypöydällä tulee käyttää lyhintä tärytysaikaa, jonka betoni tarvitsee tiivistyäkseen. Huokosilma saattaa poistua betonista liiallisen täryttämisen seurauksena, joten tärytystä ei tulisi jatkaa enempää kuin on tarve. Tärysauvaa käytettäessä sauva ei saa koskea astian sivuihin tai pohjaan ja se pistetään betoniin pystysuorassa. Tärypöytää käytettäessä astia tulee joko kiinnittää pöytään tai pitää sitä käsin paikallaan. Sulloinsauvaa tai -tankoa käytettäessä massaa isketään tasaisesti koko astian alalta kerroksittain siten, että iskut eivät vaikuttaisi aikaisempiin kerroksiin. Tiivistyksen jälkeen pinta tasataan tasoitusviivaimella astian yläpinnan tasolle. Tasauksen jälkeen astia punnitaan ja tulos kirjataan ylös. Tiheys saadaan laskettua mitatuista suureista kaavalla (1). Tulokset tulee pyöristää tavallisia pyöristyssääntöjä noudattaen 10 kg/m<sup>3</sup> tarkkuudelle. (SFS-EN 12350-6 2009, 5–6)

$$\rho_t = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (1)$$

jossa  $\rho_t$  (kg/m<sup>3</sup>) on tuoreen betonin tiheys,  $V$  (m<sup>3</sup>) on astian tilavuus,  $m_1$  (kg) on astian massa tyhjänä ja  $m_2$  (kg) on astian massa, kun se on täynnä tiivistettyä betonia. (SFS-EN 12350-6 2009, 6, muokattu)

Tiheysmittauksista saadut mittaustulokset ovat listattuna taulukkoon (taulukko 9), joiden avulla tiheys voidaan laskea. Taulukosta selviää käytetyn astian tilavuus kuutiometreinä, astian massa kiloina ja täynnä betonia olevan astian massa kiloina kullekin betonilaadulle.

TAULUKKO 9. Tuoreen betonin tiheyden määrittämiseen tarvittavat arvot

| Betonilaatu | $V$ (m <sup>3</sup> ) | $m_1$ (kg) | $m_2$ (kg) |
|-------------|-----------------------|------------|------------|
| 606A        | 0,008                 | 2,96       | 21,30      |
| 606B        | 0,008                 | 2,96       | 21,47      |
| 606C        | 0,008                 | 2,96       | 21,55      |
| 606D        | 0,008                 | 2,96       | 21,53      |
| 606E        | 0,008                 | 2,96       | 20,57      |
| 600A        | 0,008                 | 2,96       | 21,37      |
| 600B        | 0,008                 | 2,96       | 21,42      |
| 600C        | 0,008                 | 2,96       | 21,62      |
| 600D        | 0,008                 | 2,96       | 21,55      |
| 600E        | 0,008                 | 2,96       | 20,99      |

Yllä olevien arvojen avulla tiheydet voidaan määrittää kullekin betonilaadulle kaavan (1) avulla. Alle on laskettuna esimerkkilasku, jossa lasketaan 606A betonin tiheys. Muut tiheydet ovat merkattuna pyöristettyinä taulukkoon (taulukko 13), johon on kerätty kaikki tulokset laadullisista mittauksista.

$$\rho_t = \frac{21,30 \text{ kg} - 2,96 \text{ kg}}{0,008 \text{ m}^3}$$

$$\rho_t = 2\,292,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_t \approx 2\,290 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$



Kokeellisessa osiossa tuoreen betonin ilmamäärä mitattiin heti tiheysmittauksen jälkeen Testing nro 9101 ilmamittarilla, jonka säiliön tilavuus oli kahdeksan litraa. Mittari toimii standardin SFS-EN 12350-7 painemittarimenetelmän mukaisesti. Mittari on kalibroitu viimeksi 5.10.2018. Mittauksissa käytetty mittari on esitettynä kuvassa (kuva 6).



KUVA 6. Ilmamittari

Painemittarimenetelmässä mittalaitteen säiliön tulee olla vähintään viisi litraa tilavuudeltaan ja kansiosan tulee pystyä kiristämään säiliöön painetiiviisti. Kansilaitteistossa on asennettuna painemittari, joka näyttää ilmamäärät prosentteina nolasta prosentista vähintään kahdeksaan prosenttiin. Mitta-asteikon jakovälin tulee olla 0,1 % nolasta kolmeen prosenttiin, 0,2 % kolmesta kuuteen prosenttiin ja 0,5 % kuudesta prosentista ylöspäin. (SFS-EN 12350-7 2009, 8)

Ilmamittarin säiliö täytetään kerroksittain ja kerroksien määrä riippuu tiivistystavasta ja betonin notkeudesta. Tiivistys voidaan toteuttaa tärysauvalla, tärypöydällä, sulloinsauvalla tai sullointangolla. Tiivistyksessä on tärkeää, että betonia ei tiivistetä liian kauaa,

jolloin huokosilma voi poistua massasta. Tiivistyksen jälkeen säiliön ja kannen yhtymäkohdat puhdistetaan ja kansi kiinnitetään säiliöön. Säiliön paineentasausventtiili suljetaan ja säiliön sivuilla olevat hanat avataan. Toiseen hanaan ruiskutetaan vettä niin pitkään, kunnes vesi alkaa virrata ulos laitteistosta toisen hanan kautta. Tämän jälkeen kammioon pumpataan ilmaa niin kauan, kunnes osoitin on mitta-asteikon kalibroidun nollakohdan alapuolella. Osoitin tasataan nollakohtaan päästämällä ilmaa ulos mittarista. Tämän jälkeen hanat suljetaan ja mitataan ilmamäärä avaamalla paineentasausventtiili. (SFS-EN 12350-7 2009, 9–11)

Kokeellisessa osiossa massa tiivistettiin kahdessa kerroksessa tärypöydällä. Tiivistysaika määritettiin silmämääräisesti katsomalla, milloin massa näytti tarpeeksi tiiviiltä. Kuvassa (kuva 6) on esitettynä mittauksissa käytetty mittari, jossa kansiosan yläpään punainen pyöreä osa on pumppu, joka täytyi pyörittää auki ennen pumppausta ja pyörittää kiinni ennen mittausta. Sen vieressä musta painike on paineentasausventtiili, jonka avulla osoitin tasattiin kalibroituun nollakohtaan pumppauksen jälkeen. Vihreä painike on mittauspainike, jolla ilmamäärä mitattiin tasauksen jälkeen pitämällä painiketta pohjassa niin pitkään, kunnes mittaustulos ei enää noussut. Mittauksen jälkeen hanat avattiin, kansiosa irrotettiin säiliöstä, säiliö tyhjennettiin ja molemmat osat puhdistettiin huolellisesti.

Ensimmäisen osan massoista valmistetut puristuslujuuskoekappaleet nostettiin 17.12.2018 pois vesiastiasta, jossa ne olivat kovettumassa 28 vuorokautta. Toisen osan massoista valmistetut kappaleet nostettiin 25.2.2019. Ensimmäisen osan kappaleiden pinnat sahattiin sileiksi ja tämän jälkeen kappaleet punnittiin ja mitattiin kappaleiden halkaisija sekä korkeus viivoittimella, jonka mittatarkkuus oli 1 mm. Toisen osan kappaleita ei sahattu, koska pinnat oli hierretty tasaisiksi valmistuspäivänä, muutoin tehtiin samalla tavalla kuin ensimmäisessä osassa. Taulukkoon (taulukko 10) on kerättyä koekappaleiden todelliset mitat ja painot.

TAULUKKO 10. Puristuslujuuskoekappaleiden todelliset mitat ja painot

| Betonilaatu | $d$ (mm) | $h$ (mm) | $m$ (kg) |
|-------------|----------|----------|----------|
| 606A        | 150      | 300      | 12,250   |
| 606B        | 150      | 294      | 12,275   |
| 606C        | 150      | 295      | 12,505   |
| 606D        | 150      | 295      | 12,290   |
| 606E        | 150      | 298      | 12,115   |
| 600A        | 150      | 300      | 12,514   |
| 600B        | 150      | 300      | 12,604   |
| 600C        | 150      | 300      | 12,599   |
| 600D        | 150      | 300      | 12,592   |
| 600E        | 150      | 300      | 12,286   |

Yllä olevia arvoja hyödyntäen lasketaan tiheydet kovettuneista betoneista, joita voidaan käyttää vertailutuloksina mitatuille tuoreen massan tiheyksille. Tiheydet saadaan laskettua kaavalla (2), kun tiedetään, että muotteina käytettiin lieriömuotteja.

$$\rho_k = \frac{m}{V(\text{lieriö})}$$

$$\rho_k = \frac{m}{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot h} \quad (2)$$

jossa  $\rho_k$  (kg/m<sup>3</sup>) on kovettuneen betonin tiheys,  $V(\text{lieriö})$  (m<sup>3</sup>) on lieriön tilavuus,  $m$  (kg) on koekappaleen massa,  $d$  (m) on koekappaleen halkaisija ja  $h$  (m) on koekappaleen korkeus.

Käyttämällä kaavaa (2) ja taulukon (taulukko 10) arvoja, saadaan laskettua tiheydet koekappaleille. Lasketaan tiheys betonilaadusta 606A tehdylle koekappaleelle. Tulokset pyöristetään samalla tavalla kuin tuoreen betonin tiheyden tulokset. Loput tulokset esitetään taulukossa (taulukko 13).



$$\rho_k = \frac{12,250 \text{ kg}}{\pi \cdot \left(\frac{0,150 \text{ m}}{2}\right)^2 \cdot 0,300 \text{ m}}$$

$$\rho_k = 2\,310,69 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_k \approx 2\,310 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tämän jälkeen koekappaleiden puristuslujuudet määritettiin 28 vuorokauden iässä. Puristuslujuuden määrittämiseen käytettiin Toni Technik puristinta, joka oli viimeksi kalibroitu 3.2.2018. Puristimessa käytettiin 10 kN/s kuormitusnopeutta halkaisijaltaan 150 mm lieriökoekappaleita puristettaessa. Ennen puristusta koekappaleen ala- ja yläpinnan sekä puristimen väliin asetettiin pahvilevyt. Puristin määrittä halkeamiskohdan automaattisesti ja antoi tuloksena voiman  $F$  (kN) ja lieriölujuuden  $S$  (MPa), jotka vaadittiin koekappaleen murtamiseen. Tulokset ovat kirjattuna taulukkoon (taulukko 11), jossa on esitettyinä lieriölujuudet, jotka tulee vielä muuntaa kuutiolujuuksiksi.

TAULUKKO 11. Puristuslujuuskokeen tulokset muuntamattomina

| Betoni-laatu | $F$ (kN) | $S$ (MPa) |
|--------------|----------|-----------|
| 606A         | 535      | 30,3      |
| 606B         | 616      | 34,9      |
| 606C         | 815      | 46,1      |
| 606D         | 705      | 39,9      |
| 606E         | 660      | 37,3      |
| 600A         | 622      | 35,2      |
| 600B         | 582      | 32,9      |
| 600C         | 741      | 41,9      |
| 600D         | 670      | 37,9      |
| 600E         | 626      | 35,4      |

Puristuslujuustulokset ovat 300 mm lieriöille ja ne tulee muuntaa vastaamaan 150 mm kuution kuutiolujuuksia  $K$  (MPa) ja tämä muunnos tehdään taulukon (taulukko 12) avulla. Tulosten muuntaminen on selitettyä taulukon jälkeen.

TAULUKKO 12. 300 mm lieriökappaleen puristuslujuuden muunto 150 mm kuutiokappaleen lujuuteen (Johansson & Mannonen 2016, 109, muokattu)

| Lieriön lujuusalue (MPa) | Kuutiolujuus lujuusalueen alarajalle (MPa) | Alarajan ylittävän lujuuden muunnoskerroin |
|--------------------------|--|--|
| 12...20                  | 15   | 1,25                                       |
| 20...25                  | 25   | 1,00                                       |
| 25...30                  | 30   | 1,40                                       |
| 30...35                  | 37   | 1,60                                       |
| 35...50                  | 45   | 1,00                                       |
| 50...55                  | 60   | 1,40                                       |
| 55...60                  | 67   | 1,60                                       |
| 60...90                  | 75   | 1,00                                       |

Taulukon (taulukko 12) avulla saadaan kuutiolujuus selvitettyä, kun lieriölujuus on tiedossa. Taulukkoa käytetään siten, että aluksi etsitään lieriön lujuusalueelta rivi, johon saatu lieriölujuus  $S$  (MPa) sopii ja vähennetään saadusta lieriölujuuden arvosta kyseisen rivin alaraja. Sen jälkeen katsotaan lujuuden muunnoskerroin samalta riviltä ja kerrotaan vähennyslaskun tulos sillä. Lopuksi katsotaan samalta riviltä kuutiolujuus, jolla tähän mennessä saatu tulos summataan. (Johansson & Mannonen 2016, 109) Lasketaan esimerkkimuunnos betonilaadun 606A tuloksia käyttämällä. Tulokset pyöristetään 0,1 MPa tarkkuudelle. Loput tulokset ovat taulukossa (taulukko 13).

$$K = (30,3 \text{ MPa} - 30 \text{ MPa}) \cdot 1,60 + 37 \text{ MPa}$$

$$K = 37,48 \text{ MPa}$$

$$K \approx 37,5 \text{ MPa}$$

Laadullisten mittausten mittaustulokset on kerätty taulukkoon (taulukko 13). Taulukkoon on kirjattu kunkin betonilaadun osalta betonin lämpötila  $T_m$  (°C), huoneen lämpötila  $T_h$  (°C), painuma (mm), tuoreen betonin tiheys  $\rho_t$  (kg/m<sup>3</sup>), tiheys 28 vuorokauden ikäisestä koekappaleesta  $\rho_k$  (kg/m<sup>3</sup>), ilmamäärä (%) ja puristuslujuus kuutiolujuutena  $K$  (MPa).

TAULUKKO 13. Laadullisten mittausten mittaustulokset

| Betoni-laatu | $T_m$ (°C) | $T_h$ (°C) | Painuma (mm) | $\rho_t$ (kg/m <sup>3</sup> ) | $\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> ) | Ilma (%) | $K$ (MPa) |
|--------------|------------|------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|-----------|
| 606A         | + 21,5     | + 21,6     | 175          | 2 290                         | 2 310                         | 2,7      | 37,5      |
| 606B         | + 21,7     | + 21,6     | 155          | 2 310                         | 2 360                         | 2,9      | 44,8      |
| 606C         | + 19,6     | + 21,6     | 150          | 2 320                         | 2 400                         | 2,4      | 56,1      |
| 606D         | + 19,0     | + 21,6     | 180          | 2 320                         | 2 360                         | 1,7      | 49,9      |
| 606E         | + 18,9     | + 21,6     | 170          | 2 200                         | 2 300                         | 7,0      | 47,3      |
| 600A         | + 18,0     | + 19,3     | 190          | 2 300                         | 2 360                         | 2,2      | 45,2      |
| 600B         | + 18,0     | + 19,3     | 200          | 2 310                         | 2 380                         | 2,4      | 41,6      |
| 600C         | + 17,4     | + 19,3     | 200          | 2 330                         | 2 380                         | 2,0      | 51,9      |
| 600D         | + 17,0     | + 19,3     | 210          | 2 320                         | 2 380                         | 2,0      | 47,9      |
| 600E         | + 16,9     | + 19,3     | 210          | 2 250                         | 2 320                         | 6,4      | 45,4      |

Lämpötilat on ilmoitettu taulukossa betonille ja sitä ympäröivälle ilmalle erikseen. Betonin lämpötilan tulisi Ruduksen ohjeistuksen mukaan olla vähintään + 15 °C lattiabetoneilla (Valmisbetonin laadunvalvontakäsikirja 2018, 11). Tämän vaatimuksen täytti jokainen betonilaatu. Ilman lämpötiloissa ei ole vaatimuksia Ruduksen ohjeistuksessa.

