

Lauri Suutarinen

**TERÄSBETONILAATAN KUIVUMISAJAN ARVIOINTI JA KUIVU-
MISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT**

TERÄSBETONILAATAN KUIVUMISAJAN ARVIOINTI JA KUIVUMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Lauri Suutarinen
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennesuunnittelu

Tekijä: Lauri Suutarinen

Opinnäytetyön nimi: Teräsbetoni-laatan kuivumisajan arviointi ja kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Työn ohjaaja: Hannu Kääriäinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2016 Sivumäärä: 51

Opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään mahdollisimman monipuolisesti teräsbetoni-laatan kuivumisaikaan vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, miten kuivumisaikaa arvioidaan ja mitataan oikeaoppisesti. Yhtenä opinnäytetyön tehtävänä oli tarkastella kahden Lemminkäinen Talo Oy:n työmaan kosteudenhallintaa ja selvittää, onko suojauksessa, kuivatuksessa tai raportoinnissa puutteita. Työssä tarkasteltiin rakennusten alapohjien kosteuteen liittyviä riskejä ja ongelmia. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös luoda taulukko, jota lukeamalla on helppo arvioida maanvaraisen betoni-laatan kuivumisaikaa.

Työssä perehdyttiin teräsbetoni-laatan kuivumiseen alan kirjallisuuden ja rakennusalan ammattilaisille toteutettujen haastatteluiden avulla. Työmaalla suoritettavan kuivumisajan arvioinnin helpottamiseksi työssä laadittiin taulukoita, joiden avulla betonirakenteelle on helppo määrittää suuntaa antava kuivumisaika-arvio. Tarkasteltavien työmaiden alapohjien kosteusongelmille etsittiin tieteelliset selitykset ja samalla selvitettiin, miten ongelma voitaisiin ennaltaehkäistä.

Työmaiden kosteudenhallinnan kehittäminen aloitettiin tutustumalla eri lähteiden antamiin ohjeistuksiin. Saatuja ohjeita verrattiin Lemminkäinen Talo Oy:n suosiimiin toimintamalleihin. Opinnäytetyössä selvitettiin, onko Lemminkäinen Talo Oy:n työmaiden kosteudenhallinnassa tai betonitöiden suunnittelussa puutteita.

Työn edetessä Lemminkäinen Talo Oy:n työmaiden alapohjien betonirakenteiden kuivumisessa ilmeni kosteudellisia ongelmia ja riskejä. Mikäli tällaisilta tilanteilta halutaan tulevaisuudessa välttyä, on betonirakenteiden kosteuskäyttäytymiseen kiinnitettävä huomiota suunnittelusta aina rakennusprojektin loppuun saakka. Betonitöiden suunnittelun ja rakenteen kuivumiseen vaikuttavien olosuhteiden seurannan kehittäminen vaatisi uuden laista asennoitumista sekä työnjohdolta että rakennusmiehiltäkin.

Asiasanat: betonointisuunnitelma, kuivumisaika-arvio, betonointityöt, maanvarainen alapohja

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Structural Engineering

Author: Lauri Suutarinen

Title of thesis: Reinforced Concrete's Drying Time Assessment and the Affective Actors of Drying Process

Supervisor: Hannu Kääriäinen

Term and year when the thesis was submitted: Pages: 51

Concrete structures' drying processes take a big part of construction site's schedule. Because of that it is crucial to assess the time that structures take to dry and also the actors that affect to that time.

In this theses one of the main goals was to define the actors that affect to concrete structures' drying processes. The other objective was make a table that shows the affects of different variables to concrete's drying time.

After this the idea was to access defined knowledge to two of Lemminkäinen Building company's sites and solve their moisture problems and risks.

All the data was gathered from many publications of the industry and from the interviews that was made to authorities.

While researching the building projects of Lemminkäinen Building company there was found some big problems with moisture in concrete. Parties should pay attention to moisture control from the beginning of building process to the end of it if these kind of problems could be avoided. There was found some problems with concrete's drying time assessments. Assessments were very different with each other to depend of what kind of calculating formulas were used.

Keywords: concrete, moisture control, drying time assessment

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	7
2 BETONILATTIAN KOSTEUS JA SIITÄ AIHEUTUVAT ONGELMAT	8
3 MAANVARAISEN BETONILAATAN KOSTEUSLÄHTEET	10
3.1 Vesihöyryn siirtyminen maaperästä betonilaattaan	10
3.2 Kapillaarisesti nousseen veden imeytyminen	11
3.3 Sisäilman kosteus	12
3.4 Rakentamisvaiheen kosteuslähteet	12
3.5 Muita kosteuslähteitä	13
4 BETONILAATAN KUIVUMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	14
4.1 Betonin ominaisuudet	14
4.2 Rakenteen ominaisuudet	17
4.3 Olosuhteet	18
4.4 Betonipinnan esikäsitteily	19
5 KUIVUMISOLOSUHTEIDEN HALLINTA	21
5.1 Rakenteiden suojaus	21
5.2 Ilman kuivattaminen	22
5.3 Rakenteen lämmittäminen	23
5.4 Ilman lämmittäminen	25
5.5 Ilmavirtaukset	26
6 BETONILAATAN KUIVUMISAJAN ARVIOINTI	27
6.1 Kuivumisaika-arvion laskemiseen tarvittavat lähtötiedot	27
6.2 Kertoimet	27
6.3 Laskentaesimerkki	31
6.4 Kuivumisaika-arvio taulukot	32
7 RAKENTEEN KOSTEUDEN MITTAAMINEN	36
7.1 Porareikämittaus	36

7.2 Näytepalamittaus	37
7.3 Mittaussyvyys	38
8 BETONITÖIDEN SUUNNITTELU	40
8.1 Betonityösuunnitelma	40
8.2 Kosteudenhallintasuunnitelma	41
8.2.1 Kosteudenhallintasuunnitelman tavoitteet	41
8.2.2 Kosteudenhallintasuunnitelman sisältö	41
8.3 Talvibetonointisuunnitelma	44
8.4 Betonointipöytäkirjat	45
9 JÄLKITYÖT	46
10 YHTEENVETO	47
LÄHTEET	46

1 JOHDANTO

Betonirakenteiden kuivumisella on yleensä merkittävä vaikutus työmaan yleisai-katauluun. Rakenteiden kuivumisajan arviointi on kuitenkin haastavaa, sillä kui-vumisaikaan vaikuttavat useat eri tekijät. Fysikaalisten tekijöiden, kuten betoni-laadun, rakennetyypin ja olosuhteiden lisäksi aikatauluun vaikuttavat myös töi-den huolellinen suunnittelu ja seuranta.

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Lemminkäinen Talo Oy:n betonitöiden suunnittelua ja seurantaa sekä selvittää betonirakenteiden tehokkaan kuivumi-sen edellytyksiä. Lisäksi tavoitteena on laatia taulukoita, joiden avulla voidaan vertailla eri kuivumisajan arviointiin käytettävien laskumenetelmien tuloksia ja helpottaa kuivumisajan arviointia työmailla.

Opinnäytetyössä arvioidaan Pudasjärven hoivakodin maanvaraisen teräsbetoni-laatan kuivumisaikaa kolmella eri menetelmällä sekä tarkastellaan Pudasjärven hoivakoti- ja koulukampustyömailla esiintyneitä alapohjan kuivumiseen liittyviä ongelmia ja riskejä. Alapohjan kuivumiseen liittyville ongelmille ja riskeille pyri-tään löytämään selkeät tieteelliset selitykset ja ennaltaehkäisykeinot.

2 BETONILATTIAN KOSTEUS JA SIITÄ AIHEUTUVAT ONGELMAT

Betoni koostuu kolmesta osa-aineksesta: vedestä, sementistä ja runkoaineksesta. Betonirakenteen valmistuksessa käytettävä vesi ei koskaan kokonaan poistu rakenteesta. Tämän lisäksi betonirakenteen kosteutta voi kasvattaa ulkopuolelta imeytyvä kosteus. (Merikallio 2009, 11.)

Vaikka itse betonilaatta kestää kosteutta erittäin hyvin, voi liiallisesta kosteudesta koitua mittavia vahinkoja. Ongelman muodostaa betonilattian pinnoite, sillä pinnoitemateriaaleilla, mattoliimoilla ja lattiamaaleilla on usein heikko kosteudenkestävyys. Liiallinen kosteus voi aiheuttaa esimerkiksi materiaalien lujuuskaatoa, maalien rappeutumista tai lattiamattojen rypistymistä ja irtoilua. Lattian ulkonäköhaittojen ja rakenteellisen toimivuuden heikkenemisen lisäksi kosteus voi aiheuttaa sisäilmaongelmia. Useat mattoliimat sekä pinnoitemateriaalit ovat alttiita hajoamisreaktioille, jotka käynnistyvät kosteuden vaikutuksesta. Hajoamisreaktioiden seurauksena huoneilmaan voi emittoitua haitallisia määriä erilaisia yhdisteitä. (BY45. 2014, 43.)

Esimerkiksi linoleumipäälysteiden hajoamisreaktioissa huoneilmaan emittoituu tyypillisesti orgaanisia happoja ja pitkäketjuisia aldehydejä. Orgaanisten happojen on tutkittu aiheuttavan nenäoireita ja pitkäketjuisten aldehydien limakalvooireita. Muovimattojen haitallisuus taas johtuu useimmiten 2-etyyli-1-heksanolista, minkä on todettu aiheuttavan nenä-, silmä- ja limakalvooireita. (Taulukko 1.) (Sisäilman laadun hallinta 2004, 87; Keinänen 2013, 16.)

TAULUKKO 1. Rakennustuotteiden hajoamisreaktiossa syntyviä yhdisteitä (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 37)

Rakennustuote	VOC-yhdiste/yhdisteryhmä
Muovimatto (PVC)	alkaanit, aromaattiset yhdisteet, 2-etyyliheksanoli, TXIB (esteriyhdiste)
Parketti (puu)	C ₅ -C ₆ - aldehydit, terpeenit
Linoleum	C ₅ -C ₁₁ - aldehydit, alifaattiset hapot, bentsaldehydi
Kumimatto	Asetonifenoni, alkyloidut aromaattiset yhdisteet, styreeni
Liima	C ₉ -C ₁₁ - alkaanit, tolueni, styreeni
Lakka	Alkaanit, aldehydit

Sisäilmaan emittoituneiden yhdisteiden toluenivasteella laskettuja pitoisuusrajoja esitellään sosiaali- ja terveysministeriön 2015 laatimassa asetuksessa. (Taulukko 2.)