Painumamittauksen tuloksia verrataan taulukon (taulukko 8) painumaluokkien raja-arvoihin. Kaikki massat olivat painumaluokaltaan S3 luokassa, jolle on asetettu raja-arvoiksi 100...150 mm. Ruduksen ohjeistuksen mukaan painuma saa ylittää painumaluokan ylärajan enintään 30 mm, mutta alitukset eivät ole sallittuja (Valmisbetonin laadunvalvontakäsikirja 2018, 19). Massoista mitatut painumat ovat välillä 150–210 mm. Tuloksista vain massan 606C mittaustulos osui painumaluokan S3 arvojen sisäpuolelle, mutta jokainen ensimmäisen osan massa täytti vaatimukset Ruduksen ohjeistuksen mukaan. Toisen osan massoista yksikään ei täyttänyt painumavaatimusta.

Tiheydet mitattiin tuoreesta- ja kovettuneesta betonista. Ruduksen ohjeistuksen mukaan huokostetun massan, jonka ilmamäärä on viidestä seitsemään prosenttiin tiheyden tulisi olla 70–120 kg/m<sup>3</sup> alhaisempi kuin huokostamattomalla samantyyppisellä massalla (Valmisbetonin laadunvalvontakäsikirja 2018, 11). Ainoat huokostetut massat olivat 606E ja 600E, muut ovat samantyyppisiä huokostamattomia, joten tuoreen betonin tiheystulokset

näyttävät pääosin täyttävän tämän vaatimuksen. Kovettuneen betonin tulokset ovat hie-  
man suurempia kuin tuoreella betonilla. Kovettuneen betonin tiheyteen voi vaikuttaa ko-  
vettumisaikana massaansa päässeet epäpuhtaudet, jotka nostavat tiheysmittauksen tulosta.

Ilmamäärä mitattiin jokaisesta massasta, mutta vain huokostinta sisältävissä laaduissa il-  
mamäärille on asetettuna vaatimukset, jotka löytyvät liitteestä (liite 1). Kokeellisessa osi-  
ossa oli kaksi betonilaatua, jossa oli huokostinta ja ne olivat 606E ja 600E eli NP massat.  
Kyseiselle laadulle on asetettu tavoiteilmamääräksi 5,0 %. Ruduksen ohjeistuksen mu-  
kaan ilmamäärä saa poiketa tavoitteesta alaspäin 0,5 % ja ylöspäin 2,0 % (Valmisbetonin  
laadunvalvontakäsikirja 2018, 11). Tämän perusteella tuloksen tulisi olla arvojen 4,5 %  
ja 7,0 % välissä, johon saadut tulokset osuivat.

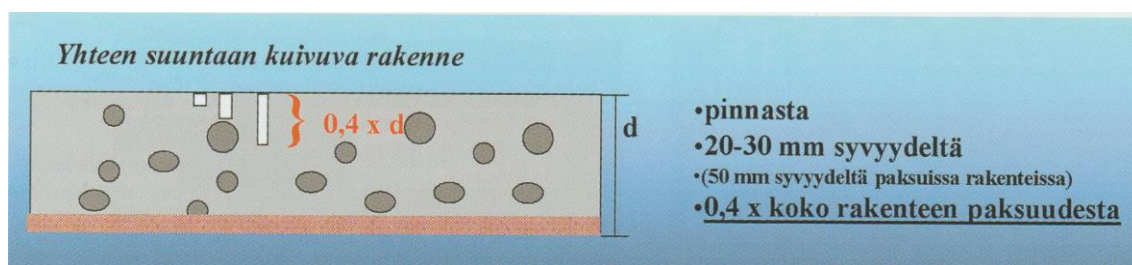
Puristuslujuustulokset on ilmoitettu 150 mm kuution kuutiolujuuksina ja niitä verrataan  
kunkin betonilaadun omaan lujuustavoitearvoon. Massojen 606A, 600A, 606B, 600B ja  
600E lujuusluokka on K30, massojen 606C, 600C, 606D ja 600D lujuusluokka on K37.  
Massan 606E tulisi kuulua lujuusluokkaan K30, mutta v/s-suhteen pienennyksen myötä  
se on lujuusluokkaa K37. Ruduksen ohjeistuksen mukaan puristuslujuustuloksissa tulisi  
olla ylilujuutta 4–10 MPa (Valmisbetonin laadunvalvontakäsikirja 2018, 20). Puristuslu-  
juustuloksissa ei ollut alittavia koekappaleita, mutta ylilujuutta oli havaittavissa kaikissa  
muissa paitsi betonilaadussa 606A, joka ainoana massana osui Ruduksen ylilujuustavoit-  
teen sisäpuolelle. Ylilujuus voi johtua veden poistamisesta varsinkin 606 massoilla.

## 4.2 Suhteellisen kosteuden mittaus

Betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen käytettävät mittapäät kalibroidaan ennen  
mittausten aloittamista. Kalibrointi suoritetaan käyttämällä erilaisia vertailuliukuksia, joita  
ovat erilaiset kylläiset suolaliuokset kuten kaliumsulfaatti ja natriumkloridi, joiden suh-  
teelliset kosteudet tiedetään. Näiden avulla määritetään mittapäille korjauskertoimet, joita  
käyttämällä mittaustulos saadaan näyttämään oikeaa arvoa. Mittapäiden likaantuessa saa-  
dut tulokset ovat todellista arvoa alhaisempia ja kastuessa todellista korkeampia. Mitta-  
laitteiden tarkkuudet ovat tavallisesti korkeissa kosteuksissa  $\pm 3$  % ja matalissa kosteuk-  
sissa  $\pm 2$  %. Mikäli käytetään kalibroimattomia mittapäitä, virhe voi olla  $\pm 10$  %. (Meri-  
kallio 2002, 12–13)

Kokeellisessa osiossa käytettiin HMP44 -kosteus- ja lämpöantureita mittapäinä, joiden kalibrointi suoritettiin Vahanen Rakennustekniikka Oy:n toimesta. Lisäksi yhtä Celsicom anturia, joka oli tehdaskalibroitu. Kalibroinnista Vahanen toimitti kalibrointitodistuksen sekä Excel laskentataulukon, jonka avulla näyttölaitteen lukemat muunnettiin oikeisiin arvoihin.

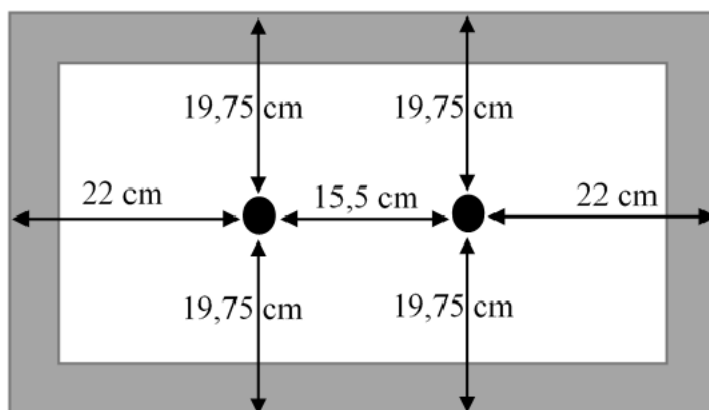
Porareikämenetelmässä betoniin porataan reikä halutulle syvyydelle ja mittausten tekeminen usealta syvyydeltä on suositeltavaa. Yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa suositeltu mittasyvyys on 0,4 kertaa rakenteen paksuus ja sen lisäksi mittauksia voidaan ottaa pinnasta sekä 2-3 cm syvyydeltä, tämä on esitettynä kuvassa (kuva 7). Reiän halkaisija määräytyy käytettävän mittapään vaatimusten mukaan, mutta halkaisijaltaan 16 millinen reikä on yleisin ja sitä käyttävät muun muassa Vaisalan HMP36, HMP44 ja HMP46 mittapää. Porauksen jälkeen reiän puhdistaminen on tärkeää, koska puhdistamattomasta reiästä saadut mittaustulokset ovat todellista korkeampia. Puhdistus tapahtuu joko paineilmalla tai imurilla, joiden avulla ylimääräinen pöly poistetaan reiästä. (Merikallio 2002, 13, 24)



KUVA 7. Mittaussyvytydet yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa (Merikallio 2002, 24)

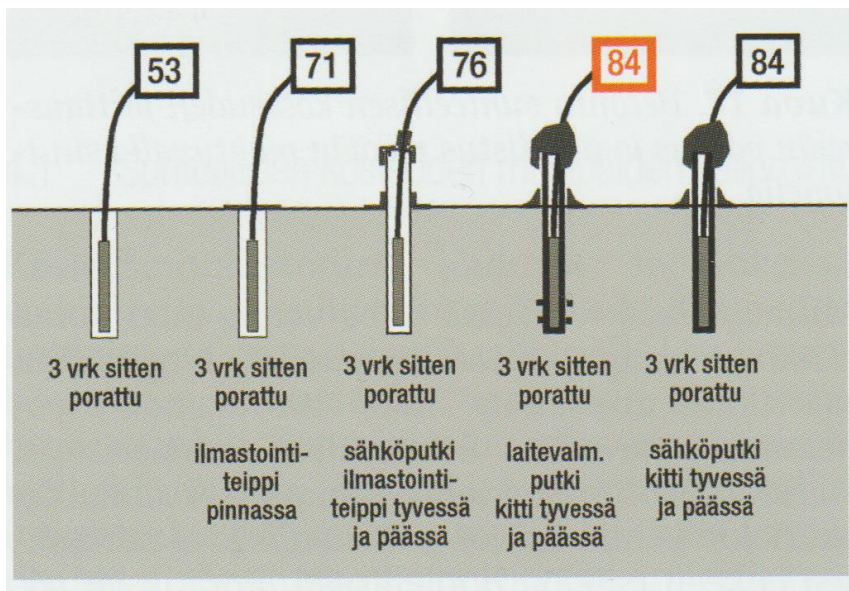
Kokeellisessa osiossa käytettiin yhteen suuntaan kuivuvaa rakennetta ja mittasyvyys oli 0,4 kertaa rakenteen paksuus. Rakenteen paksuus oli 7 cm, jolloin mittaussyvyydeksi saatiin  $0,4 \times 7 \text{ cm} = 2,8 \text{ cm}$ . Reiät tehtiin käsikäyttöisellä poralla, joka soveltuu betonin poraamiseen. Reikien sijainti määritettiin ennen poraamista ja jokaisen laatan reiät porattiin kuvan (kuva 8) mukaisesti, jossa on esitettynä sijainnit ja mitat muotin yläpuolelta katsottuna. Harmaat alueet kuvassa (kuva 8) kuvastavat muotin reunoja. Sijainnin mittauksessa arvot mitattiin muotin ulkoreunasta reiän keskiosaan pois lukien reikien etäisyys toisistaan, jossa mitattiin reikien keskiosien välinen etäisyys. Terä oli halkaisijaltaan 16 millimetriä, koska mittapäinä käytettiin Vaisalan HMP44 mittapäitä, jotka vaativat halkaisijaltaan 16 millimetrin reiän. Terään lisättiin teippi halutun mittasyvyyden kohdalle, jolloin porauksessa reikä oli halutulla syvyydellä, kun teipin alaraja oli samalla

korkeudella reiän yläpinnan kanssa. Reiät porattiin ensimmäisessä osiossa seuraavana päivänä massan valmistuksesta eli 20.11.2018 ja toisessa osiossa neljän päivän kuluttua valmistuksesta eli 1.2.2019. Jokaiseen laattaan porattiin kaksi reikää samalle mittasyvyydelle, jotta tuloksia voitaisiin verrata keskenään.



KUVA 8. Reikien sijainti laattaan yläpuolelta katsottuna

Mittausreikä tiivistetään porauksen ja puhdistuksen jälkeen putken sekä kitin avulla. Putki asetetaan mittausreikään, jolloin reikä tiivistyy sivuilta ja mittaustulos saadaan reiän pohjalta eli halutulta syvyydeltä. Putken ulkohalkaisijan tulisi olla sama kuin reiän halkaisija, jolloin saavutetaan tarvittava tiiveys. Putkena voidaan käyttää tavallista sähköputkea tai laitevalmistajan putkea. Putken ja betonin rajapinta sekä putken yläpää tiivistetään kitillä, jotta mittausreiästä saadaan mahdollisimman tiivis. Mikäli tiivistys on tehty huolimattomasti tai ei ollenkaan, mittaustulokset ovat todellista alhaisempia. Mikäli reikää ei putkiteta, mittaustulos on reiän keskimääräinen kosteus. Reiän on annettava tasaantua kolmesta seitsemään vuorokautta tiivistyksen jälkeen, jotta reikä pääsee tasapainokosteuteensa. Heti porauksen jälkeen ei kannata mitata suhteellista kosteutta, koska tulokset ovat silloin tavallista korkeampia. (Merikallio 2002, 14) Kuvassa (kuva 9) on esitetty tiivistystavan vaikutus mittaustulokseen.



KUVA 9. Tiivistystavan vaikutus mittaustulokseen (Merikallio 2002, 14)

Kokeellisessa osiossa putkena käytettiin PVC putkea, jonka ulkohalkaisija oli 16 millimetriä ja siitä sahattiin noin 15 cm mittaisia pätkiä kymmenen kappaletta eli yksi kutakin reikää kohden. Sahauksen jälkeen putken päät hiottiin hiekkapaperilla tasaisiksi. Putket upotettiin reikiin heti porauksen ja puhdistuksen jälkeen. Putken ja betonin rajapinta sekä putken yläpää tiivistettiin käyttämällä sinitarraa tiivistemateriaalina. Tiivistyksen jälkeen reikien annettiin tasaantua kolme vuorokautta. Lopuksi tiivistetyt reiät numeroitiin niin, että jokaisessa laatussa oli mittapisteet 1 ja 2. Kuvassa (kuva 10) on esitetty laatat, joihin on porattu reiät ja lisätty putket sekä sinitarratiivistet putken yläpään sekä betonin ja putken rajapintaan.

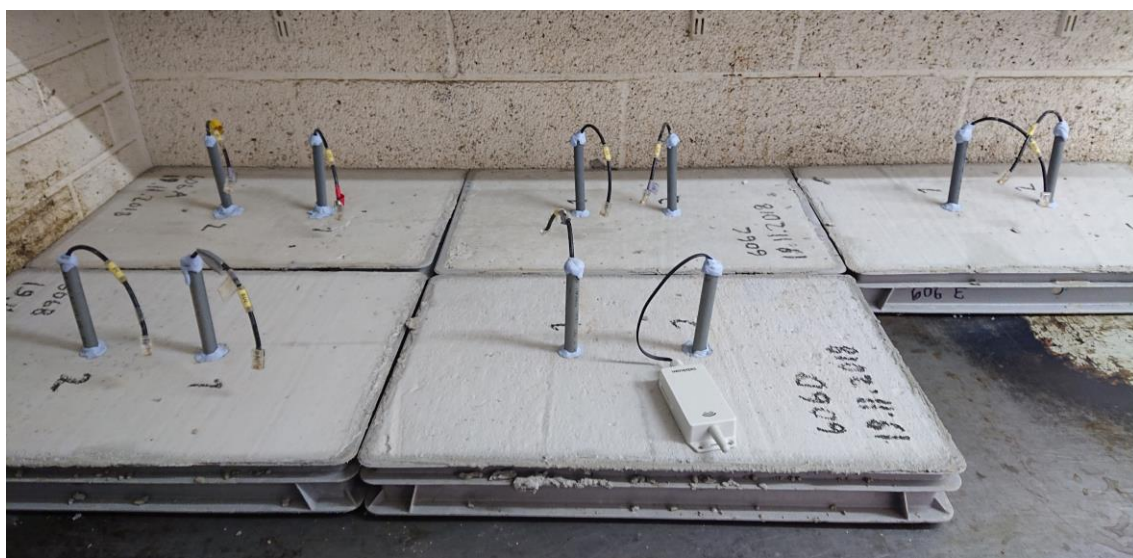


KUVA 10. Laatat porauksen, puhdistuksen ja tiivistyksen jälkeen



Mittapäät voidaan asentaa joko heti tiivistyksen jälkeen tai vasta mittauspäivänä. Tärkeää on varmistaa, että mittapäät toimivat ja ovat kalibroituja. Mittapäät vaativat tasaantumisaajan reiässä vallitseviin olosuhteisiin, jonka aikana mittauksia ei tulisi suorittaa, koska kylmään mittapäähän tiivistyy kosteutta ja mittauksen tulos ei ole luotettava. Mikäli mittapää asennetaan heti tiivistyksen jälkeen, mittaukset voidaan aloittaa vasta, kun reiän vähimmäistasaantumisaika eli kolme vuorokautta on kulunut. Tällöin mittapää sekä reikä ovat tasaantuneet. Mikäli mittapää asennetaan vasta mittauspäivänä, tasaantumisaika on noin tunti käytettäessä HMP44 mittapäästä ja noin neljä tuntia käytettäessä HMP46 mittapäästä. Mikäli samalla mittapäällä mitataan useasta eri reiästä, mittausten välillä mittapään on annettava tasaantua muutamia minuutteja ennen mittauksen suorittamista. (Merikallio 2002, 15)

Kokeellisen osion ensimmäisessä osiossa mittapäät asennettiin kolmen vuorokauden kulluttua tiivistyksestä eli 23.11.2018 ja niiden annettiin tasaantua reiän olosuhteisiin kolme vuorokautta ennen mittausten aloittamista. Toisessa osiossa mittapäät asennettiin heti porauksen ja tiivistyksen jälkeen samana päivänä eli 1.2.2019. Mittapäinä käytettiin Vaisalan HMP44 mittapäitä, jotka oli kalibroitu 18.10.2018 ja yhtä Celsicom anturi 2 mittapäästä, joka oli kalibroitu 19.10.2018. Asennuksessa putken yläpään tiiviste avattiin, mittapää laitettiin putkeen ja putken yläpää tiivistettiin uudestaan sinitarralla. Mittapäiden annettiin olla putkissa niin kauan kuin kunkin osion mittaukset kestivät. Putkiin asennetut ja tiivistetyt mittapäät näkyvät kuvassa (kuva 11).



KUVA 11. Mittapäät asennettuna tiivistettyihin mittareikiin



Jokaisella mittapäällä on oma tunnuksensa ja tätä tunnusta tarvitaan tuloksia muunnettaessa, joten on oleellista tietää, mikä mittapää on asennettuna kunkin laatan mittapisteisiin. Taulukkoon (taulukko 14) on kirjattuna, mikä mittapää kussakin mittapisteessä on asennettuna.

TAULUKKO 14. Laatoissa olevat mittapäät

| Tunnus | Mittapiste | Mittapään tunnus  |  | Tunnus | Mittapiste | Mittapään tunnus  |
|--------|------------|-------------------|--|--------|------------|-------------------|
| 606A   | 1          | H1                |  | 600A   | 1          | H2                |
|        | 2          | H4                |  |        | 2          | H20               |
| 606B   | 1          | H19               |  | 600B   | 1          | H4                |
|        | 2          | H8                |  |        | 2          | Celsicom anturi 2 |
| 606C   | 1          | H3                |  | 600C   | 1          | H12               |
|        | 2          | H11               |  |        | 2          | H11               |
| 606D   | 1          | H12               |  | 600D   | 1          | H8                |
|        | 2          | Celsicom anturi 2 |  |        | 2          | H3                |
| 606E   | 1          | H20               |  | 600E   | 1          | H19               |
|        | 2          | H2                |  |        | 2          | H1                |

Mittaustulokset luetaan näyttölaitteelta tasaantumisen jälkeen liittämällä näyttölaite mittapäähän. Näyttölaite antaa betonin lämpötilan sekä suhteellisen kosteuden. Näyttölaitteeseen on mahdollista tallentaa mittapäiden korjauskertoimet, jolloin saadut tulokset näyttävät heti oikeaa arvoa. Mikäli korjauskertoimia ei ole tallennettu, tulee näyttölaitteen tulokset muuntaa kalibroinnista saaduilla kertoimilla, jotta saadaan oikea *RH* arvo. (Merkallio 2002, 15–16)

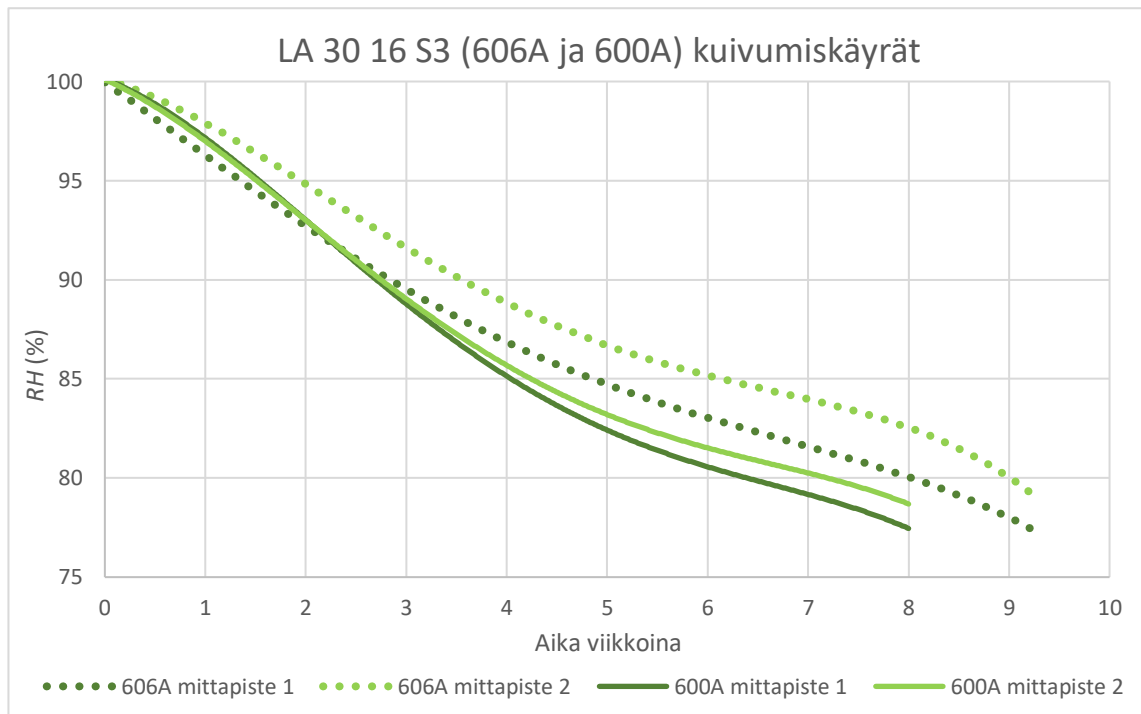
Kokeellisen osan ensimmäisen osion mittaukset aloitettiin 26.11.2018 ja toisen osion 4.2.2019. Näyttölaitteena käytettiin Vaisalan HMI41 näyttölaitetta. Näyttölaite yhdistettiin mittapäähän laitteen vasemmanpuoleisesta portista ja luettiin suhteellinen kosteus sekä betonin lämpötila. Mittauksia tehtiin kerran viikossa ja samalla kertaa mitattiin jokainen HMP44 mittapää käyttämällä samaa näyttölaitetta. Celsicom anturin tulokset luettiin tietokoneelta. Näyttölaitteeseen ei ollut tallennettuna korjauskertoimia, joten tulokset korjattiin oikeiksi käyttämällä kalibroinnista saatua Excel laskentapohjaa. Mittaustulosten lukeminen näyttölaitteelta on esitetty kuvassa (kuva 12), jossa ylempi arvo kertoo suhteellisen kosteuden ja alempi lämpötilan.



KUVA 12. Mittaustuloksen lukeminen näyttölaitteelta

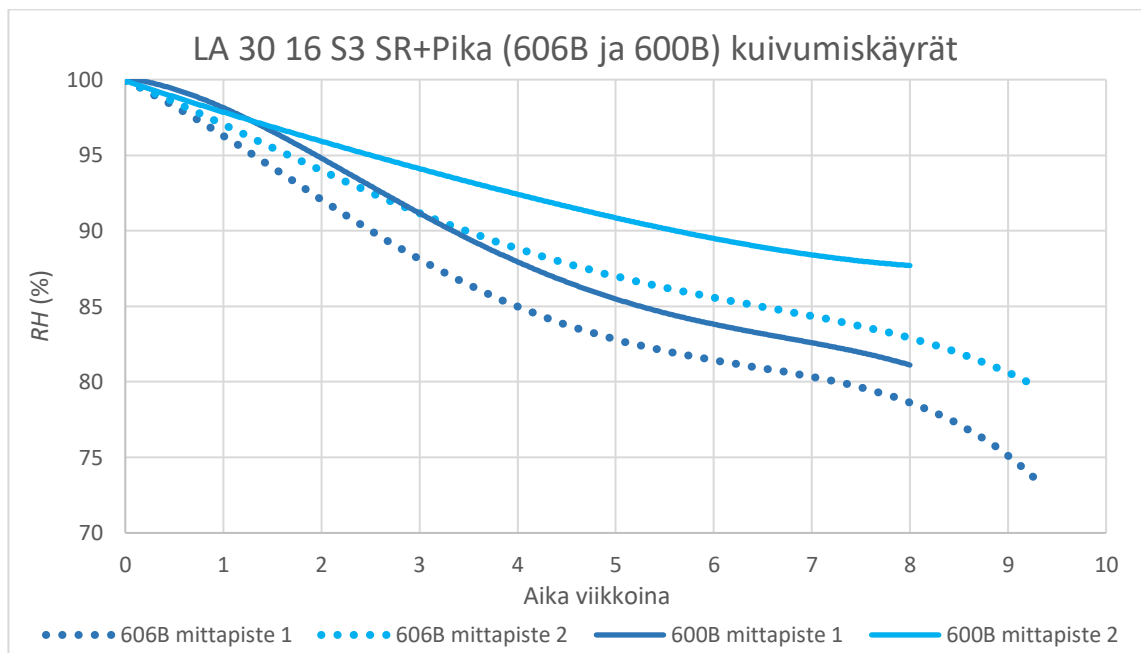
Näyttölaitteen tulokset kirjattiin ylös ja ne syötettiin Vahasen toimittamaan laskentapohjaan, joka muunsi tulokset oikeisiin arvoihin käyttämällä hyväksi kalibroinnista saatuja tuloksia. Tämä pätee kuitenkin vain HMP44 mittapäiden tuloksiin. Celsicom anturi 2 oli kalibroitu siten, että anturi laski suoraan oikean tuloksen, jolloin muunnosta ei tarvittu. Muunnetuista tuloksista saatiin piirrettyä kuivumiskäyrät massojen eri mittapisteiden mittaustuloksista.

Massan 606A muuntamattomat ja muunnetut mittaustulokset ovat esitettynä liitteessä (liite 2). Massan 600A muuntamattomat ja muunnetut mittaustulokset ovat esitettynä liitteessä (liite 3). Massojen 606A ja 600A muunnetuista suhteellisen kosteuden tuloksista piirretään kuivumiskäyrät kuvaajaan (kuvio 1), jonka avulla voidaan verrata molempien osioiden saman massan kuivumisnopeuksia keskenään.



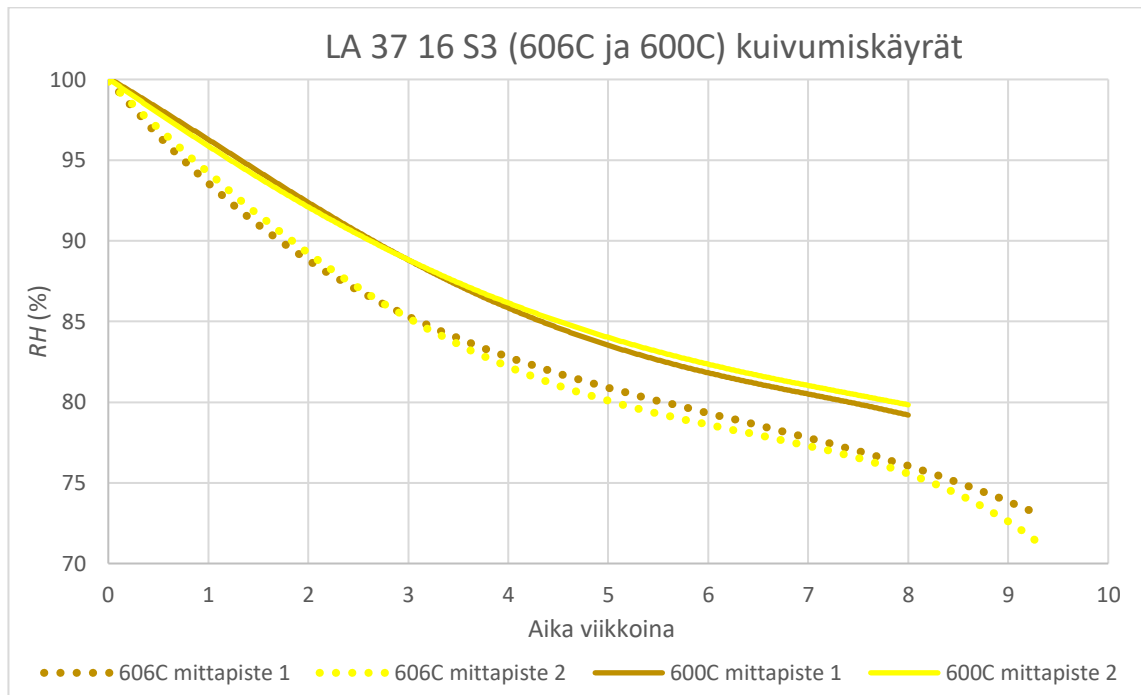
KUVIO 1. Massojen 606A ja 600A kuivumiskäyrät

Massan 606B muuntamattomat ja muunnetut mittaustulokset ovat esitettynä liitteessä (liite 4). Massan 600B muuntamattomat ja muunnetut mittaustulokset ovat esitettynä liitteessä (liite 5). Massojen 606B ja 600B muunnetuista suhteellisen kosteuden tuloksista piirretään kuivumiskäyrät kuvaajaan (kuvio 2), jonka avulla voidaan verrata molempien osioiden saman massan kuivumisnopeuksia keskenään.