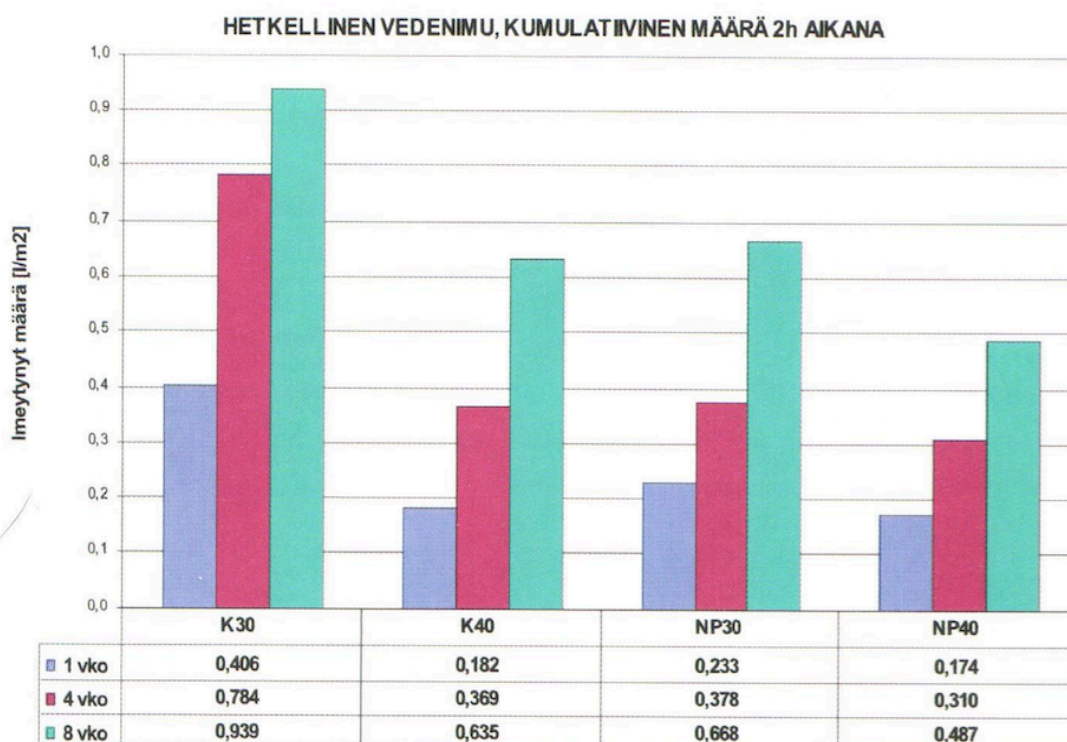
TAULUKKO 2. Sisäilmaan emittoituvien yhdisteidentolueneivasteella laskettuja toimenpiderajoja (L23.4.2015/545)

Yhdiste	Toimenpideraja
2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidioli di-isobutyraatti (TXIB)	10 µg/m ³
2-etyyli-1-heksanoli (2EH)	10 µg/m ³
Naftaleeni	ei saa esiintyä hajua, 10 µg/m ³
Styreeni	40 µg/m ³

Koska lattiarakenteen kosteuden ja lattiapinnoitteen suhde on riskialtis, tulee maanvaraisten alapohjalaattojen pinnoitteena välttää käyttämästä tiiviitä muovi- tai linoleumimattoja. Mikäli tällaiseen ratkaisuun kuitenkin päädytään, vaaditaan siihen tarkkoja kosteuteen liittyviä selvityksiä. On erittäin tärkeää, että lattioita ei pinnoiteta ennen pinnoitevalmistajan määrittämän betonilaatan suhteellisen kosteuden kosteusraja-arvon saavuttamista. Esimerkiksi Upofloorin muovipäällysteillä betonilaatan suhteellisen kosteuden tulee arviointisyvyydellä A olla vähintään 85 % ja 1 - 3 cm:n syvyydellä 75 %. (BY45. 2014, 43; Muovipäällysteet.)

3 MAANVARAISEN BETONILAATAN KOSTEUSLÄHTEET

Maanvaraisen betonilaatan kosteus johtuu usein betonin ”oman veden” lisäksi ulkopuolelta imeytyneestä vedestä. Ulkopuolisen veden imeytyminen estetään toimivien rakennerratkaisujen, rakenteen suojauksen ja vallitsevien olosuhteiden hallinnan avulla. Kosteuslähteiden aiheuttaman kastumisriskin laajuutta pohdittaessa on hyvä tietää, että betonin ikä ja betonilaatu vaikuttavat rakenteen kykyyn imeä vettä. (Kuva 1.) (Merikallio ym. 2007, 19.)



KUVA 1. Betonin iän ja betonilaadun vaikutus rakenteen vedenimukykyyn (Merikallio ym. 2007, 19)

3.1 Vesihöyryn siirtyminen maaperästä betonilaattaan

Vesihöyry siirtyy diffuusion ansiosta korkeammasta vesihöyrypitoisuudesta matalampaan. Vesihöyryn diffuusiovirtaus maaperästä betonilaattaan vaatii korkeaa maaperän lämpötilaa, joka voi aiheutua laatan tai laatan alla kulkevien putkien puutteellisesta lämpöeristämisestä. (Tavallisimmat virheet perustettaessa maanvaraista laattaa.)

Vesihöyryn kulkeutumissuunnan määrittää materiaalin absoluuttinen kosteus. Maan lämpötilan noustessa ja suhteellisen kosteuden pysyessä vakiona huokosten reunoille tiivistynyt vesi höyrystyy ja huokosten ilman absoluuttinen kosteus kasvaa. Koska maaperän suhteellisen kosteuden voidaan olettaa olevan 100 %, kasvaa maaperän absoluuttinen kosteus laatan ja maaperän lämpötilan pienetessä nopeasti laatan absoluuttista kosteutta suuremmaksi. Tällöin diffuusiovirtauksen suunta on maaperästä betonilaattaan. (Kallio 2014, 17.)

3.2 Kapillaarisesti nousseen veden imeytyminen

Laatan alapuolisen maan kapillaarinen vedennousu on estettävä salaojituskerroksella, jonka paksuus on vähintään 200 mm. Jos kapillaarikatkokerroksen alapuolinen maa on savea tai silttiä, asetetaan salaojituskerroksen alle suodatinkangas maakerrosten sekoittumisen estämiseksi. (C2. 1998, 8.)

Kapillaarinen nousu aiheutuu materiaalin huokosten alipaineesta. Mitä pienempiä huokokset ovat, sitä suurempi on niissä esiintyvä alipaine ja sitä voimakkaampaa on kapillaarinen nousu. (Taulukko 3.) Tämän vuoksi kapillaarinen nousu on salaojituskerroksissa käytettävässä suurirakeisessa maa-aineksissa, kuten pestyssä sepelissä, lähes olematonta. (Kallio 2014, 15.)

TAULUKKO 3. Maalajien likimääräiset kapillaariset nousukorkeudet (Siikanen 1996, 53)

Maalaji	Raekoko mm	Kapillaarinen nostokorkeus m	
		löyhä kerrostuma	tiivis kerrostuma
Karkea hiekka	0,6...2	0,12...0,03	0,15...0,04
Hieno hiekka	0,2...0,6	0,35...0,10	0,5...0,12
Karkea hieta	0,06...0,2	2...0,3	3,5...0,4
Hieno hieta	0,02...0,06	5...1,5	8...2,5
Hiesu	0,002...0,02	10...4	12...6
Savi	0,002	8	10

Kapillaarikatkon toimivuuden varmistamiseksi voidaan kuivaseulotun murskeen sijaan käyttää pestyä eli vesiseulottua kalliomursketta tai soraa. Vesiseulonnalla varmistetaan täydellinen hienoaineksen poistuminen. (RIL 126-2009. 2009, 35.)

3.3 Sisäilman kosteus

Sisäilman korkea kosteuspitoisuus heikentää betonilaatan kuivumista ja pahimmassa tapauksessa jopa lisää laatan kosteutta. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se voi vastaanottaa kosteutta. Tästä syystä absoluuttinen kosteus voi olla lämpimällä ilmalla suuri, vaikka suhteellinen kosteus olisi pieni. (Taulukko 4.) (Tavallisimmat virheet perustettaessa maanvaraista laattaa; Torvikoski 2013.)

TAULUKKO 4. Ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaikutus absoluuttiseen kosteuteen (Ilmankosteus)

Suhteellinen kosteus:	20%	40%	60%	80%	90%	100%
Ilman lämpötila °C	absoluuttinen kosteus: g/m ³					
80	58	116	174	232	261	290
70	39	78	118	157	176	196
60	26	52	78	104	117	130
50	17	33	50	66	75	83
40	10	20	31	41	46	51
30	6,1	12	18	24	27	30
20	3,5	6,9	10	14	16	17
10	1,9	3,8	5,6	7,5	8,5	9,4
0	1,0	1,9	2,9	3,9	4,4	4,9
-10	0,44	0,88	1,3	1,8	2,0	2,2
-20	0,18	0,35	0,53	0,70	0,79	0,88
-25	0,11	0,22	0,33	0,44	0,50	0,55
-30	0,07	0,13	0,20	0,26	0,30	0,33

Mitä kuivempaa ilma on, sitä voimakkaampaa on veden haihtuminen laatasta ilmaan. Sisäilman kosteusolosuhteiden parantamiseksi tulee siis joko nostaa ilman lämpötilaa tai vähentää sen kosteuspitoisuutta. (Ilmankosteus.)

3.4 Rakentamisvaiheen kosteuslähteet

Rakentamisvaiheessa maanvarainen betonilaatta voi altistua runsaalle ulkopuoliselle kosteudelle. Tällaisia kosteuslähteitä ovat esimerkiksi sade- ja sulamisvedet, joiden pääsyn estäminen rakenteeseen tulee suunnitella hyvissä ajoin ennen riskille altistumista. (RIL 250-2011. 2011, 101.)

Työmaaolosuhteiden hallinta suunnitellaan kosteudenhallintasuunnitelmassa, olosuhdehallinnan osuudessa. Kosteudenhallintasuunnitelman sisältö esitellään

tarkemmin kappaleessa 8.3 Kosteudenhallintasuunnitelma. (RIL 250-2011. 2011, 101.)

3.5 Muita kosteuslähteitä

Edellä mainittujen kosteuslähteiden lisäksi betonilaatta voi kerätä kosteutta väärin ohjatuista katto-, sade-, sulamis- ja vajovesistä. Tämän vuoksi lattiapinnan tulee aina olla vähintään 300 millimetriä maanpinnan yläpuolella ja rakennuksen ulkopuolinen maanpinta tulee kallistaa niin, että mahdolliset pintavedet valuvat pois päin rakennuksesta. Myös tulvareitit ja sadevesikaivot on suunniteltava toimiviksi, jotta vältytään alapohjan kastumiselta. (RIL 126-2009. 2009, 51.)