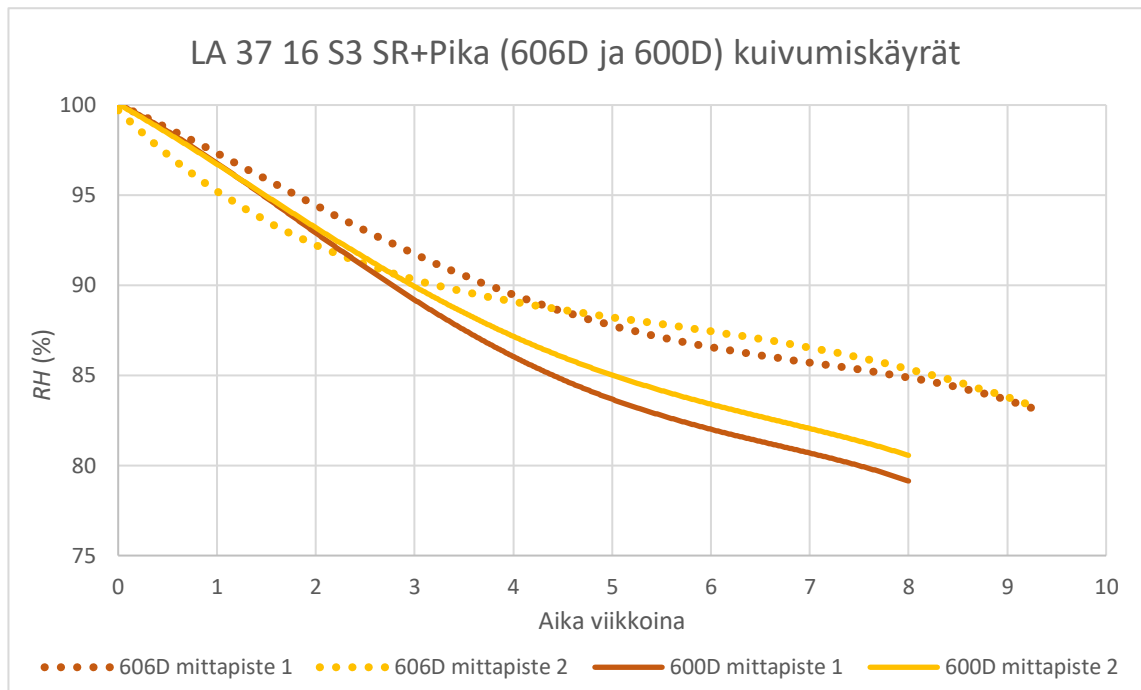
KUVIO 2. Massojen 606B ja 600B kuivumiskäyrät

Massan 606C muuntamattomat ja muunnetut mittaustulokset ovat esitettynä liitteessä (liite 6). Massan 600C muuntamattomat ja muunnetut mittaustulokset ovat esitettynä liitteessä (liite 7). Massojen 606C ja 600C muunnetuista suhteellisen kosteuden tuloksista piirretään kuivumiskäyrät kuvaajaan (kuvio 3), jonka avulla voidaan verrata molempien osioiden saman massan kuivumisnopeuksia keskenään.



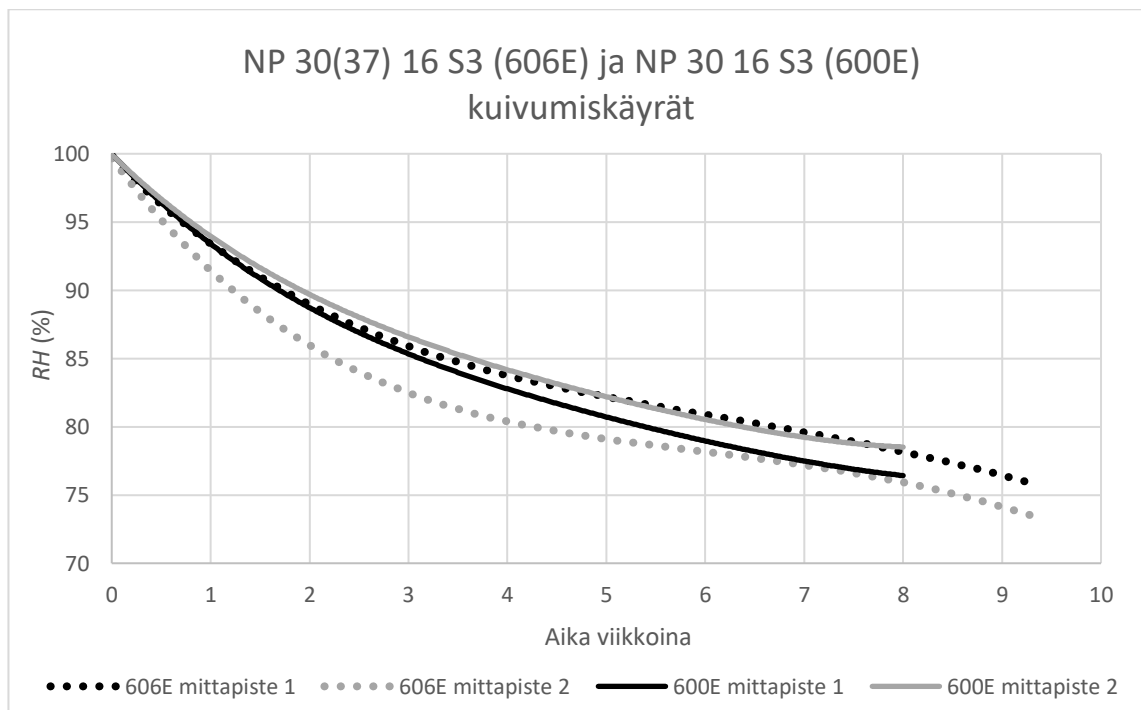
KUVIO 3. Massojen 606C ja 600C kuivumiskäyrät

Massan 606D muuntamattomat ja muunnetut mittaustulokset ovat esitettynä liitteessä (liite 8). Massan 600D muuntamattomat ja muunnetut mittaustulokset ovat esitettynä liitteessä (liite 9). Massojen 606D ja 600D muunnetuista suhteellisen kosteuden tuloksista piirretään kuivumiskäyrät kuvaajaan (kuvio 4), jonka avulla voidaan verrata molempien osioiden saman massan kuivumisnopeuksia keskenään.



KUVIO 4. Massojen 606D ja 600D kuivumiskäyrät

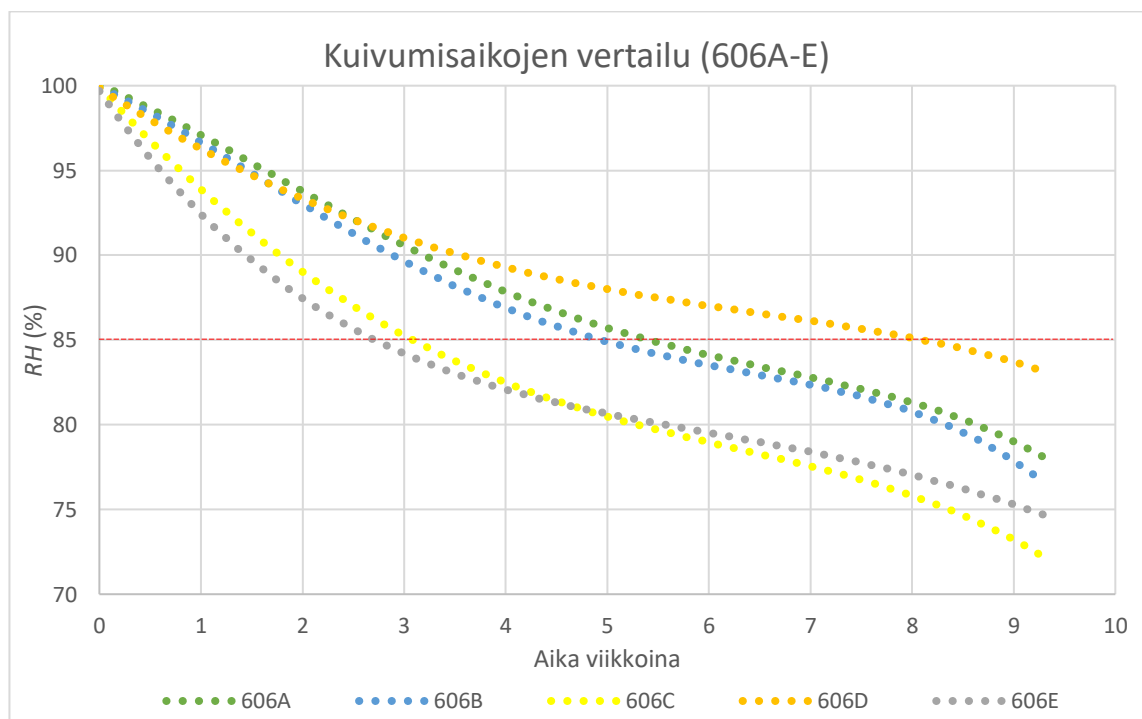
Massan 606E muuntamattomat ja muunnetut mittaustulokset ovat esitettynä liitteessä (liite 10). Massan 600E muuntamattomat ja muunnetut mittaustulokset ovat esitettynä liitteessä (liite 11). Massojen 606E ja 600E muunnetuista suhteellisen kosteuden tuloksista piirretään kuivumiskäyrät kuvaajaan (kuvio 5), jonka avulla voidaan verrata molempien osioiden saman massan kuivumisnopeuksia keskenään.



KUVIO 5. Massojen 606E ja 600E kuivumiskäyrät

Betonilaatujen A ja D tapauksissa kuivuminen tapahtui nopeammin massoilla, joiden  $v/s$ -suhde oli suurempi. Betonilaatujen B ja C tapauksissa suuremman  $v/s$ -suhteen omaavat massat kuivuivat hitaammin kuin saman massan pienemmän  $v/s$ -suhteen omaava versio. Massan E tapauksessa kuivuminen tapahtui lähes yhtä nopeasti molemmissa osioissa. B massojen tapauksessa molemmissa osioissa mittapisteiden mittaustulosten välille syntyi huomattavan paljon eroa muiden betonilaatujen tuloksiin verrattuna. Muiden massojen osalta eri mittapisteistä saadut tulokset ovat melko lähellä toisiaan. Toisen osion (600) massoilla mittapisteiden mittaustulosten välillä on vähemmän eroa kuin ensimmäisen osion (606) massoilla.

Muunnetuista mittaustuloksista lasketaan keskiarvot, jotka ovat laskettuna ja esitettynä liitteissä (liitteet 2–11) muunnettujen mittaustulosten oikealla puolella jokaisen massan osalta. Keskiarvot ovat liitteissä pyöristettynä yhden desimaalin tarkkuuteen. Keskiarvotulosten avulla piirretään kuvaaja (kuvio 6), jossa on massojen 606A-E keskiarvokäyrät esitettynä. Massojen 606A-E lasketut keskiarvot löytyvät liitteistä (liitteet 2, 4, 6, 8 ja 10).

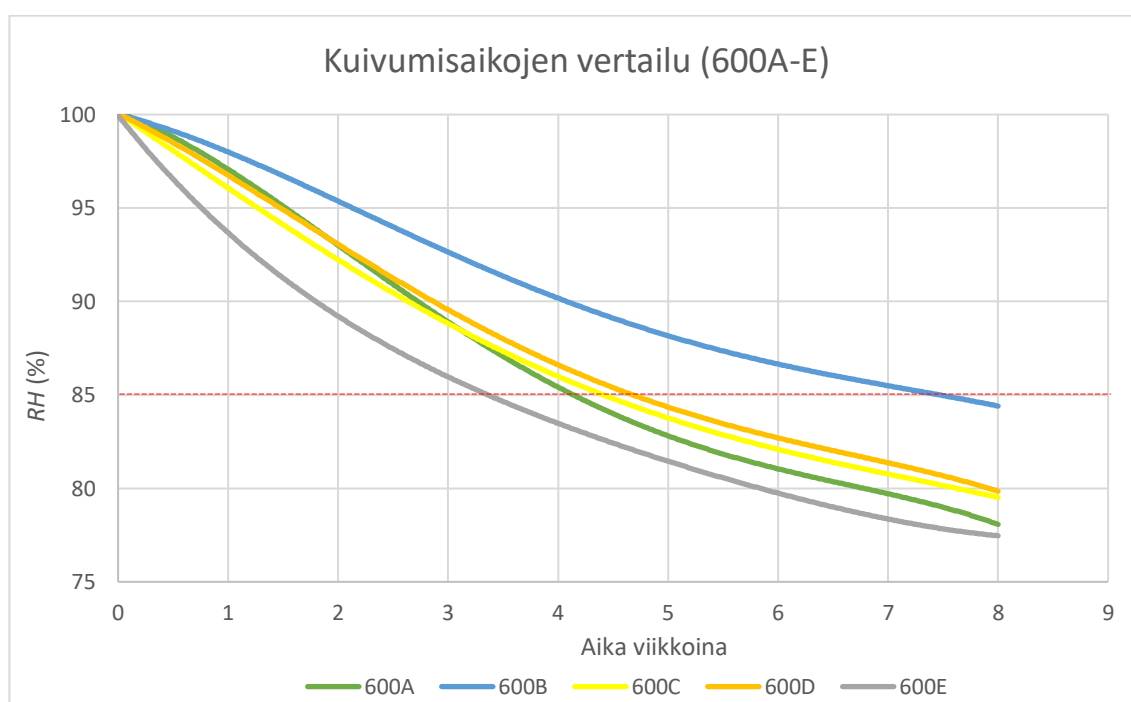


KUVIO 6. Kuivumisaikojen vertailu massoille 606A-E

Tavoite suhteellisen kosteuden osalta on useimmille päällystemateriaaleille  $RH$  85 % mit-tasyvyydeltä 0,4 kertaa rakenteen paksuus, jonka perusteella se asetettiin myös kokeelli-sen osion tavoitekosteudeksi. Kuvaajaan (kuvio 6) on piirretty punainen katkoviiva vali-tun tavoitekosteuden  $RH$  85 % kohdalle. Tulokset jakautuivat kolmeen osaan siten, että

kuivumisajat olivat noin kolme-, viisi- ja kahdeksan viikkoa. Massat 606C ja 606E saavuttivat tavoitteen kolmessa viikossa ja kuivuminen jatkui melko nopeaa tahtia koko mittausjakson ajan. Massat 606A ja 606B saavuttivat tavoitteen viiden ja kuuden viikon välissä ja kuivuminen oli tasaista koko mittausjakson ajan. Massa 606D saavutti tavoitteen vasta kahdeksan viikon kuluttua ja oli huomattavasti muita massoja hitaampi kuivumaan. Muutaman massan kohdalla suhteellinen kosteus oli hetkellisesti suurempi kuin aikaisemman viikon tulos. Tässä on kyse betonin ominaisuudesta luovuttaa sekä vastaanottaa kosteutta ilmasta.

Massojen 600A-E keskiarvotulosten perusteella piirretään kuvaaja (kuvio 7). Keskiarvotulokset massoille 600A-E löytyvät liitteistä (liitteet 3, 5, 7, 9 ja 11).

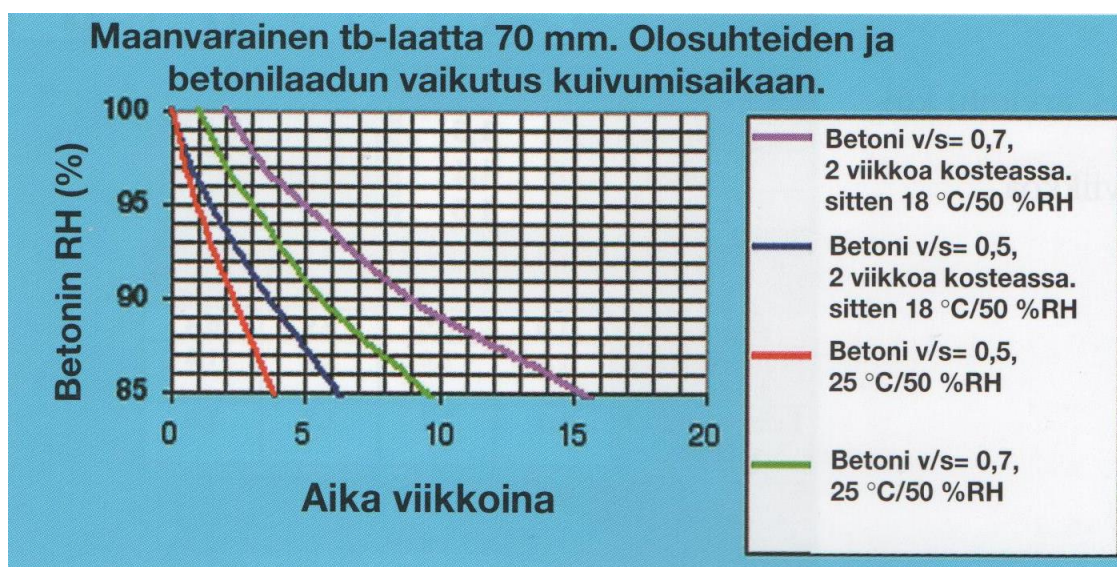


KUVIO 7. Kuivumisaikojen vertailu massoille 600A-E

Tavoitteena toisen osion massoille asetettiin sama kuin ensimmäisessäkin osiossa eli  $RH$  85 % mittasyvyydeltä 0,4 kertaa rakenteen paksuus, jonka kohdalle on kuvaajaan (kuvio 7) piirretty punainen katkoviiva. Massojen 600A-E kuivumisajat jakautuivat ensimmäisen osion massojen tapaan kolmeen osaan. Massan 600E kuivuminen oli nopeinta ja se saavutti tavoitteen noin kolmessa ja puolessa viikossa. Massat 600A, 600C ja 600D saavuttivat tavoitteen neljän ja viiden viikon välissä ja niiden kuivuminen tapahtui toisiinsa

verrattuna melko tasaisesti alusta alkaen. Massa 600B saavutti tavoitteen vasta noin seitsemän ja puolen viikon kuluttua ja oli huomattavasti muita betonilaatuja hitaampi kuivumaan.

Tuloksien luotettavuutta arvioitaessa verrataan saatuja tuloksia kirjallisuudessa saatuihin tuloksiin, jotka ovat laatan kokonaispaksuudeltaan ja massoiltaan lähellä kokeessa käytettyjä massoja ja laatan paksuutta. Kuvaajassa (kuvio 8) on esitetty kirjallisuusarvoja, joissa on maanvaraisen 7 cm paksun laatan kuivumisaikoja eri olosuhteissa erilaisille betonilaaduille.



KUVIO 8. Maanvaraisen laatan kuivumiskäyrät eri olosuhteissa erilaisille massoille (Merikallio 2002, 40)

Yllä olevassa kuvaajassa v/s 0,7 kuvastaa tavallista betonia ja v/s 0,5 nopeasti päällystettävää betonia (Merikallio 2002, 40). Kyseisessä kuvaajassa laatan paksuus on sama kuin kokeellisen osion laatoissa ja kuivumissuunta on osittain sama. Maanvarainen laatta kuivuu pääosin ylöspäin, mutta vähäisesti maata kohden. Kokeellisen osion laatat kuivuivat vain yhteen suuntaan, mutta tulokset ovat kuitenkin vertailukelpoisia. Kuvaajan tuloksista vertailuun voidaan käyttää punaista ja vihreää käyrää, koska niiden olosuhteet vastaavat kokeellisen osion olosuhteita, poikkeuksena noin viisi astetta korkeampi lämpötila.

Kokeellisen osion massa 606E vastaa yllä olevan kuvaajan (kuvio 8) punaista käyrää. Saatu tulos poikkeaa tästä viikon verran, joten tätä tulosta voidaan pitää luotettavana. Muut massat vastaavat laadultaan kuvaajan vihreää käyrää, mutta niiden v/s on hieman



alhaisempi, joten tulosten tulisi olla punaisen ja vihreän käyrän välissä. Massojen 606A ja 606B tulokset ovat kuvaajan sinisen käyrän tulosta vastaavia. Massan 606D tulos on lähellä tavallisen betonin eli vihreän käyrän tulosta ja parin viikon ero tuloksissa on selitettävissä massojen v/s-suhteiden eroavaisuuksilla. Ensimmäisessä osiossa saadut tulokset vastaavat melko hyvin kirjallisuusarvoja, eikä suuria eroja ollut havaittavissa.

Toisen osion massoista 600E kuivui lähes yhtä nopeasti kuin kuvaajan (kuvio 8) punainen käyrä, joka myös vastaa laadultaan 600E betonia. Massat 600A, 600C ja 600D kuivuivat hieman sinistä käyrää nopeammassa tahdissa. Massa 600A vastaa kuitenkin laadultaan ja v/s-suhteeltaan lähes kuvaajan (kuvio 8) vihreää käyrää, mutta kokeellisesti saatujen tulosten perusteella kuivuminen tapahtui huomattavasti nopeammin. Massa 600B vastaa vihreää käyrää ja kuivuminen näyttää tapahtuvan vain hieman tätä nopeammin. Toisen osion tulokset vastasivat melko hyvin kirjallisuusarvoja ja koska v/s-suhteet ovat reseptinmukaiset, niin kuvaajan (kuvio 8) vihreään käyrään vertaaminen onnistui ensimmäistä osiota paremmin.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli määrittää kuivumisajat ennalta määrätyille lattiabetonilaaduille ja luoda esite, joka sisältää huomioon otettavia asioita lattioista ja kuivumisesta sekä työssä määritetyt kuivumiskäyrät. Tarkoitus oli lisätä ja jakaa tietoutta aiheesta, jotta voitaisiin ennaltaehkäistä mahdollisia ongelmia, joita liian kostea betoni tuottaa asiakkaiden kohteissa. Työn pohjalta tehty esite lattiabetonien kuivumisesta on esitettyinä liitteessä (liite 12).

Teoriaosio oli jaettu kahteen osaan, joista ensimmäinen käsitteli betonilattioita ja toinen kuivumista. Teoriaan pyrittiin sisällyttämään mahdollisimman paljon asioita, joita tulisi ottaa huomioon lattiabetoneita käytettäessä. Tämän lisäksi teoriaan sisällytettiin tietoa, miten mahdollisilta haitallisilta ilmiöiltä kuten halkeilulta voidaan välttyä. Tätä osiota kirjoittaessa tavoitteena oli, että esitteen teoriasisältö saataisiin toteutettua tämän perusteella.

Työn kokeelliseen osaan kuuluivat massojen valmistus, laadulliset mittaukset ja suhteellisen kosteuden mittaaminen. Massojen valmistuksessa ensimmäisen osan massoissa hienosäätö toteutettiin veden avulla, jolloin todelliset vesi-sementtisuhteet olivat pienemmät kuin reseptissä mainitut. Toisessa osassa hienosäätö tehtiin notkistimen avulla, joka ei vaikuttanut vesi-sementtisuhteisiin. Työssä huomattiin, että vettä säätämällä massoista saatiin työstettävyyden kannalta parempia ja niiden painumat olivat tavoitearvoissa, mutta notkistinta säätämällä työstettävyyksensä ei parantanut eikä painumat enää osuneet tavoitteisiin. Tähän voi olla syynä, että massat valmistettiin tuotekehityslaboratorion pienellä myllyllä tuotannossa käytettävän myllyn sijaan. Tuloksista esitteeseen sisällytettiin vain toisen osan tulokset, koska niissä vesi-sementtisuhteet vastasivat reseptinmukaisia arvoja ja ne ovat myös niitä massoja, joita asiakas saa tilatessaan betonia.

Laadullisissa mittauksissa ei tullut yllätyksiä vastaan ja valmistetut betonit olivat pitkälti sitä mitä pitääkin. Ainoa poikkeama laadussa tuli toisen osan massojen painumamittauksista. Laadullisissa mittauksissa mahdollisia virheenlähteitä oli useita, joita olivat esimerkiksi astioiden täyttö, tärytys ja tuloksen lukeminen mittarista. Näiden suhteen pyrittiin mahdollisimman huolelliseen työhön, jotta virheen osuus olisi mahdollisimman pieni,

mutta virhettä ei näissä mittauksissa voida poistaa kokonaan. Laadullisten mittausten perusteella ei tarvinnut hylätä ainuttakaan massaa ja vaikka painumat eivät toisessa osiossa osuneet tavoitteisiin, ei niitäkään hylätty. Tällöin saavutettiin halutut vesi-sementtisuhteet, jotka olivat kuivumisaikojen kannalta tärkeämpiä kuin työstettävyyys.

Suhteellisen kosteuden mittaus koostui mittareikien porauksesta, putkituksesta, tiivistyksestä ja mittauksista. Porareikien sijainnin määrittämisessä pyrittiin, että reiät olisivat melko keskellä laattaa, mutta silti tarpeeksi etäällä toisistaan. Tämän perusteella määritettiin paikat, joihin reiät porattiin. Porauksen syvyyksissä voi olla pientä eroa, koska reiät porattiin käsin käsikäyttöisellä poralla, mutta tätä virhettä pyrittiin pienentämään huolellisella työnteolla ja syvyyden tarkistuksella porauksen jälkeen. Reiät porattiin molemmissa osiossa eri vaiheissa ja tähän on syynä ensimmäisen osion havainnot. Huomattiin, että jos poraus suoritetaan jo seuraavana päivänä, betoni lohkeili hieman porareian ympäriltä. Tämän perusteella toisessa osiossa reiät porattiin vasta neljän päivän kuluttua, jolloin betoni oli jo kovettunut sen verran, että lohkeilua tapahtui vain pienissä määrin ja rei'istä saatiin huomattavasti siistimmän näköisiä kuin ensimmäisessä osiossa.

Putkien ja anturien asennus suoritettiin porauksen tapaan hieman eri tavalla kummassakin osiossa. Molemmissa osioissa putket asennettiin heti porauksen ja puhdistuksen jälkeen. Ensimmäisessä osiossa reiät ja putkien yläpäätsä tiivistettiin, mutta mittapäätsä asennettiin vasta kolmen päivän kuluttua tiivistyksestä. Tämän jälkeen mittapäiden annettiin tasaantua rei'issä kolme vuorokautta ennen mittausten aloittamista. Toisessa osiossa mittapäätsä asennettiin heti putkituksen jälkeen ja mittaukset aloitettiin kolmen vuorokauden kuluttua tästä. Molemmissa osioissa rei'ille annettiin vähintään minimitasautumisaika eli kolme vuorokautta ennen kuin mittaukset aloitettiin. Eroavaisuudet työn suorituksessa osioiden välillä johtuvat päätöksestä siirtää toisen osion porauspäivää myöhemmäksi, mutta samalla tavoitteena oli aloittaa mittaukset viikon kuluttua massojen valmistuksesta. Tämän takia toisessa osiossa käytettiin reikien minimitasautumisaikaa.

Mittapäinä käytettiin yhdeksää Vaisalan HMP44 mittapäätä ja yhtä Celsicom anturia. Antureiden annettiin olla tiivistettyinä rei'issä olevien putkien sisällä koko mittausjakson ajan. Tällä pyrittiin siihen, että mittareikiin ei pääsisi mitään, joka mahdollisesti vaikuttaisi tuloksiin. Mittapäinä olisi ollut parempi käyttää vain yhdenlaisia mittapäitä eli tässä tapauksessa vain HMP44 mittapäitä. Käytettävissä olevia, kalibroituja HMP44 mittapäitä

oli vain yhdeksän, joten jouduttiin turvautumaan yhteen Celsicom anturiin, jonka kalibroinnin oli suorittanut eri taho kuin muiden kokeessa käytettyjen mittapäiden.

Vesi-sementtisuhteet olivat alhaisemmat ensimmäisen osion massoilla ja tällöin niiden olisi teorian mukaan pitänyt päästä tavoitekosteuteen hieman toisen osion massoja nopeammin. Laatuja B ja C kuivuminen tapahtui niin kuin teoriassa ennustettiin, eli toisen osion massat saavuttivat tavoitekosteudet vähän ensimmäisen osion massoja myöhemmin. NP betoneilla vesi-sementtisuhteen muutoksella ei ollut merkittävää vaikutusta ja molempien osioiden tulokset olivat lähellä toisiaan. Laatuja A ja D tapauksessa kuivuminen tapahtui toisessa osiossa nopeammin, vaikka niiden vesi-sementtisuhteet olivat korkeammat ensimmäiseen osioon verrattuna. Syy siihen, että suuremman v/s-suhteen omaava massa saavutti tavoitekosteuden  $RH$  85 % aikaisemmin voi olla, että pienemmän vesi-sementtisuhteen massoilla huokosverkosto alkoi katketa melko aikaisessa vaiheessa kuivumista. Näin luultavasti tapahtui betonilaadulle 606D, koska kuivuminen alkoi hidastumaan merkittävästi  $RH$  90 % jälkeen. Betonilaadun 606A tapauksessa ei ollut havaittavissa selkeää hidastumista, vaan kuivuminen oli tasaista koko tarkkailujakson ajan. Toisaalta massa 600A kuivui aluksi nopeasti, mutta hidastui merkittävästi tavoitekosteuden saavuttamisen jälkeen.

Betonin kuivumiseen vaikuttaa valmistuksessa käytetty sementtilaatu. Betonilaaduissa A, C ja E käytettiin Plussementtiä ja massoissa B ja D SR-sementtiä. Lisäksi betonilaaduissa B, D ja E käytettiin Pikasementtiä lujuudenkehityksen nopeuttamiseen. Plussementtiä sisältäneet betonilaadut saavuttivat tavoitteen nopeimmin. NP laatu oli molemmissa osioissa nopeimmin kuivuva betonilaatu ja myös ainoa, jossa käytettiin huokostinta, jonka avulla kuivumista voidaan nopeuttaa. Normaalit lattiabetonit, joissa oli Plussementtiä kuivuivat melko tasaisesti toisiinsa verrattuna toisessa osiossa, mutta ensimmäisessä C massa kuivui huomattavasti nopeammin A massaan verrattuna. Tähän vaikuttaa 606C massan pienempi vesimäärä ja lujuusluokkansa takia suuri sementtimäärä, jonka seurauksena kuivuminen tapahtui aluksi nopeasti. SR-sementin vedentarve on muita sementtejä pienempi, joten sitoutumiskuivumisen osuus jää pienemmäksi betonilaaduilla, joissa on käytetty tätä sementtiä. Tämä näkyi myös tuloksissa, sillä molemmissa osioissa betonilaadut B ja D olivat lähes hitaimmin kuivuvia massoja. Molemmissa osioissa oli yksi betonilaatu, joka erottui joukosta huomattavasti hitaamman kuivumisen takia. Ensimmäisessä osiossa se oli massa 606D ja toisessa osiossa 600B. Näissä molemmissa käytettiin

SR-sementtiä, joten se saattaa olla osasyynä hitaaseen kuivumiseen. Toinen yhteinen tekijä näillä kahdella hitaimmin kuivuvalla massalla oli Celsicom anturin käyttö, joka ensimmäisessä osiossa oli 606D massan mittapisteessä 2, jonka kuivuminen oli melko epätasaista verrattuna mittapisteen 1 tuloksiin. Toisessa osiossa Celsicom anturi oli asennettuna massan 600B mittapisteeseen 2, jonka tulokset olivat taas huomattavasti korkeampia verrattuna HMP44 mittapään tuloksiin.

Ensimmäisen osion tuloksissa oli jonkin verran vaihtelua saman massan eri mittapisteiden mittaustuloksissa. Toisessa osiossa mittapisteiden tulokset olivat todella lähellä toisiaan. Tuloksiin saattaa vaikuttaa jonkin verran porareikien laatu, joka oli toisessa osiossa parempi kuin ensimmäisessä. Mittaustuloksista poikkeuksena on betonilaatu B, jossa saman massan eri mittapisteiden tulokset poikkesivat merkittävän paljon toisistaan molemmissa osioissa. B massoissa käytettiin SR-sementtiä ja paljon vettä. Tämän seurauksena betoniin jää paljon vapaata vettä sitoutumiskuivumisen jälkeen. Tämä vesi on mahdollisesti poistunut epätasaisesti, jonka seurauksena mittapisteiden välille on syntynyt eroa. Toinen mahdollinen syy tulosten eroavaisuudelle on toisen mittapään mahdollinen kostuminen, jolloin kyseinen mittapää vääristäisi tulosta ylöspäin.