4 BETONILAATAN KUIVUMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Betonin kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä tarkastellessa on tärkeä ymmärtää, että betonin kuivuminen voidaan jakaa kahteen tyyppiin. Nämä kaksi tyyppiä ovat kemiallinen kuivuminen ja haihtumiskuivuminen. (Pihlajavaara 1964, 40.)

Kemiallisella kuivumisella tarkoitetaan ilmiötä, jossa osa betonin valmistamiseen käytettävästä vedestä reagoi sementin kanssa luoden sementtikiven. Tätä reaktiota kutsutaan hydrataatioksi ja sen seurauksena betonin suhteellinen kosteus laskee noin 90-98 %:iin. (Merikallio ym. 2007, 20.)

Haihtumiskuivumisessa kosteus esiintyy vesihöyrynä betonin huokosissa ja kondensoituneena vetenä huokosten reunamilla. Betonirakenteen kuivuessa vesihöyry siirtyy diffuusion vaikutuksesta rakenteen pinnasta ympäröivään ilmaan. Kuivumisen alkuvaiheessa haihtumiskuivuminen on nopeaa, mutta rakenteen pintakerroksen kuivuttua kosteuden poistuminen hidastuu. Tämä johtuu siitä, että diffuusiorintama siirtyy koko ajan syvemmälle rakenteeseen ja vesihöyryn matka rakenteen pintaa kasvaa. (Kallio 2014, 16.)

4.1 Betonin ominaisuudet

Vesisementtisuhde

Vesisementtisuhdetta pienennettäessä kemiallisen kuivumisen osuus kasvaa ja näin ollen haihtumiskuivumisen osuus pienenee. Helposti voitaisiin siis olettaa, että suhteen pienentäminen nopeuttaa kuivumista. Todellisuudessa näin ei kuitenkaan tapahdu. Itseasiassa lisäaineettoman massan vesisementtisuhteen pienentäminen kasvattaa kuivumisaikaa. (Kääriäinen 2016.)

Suhdetta pienentämällä saadaan muodostettua tiivis ja jäykkä betonimassa. Betonin tiiveys vähentää rakenteen jälkikastumisriskiä ja kasvattaa lujuutta, mutta jäykkyys vaikeuttaa massan työstettävyyttä. Huonon työstettävyytensä takia pienen vesisementtisuhteen omaavat betonimassat tulee notkistaa notkistinaaineilla. (Kääriäinen 2016; Kaukiainen 2012, 8.)

Yhtenä vesisementtisuhteen pienentämisen positiivisena ominaisuutena tulee mainita kutistumishalkeilun väheneminen. Sementtigeelin geelihiukkasten väliset etäisyydet ovat erittäin pieniä, mistä johtuen hiukkasten väliset vetovoimat ovat suhteellisen suuria. Sementtiliiman kuivuessa vesimolekyylit poistuvat sementti-vesiseoksesta ja geelihiukkaset pääsevät vetäytymään lähemmäksi toisiaan. Mitä vähemmän on poistuvia vesimolekyylejä, sitä pienempi on vesisementtiseoksen tilavuuden muutos. (Pihlajavaara 1961, 8.)

Vaikka vesisementtisuhteen kasvattaminen kasvattaa veden määrää, se myös huokostaa betonia. Huokoisuuden kasvun myötä kasvaa luonnollisesti myös betonin ilmamäärä. Lisäaineiden, kuten notkistimien ja huokostimien käytöltä voidaan välttyä käyttämällä korkeaa vesisementtisuhdetta. (Kääriäinen 2016.)

Ilmamäärä

Diffuusikuivumisen voimakkuus riippuu betonin huokosrakenteesta. Huokoisuuden määrittää suurimmaksi osaksi vesisementtisuhte: mitä suurempi suhde on, sitä suurempi on betonin huokoisuus. (Merikallio ym. 2007, 20.)

Betonin huokokset muodostavat niin sanotun kapillaariverkoston, jota pitkin kosteus poistuu betonista. Betonin huokostaminen laajentaa kapillaariverkostoa ja sen myötä nopeuttaa rakenteen kuivumista. Pienellä vesisementtisuhteella aikaansaadaan tiivis betoni, jonka huokoisuus on pieni; tällöin myös diffuusikuivuminen on heikkoa. (Merikallio 2009, 24.)

Koska betonirakenteen kemiallisen kuivumisen osuus on haihtumiskuivumiseen verrattuna varsin pieni, on tehokkaampaa kasvattaa lisäaineettoman massan vesisementtisuhdetta kuin pienentää sitä. Huokostimilla voidaan kuitenkin mahdollistaa vähäinen vedenkäyttö ja voimakas diffuusio, sillä huokostinaineet pienentävät seosveden pintajännitystä ja muodostavat tällä tavoin lisää ilmahuokosia. (Huokostimet.)

Esimerkiksi nopeasti pinnoitettavan NP-betonin toiminta perustuu pieneen vesisementtisuhteeseen ja lisäaineiden käyttöön. NP-betonissa käytettävän veden määrä voi olla jopa puolet normaalibetonin vesimäärästä. Riittävän notkeuden

saamiseksi massaan lisätään notkistinaineita. Huokostimilla luodaan yhtenäinen ja laaja kapillaariverkosto. (Puhjo 2008.)

Huokostetun betonin suojaaminen kuivumisvaiheessa on erittäin tärkeää. Yhtenäinen kapillaariverkosto mahdollistaa ulkopuolisen veden johtumisen syvälle rakenteeseen. Jos rakenne pääsee kastumaan kuivumisvaiheessa, esimerkiksi riittämättömän suojaamisen vuoksi, kääntyy huokostamisen merkitys päinvastaiseksi. Diffuusiokuivuminen on painovoimaista eli kapillaarista kastumista hitaampi ilmiö. Tästä syystä kastumiselle altistuneen huokostetun betonin kuivuminen kestää kauemmin kuin vastaaviin olosuhteisiin altistuneen normaalin betonin. Rakennusaikainen suojaaminen on siis suunniteltava erityisellä huolellisuudella, kun käytetään NP-betonia. (Puhjo 2008, 10.)

Raekoko

Myös runkoaineen raekoolla on vaikutusta betonin kuivumisnopeuteen. Runkoaineen maksimiraekokoa kasvattamalla nopeutetaan rakenteen kuivumista. Asia selittyy, kun tarkastellaan betonin karkearakennetta. (Betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät.)

Betonin karkea- eli makrorakenne koostuu sementtiliimasta ja runkoaineksesta. Sementtiliimaksi kutsutun veden, ilman ja sementin yhdistelmän tehtävä on sitoa runkoainespartikkelit toisiinsa ja muodostaa betonille jatkuva rakenne. Sementtiliima siis ympäröi runkoainesrakeita ja täyttää niiden väliin jäävät tyhjät tilat. Raekokoa kasvattamalla liitettävien rakeiden määrä vähenee, minkä myötä myös kuivuvan sementtiliiman määrä vähenee. (Pihlajavaara 1961, 6.)

Kuivumisen nopeuttamisen lisäksi raekoon kasvattaminen lisää betonin lujuutta ja vähentää kutistumisesta aiheutuvia muodonmuutoksia. Raekoon kasvattamisella on kuitenkin rajoittavia tekijöitä, kuten tiivistämisen tarve. Esimerkiksi tiheäraudoitteisessa rakenteessa suurirakeinen massa ei välttämättä tiivisty asianmukaisesti ja aiheuttaa näin valuvikoja. (Anttila.)

Raekokoa ei yleensä jouduta pohtimaan työmaalla, vaan sen määrittelee rakennesuunnittelija. Rakennepiirustuksiin merkitään rakenteessa käytettävä maksimiraekoko, jonka suunnittelija on perustellusti määritellyt. Betoniraken-

teissa tulee aina käyttää mahdollisimman isoa raekokoa, sillä betonin raekoon kasvattaminen parantaa betonin teknisiä ominaisuuksia. (Anttila.)

Betonin lämpötila

Normaalibetoni pysyy valamisen jälkeen notkeana aina sementin sitoutumiseen asti. Sementin sitoutumisessa sementti reagoi veden kanssa ja sitä seuraa sementtikiven muodostuminen eli betonin kovettuminen. (BY 201. 2005, 51.)

Lämpötilalla on suurimerkitys sementin sitoutumisaikaan. +20 °C:n lämpötilassa sitoutumisaika on noin 2 - 4 tuntia, mutta 10 °C:n muutos puolittaa tai tuplaa sitoutumisajan. Lämpötilan vaikutuksen vuoksi talviolosuhteissa joudutaan usein käyttämään nopeasti kovettuvaa sementtiä tai kuumabetonia. (BY 201. 2005, 51.)

4.2 Rakenteen ominaisuudet

Kuivumissuunta

Betonilaatat voidaan kuivumissuunnan perusteella jakaa kahteen ryhmään: yhteen ja kahteen suuntaan kuivuviin betonirakenteisiin. Yhteen suuntaan kuivuvalla rakenteella kosteus pystyy haihtumaan ympäröivään ilmaan vain laatan yläpinnasta, kun taas kahteen suuntaan kuivuvalla rakenteella kosteus haihtuu sekä ylä- että alapinnasta. (Merikallio 2002, 21.)

Höyryntiiviin muovin päälle valettu maanvarainen betonilaatta on yhteen suuntaan kuivuva rakenne, sillä diffuusiokuivumista tapahtuu vain ylöspäin. Paikalla-valuvälipohjalaatta on hyvä esimerkki kahteen suuntaan kuivuvasta laatasta, jossa haihtuminen tapahtuu molempiin suuntiin. (Merikallio 2009, 24.)

Yhteen suuntaan kuivuvan rakenteen kuivuminen kestää kahteen suuntaan kuivuvan rakenteen kuivumista kauemmin. Tämä johtuu kosteuden kulkemasta matkasta. Yhteen suuntaan kuivuvan rakenteen pohjalla oleva kosteus joutuu kulkemaan pitkän matkan saavuttaakseen rakenteen pinnan. Olosuhteista riippuen yhteen suuntaan kuivuvan rakenteen kuivumisaika voi olla jopa nelinker- tainen verrattuna kahteen suuntaan kuivuvan rakenteen kuivumisaikaan. (Merikallio 2009, 24.)

Rakenteen paksuus

Luonnollisesti myös rakenteen paksuus vaikuttaa sen kuivumisaikaan. Mitä paksumpi rakenne on, sitä pidemmän matkan kosteus joutuu kulkemaan saavuttaakseen haihtumiskykyisen pinnan. Koska rakenteen kuivuminen hidastuu sen myötä, mitä syvemmälle diffuusiorintama etenee, pidentää rakenteen paksuuden kasvattaminen sen kuivumisaikaa eksponentiaalisesti. (Merikallio 2002, 39; Merikallio 2009, 22.)