Tulosten luotettavuutta pyrittiin parantamaan käyttämällä kahta mittapistettä kussakin laatassa. Mittauksissa käytetyt mittapää oli kalibroitu noin kuukausi ennen mittausten aloittamista. Tulokset esitettiin niin kuin ne mittauksista saatiin ja laskennallisissa tuloksissa pyörästystarkkuudet ilmoitettiin. Saadut tulokset osuivat kirjallisuuden asettamaan haarukkaan, mutta tarkka vertailu oli hankalaa, koska tuloksiin vaikuttaa niin moni tekijä. Tuloksia voidaan hyödyntää pääosin vain massojen keskinäiseen vertailuun. Tähänkin on syynä suuri määrä mittaukseen vaikuttavia tekijöitä. Mahdollisesti niitä voidaan myös hyödyntää ohjearvoina asiakkaille, mikäli heidän kohde vastaa laatan paksuuden, kuivumissuunnan ja tilan olosuhteiden kannalta kokeellisen osion laattoja.

Työn perusteella tehtiin esite, joka on esillä liitteessä (liite 12). Tähän esitteeseen sisällytettiin hieman teoriaa kuivumisesta, kutistumisesta ja halkeilusta sekä huomioitavia asioita että toimenpiteitä, jotta asiakas saisi mahdollisimman hyvän käsityksen aiheesta ja tällöin myös hyvän betonilattian. Esitteestä pyrittiin tekemään mahdollisimman lyhyt ja helppolukuinen, jotta itse esitteen lukeminen tai selaaminen olisi mahdollisimman vaivatonta ja tällöin saataisiin haluttu viesti asiakkaalle. Tässä onnistuttiin hyvin, sillä esitte-

seen saatiin tiivistettyä oleellimmat huomioitavat seikat ja hieman teoriaa kahdelle sivulle, jonka jälkeen on vielä sivu, josta löytyvät kuivumiskäyrät. Tulossivun kannalta oleellista oli myös mainita mittauksissa käytetyn laatan paksuus, kuivumissuunta, mitatasyvyys sekä säilytysolosuhteet, koska ne vaikuttavat oleellisesti kuivumisaikoihin. Esite tehtiin Ruduksen toimittamaan PowerPoint pohjaan, jossa yrityksen logot oli aseteltu valmiiksi oikeisiin paikkoihin. Esite luotiin siten, että mikäli yritys aikoo jatkaa tulosten keräämistä tämän opinnäytetyön jälkeen, tulokset voi lisätä samaan esitteeseen luomalla uuden tulossivun.

Tässä työssä mittaukset tehtiin ainoastaan yhteen suuntaan kuivuville laatoille, joiden paksuus oli seitsemän senttimetriä ja niitä säilytettiin koko mittausjakson ajan olosuhteissa, joissa ilman suhteellinen kosteus oli noin 50 % ja lämpötila noin + 20 °C. Jatkomittausten kannalta olisi hyödyllistä kerätä tietoa eri paksuisista laatoista ja ottaa mukaan myös kahteen suuntaan kuivuvat rakenteet. Paksuuden ja kuivumissuunnan valinnassa kokeita varten olisi hyvä tutkia, minkä tyyppiset rakenteet ovat yleisimpiä asiakkaiden kohteissa, jolloin saadut tulokset olisivat asiakkaiden kannalta käyttökelpoisempia. Tämän lisäksi olosuhteiden vaikutuksen tutkiminen olisi hyödyllistä, koska todellisissa kohteissa olosuhteet eivät välttämättä ole kuivumisen kannalta ihanteellimmat. Viimeisenä ehdotuksena on, että kokeissa käytettävä betoni otettaisiin tuotannossa käytettävästä myllystä koemyllyn sijaan, jolloin betoni olisi täsmälleen sitä, mitä asiakaskin saa.

## LÄHTEET

Betonilattiat 2014 By 45/BLY 7. 2014. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Betonilattioiden pinnoitusohjeet 2010 By 54/BLY 12. 2010. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys.

Betoninormit 2012 By 50. 2012. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. 3. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Choo, B.S. & Newman, J. 2003. Advanced concrete technology: Concrete properties. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Finnsementti. N.d.a. Betonin lujuus. Betonin lujuusluokka. Luettu 5.1.2019. <https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-betonista/betonin-lujuus/>

Finnsementti. N.d.b. Tuotteet. Betonin huokostimet. Ilma-Parmix. Luettu 15.2.2019. <https://finnsementti.fi/tuotteet/parmix-lisaaineet/huokostimet/ilma-parmix/>

Finnsementti. N.d.c. Tuotteet. Betonin notkistimet. Saitti-Parmix. Luettu 15.2.2019. <https://finnsementti.fi/tuotteet/parmix-lisaaineet/notkistimet/saitti-parmix/>

Finnsementti. N.d.d. Tuotteet. Pikasementti. Luettu 4.3.2019. <https://finnsementti.fi/tuotteet/sementit/pikasementti/>

Finnsementti. N.d.e. Tuotteet. Plussementti. Luettu 4.3.2019. <https://finnsementti.fi/tuotteet/sementit/plussementti-2/>

Finnsementti. N.d.f. Tuotteet. SR-sementti. Luettu 4.3.2019. <https://finnsementti.fi/tuotteet/sementit/sr-sementti-2/>

Ilmatieteenlaitos. 2018. Ilman kosteus. Päivitetty 28.06.2018. Luettu 29.12.2018. <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>

Johansson, K. & Mannonen, R. 2016. Betoninormit 2016 By 65. 2. painos. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Li, Z. 2011. Advanced concrete technology. Hoboken, New Jersey: Wiley.

Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Merikallio, T., Niemi, S. & Komonen, J. 2007. Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Murphy, T. 2014. Coatings Pro magazine. New Concept in Concrete Control Joints Part I. Luettu 5.1.2019. <http://www.coatingspromag.com/articles/other/2013/13/concrete>

Petrow, S. 2016. Betonin kutistuman ja halkeilun hallinta 2016 By 67. Helsinki: By-Koulutus Oy.

Punkki, J. & Räisänen, H. 2017. Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu – opas suunnittelijoille 2016 By 68. Helsinki: By-Koulutus Oy.

Rixom, M. R. & Mailvaganam, N. P. 1999. Chemical admixtures for concrete. 3. painos. London: E. & F. N. Spon.

Rudus. 2018. Tuotannon ilmamäärät. Päivitetty 28.5.2018. Luettu 16.1.2019. Vaatii käyttöoikeuden. [https://portal.crh.com/fi/rudusintranet/tuotanto/betoni-ja-kivimateriaalit/valmisbetoni/Documents/Tuotannon\\_ilmamäärät\\_28.12.2017.doc](https://portal.crh.com/fi/rudusintranet/tuotanto/betoni-ja-kivimateriaalit/valmisbetoni/Documents/Tuotannon_ilmamäärät_28.12.2017.doc)

SFS-EN 12350-2. 2009. Tuoreen betonin testaus. Osa 2: Painuma. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 16.1.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi.elib.tamk.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/124294.html.stx>

SFS-EN 12350-6. 2009. Tuoreen betonin testaus. Osa 6: Tiheys. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 16.1.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi.elib.tamk.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/124298.html.stx>

SFS-EN 12350-7. 2009. Tuoreen betonin testaus. Osa 7: Ilmamäärä. Painemenetelmät. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 16.1.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi.elib.tamk.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/124299.html.stx>

Sisäilmayhdistys. 2008. Kosteuden siirtyminen. Veden kapillaarinen siirtyminen. Luettu 8.1.2019. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuden-siirtyminen>

Suomen Betonilattiayhdistys Ry. N.d. Suunnittelu- ja työohje kuivasirotteiden käyttämisestä betonilattioissa. Luettu 28.2.2019. <http://www.bly.fi/File/BLY16.pdf?rnd=1390297845>

Valmisbetonin laadunvalvontakäsikirja. 2018. Rudus Oy. Päivitetty 7.2.2018. Luettu 17.1.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://portal.crh.com/fi/rudusintranet/tuotanto/betoni-ja-kivimateriaalit/valmisbetoni/Documents/LAADUNVALVONTAK%C3%84SI-KIRJA%20Valmisbetoni%202018.docx>



## LIITTEET

### Liite 1. Tuotannon tavoiteilmamäärät

**Rudus**

28.05.2018

1 (1)

## TUOTANNON ILMAMÄÄRÄT

### 1. Säänkestävät betonit rasitusluokissa XF1 ja XF3 (Betoninormit by65):

(SRA, SRM, SEL, SSR, SLA, SSL, SPA, SHK, SIT, SSB, SVI)

|                             |                    |
|-----------------------------|--------------------|
| # 8 mm / 50 vuotta = 5,0 %  | 100 vuotta = 6,5 % |
| # 12 mm / 50 vuotta = 4,5 % | 100 vuotta = 6,0 % |
| # 16 mm / 50 vuotta = 4,0 % | 100 vuotta = 5,5 % |
| # 32 mm / 50 vuotta = 4,0 % | 100 vuotta = 5,5 % |

Nämä ovat **minimi-ilmamääriä**, toleranssi = -0,5 % ja +2,0 %-yksikköä.

Mikäli tämä ilmamäärä alittuu, tarkista F-luvun kautta, täyttääkö **ilmamäärä + v/s-suhde** silti vaatimuksen (by65, LIITE 3, kohta L3.2.2 ja taulukko L3.4).

XF1 50 vuotta,  $F \geq 1$       XF1 100 vuotta,  $F \geq 2$       XF3 50 vuotta,  $F \geq 1,5$       XF1 100 vuotta,  $F \geq 3$

### 2. Säänkestävät betonit rasitusluokissa XF2 ja XF4 (Betoninormit by65):

(SRA, SRM, SEL, SSR, SLA, SSL, SPA, SHK, SIT, SSB, SVI)

|                       |                                    |
|-----------------------|------------------------------------|
| XF2 50 vuotta = 5,0 % | XF2 100 vuotta P-luku $\geq 50$ *) |
| XF4 50 vuotta = 5,5 % | XF4 100 vuotta P-luku $\geq 70$ *) |

Nämä ovat **minimi-ilmamääriä** \*) Betoninormit By65, Liite 4, kohta L4.3.2]  
toleranssi = - 0,5 % ja +2,0 %

### 3. Nopeammin päällystettävät lattiabetonit (NP): tavoite: 5,0 %

### 4. Pakkasbetoni (PA) # 8 mm Jos huokostetaan, tavoite: 6,0 %

### Huokosjakokeen ilmamäärä:

Tuotannossa ilmamäärä **ei saa alittaa** hyväksytyssä huokosjakokeessa (ns. tasokoe) käytettyä ilmamäärää enemmän kuin **1,0 %**.

**Esim.** Huokosjakokeessa tehtaalla mitattu ilma = 5,0 %  
=> minimi tuotannon ilmamäärä = **4,0 %**

Huokosjakokeeseen lähetettävän koekappaleen ilmamäärä pitää olla mahdollisimman lähellä tavoitetta.



## Liite 2. LA 30 16 S3 (606A) mittaustulokset

TAULUKKO 1. LA 30 16 S3 (606A) muuntamattomat mittaustulokset

| Mittaus pvm | Aika valun alusta vuorokausina | Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H1) |               | Mittapiste 2 (H4) |               | Huoneen lämpötila |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
|             |                                |                             | <i>RH</i> (%)     | <i>T</i> (°C) | <i>RH</i> (%)     | <i>T</i> (°C) | <i>T</i> (°C)     |
| 19.11.2018  | 0                              | 0                           | -                 | -             | -                 | -             | -                 |
| 26.11.2018  | 7                              | 1                           | 81,7              | + 18,2        | 80,2              | + 18,6        | + 19,5            |
| 3.12.2018   | 14                             | 2                           | 78,3              | + 18,6        | 76,9              | + 19,1        | + 19,8            |
| 10.12.2018  | 21                             | 3                           | 75,7              | + 19,1        | 74,3              | + 19,5        | + 19,6            |
| 17.12.2018  | 28                             | 4                           | 73,2              | + 18,4        | 72,0              | + 18,8        | + 19,7            |
| 21.12.2018  | 32                             | 4,57                        | 72,3              | + 18,4        | 71,0              | + 18,8        | + 19,5            |
| 2.1.2019    | 44                             | 6,29                        | 68,9              | + 19,0        | 68,4              | + 19,4        | + 19,9            |
| 9.1.2019    | 51                             | 7,29                        | 68,1              | + 19,1        | 67,5              | + 19,2        | + 19,9            |
| 16.1.2019   | 58                             | 8,29                        | 66,9              | + 18,4        | 65,9              | + 18,7        | + 19,5            |
| 23.1.2019   | 65                             | 9,29                        | 64,4              | + 18,8        | 63,4              | + 18,9        | + 19,5            |

TAULUKKO 2. LA 30 16 S3 (606A) muunnetut mittaustulokset

| Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H1) | Mittapiste 2 (H4) | Keskiarvo     |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|---------------|
|                             | <i>RH</i> (%)     | <i>RH</i> (%)     | <i>RH</i> (%) |
| 0                           | 100               | 100               | 100           |
| 1                           | 96,3              | 98,3              | 97,3          |
| 2                           | 92,5              | 94,5              | 93,5          |
| 3                           | 89,6              | 91,5              | 90,6          |
| 4                           | 86,9              | 88,9              | 87,9          |
| 4,57                        | 85,9              | 87,7              | 86,8          |
| 6,29                        | 82,1              | 84,7              | 83,4          |
| 7,29                        | 81,2              | 83,7              | 82,5          |
| 8,29                        | 79,9              | 81,9              | 80,9          |
| 9,29                        | 77,1              | 79,0              | 78,1          |

## Liite 3. LA 30 16 S3 (600A) mittaustulokset

TAULUKKO 1. LA 30 16 S3 (600A) muuntamattomat mittaustulokset

| Mittaus pvm | Aika valun alusta vuorokausina | Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H2) |               | Mittapiste 2 (H20) |               | Huoneen lämpötila |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|--------------------|---------------|-------------------|
|             |                                |                             | <i>RH</i> (%)     | <i>T</i> (°C) | <i>RH</i> (%)      | <i>T</i> (°C) | <i>T</i> (°C)     |
| 28.1.2019   | 0                              | 0                           | -                 | -             | -                  | -             | -                 |
| 4.2.2019    | 7                              | 1                           | 84,6              | + 18,8        | 85,0               | + 18,9        | + 19,6            |
| 11.2.2019   | 14                             | 2                           | 80,2              | + 19,3        | 80,8               | + 19,4        | + 20,0            |
| 18.2.2019   | 21                             | 3                           | 76,7              | + 19,0        | 77,2               | + 19,0        | + 20,2            |
| 25.2.2019   | 28                             | 4                           | 73,7              | + 18,9        | 74,5               | + 18,9        | + 19,9            |
| 4.3.2019    | 35                             | 5                           | 71,3              | + 18,6        | 72,2               | + 18,5        | + 19,5            |
| 11.3.2019   | 42                             | 6                           | 69,3              | + 18,7        | 70,3               | + 18,7        | + 19,7            |
| 21.3.2019   | 52                             | 7,43                        | 67,6              | + 19,2        | 68,8               | + 19,2        | + 20,2            |
| 25.3.2019   | 56                             | 8                           | 66,7              | + 19,1        | 67,9               | + 19,2        | + 20,0            |

TAULUKKO 2. LA 30 16 S3 (600A) muunnetut mittaustulokset

| Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H2) | Mittapiste 2 (H20) | Keskiarvo     |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|---------------|
|                             | <i>RH</i> (%)     | <i>RH</i> (%)      | <i>RH</i> (%) |
| 0                           | 100               | 100                | 100           |
| 1                           | 97,6              | 97,3               | 97,5          |
| 2                           | 92,6              | 92,8               | 92,7          |
| 3                           | 88,7              | 88,8               | 88,8          |
| 4                           | 85,3              | 85,9               | 85,6          |
| 5                           | 82,6              | 83,4               | 83,0          |
| 6                           | 80,4              | 81,3               | 80,9          |
| 7,43                        | 78,5              | 79,7               | 79,1          |
| 8                           | 77,5              | 78,7               | 78,1          |