Alustan kosteus

Alustan kosteuden sijaan voitaisiin käytännönläheisemmin puhua alusmateriaalin vedenläpäisykyvystä. Märällä alustalla tarkoitetaan alustaa, joka ei läpäise ollenkaan vettä tai vesihöyryä. Esimerkiksi muovin päälle valetun betonilaatan alusta määritellään kuivumisaika-arviota laatiessa märäksi. (Kääriäinen 2015.)

Kuivumisajan arviointiin käytettävien kertoimien pohjalta voidaan todeta, että maanvaraisen märkälustaisen laatan kuivuminen kestää 1,5 kertaa kauemmin kuin samanlaisen kuiva-alustaisen laatan. (Merikallio 2002, 39.)

4.3 Olosuhteet

Työmaaolosuhteet on pyrittävä pitämään kuivumisen kannalta optimaalisina koko kuivumisprosessin ajan. Tämä mahdollistetaan kattavalla ennakkosuunnittelulla ja jatkuvalla olosuhteiden seurannalla. (Kääriäinen 2015.)

Ilman suhteellinen kosteus

Ilma pystyy lämpötilastaan riippuen vastaanottamaan kosteutta vain tiettyyn pisteeseen saakka ennen kuin kosteus alkaa tiivistyä vedeksi. Tätä ilman sisältämän kosteuden enimmäismäärää kutsutaan kyllästysvesihöyrynpitoisuudeksi. (Siikanen 1996, 55.)

Ilman suhteelliseksi kosteudeksi kutsutaan ilman todellisen kosteuden suhdetta kyllästyspitoisuuteen. Mitä pienempi siis suhteellinen kosteus on, sitä enemmän ilma pystyy vielä vastaanottamaan vesihöyryä. (Kosteus 2004, 11.)

Rakennetta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on pyrittävä pitämään mahdollisimman alhaalla, kun halutaan kuivattaa rakenne nopeasti. Diffusiovirtaus voimistuu suhteellisen kosteuden pienetessä. (Kosteus 2004, 7.)

Kesällä ja alkusyksyllä, ulkoilman kosteuspitoisuuden ollessa suuri, sisäilman suhteellista kosteutta joudutaan usein pudottamaan ilmankuivaajilla. Niiden käyttö edellyttää kuivatettavan tilan täydellistä ilmatiiveyttä. (RIL 250-2011. 2011, 105.)

Ilman lämpötila

Lämpötila vaikuttaa ilman suhteelliseen kosteuteen. Lämpötilan kasvaessa ilman kyllästysvesihöyrynpitoisuus kasvaa. (Kts. taulukko 2.) Tästä johtuen, jos ilman lämpötilaa nostetaan niin, että ilman absoluuttinen kosteus pysyy vakiona, ilman suhteellinen kosteus pienenee ja rakenteen haihtumiskuivuminen voimistuu. (Torvikoski 2014.)

Rakenteen lämpötila

Rakenteen lämpötila taas vaikuttaa rakenteen huokosten ilman kosteuspitoisuuteen. Lämpötilan noustessa huokosten reunamille kondensoitunut vesi haihtuu huokosilmaan ja näin rakenteen huokosten ilman absoluuttinen kosteus kasvaa. Huokosilman kosteuspitoisuuden kasvu kiihdyttää kuivumista, sillä ilman ja rakenteen kosteustasapainoero kasvaa. (Merikallio ym. 2007, 21.)

4.4 Betonipinnan esikäsitteleminen

Betonipinnan esikäsittelemällä tarkoitetaan epäpuhtauksien ja sementtiliiman poistamista. Betonipinnan epäpuhtaudet, kuten pöly, maali- ja öljytahrat, sekä betonin pintaan muodostuva sementtiliimakerros hidastavat rakenteen kuivumista ja heikentävät sen ja pinnoitteen välistä tartuntaa. Sementtiliima on sementin, veden ja hienojakoisen hiekan muodostama tiivis, mutta lujuudeltaan heikko kerros, joka muodostuu betonilaatan pintaan nopeasti valun jälkeen. (Betonin pintakäsittelyn käsikirja 2014, 8; Betonin kosteuden hallinta.)

Betonipinnan hionta on yleisin tapa poistaa epäpuhtaudet ja sementtiliima. Hionta suoritetaan heti jälkihoidon jälkeen, jotta kuivuminen saataisiin heti mahdollisimman tehokkaaksi. (Betonin pintakäsittelyn käsikirja 2014, 8.)

Hiontaa on kolmenlaista riippuen poistettavan kerroksen paksuudesta: kevyt-, pinta- ja syvähionta. Kevythionnassa betonipinnalta poistetaan vähäiset epäta-saisuudet ja osa sementtiliimasta. Kevythiontakohteita parempaa tartuntapintaa vaativille betonipinnoille suoritetaan yleensä pintahionta. Siinä betonipinta hio-taan kauttaaltaan niin, että sementtiliima poistuu kokonaan. Kun runkoaines tulee näkyviin, tiedetään sementtiliiman poistuneen. Syvähiontakohteissa beto-nin karkea runkoaines hiotaan kauttaaltaan näkyviin. Syvähiontaa käytetään, kun tavoitellaan erityisen hyvää kulutuksen kestävyyttä tai tietynlaista ulkonä-köä. (Merikallio ym. 2007, 12.)

Hionnan lisäksi muita esikäsittelymenetelmiä ovat muun muassa jysintä, sinko-puhdistus, hiekkapuhallus ja suolahappopeittaus. Edellä mainitut menetelmät ovat useimmiten hiontaa työläämpiä ja kalliimpia. (Betonin pintakäsittelyn käsi-kirja 2014, 8.)

5 KUIVUMISOLOSUHTEIDEN HALLINTA

Optimaalisten kuivumisolosuhteiden luomisen ja ylläpitämisen perustana on kosteudenhallintasuunnitelma. Rakennesuunnittelija aloittaa kosteudenhallinnan suunnittelun jo rakenteiden suunnitteluvaiheessa. Suunnitelman mukaisesta kuivanapidosta vastaa työmaan vastaava työnjohtaja tai hänen nimeämensä kosteusvastaava. Toteutuksesta vastaavan henkilön tulee varmistaa, että kosteudenhallintasuunnitelman kaikkia kohtia noudatetaan. Kosteudenhallintasuunnitelmaa käsitellään tarkemmin luvussa 8.2 Kosteudenhallintasuunnitelma.

5.1 Rakenteiden suojaus

Rakenteiden suojauksen ensisijainen tehtävä on estää vesi- ja lumisateiden sekä pintavesien pääsyn rakenteeseen. Lämpösuojauksella eristetään rakenne kylmältä ilmalta. (Kääriäinen 2015.)

Sääsuojat

Nykypäivän rakentamisessa yleistyneet säänsuojat ovat tehokas tapa ehkäistä ulkopuolisen veden pääsyä rakenteeseen. Säänsuojat ovat väliaikaisrakenteita, jotka ulkopuolisen kosteuden ehkäisyn lisäksi muun muassa vähentävät lämmityksen ja kuivatuksen tarvetta, pienentävät tapaturmariskiä, säästävät mahdollisilta lumitöiltä ja estävät ulkopuolisen pölyn pääsyn keskeneräiseen rakennukseen. (Säänsuojat.)

Heikkona puolena tulee mainita säänsuojien kustannukset. Kustannukset sisältävät ainakin säänsuojan ja sen asennustelineiden asennuksen, purkamisen ja vuokran sekä nostokaluston ja kuljetuksen kustannukset. Lisäksi säänsuojien päälle kertynyt lumi on poistettava säännöllisesti. (Kosteuden hallinnan opetusdiasarja.)

Rakennuksen oma vaippa, julkisivut ja vesikatto

Betonilaatan suojaus onnistuu luotettavasti ja edullisesti, kun suunnitellaan työjärjestys niin, että rakennuksen omat osat suojaavat betonilaattaa. Erityisesti talvella valettavien laattojen valuajankohdat on pyrittävä aikatauluttamaan run-

gon pystytystä ja vesikaton asentamista myöhemmäksi. Tällä tavoin vältetään monimutkaisilta ja riskialttiilta suojausmenetelmiltä. (Työmaan suojaus.)

Rakennuksen oman suojauksen lisäksi voidaan tarvita muitakin suojausmenetelmiä, kuten ikkuna-aukkojen ja läpivientien peittämistä. Näiden toimenpiteiden kustannukset ja riskit ovat kuitenkin suhteellisen pieniä. (Työmaan suojaus.)

5.2 Ilman kuivattaminen

Ilman kuivattaminen voidaan toteuttaa koneellisesti. Ilmankuivaimet keräävät ilmasta kosteutta ja pudottavat näin ilman absoluuttista kosteutta. Absoluuttisen kosteuden laskun myötä myös ilman suhteellinen kosteus laskee ja näin ilma pystyy paremmin vastaan ottamaan rakenteesta haihtuvaa kosteutta. (Siikanen 1996, 55.)

Ilmankuivaimien käyttöön joudutaan turvautumaan kesäisin ja alkusyksyisin, jolloin ulkoilman lämpötila ja kosteuspitoisuus ovat korkeita. Ulkoilman korkean kosteuspitoisuuden vuoksi kuivatettava tila on tiivistettävä huolellisesti. Muuten kuivatettavaan tilaan pääsee jatkuvasti vuotamaan kosteaa ilmaa, eikä tällöin tilan ilman kuivumista tapahdu. (RIL 250-2011. 2011, 105.)

Ilmankuivaajia on kahdenlaisia: sorptiokuivaimia ja kondenssikuivaimia. Kuvassa 2 näkyy Pudasjärven koulukampuksella käytetty kondenssikuivain.



KUVA 2. Kondenssikuivain

Sorptiokuivaimen toiminta perustuu voimakkaasti kosteutta sitovasta materiaalista tehtyyn kennostoon, jonka läpi kostea ilma virtaa. Kennosto kerää ilman kosteutta itseensä ja näin kuivattaa sen läpi virtaavaa ilmaa. Kennostoon kertynyt kosteus poistetaan lämmittämällä yhtä kennoston lohkoa niin, että se luovuttaa kosteutta. Tästä lohkosta haihtunut kosteus johdetaan poistoputkea pitkin ulos kuivatettavasta tilasta. (Kaukiainen 2012, 14.)

Kondenssikuivaimen toiminta perustuu ilman lämpötilan ja kyllästyskosteuspitoisuuden suhteeseen. Kuivatettava ilma ilmetään kuivaimen sisään, missä se jäähdytetään. Ilman jäähtymisen seurauksena osa kosteudesta kondensoituu eli tiivistyy kondenssivedeksi. Tämän jälkeen jäähdytetty ilma ohjataan lämmittimen kautta takasin kuivatettavaan tilaan. Kondensoitunut vesi taas johdetaan joko kuivaimen omaan poistovesisäiliöön tai poistoletkua pitkin suoraan viemäriin. (Kaukiainen 2012, 16.)

5.3 Rakenteen lämmittäminen

Rakenteen lämmittäminen on tehokkain tapa nopeuttaa sen kuivumista. Rakenteen lämpötilan nostaminen kasvattaa betonin huokosten sisältämän ilman absoluuttista kosteutta. Huokosilman kosteuspitoisuuden kasvattaminen kasvattaa

betonin ja ulkopuolisen ilman kosteuseroa. Kosteuseron kasvaessa diffuusio voimistuu. (Merikallio ym. 2007, 21.)

Rakennetta voidaan lämmittää rakennuksen omaa lämpöjärjestelmää käyttäen tai sitten koneellisesti niin sanotuilla täsmäkuivaimilla, joita ovat lämpölevyt, lämpömatot, lämpösauvat ja mikroaaltokuivaimet. (Kallio 2014, 24.)

Rakennuksen oman lämpöjärjestelmän käyttäminen on edullinen ja hyvä tapa lämmittää rakennetta. Rakenteen sisässä kulkevat vesijohtoiset lämpöputket johtavat lämpöä nopeasti rakenteen sisään, josta se johtuu edelleen kohti rakenteen ulkopintaa. Oman lämmitysjärjestelmän käyttöönotto vaatii tarkkaa aikataulusuunnittelua yhteistyössä LVI-urakoitsijan kanssa. Rakenteen oman lämmitysjärjestelmän käytöllä välttäisiin täsmäkuivainten käytöltä ja niiden tuomilta kustannuksilta. (Uusitalo 2016.)

Lämpölevyn ja lämpömaton toimintaperiaatteet ovat samanlaiset: lämmitin lämmittää rakenteen pintaa lämpösäteilyllä. Lämpö johtuu rakenteen pinnasta sen syvempiin osiin ja kiihdyttää näin kuivumista. (Kallio 2014, 24.)

Toisin kuin lämpölevyillä tai -matoilla, lämpösauvoilla lämpö voidaan ohjata suoraan syvälle rakenteeseen. Lämpösauvojen asentaminen vaatii kuitenkin reikien poraamista kuivattavaan rakenteeseen. Lämmitystapaa suunnitellessa on huomioitava, että sauvojen varauksien poraaminen vie aikaa ja resursseja. Mikäli kuivatettavan rakenteen sisällä kulkee sähkö- tai vesiputkia, on porauksissa noudatettava erityistä huolellisuutta. (Kallio 2014, 27.)

Mikroaaltokuivaimen teho perustuu sen sähkömagneettisen säteilyn aiheuttamaan vesimolekyylien liikkeeseen. Vesimolekyylit alkavat värähdellä aaltoliikkeen mukaisesti ja näin aikaansaavat lämpöenergiaa. Mikroaaltokuivaimen ongelma on säteilylle altistumisen vaara. Kuivaimen lähettämä säteily on voimakasta ja vioittunut laite tai väärät toimintatavat voivat altistaa käyttäjän haitallisen suurelle säteilylle. (Kallio 2014, 28.)

5.4 Ilman lämmittäminen

Kylminä vuodenaikoina ilman absoluuttinen kosteus on yleensä pieni. Jos ilman kosteuspitoisuus pidetään vakiona, johtaa ilman lämmittäminen sen suhteellisen kosteuden laskuun. (Torvikoski 2013.)

Kuten ilmaa kuivatettaessakin, ilman lämmittämisen kannalta oleellista on, että tila on hyvin tiivistetty. Jos tiivistystä ei tehdä huolellisesti, voi ulkopuolelta vuotaa kylmää ilmaa tilaa niin, ettei tila pääse lämpenemään. (RIL 250-2011. 2011, 105.)

Sisäilmaa voidaan lämmittää esimerkiksi verkkovirralla toimivilla lämpöpuhaltimilla tai polttoöljyllä tai nestekaasulla toimivilla suuremmilla lämmittimillä. (Kuva 3.) Tutkimusten mukaan on tehokkaampaa lämmittää tilaa usealla pienitehoisella lämmittimellä kuin yhdellä suuritehoisella. (Kosteuden hallinnan opetusdiagrammi.)



KUVA 3. Verkkovirralla toimiva lämpöpuhallin

5.5 Ilmavirtaukset

Kuivatettavan rakenteen kuivumisnopeuteen vaikuttavat myös rakenteen ulkopuolisen ilman ilmavirtaukset. Ilmankuivaimien ja -lämmittimien lisäksi ilmavirtauksia voidaan luoda aksiaali- ja radiaalipuhaltimilla. (Kallio 2014, 29.)

Ilmavirtauksien tehtävänä voi olla levittää kuivaa ilmaa, poisohjata kosteaa ilmaa tai hajottaa kuivuvan rakenteen pinnalle muodostuva mikroilmasto. Mikroilmastoksi kutsutaan kuivuvan vaakarakenteen pintaan muodostuvaa, muutaman sentin paksuista, ilmapatjaa, jonka kosteuspitoisuus on erittäin korkea. Tämän ilmapatja hajoaa tehokkaimmin laatan pinnan mukaisen ilmavirran vaikutuksesta. (Kallio 2014, 29.)

6 BETONILAATAN KUIVUMISAJAN ARVIOINTI

Kuivumisaika-arvioita tarkasteltaessa on tärkeä tietää, että arviot ovat suuntaa-antavia. Betonilaatan kuivuminen riippuu monesta osatekijästä, joita on mahdoton pitää vakiona. Esimerkiksi ilman kosteutta ja lämpötilaa ei voida pitää stabiilina koko kuivumisprosessin ajan. (Kääriäinen 2016.)

Yksistään kuivumisaika-arvioilla ei voida määrittää betonin päällystettävyyden ajankohtaa, vaan laatan riittävä kuivuminen on varmistettava mittaamalla. Laatan kuivumisaika on kuitenkin arvioitava aikataulun ja kuivatussuunnitelman laatimista varten. (Merikallio ym. 2007, 11.)

6.1 Kuivumisaika-arvion laskemiseen tarvittavat lähtötiedot

Maanvaraisen teräsbetonilaatan kuivumisaikan arviointia varten on tiedettävä seuraavat lähtötiedot:

- betonilaatan tavoiteltu suhteellinen kosteus
- betonimassan vesisementtisuhte
- rakenteen paksuus
- rakenteen alustan kosteus
- rakenteen kastuminen
- ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. (Merikallio 2002, 39.)

6.2 Kertoimet

Tarja Merikallion mallissa betonilaatan tavoitekosteus määrittelee laatalle niin sanotun peruskuivumisaikan. Lopullinen kuivumisaika-arvio lasketaan muiden lähtötietojen määrittämien kertoimien ja peruskuivumisaikan tulona. Kuvasta 4 luetaan maanvaraisen teräsbetonilaatan peruskuivumisaika.

Peruskuivumuskäyrä:



KUVA 4. Maanvaraisen teräsbetonilaatan peruskuivumuskäyrä (Merikallio 2002, 39)

Taulukossa 5 on esitetty kuivumisaika-arvion laskemiseen tarvittavat kertoimet. Kertoimet on laskettu laboratoriotutkimusten pohjalta ja ne ovat suuntaa-antavia.

TAULUKKO 5. Maanvaraisen teräsbetonilaatan kuivumisajan arvioinnissa käytettävät kertoimet (Merikallio 2002, 39)

kertoimet:

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

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

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


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

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

Betoniyhdistyksen Betonilattiat 2000 -julkaisussa kuivumisajan arvioinnissa laattalle tavoitellaan aina 90 %:n suhteellista kosteutta. Betoniyhdistyksen menetelmässä niin sanotun perustapauksen 60 päivän kuivumisaikaa kerrotaan laatan ominaisuuksien ja olosuhteiden määrittämällä kertoimilla. (Taulukko 6.)

TAULUKKO 6. Maanvaraisen teräsbetonilaatan kuivumisajan arvioinnissa käytettävät kertoimet (BY 45. 2000, 140)

PERUSTAPAUS

 <p>Perustapauksen kuivumisaika 60 d</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Betonin ilmamäärä normaali 2...4 % - Kovettumisaika 28 d ennen kuivumisajan alkua - Kuivuminen alaspäin estetty, laatta valettu maahan muovikalvon päälle - Jälkihoito muovikalvolla tai hyvällä jälkihoitoaineella - Betoniin ei saa joutua lisäettä (kastelu, sade ym.)
---	---

PERUSTAPAUksesta POIKKEAMINEN

Perustapauksesta poikkeavat rakenne, betonin laatuominaisuudet ja ympäristöolosuhteet otetaan huomioon kertomalla perustapauksen tarpeellinen kuivumisaika 60 d seuraavilla kehyksissä olevilla kertoimilla.			
Muuttuja	Kerroin		
Betonin laatu	Huokostamaton 1,0	Huokostus noin 10 % 0,5...0,6	Lujuus 25...35 MN/m ² 1,0
Ikä	Betonin ikä kuivatusta aloitettaessa	Laatan paksuus [mm]	
		< 150	≥ 150
Kuivumisolosuhteet	Suht. kosteus	20...50 % 1,0	60 % 1,2
	Lämpötila	10 °C 1,4...1,3	20 °C 1,0
Laatan paksuus	h	60 80 100 120 140 160 200 300 [mm]	
		0,4 0,7 1,0 1,4 1,8 2,3 3,3 6,3	
Alapuolinen lämmöneriste	50 mm solumuovi 1,0...0,9	150 mm kevytsora 0,8...0,7	50 mm mineraalivilla 0,7...0,6
Betonin koostumus	Suurin raekoko	18 mm 0,7	8 mm 1,0
	Lentotuhka ja masuunikuona	1,0	
	Silika	K ≥ K35 1,5	K < K35 1,0
	Notkeus	2...3 sVB 1,0	1...2 sVB 1,2
	notkistaminen lisäaineella		

Molemmissa laskentamalleissa on hyvät ja huonot puolensa. Merikallion mallissa ei oteta huomioon massan maksimiraekokoa tai lisäaineita. Betoniyhdistyksen mallissa taas suuri puute on, että kuivumisaika-arvio voidaan laskea vain 90 %:n suhteelliselle kosteudelle.