## Liite 4. LA 30 16 S3 SR+Pika (606B) mittaustulokset

TAULUKKO 1. LA 30 16 S3 SR+Pika (606B) muuntamattomat mittaustulokset

| Mittaus pvm | Aika valun alusta vuoro-kausina | Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H19) |               | Mittapiste 2 (H8) |               | Huoneen lämpötila |
|-------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
|             |                                 |                             | <i>RH</i> (%)      | <i>T</i> (°C) | <i>RH</i> (%)     | <i>T</i> (°C) | <i>T</i> (°C)     |
| 19.11.2018  | 0                               | 0                           | -                  | -             | -                 | -             | -                 |
| 26.11.2018  | 7                               | 1                           | 81,7               | + 18,8        | 83,6              | + 18,8        | + 19,5            |
| 3.12.2018   | 14                              | 2                           | 77,5               | + 19,3        | 80,7              | + 19,2        | + 19,8            |
| 10.12.2018  | 21                              | 3                           | 74,7               | + 19,8        | 78,5              | + 19,7        | + 19,6            |
| 17.12.2018  | 28                              | 4                           | 71,9               | + 19,0        | 76,2              | + 18,9        | + 19,7            |
| 21.12.2018  | 32                              | 4,57                        | 70,6               | + 19,0        | 75,3              | + 18,9        | + 19,5            |
| 2.1.2019    | 44                              | 6,29                        | 67,3               | + 19,5        | 72,1              | + 19,5        | + 19,9            |
| 9.1.2019    | 51                              | 7,29                        | 67,6               | + 19,3        | 72,0              | + 19,4        | + 19,9            |
| 16.1.2019   | 58                              | 8,29                        | 65,5               | + 18,9        | 70,3              | + 18,8        | + 19,5            |
| 23.1.2019   | 65                              | 9,29                        | 61,5               | + 19,2        | 67,6              | + 19,1        | + 19,5            |

TAULUKKO 2. LA 30 16 S3 SR+Pika (606B) muunnetut mittaustulokset

| Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H19) | Mittapiste 2 (H8) | Keskiarvo     |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|---------------|
|                             | <i>RH</i> (%)      | <i>RH</i> (%)     | <i>RH</i> (%) |
| 0                           | 100                | 100               | 100           |
| 1                           | 96,3               | 96,9              | 96,6          |
| 2                           | 91,6               | 93,8              | 92,7          |
| 3                           | 88,4               | 91,4              | 89,9          |
| 4                           | 85,3               | 88,9              | 87,1          |
| 4,57                        | 83,8               | 87,9              | 85,9          |
| 6,29                        | 80,1               | 84,5              | 82,3          |
| 7,29                        | 80,5               | 83,4              | 82,5          |
| 8,29                        | 78,1               | 82,5              | 80,3          |
| 9,29                        | 73,4               | 79,6              | 76,5          |

## Liite 5. LA 30 16 S3 SR+Pika (600B) mittaustulokset

TAULUKKO 1. LA 30 16 S3 SR+Pika (600B) muuntamattomat mittaustulokset

| Mittaus pvm | Aika valun alusta vuoro-kausina | Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H4) |               | Mittapiste 2 (Celsicom anturi 2) |               | Huoneen lämpötila |
|-------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|----------------------------------|---------------|-------------------|
|             |                                 |                             | <i>RH</i> (%)     | <i>T</i> (°C) | <i>RH</i> (%)                    | <i>T</i> (°C) | <i>T</i> (°C)     |
| 28.1.2019   | 0                               | 0                           | -                 | -             | -                                | -             | -                 |
| 4.2.2019    | 7                               | 1                           | 80,4              | + 18,7        | -                                | -             | + 19,6            |
| 11.2.2019   | 14                              | 2                           | 76,9              | + 19,2        | -                                | -             | + 20,0            |
| 18.2.2019   | 21                              | 3                           | 73,9              | + 19,0        | -                                | -             | + 20,2            |
| 25.2.2019   | 28                              | 4                           | 71,4              | + 18,8        | -                                | -             | + 19,9            |
| 4.3.2019    | 35                              | 5                           | 69,2              | + 18,5        | -                                | -             | + 19,5            |
| 11.3.2019   | 42                              | 6                           | 67,4              | + 18,5        | -                                | -             | + 19,7            |
| 21.3.2019   | 52                              | 7,43                        | 66,1              | + 19,1        | -                                | -             | + 20,2            |
| 25.3.2019   | 56                              | 8                           | 65,2              | + 19,1        | -                                | -             | + 20,0            |

TAULUKKO 2. LA 30 16 S3 SR+Pika (600B) muunnetut mittaustulokset

| Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H4) | Mittapiste 2 (Celsicom anturi 2) | Keskiarvo     |
|-----------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------|
|                             | <i>RH</i> (%)     | <i>RH</i> (%)                    | <i>RH</i> (%) |
| 0                           | 100               | 100                              | 100           |
| 1                           | 98,5              | 97,6                             | 98,1          |
| 2                           | 94,5              | 96,1                             | 95,3          |
| 3                           | 91,0              | 94,2                             | 92,6          |
| 4                           | 88,2              | 92,4                             | 90,3          |
| 5                           | 85,6              | 90,7                             | 88,2          |
| 6                           | 83,6              | 89,5                             | 86,6          |
| 7,43                        | 82,1              | 88,2                             | 85,2          |
| 8                           | 81,1              | 87,6                             | 84,4          |

## Liite 6. LA 37 16 S3 (606C) mittaustulokset

TAULUKKO 1. LA 37 16 S3 (606C) muuntamattomat mittaustulokset

| Mittaus pvm | Aika valun alusta vuorokausina | Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H3) |               | Mittapiste 2 (H11) |               | Huoneen lämpötila |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|--------------------|---------------|-------------------|
|             |                                |                             | <i>RH</i> (%)     | <i>T</i> (°C) | <i>RH</i> (%)      | <i>T</i> (°C) | <i>T</i> (°C)     |
| 19.11.2018  | 0                              | 0                           | -                 | -             | -                  | -             | -                 |
| 26.11.2018  | 7                              | 1                           | 78,6              | + 19,0        | 81,2               | + 19,0        | + 19,5            |
| 3.12.2018   | 14                             | 2                           | 74,1              | + 19,4        | 76,2               | + 19,3        | + 19,8            |
| 10.12.2018  | 21                             | 3                           | 71,0              | + 19,8        | 73,1               | + 19,8        | + 19,6            |
| 17.12.2018  | 28                             | 4                           | 69,9              | + 19,2        | 70,5               | + 19,1        | + 19,7            |
| 21.12.2018  | 32                             | 4,57                        | 68,1              | + 19,1        | 68,9               | + 19,1        | + 19,5            |
| 2.1.2019    | 44                             | 6,29                        | 65,0              | + 19,8        | 65,3               | + 19,7        | + 19,9            |
| 9.1.2019    | 51                             | 7,29                        | 64,5              | + 19,5        | 65,2               | + 19,4        | + 19,9            |
| 16.1.2019   | 58                             | 8,29                        | 63,1              | + 19,0        | 63,7               | + 19,1        | + 19,5            |
| 23.1.2019   | 65                             | 9,29                        | 60,6              | + 19,4        | 60,1               | + 19,3        | + 19,5            |

TAULUKKO 2. LA 37 16 S3 (606C) muunnetut mittaustulokset

| Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H3) | Mittapiste 2 (H11) | Keskiarvo     |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|---------------|
|                             | <i>RH</i> (%)     | <i>RH</i> (%)      | <i>RH</i> (%) |
| 0                           | 100               | 100                | 100           |
| 1                           | 93,7              | 94,1               | 93,9          |
| 2                           | 88,5              | 88,8               | 88,7          |
| 3                           | 85,0              | 85,5               | 85,3          |
| 4                           | 83,7              | 82,7               | 83,2          |
| 4,57                        | 81,6              | 81,0               | 81,3          |
| 6,29                        | 78,1              | 77,2               | 77,7          |
| 7,29                        | 77,5              | 77,1               | 77,3          |
| 8,29                        | 75,9              | 75,5               | 75,7          |
| 9,29                        | 72,9              | 71,1               | 72,0          |

## Liite 7. LA 37 16 S3 (600C) mittaustulokset

TAULUKKO 1. LA 37 16 S3 (600C) muuntamattomat mittaustulokset

| Mittaus pvm | Aika valun alusta vuorokausina | Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H12) |               | Mittapiste 2 (H11) |               | Huoneen lämpötila |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|-------------------|
|             |                                |                             | <i>RH</i> (%)      | <i>T</i> (°C) | <i>RH</i> (%)      | <i>T</i> (°C) | <i>T</i> (°C)     |
| 28.1.2019   | 0                              | 0                           | -                  | -             | -                  | -             | -                 |
| 4.2.2019    | 7                              | 1                           | 83,2               | + 18,9        | 83,1               | + 19,0        | + 19,6            |
| 11.2.2019   | 14                             | 2                           | 78,9               | + 19,3        | 79,1               | + 19,4        | + 20,0            |
| 18.2.2019   | 21                             | 3                           | 75,6               | + 19,1        | 76,3               | + 19,1        | + 20,2            |
| 25.2.2019   | 28                             | 4                           | 73,3               | + 19,0        | 73,8               | + 19,1        | + 19,9            |
| 4.3.2019    | 35                             | 5                           | 70,8               | + 18,6        | 71,8               | + 18,7        | + 19,5            |
| 11.3.2019   | 42                             | 6                           | 69,1               | + 18,6        | 70,0               | + 18,8        | + 19,7            |
| 21.3.2019   | 52                             | 7,43                        | 67,5               | + 19,3        | 68,5               | + 19,4        | + 20,2            |
| 25.3.2019   | 56                             | 8                           | 66,7               | + 19,2        | 67,8               | + 19,3        | + 20,0            |

TAULUKKO 2. LA 37 16 S3 (600C) muunnetut mittaustulokset

| Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H12) | Mittapiste 2 (H11) | Keskiarvo     |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|---------------|
|                             | <i>RH</i> (%)      | <i>RH</i> (%)      | <i>RH</i> (%) |
| 0                           | 100                | 100                | 100           |
| 1                           | 96,6               | 96,1               | 96,4          |
| 2                           | 92,1               | 91,8               | 92,0          |
| 3                           | 88,6               | 88,9               | 88,8          |
| 4                           | 86,2               | 86,2               | 86,2          |
| 5                           | 83,5               | 84,1               | 83,8          |
| 6                           | 81,7               | 82,2               | 82,0          |
| 7,43                        | 80,0               | 80,6               | 80,3          |
| 8                           | 79,2               | 79,8               | 79,5          |

## Liite 8. LA 37 16 S3 SR+Pika (606D) mittaustulokset

TAULUKKO 1. LA 37 16 S3 SR+Pika (606D) muuntamattomat mittaustulokset

| Mittaus pvm | Aika valun alusta vuorokausina | Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H12) |               | Mittapiste 2 (Celsicom anturi 2) |               | Huoneen lämpötila |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|----------------------------------|---------------|-------------------|
|             |                                |                             | <i>RH</i> (%)      | <i>T</i> (°C) | <i>RH</i> (%)                    | <i>T</i> (°C) | <i>T</i> (°C)     |
| 19.11.2018  | 0                              | 0                           | -                  | -             | -                                | -             | -                 |
| 26.11.2018  | 7                              | 1                           | 83,9               | + 18,8        | -                                | -             | + 19,5            |
| 3.12.2018   | 14                             | 2                           | 81,0               | + 19,1        | -                                | -             | + 19,8            |
| 10.12.2018  | 21                             | 3                           | 78,6               | + 19,7        | -                                | -             | + 19,6            |
| 17.12.2018  | 28                             | 4                           | 76,4               | + 18,9        | -                                | -             | + 19,7            |
| 21.12.2018  | 32                             | 4,57                        | 75,6               | + 18,9        | -                                | -             | + 19,5            |
| 2.1.2019    | 44                             | 6,29                        | 73,2               | + 19,5        | -                                | -             | + 19,9            |
| 9.1.2019    | 51                             | 7,29                        | 72,8               | + 19,2        | -                                | -             | + 19,9            |
| 16.1.2019   | 58                             | 8,29                        | 71,8               | + 18,8        | -                                | -             | + 19,5            |
| 23.1.2019   | 65                             | 9,29                        | 70,4               | + 19,1        | -                                | -             | + 19,5            |

TAULUKKO 2. LA 37 16 S3 SR+Pika (606D) muunnetut mittaustulokset

| Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H12) | Mittapiste 2 (Celsicom anturi 2) | Keskiarvo     |
|-----------------------------|--------------------|----------------------------------|---------------|
|                             | <i>RH</i> (%)      | <i>RH</i> (%)                    | <i>RH</i> (%) |
| 0                           | 100                | 100                              | 100           |
| 1                           | 97,4               | 94,5                             | 96,0          |
| 2                           | 94,3               | 92,5                             | 93,4          |
| 3                           | 91,8               | 90,6                             | 91,2          |
| 4                           | 89,4               | 89,3                             | 89,4          |
| 4,57                        | 88,6               | 88,5                             | 88,6          |
| 6,29                        | 86,1               | 86,6                             | 86,4          |
| 7,29                        | 85,6               | 86,3                             | 86,0          |
| 8,29                        | 84,6               | 85,5                             | 85,1          |
| 9,29                        | 83,1               | 83,0                             | 83,1          |



## Liite 9. LA 37 16 S3 SR+Pika (600D) mittaustulokset

TAULUKKO 1. LA 37 16 S3 SR+Pika (600D) muuntamattomat mittaustulokset

| Mittaus pvm | Aika valun alusta vuorokausina | Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H8) |               | Mittapiste 2 (H3) |               | Huoneen lämpötila |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
|             |                                |                             | <i>RH</i> (%)     | <i>T</i> (°C) | <i>RH</i> (%)     | <i>T</i> (°C) | <i>T</i> (°C)     |
| 28.1.2019   | 0                              | 0                           | -                 | -             | -                 | -             | -                 |
| 4.2.2019    | 7                              | 1                           | 83,7              | + 19,0        | 81,4              | + 19,1        | + 19,6            |
| 11.2.2019   | 14                             | 2                           | 79,7              | + 19,4        | 78,0              | + 19,5        | + 20,0            |
| 18.2.2019   | 21                             | 3                           | 76,4              | + 19,2        | 75,3              | + 19,3        | + 20,2            |
| 25.2.2019   | 28                             | 4                           | 73,7              | + 19,1        | 73,0              | + 19,2        | + 19,9            |
| 4.3.2019    | 35                             | 5                           | 71,5              | + 18,7        | 71,1              | + 18,8        | + 19,5            |
| 11.3.2019   | 42                             | 6                           | 69,6              | + 18,7        | 69,5              | + 18,9        | + 19,7            |
| 21.3.2019   | 52                             | 7,43                        | 68,2              | + 19,4        | 68,1              | + 19,5        | + 20,2            |
| 25.3.2019   | 56                             | 8                           | 67,2              | + 19,3        | 67,1              | + 19,4        | + 20,0            |

TAULUKKO 2. LA 37 16 S3 SR+Pika (600D) muunnetut mittaustulokset

| Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H8) | Mittapiste 2 (H3) | Keskiarvo     |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|---------------|
|                             | <i>RH</i> (%)     | <i>RH</i> (%)     | <i>RH</i> (%) |
| 0                           | 100               | 100               | 100           |
| 1                           | 97,0              | 96,9              | 97,0          |
| 2                           | 92,7              | 93,0              | 92,9          |
| 3                           | 89,1              | 89,9              | 89,5          |
| 4                           | 86,2              | 87,3              | 86,8          |
| 5                           | 83,8              | 85,1              | 84,5          |
| 6                           | 81,8              | 83,2              | 82,5          |
| 7,43                        | 80,2              | 81,6              | 80,9          |
| 8                           | 79,1              | 80,5              | 79,8          |