6.3 Laskentaesimerkki

Käsiteltävissä kohteissa kuivumisaikaa arvioidaan 90 % suhteellisen kosteuden saavuttamiseksi. Rakenne on maanvarainen, 50 mm solumuovin päälle valettava teräsbetoni-laatta, jonka paksuus on 100 mm. Betonin lujuus on C30/37, notkeus S2 ja maksimiraekoko 16 mm. Ilman suhteellinen kosteus on 50 % ja lämpötila 20 °C.

Teräsbetoni-laatan kuivumisaikaa arvioidaan käyttämässä kolmea erilaista laskentamallia. Ensimmäinen laskentamalli on Tarja Merikallion (2007) laatima ja siinä muuttujien arvot luetaan kuvasta 4 ja taulukosta 5. Toinen laskentamalli on esitetty betoniyhdistyksen BY 45 -julkaisussa. Kolmas kuivumisaika-arvio on laskettu Lemminkäinen Talo Oy:n laatimalla Excel-pohjaisella laskentataulukolla.

Merikallion malli

Peruskuivumiskäyrältä maanvaraiselle, yhteen suuntaan kuivuvalle teräsbetoni-laatalle saadaan 90 % suhteellisen kosteuden peruskuivumisajaksi 10 viikkoa.

Taulukosta 5 voidaan lukea laskentamallin vaatimat kertoimet. Lujuuden ollessa C30/37 vesisideainesuhde on noin 0,7, joten kerroin k_1 on 1,0. Rakenteen paksuuden vaikutus huomioidaan kertoimella k_2 , joka on 1,7. Solumuovialusta antaa kertoimen k_3 , joka on 1,1. Laatan voidaan olettaa olevan kosteassa yli kaksi viikkoa työmaaolosuhteiden vuoksi, joten kerroin k_4 on 1,0. Olosuhteiden määrittämä kerroin k_5 on 0,843.

Kuivumisaika-arvio lasketaan peruskuivumisajan ja saatujen kertoimien tulona seuraavasti:

$$10 \text{ viikkoa} * k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 = 16 \text{ viikkoa}$$

Aikataulutuksessa on huomiota kuivumisajan lisäksi jälkihoitoon kuluva aika.

Betoniyhdistyksen malli

Taulukosta 6 voidaan lukea, että Betoniyhdistyksen laskentamallissa käytettävän betoni-laatan peruskuivumistapauksen kuivumisaika on 60 päivää eli 8,6 viikkoa.

Betoni on huokostamaton ja jälkihoidon vuoksi betoni on muovikalvolla peitettyä viikon verran, kerroin k_1 on 1,0 ja k_2 0,8. Olosuhteet määrittävät kertoimet k_3 1,0 ja k_4 1,0. Laatan paksuus huomioidaan kertoimella k_5 , joka on 1,0. Laatan alla oleva solumuovi antaa kertoimen k_6 , joka on 1,0. Maksimirakoon ollessa 16 mm kerroin k_7 on 0,82. Lisäaineiden antamien kertoimien k_8 ja k_9 arvot ovat 1,0.

Kuivumisaika-arvio lasketaan peruskuivumisajan ja saatujen kertoimien tulona seuraavasti:

$$8,6 \text{ viikkoa} * k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * k_7 * k_8 * k_9 = 6 \text{ viikkoa}$$

Aikataulutuksessa on huomioitava kuivumisajan lisäksi jälkihoitoon kuuluva aika.

Lemminkäinen Talo Oy:n malli

Lemminkäinen Talo Oy:n Pudasjärven hoivakoti -työmaalla käytössä olevan kuivumisaika-arviolaskurin mukaan esimerkkitapauksen kuivumisaika on 69 vuorokautta eli 10 viikkoa.

Tulosten vertailu

Esimerkkitalauksen kuivumisaikaa arvioitiin kolmella eri laskentamenetelmällä: Merikallion, Betoniyhdistyksen ja Lemminkäinen Talo Oy:n esittämällä menetelmällä. Tulokset poikkesivat toisistaan huomattavasti. Merikallion esittämällä menetelmällä kuivumisajaksi arvioitiin 16 viikkoa, Betoniyhdistyksen mallilla arvio oli 6 viikkoa ja Lemminkäisen laskentapohjalla kuivumisajaksi arvioitiin 10 viikkoa.

Tulokset kertovat, kuinka epätarkkoja kuivumisaika-arviot todella ovat. Arvioiden pohjalta ei missään tilanteessa voida luoda tiukkoja aikatauluja.

Tuloksia vertailtaessa käy ilmi, että laskentamenetelmän valinta vaikuttaa merkittävästi saatuihin tuloksiin.

6.4 Kuivumisaika-arvio taulukot

Opinnäytetyössä laaditut kuivumisaika-arviotaulukot on luotu tilanteelle, jossa 50 mm solumuovin päälle valetun maanvaraisen teräsbetonilaatan paksuus on 100 mm. Tavoitteellinen betonin suhteellinen kosteus laskelmissa on 90 %.

Kuivumisajat Merikallion esittämän laskentamallin mukaan

Taulukossa 7 esitellään Merikallion laskentamallin mukaan laskettuja kuivumisaika-arvioita yli kaksi viikkoa kosteassa olleelle ja yli kaksi viikkoa kastuneena olleelle normaalibetoniselle maanvaraiselle laatalle. Muuttujina taulukossa ovat ilman suhteellisen kosteus ja lämpötila.

Taulukosta voidaan nähdä, että yli kaksi viikkoa kastuneena olleen betonilaatan kuivumisaika on 1,5 kertaa kosteassa olleen betonilaatan kuivumisaikaan pidempi. Huomioitavaa on myös se, että ilman lämpötilan muutos vaikuttaa kuivumisaika-arvioon huomattavasti ilman suhteellisen kosteuden muutosta voimakkaammin.

TAULUKKO 7. Normaalibetonisen maanvaraisen laatan kuivumisaika-arvioita Merikallion mallin mukaan laskettaessa

NORMAALI BETONI (v/s 0,7)

RH [%]	t [°C]	Kosteassa yli 2 vk	Kastunut yli 2 vk
		Kuivumis-aika [vk]	Kuivumis-aika [vk]
35	30	11,2	16,8
50	30	11,2	16,8
80	30	16,8	25,2
35	20	14,4	21,6
50	20	15,8	23,6
80	20	21,4	32,1
35	10	22,4	33,7
50	10	22,4	33,7
80	10	31,8	47,7

Taulukkoon 8 on koottu Merikallion mallilla laskettuja kuivumisaika-arvioita nopeasti pinnoitettavan betonille. Taulukoita 7 ja 8 vertailemalla on helppo havaita vesisementtisuhteen merkitys betonilaatan kuivumisaikaan. Vesisementtisuhdetta alentamalla kuivumisaika voidaan Merikallion laskentamallin mukaan lyhentyä jopa alle viidennekseen alkuperäisestä.

TAULUKKO 8. Merikallion mallin mukaan laskettuja kuivumisaika-arvioita nopeasti pinnoitettavasta betonista valetulle maanvaraiselle laatalle

NP-BETONI (v/s 0,4)

RH [%]	t [°C]	Kosteassa yli 2 vk	Kastunut yli 2 vk
		Kuivumis-aika [vk]	Kuivumis-aika [vk]
35	30	2,0	3,0
50	30	2,0	3,0
80	30	3,0	4,5
35	20	2,5	3,8
50	20	2,8	4,2
80	20	3,8	5,7
35	10	4,0	5,9
50	10	4,0	5,9
80	10	5,6	8,4

Kuivumisajat BY45:n esittämän laskentamallin mukaan

Taulukossa 9 esitellään normaalibetonista valetun maanvaraisen betonilaatan kuivumisaika-arvioita, jotka on laskettu BY45:n laskentamallia käyttäen. Laskennassa huomiotavat muuttujat eroavat Merikallion malliin nähden, minkä vuoksi myös tulokset ovat kovin erilaisia. Taulukoon arvioidut kuivumisajat ovat pituudeltaan vain 50 % niistä tuloksista, mitä saatiin Merikallion mallilla laskettaessa.

TAULUKKO 9. Normaalibetonisen maanvaraisen laatan kuivumisaika-arvioita BY45:n mallin mukaan laskettaessa

NORMAALI BETONI (v/s 0,7)

RH [%]	t [°C]	Kuivumis-aika [vk]
35	30	5,6
50	30	5,6
80	30	8,4
35	20	8,6
50	20	8,6
80	20	12,9
35	10	11,1
50	10	11,1
80	10	16,7

Taulukossa 10 on esitetty kuivumisaika-arvioita nopeasti pinnoitettavalle betonille. Kuivumisaika-arviot on laskettu BY45:n laskentamallin mukaan. Nopeasti pinnoitettavan betonin kuivumisaikaa arvioidessa Betoniyhdistyksen ja Merikalion esittämät laskentamallit antavat lähes samat tulokset.

TAULUKKO 10. Nopeasti pinnoitettavasta betonista valetun maanvaraisen betonilaatan kuivumisaika-arvioita BY45:n mallin mukaan laskettaessa

NP-BETONI (v/s 0,4)

RH [%]	t [°C]	Kuivumis-aika [vk]
35	30	2,8
50	30	2,8
80	30	4,2
35	20	4,3
50	20	4,3
80	20	6,4
35	10	5,6
50	10	5,6
80	10	8,4

7 RAKENTEEN KOSTEUDEN MITTAAMINEN

Rakenteen suhteellinen kosteus voidaan mitata luotettavasti joko porareikämittauksella tai näytepalamittauksella. Mittaustapa tulee valita vallitsevien olosuhteiden perusteella. Edellä mainittujen mittaustapojen lisäksi on erilaisia suuntaa antavia mittaustapoja, mutta niiden osoittamien tulosten virhemarginaalit ovat huomattavasti suurempia eikä niitä voida käyttää virallisissa mittauksissa. (RT 14-10984. 2010, 3.)

7.1 Porareikämittaus

Mittausolosuhteet

Porareikämittauksen luotettavuuteen vaikuttavat muun muassa betonin lämpötila, betonin ja ympäröivän ilman lämpötilaero ja ympäröivien olosuhteiden vaakaavuus. (RT 14-10984. 2010, 3.)

Suuri rajoittava tekijä porareikämittaukselle on betonin lämpötila. Porareikämittausta voidaan pitää luotettavana vain, kun betonin lämpötila on alimmillaan +15 °C ja ylimmillään +25 °C. Betonin lämpötilan mittauksen jälkeen on selvitettävä ympäröivän ilman lämpötila. Betonin ja ilman välinen lämpötilaero ei porareikämittausta suoritettaessa saisi olla yli 2 °C. Mikäli mittausta suoritetaan rakenteelle, jossa on lattialämmitys, tulee lattialämmitys katkaista vähintään viikko ennen mittausta. Betonirakenteen lämmittäminen johtaa ilman ja betonin lämpötilaeroon sekä tehostaa kosteuden siirtymistä mittausputkeen. (RT 14-10984. 2010, 3.)

Tarkkojen mittaustulosten saavuttamiseksi on varmistettava, että olosuhteet eivät muutu mittausprosessin aikana ja että mittausolosuhteet ovat mahdollisimman samankaltaiset kuin lopulliset käyttöolosuhteet. Raja-arvo olosuhteiden lämpötilan poikkeamalle mittauksen aikana ja verrattuna käyttöolosuhteisiin on 5 °C. Mikäli mittauslämpötila poikkeaa käyttölämpötilasta enemmän kuin 5 °C, tulee mittausta suorittaa näytepalamittauksena. (RT 14-10984. 2010, 3.)

Mittaaminen

Porareikämittauksen ensimmäinen vaihe on porata reikä mittaussyvyyteen. Poraus suoritetaan kuivamenetelmällä eli esimerkiksi iskuporakoneella. Poranterän ulkohalkaisijan tulee olla vähintään 10 mm, jotta pohjan pinta-alan suhde jäävään ilmatilaan on tarpeeksi suuri. (RT 14-10984. 2010, 4.)

Porattu reikä puhdistetaan huolellisesti ja reikään asetetaan sivuiltaan umpinainen mittausputki, jonka ulkohalkaisija on sama kuin reiän halkaisija. Mittausputkena voidaan käyttää esimerkiksi muovista sähköputkea. (RT 14-10984. 2010, 4.)

Mittausputken annetaan tasaantua vähintään kolme vuorokautta. Jotta tasapainokosteus saavutettaisiin, tulee putki suojata häiriöiltä ja lämpötilavaihteluilta. Tämä toteutetaan tiivistämällä reiän ja betonin yläpinnan sauma höyryntiiviiksi täyttämällä putki lämmöneristeellä ja tulppaamalla putken pää. (RT 14-10984. 2010, 4.)

Kun putken on annettu tasaantua tasapainokosteuteen, voidaan asentaa putkeen mittalaite. Mittausputken pää avataan ja mittapää asennetaan putken pohjalle. Mittausputken yläpään ja mittapään väli tiivistetään välittömästi asennuksen jälkeen höyryntiiviiksi. (RT 14-10984. 2010, 5.)

Koska mittapään asennus aiheuttaa hetkellistä häiriötä putkessa vallitseviin olosuhteisiin, on mittapään annettava tasaantua kohteesta riippuen yhdestä neljään tuntia. Kosteuden tasaantumisen jälkeen mittapää kytketään näyttölaitteeseen, josta luetaan betonin suhteellinen kosteus. On tärkeää huomioida, että liian lyhyt tasaantumisaika voi johtaa mittausvirheisiin, jotka osoittavat liian vähäistä kosteuspitoisuutta. (RT 14-10984. 2010, 5.)

7.2 Näytepalamittaus

Mittausolosuhteet

Olosuhteet eivät rajoita näytepalamittauksia yhtä kovasti kuin porareikämittauksia. Usein törmätään tilanteisiin, joissa porareikämittauksen tarkkuus ei ole tarpeeksi luotettava. Tällöin vaihtoehtona on näytepalamittaus. (RT 14-10984. 2010, 3.)

Näytepalamittaus voidaan suorittaa luotettavasti lähes kaikissa olosuhteissa. Toisin kuin porareikämittauksessa, olosuhteiden muutos ei vaikuta näytepalamittauksen luotettavuuteen. (RT 14-10984. 2010, 3.)

Mitattavan rakenteen lämpötila voi olla alimmillaan -20 °C ja ylimmillään $+80\text{ °C}$. Käytännössä mittauksia voidaan siis pitää työmaaolosuhteissa aina luotettavana. (RT 14-10984. 2010, 3.)

Mittaaminen

Näytepalamittaus aloitetaan poraamalla betoniin ympyrän muotoinen ura, jonka halkaisija on vähintään 50 mm. Poraaminen toteutetaan kuivamenetelmällä esimerkiksi porauskruunulla. (RT 14-10984. 2010, 7.)

Ympyräuran sisältä poistetaan betoni 5 mm mittaussyvyyden yläpuolelta, minkä jälkeen voidaan ottaa näytekappaleet. Näytekappaleiden tulee olla mahdollisimman suuria koeputken kokoon nähden ja mitoiltaan vähintään 5 mm x 5 mm x 5 mm. Kappaleet otetaan kuopan pohjalta piikkaamalla joko lyöntimeisselillä, taltalla tai piikkausvasaralla. (RT 14-10984. 2010, 7.)

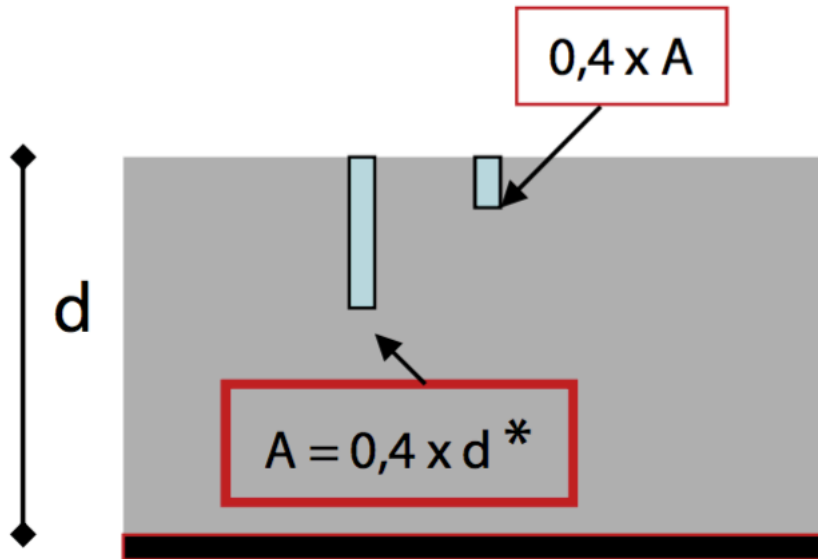
Näytepalat kerätään kahteen koeputkeen, joiden halkaisijat ovat vähintään 20 mm. Heti tämän jälkeen putkiin asetetaan suhteellista kosteutta mittaavat mittapäät, jotka tiivistetään putkiin höyrytiivisti. (RT 14-10984. 2010, 7.)

Koeputket siirretään vakioämpötilaan, joka on 2 °C :n tarkkuudella sama kuin rakenteen käyttölämpötila, ja annetaan tasaantua mittapäältä ja näytteenotto-
lämpötilasta riippuen vähintään 5 - 12 tuntia. Tämän jälkeen mitta-anturit voidaan kytkeä näyttölaitteeseen, joka osoittaa betonin suhteellisen kosteuden käyttölämpötilassa. (RT 14-10984. 2010, 8.)

7.3 Mittaussyvyys

Mittaussyvyys saa olla rakenteesta ja mittaustavasta riippumatta enintään 70 mm. Vähimmäismittaussyvyys taas on riippuvainen mittaustavasta; porareikämittauksella vähimmäismittaussyvyys on 10 mm ja näytepalamittauksella 2 mm. (RT 14-10984. 2010, 14.)

Maanvaraisella betonilaatalla eli yhteen suuntaan kuivuvalla betonirakenteella mittaus suoritetaan minimi- ja maksimiarvot huomioiden mittaussyvyyksiltä A ja $0,4 \times A$. A-mitta on maanvaraisella betonilaatalla $0,4 \times d$, missä d on rakenteen paksuus. (Kuva 5.) (RT 14-10984. 2010, 14.)



KUVA 5. Maanvaraisen betonilaatan suhteellisen kosteuden mittaussyvyydet (RT 14-10984. 2010, 14)

8 BETONITÖIDEN SUUNNITTELU

Betonitöiden huolellisella ennakkosuunnittelulla varmistetaan, että työ toteutuu sujuvasti pienin mahdollisin resurssein. Suunnitelmaa seuraamalla saavutetaan teknisesti onnistunut lopputulos, minkä ansiosta välttyään jälkikorjaustöiltä. Perusteellinen ennakkosuunnittelu mahdollistaa tehokkaan ajankäytön, minimiresurssit, laadukkaan lopputuloksen ja turvalliset, nykysäädökset täyttävät työskentelytavat. (Betonointisuunnitelma.)

8.1 Betonityösuunnitelma

Betonityösuunnitelma tulee laatia heti työmaan alkaessa. Betonityösuunnitelmassa luetellaan kaikki työmaan betonityöt, joita tarkennetaan työmaan edessä erikoissuunnitelmin ja betonointikohteiden suunnitelmin. (RIL 149-1983. 1983, 13.)

Betonityösuunnitelmaan kootaan betonoinnin kannalta olennaiset, rakennesuunnittelijan rakennepiirustuksiin merkitsemät tiedot koskien rakenteen vaatimuksia ja betonityön suorituksen edellytyksiä. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi betonin rasitus- ja lujuusluokka, tiivistystapa ja betonointinopeus. (RIL 149-1983. 1983, 13.)

Lisäksi suunnitelmassa tulee ilmetä muun muassa yksittäisen betonointikohteen muottijärjestelmä, raudoitukset, betonoinnin laajuus, henkilövahvuus, jälkihoitotoimenpiteet ja betonin ominaisuuksien seuranta. (Kääriäinen 2015.)

Betonityösuunnitelmaan tulee merkitä, mikäli kohde vaatii erityissuunnittelua. Esimerkiksi talviolosuhteissa suoritettavat betonoinnit vaativat erillisen talvibetonointisuunnitelman. (RIL 149-1983. 1983, 13.)

Betonointisuunnitelma on olennainen osa työmaan aikataulun hallintaa. Suunnitelmaa seuraamalla voidaan ennakoida tarvittavan kaluston tilaaminen työmaalle ja osataan varautua mahdollisiin häiriöihin. Suunnitelmaa seuraamalla voidaan siis välttyä aikataulun viivästymisiltä ja lisäkustannuksilta. (BY 201. 2004, 210.)

8.2 Kosteudenhallintasuunnitelma

Kosteudenhallinnan suunnittelun aloittaa rakennesuunnittelija. Kosteusriskien arviointi alkaa jo suunnitteluvaiheessa, jolloin huomioon tulee ottaa rakenteiden kosteustekninen toimivuus, työmaaolosuhteet ja rakennuttajan asettamat laatu-tavoitteet. Suunnitelmaa tarkentaa työmaan kosteusvastaava, joka voi olla työmaan vastaava työnjohtaja tai joku hänen nimeämensä työnjohtaja. Kosteusvastaavan tehtävä on muokata kosteudenhallintasuunnitelma kyseisessä kohteessa käytettäville työmenetelmille ja tuotteille sopivaksi. (RIL 250-2011. 2011, 93.)