## Liite 10. NP 30(37) 16 S3 (606E) mittaustulokset

TAULUKKO 1. NP 30(37) 16 S3 (606E) muuntamattomat mittaustulokset

| Mittaus pvm | Aika valun alusta vuorokausina | Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H20) |               | Mittapiste 2 (H2) |               | Huoneen lämpötila |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
|             |                                |                             | <i>RH</i> (%)      | <i>T</i> (°C) | <i>RH</i> (%)     | <i>T</i> (°C) | <i>T</i> (°C)     |
| 19.11.2018  | 0                              | 0                           | -                  | -             | -                 | -             | -                 |
| 26.11.2018  | 7                              | 1                           | 80,7               | + 18,9        | 78,5              | + 18,9        | + 19,5            |
| 3.12.2018   | 14                             | 2                           | 77,5               | + 19,3        | 74,3              | + 19,3        | + 19,8            |
| 10.12.2018  | 21                             | 3                           | 74,7               | + 19,7        | 71,7              | + 19,8        | + 19,6            |
| 17.12.2018  | 28                             | 4                           | 72,8               | + 19,1        | 69,2              | + 19,1        | + 19,7            |
| 21.12.2018  | 32                             | 4,57                        | 71,8               | + 19,0        | 68,9              | + 19,1        | + 19,5            |
| 2.1.2019    | 44                             | 6,29                        | 68,6               | + 19,8        | 66,1              | + 19,6        | + 19,9            |
| 9.1.2019    | 51                             | 7,29                        | 68,6               | + 19,3        | 66,5              | + 19,4        | + 19,9            |
| 16.1.2019   | 58                             | 8,29                        | 67,5               | + 18,9        | 65,5              | + 19,0        | + 19,5            |
| 23.1.2019   | 65                             | 9,29                        | 65,1               | + 19,2        | 63,0              | + 19,2        | + 19,5            |

TAULUKKO 2. NP 30(37) 16 S3 (606E) muunnetut mittaustulokset

| Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H20) | Mittapiste 2 (H2) | Keskiarvo     |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|---------------|
|                             | <i>RH</i> (%)      | <i>RH</i> (%)     | <i>RH</i> (%) |
| 0                           | 100                | 100               | 100           |
| 1                           | 92,7               | 90,7              | 91,7          |
| 2                           | 89,2               | 86,0              | 87,6          |
| 3                           | 86,1               | 83,1              | 84,6          |
| 4                           | 84,0               | 80,3              | 82,2          |
| 4,57                        | 83,0               | 79,9              | 81,5          |
| 6,29                        | 79,5               | 76,8              | 78,2          |
| 7,29                        | 79,5               | 77,2              | 78,4          |
| 8,29                        | 78,3               | 76,1              | 77,2          |
| 9,29                        | 75,6               | 73,2              | 74,4          |

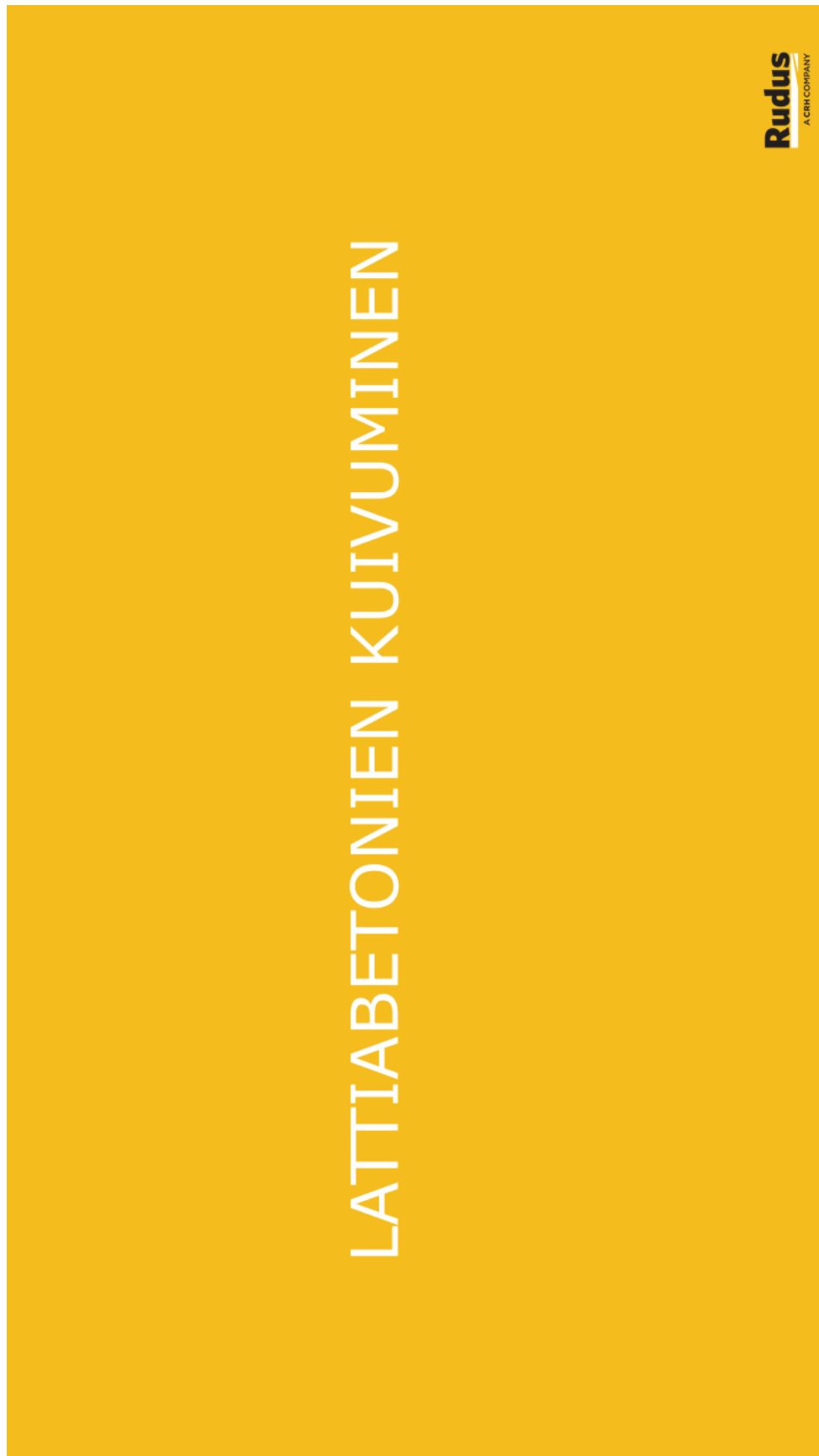
## Liite 11. NP 30 16 S3 (600E) mittaustulokset

TAULUKKO 1. NP 30 16 S3 (600E) muuntamattomat mittaustulokset

| Mittaus pvm | Aika valun alusta vuorokausina | Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H19) |               | Mittapiste 2 (H1) |               | Huoneen lämpötila |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
|             |                                |                             | <i>RH</i> (%)      | <i>T</i> (°C) | <i>RH</i> (%)     | <i>T</i> (°C) | <i>T</i> (°C)     |
| 28.1.2019   | 0                              | 0                           | -                  | -             | -                 | -             | -                 |
| 4.2.2019    | 7                              | 1                           | 79,1               | + 19,0        | 79,5              | + 18,4        | + 19,6            |
| 11.2.2019   | 14                             | 2                           | 74,8               | + 19,4        | 75,7              | + 18,8        | + 20,0            |
| 18.2.2019   | 21                             | 3                           | 72,1               | + 19,2        | 73,2              | + 18,6        | + 20,2            |
| 25.2.2019   | 28                             | 4                           | 69,7               | + 19,1        | 70,8              | + 18,6        | + 19,9            |
| 4.3.2019    | 35                             | 5                           | 67,8               | + 18,8        | 68,8              | + 18,3        | + 19,5            |
| 11.3.2019   | 42                             | 6                           | 66,1               | + 18,9        | 67,4              | + 18,2        | + 19,7            |
| 21.3.2019   | 52                             | 7,43                        | 64,7               | + 19,4        | 66,3              | + 18,8        | + 20,2            |
| 25.3.2019   | 56                             | 8                           | 63,9               | + 19,3        | 65,5              | + 18,8        | + 20,0            |

TAULUKKO 2. NP 30 16 S3 (600E) muunnetut mittaustulokset

| Aika valun alusta viikkoina | Mittapiste 1 (H19) | Mittapiste 2 (H1) | Keskiarvo     |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|---------------|
|                             | <i>RH</i> (%)      | <i>RH</i> (%)     | <i>RH</i> (%) |
| 0                           | 100                | 100               | 100           |
| 1                           | 93,4               | 93,8              | 93,6          |
| 2                           | 88,6               | 89,6              | 89,1          |
| 3                           | 85,5               | 86,9              | 86,2          |
| 4                           | 82,8               | 84,2              | 83,5          |
| 5                           | 80,7               | 82,0              | 81,4          |
| 6                           | 78,8               | 80,4              | 79,6          |
| 7,43                        | 77,2               | 79,2              | 78,2          |
| 8                           | 76,3               | 78,3              | 77,3          |



## Kuivumiseen vaikuttavat tekijät

### Rakenneratkaisu:

- Yhteen suuntaan kuivuva rakenne  
→ hidas kuivuminen
- Pääosin yhteen suuntaan kuivuva rakenne  
→ hieman nopeampi kuivuminen
- Kahteen suuntaan kuivuva rakenne  
→ nopea kuivuminen

### Vesi-sementtisuhte:

- Matala (noin v/s 0,5)  
Pinnoituskosteudet saavutetaan nopeasti.  
Kuivuminen hidasta sitoutumiskuivumisen jälkeen.
- Korkea (noin v/s 0,7)  
Kuivuminen tasaista.  
Pinnoituskosteudet saavutetaan myöhemmin.

### Optimaaliset olosuhteet kuivumiselle:

- Lämpötila + 20 °C
- Ilman suhteellinen kosteus 50 %

## Betonin kastuminen kuivumisaikana on estettävä!



## Huomioitavaa kuivumisesta

Ennen pinnoitus- tai päällystystyön aloittamista on varmistettava, että betoni on saavuttanut pinnoitteen tai päällysteen asettaman tavoitekosteuden.

Ilmavirtaukset nopeuttavat veden haihtumista betonin pinnasta.

Lämpötilaa nostamalla voidaan nopeuttaa kuivumista. Tämä ei kuitenkaan ole suotavaa kuivumisen alkuvaiheessa, koska tällöin lisätään halkeilun riskiä.

**Betoni ei voi kuivua, jos sillä ei ole kuivumiseen edellytettäviä olosuhteita.**

### Teoriaa kuivumisesta

Kuivuminen on aluksi sitoutumiskuivumista. Tällöin osa vedestä sitoutuu kemiallisesti betoniin kovettumisreaktion seurauksena.

Kovettumisreaktion käyttämän veden jälkeen betonissa on vielä paljon haihtumiskykyistä vettä, joka on sitoutuneena fysikaalisesti huokosrakenteeseen. Tämä vesi pyrkii siirtymään pintaa kohti, josta se pääsee haihtumaan ympäristöön. Siirtyminen tapahtuu kapillaarisen siirtymän ja diffuusion avulla.

## Kutistumisen ja halkeilun estäminen

Heti valun jälkeen on tärkeää huolehtia, että ympäristön ja betonin lämpötilat ovat lähellä toisiaan, jolloin pienennetään plastisen halkeilun riskiä.

- Jos betonin lämpötila on korkeampi kuin ympäristön lämpötila  
→ tiivis lämpöä eristävä ja veden haihtumista estävä peite
- Jos ympäristön lämpötila on korkeampi kuin betonin lämpötila  
→ veden haihtumista estävä peite
- Ympäristön ja betonin lämpötilat ovat yhtä suuret  
→ veden haihtumista estävä peite

Viruman vaikutuksen pienentäminen:

- Annetaan betonille aikaa kovettua
- Lujuuden nostaminen

Kuivumiskutistuman aiheuttaman halkeilun vähentäminen:

- Raudoitus
- Kuitubetoni
- Vähemmän kutistuva betonilaatu

## Jälkihoito

Jälkihoidon tarkoituksena on turvata betonin kovettuminen. Jälkihoito jaetaan varhaisjälkihoitoon ja varsinaiseen jälkihoitoon.

Varhaisjälkihoito:

- Ilman kosteuttaminen
- Jälkihoitoaineen lisäys pinnalle
- Ei peitetä tai kastella tässä vaiheessa

Varsinainen jälkihoito:

- Jälkihoitoaine pintaan
- Pinnan suojaus kalvolla tai peitteellä

### Teoriaa kutistumisesta ja halkeilusta

Plastista kutistumista tapahtuu, kun betoni on vielä plastisessa tilassa. Syy plastiselle kutistumalle on betonin liian nopea kuivuminen, jolloin halkeamia voi muodostua.

Viruma on kuormitetussa betonissa tapahtuvaa pitkän ajanjakson muodonmuutosta, jolla tarkoitetaan rakenteiden taipumista.

Kuivumiskutistuma on seuraus betonin kuivumisen aiheuttamasta kutistumasta. Halkeamia voi syntyä, mikäli betoni ei pääse kutistumaan vapaasti.



# BETONILAADUT JA KUIVUMISAJAT

Betonilaatu

v/s

Normaali lattiabetoni C25/30 16 mm S3

0,65

Sulfaatinkestävä lattiabetoni C25/30 16 mm S3

0,65

Normaali lattiabetoni C30/37 16 mm S3

0,57

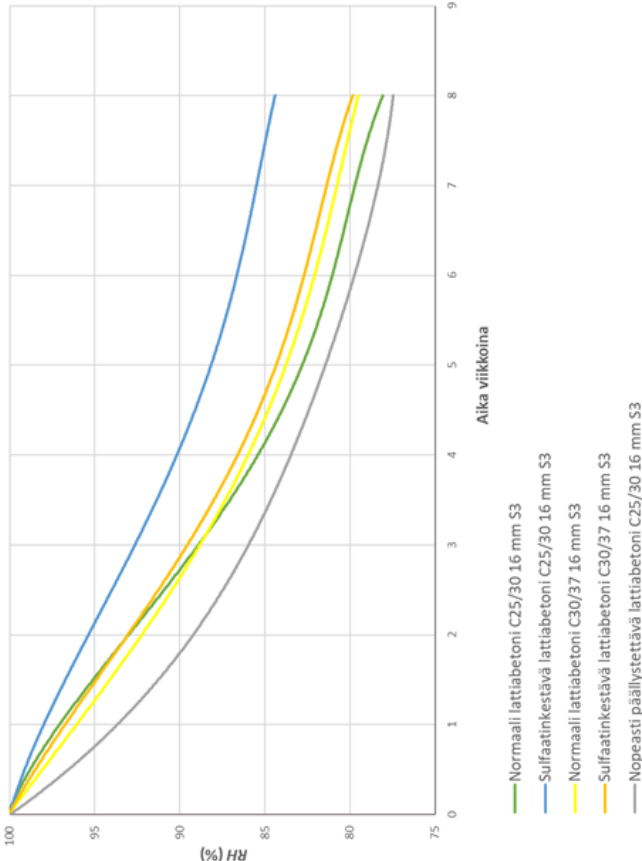
Sulfaatinkestävä lattiabetoni C30/37 16 mm S3

0,59

Nopeasti päällystettävä lattiabetoni C25/30 16 mm S3

0,54

Kuivumisaikojen vertailu



KUVIO 1. Kuivumisaikojen vertailu

Tämän sivun kuivumisaajat on määritetty porareikämenetelmällä käyttämällä yhteen suuntaan kuivuvaa rakennetta, jonka paksaus oli 7 cm. Mittauksissa käytetty mittasyyvyys oli 2,8 cm. Mittausten aikana ilman suhteellinen kosteus oli noin 50 % ja lämpötila noin + 20 °C. Mittaustulokset ovat esitettynä kuvaajassa (kuvio 1). Kuivumisaajat on tarkoitettu käytettäväksi betonilaatujen vertailuun ja niitä ei tulisi käyttää kuivumisen ohjearvoina.