Vaikka rakennesuunnittelija laatii suunnitelman ensimmäisen version, jää vastuu pääurakoitsijalle vastuu kosteudenhallinnasta. Kosteudenhallintaan liittyvien tehtävien suorittamiseen liittyvä työnjako on sovittava pää- ja aliurakoitsijoiden välisissä sopimuksissa. (RIL 250-2011. 2011, 93.)

8.2.1 Kosteudenhallintasuunnitelman tavoitteet

Kosteudenhallintasuunnitelma on yksi laadunvarmistuksen työkaluista. Suunnitelman laatiminen ja sen noudattaminen edesauttavat vastuulliseen ja toimivaan lopputulokseen. (RIL 250-2011. 2011, 94.)

Kosteudenhallinnan suunnittelun työmaa-aikaisena päätavoitteena voidaan pitää materiaalien ja rakennustuotteiden haitallisen kastumisen estämistä. Tämän lisäksi kattavalla suunnittelulla mahdollistetaan rakenteiden riittävän kuivumisen varmistaminen aikataulun puitteissa sekä kuivatustarpeen minimoiminen. (RIL 250-2011. 2011, 94.)

8.2.2 Kosteudenhallintasuunnitelman sisältö

Yhteystiedot

Suunnitelmaan kirjattaviin yhteystietoihin tulee sisällyttää rakennuskohteen tilaaja ja osapuolet, kosteushallintasuunnitelman laatija ja vastuuhenkilöt sekä työmaan nimi ja numero. Näiden kohtien lisäksi yhteystietoihin voidaan työmaa-kohtaisesti lisätä muutakin informaatiota. (RIL 250-2011. 2011, 95.)

Laatutavoitteet

Suunnitelmaan liitetään yhteenvedot rakennuttajan laatutavoitteista ja suunnittelijan suunnitelmiin merkitsemistä laatutavoitteista. Laatutavoitteilla on suuri merkitys työmaan kosteudenhallintaan ja sen suunnitteluun. (RIL 250-2011. 2011, 97.)

Kosteusriskien arviointi

Kosteusriskiarvioinnin perustana toimivat suunnittelijan laatimat riskiarviot. Tähän sisältyvät suunnittelijan toteamat riskit ja kriittiset laatutekijät, hankkeelle määritetty kosteusriskiluokka, valittu kosteudenhallinnan menettelytaso sekä suunnittelu- ja työvaiheen riskienhallintatoimenpiteet. (RIL 250-2011. 2011, 97.)

Riskejä arvioitaessa tarkastetaan kaikki detaljipiirustukset. Ensin tarkistetaan, että detalji on teknisesti toimiva ja, mikäli näin ei ole, annetaan korjausehdotus. Teknisen toimivuuden tarkastelun jälkeen arvioidaan, liittyykö rakenteeseen toteutusaikaisia riskejä. Jos riskejä esiintyy, kirjataan detaljipiirustuksiin ja kosteudenhallintasuunnitelmaan ohjeet riskien välttämiseksi. (RIL 250-2011. 2011, 98.)

Rakenteiden kuivumisaika-arviot ja päällystettävyyden arviointi

Tähän osioon kirjataan ne rakenteet, joiden kuivumiselle on asetettu vaatimuksia. Rakenteet, joiden on kuivuttava tietyn verran tietyssä ajassa, ovat useimmiten pinnoitettuja. (RIL 250-2011. 2011, 99.)

Kosteudenhallintasuunnitelmaan tulee merkitä käytettävän pinnoitteen valmistajan määrittämä kosteusraja-arvo, rakenteen kuivumisaika-arvio ja arvioidun kuivumisajan vaatima ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Koska kuivumisaika-arviot ovat suuntaa-antavia, on tavoitekosteuden saavuttaminen todennettava porareikä- tai näytepalamittauksella. (Uusitalo 2016; RT 14-10984. 2009, 3.)

Työmaaolosuhteiden hallinnan suunnittelu

Työmaaolosuhteiden hallinnan suunnittelussa kiinnitetään huomiota kahteen, kosteushallinnan kannalta erittäin tärkeään seikkaan: kastumisen estämiseen ja kuivumisen mahdollistamiseen. Kastumisen estäminen toteutetaan suojaamalla rakenne ja varastoitavat materiaalit. Suojaus suunnitellaan, jotta tarvittavien suojapeitteiden ja muiden suojatarvikkeiden sekä niiden asennuksen tarve osataan ennakoida. Kuivumisen mahdollistamisella tarkoitetaan optimaalisten kuivumisolosuhteiden luomista. Lisälämmityksen, rakenteiden tiivistämisen ja koneellisen kosteudenpoiston tarve ja toteutus suunnitellaan kuivumisaika-arviot huomioon ottaen. Työmaaolosuhteiden hallinnan suunnittelun toteuttavat pääasiassa työmaan kosteusvastaava, rakennesuunnittelija. (RIL 250-2011. 2011, 101.)

Kosteusmittaussuunnitelma

Rakenteiden kosteusmittaukset teetetään useimmiten ulkopuolisella toimihenkilöllä. Tämä johtuu kosteusmittaajalta vaadittavista sertifikaateista ja kokemuksesta. Kosteusmittaussuunnitelma on tästä huolimatta urakoitsijan vastuulla. (RIL 250-2011. 2011, 106.)

Kosteusmittaussuunnitelmaan sisällytetään lista teetetävistä mittauksista, niiden mittausmenetelmä ja käytettävä mittalaitteisto, mittalaitteiden kalibrointi ja varmistus, mittausten aikataulu, laajuus ja mittauspisteiden sijainnit sekä kosteusmittaajan yhteystiedot. (RIL 250-2011. 2011, 106.)

Kosteusmittausten kulku voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen, joista ensimmäinen on lähtötilanteen selvittäminen. Heti kun kohteessa on saatu kytkettyä lämmöt päälle, suoritetaan mittaus, jolla selvitetään rakenteen kosteus ja kuivustarve. (RIL 250-2011. 2011, 107.)

Toinen vaihe sisältää useita mittauksia, joita kutsutaan seurantamittauksiksi. Seurantamittauksia suoritetaan 2-4 viikon välein ja niiden tarkoitus on selvittää, kuivuuko rakenne suunnitellusti vai tarvitaanko kohteeseen lisäkuivatusta. (RIL 250-2011. 2011, 107.)

Viimeinen vaihe on päällystettävyyssmittaus, joka on suoritettava aina ennen rakenteen päällystämistä. Päällystettävyyssmittaus on aikaisempia mittauksia

kattavampi ja sen tarkoituksena on todentaa, että rakenteen kosteuspitoisuus on laskenut pinnoitteen vaatiman kosteusraja-arvon alapuolelle. Päälystettyvyysmittauksen tulokset dokumentoidaan ja arkistoidaan laadunvarmistamiseksi. (RIL 250-2011. 2011, 107.)

8.3 Talvibetonointisuunnitelma

Talvibetonointisuunnitelma on erillinen, yksittäiselle betonoinnille laadittava betonointisuunnitelma, joka laaditaan aina, kun vuorokauden keskilämpötila on alle +5 °C. Suunnitelma laaditaan myös, jos epäillään lämpötilan laskevan kriittisellä hetkellä alle edellä mainitun rajan. (Talvibetonointityöohje.)

Suomessa kylmän kauden pituus voi olla jopa 8 kuukautta, joten usein suurin osa työmaan valuista vaatii talvibetonointisuunnitelman. Suurin ero kylmän ja lämpimän kauden betonoinneissa on riittävän kovettumislämpötilan ylläpitäminen. (RIL 149-1983. 1983, 75.)

Erillisellä suunnittelulla varmistetaan betonin eri vaatimusten täytyminen. Tällaisia vaatimuksia ovat muun muassa kantavuus-, säänkesto-, palonkesto- ja ulkonäkövaatimukset. Jotta valussa päästään haluttuihin lopputuloksiin, tulee suunnittelussa ottaa huomioon käytettävä muottijärjestelmä, suojaus- ja lämmitystoimenpiteet, käytettävä betonilaatu ja valutekniikka sekä tarvittavat jälkityöt. (Talvibetonointityöohje.)

Talvibetonointisuunnitelmaan laatimiseen osallistuvat työmaan työnjohdon lisäksi työ kuntien nokkamiehet sekä materiaali- ja kalustotoimittajat. Työryhmän tehtävänä on vertailla erilaisia toimintavaihtoehtoja ja valita niistä parhaat, aikataulu ja resurssit huomioiden. (Talvibetonointityöohje.)

Suunnitteluvaiheen tärkeimpiä toimenpiteitä ovat muotipurkulujuusajankohtaa vastaavan kovettumislämpötilan määrittäminen, lämmitystarpeen selvittäminen, lämmityksen, lämpösuojauksen ja lämpötilaseurannan suunnittelu. Lisäksi työryhmän tulee suunnitella toimenpiteet häiriöiden ja äkillisten olosuhdemuutosten varalle sekä käydä läpi työsaumojen sijainnit ja muotipurkusuunnitelma. (RIL 149-1983. 1983, 76.)

8.4 Betonointipöytäkirjat

Jokaisesta betonoinnista tulee laatia betonointipöytäkirja. Sen avulla varmistetaan siitä, että työ suoriutuu oikein ja suunnitelmien mukaisesti. Jos rakenteessa esiintyy valun jälkeen ongelmia, voidaan niiden syytä etsiä pöytäkirjoihin kirjatusta tiedoista. (Similä 2015.)

Rakennusinsinööriunionin ja betoninormien mukaan betonointipöytäkirjojen runko voi olla seuraavan lainen: 0 Yhteystiedot, 1 Muotit, 2 Rauditus, 3 Betoni, 4 Betonointi, 5 Koekappaleet, 6 Jälkityöt. Unionin ohjeistaman sisällön lisäksi pöytäkirjaan tulee liittää kopiot valmisbetonin rahtikirjoista ja betonointityön mahdollisista erikoissuunnitelmista. (BY 201. 2004, 210; Similä 2015.)

Betonityön valvoja on velvollinen täyttämään betonointipöytäkirjalomakkeen. Onnistuneen betonoinnin varmistamiseksi kaikki lomakkeen kohdat on käytävä tarkasti läpi ja huomiot kirjattava. (Kääriäinen 2015.)

9 JÄLKITYÖT

Vaikka betonirakenteen kuivumisen halutaan tapahtuvan mahdollisimman nopeasti, ei kuivattamista voida aloittaa heti valun jälkeen. Jälkihoidolla eli jälkitöillä varmistetaan, että betoni saavuttaa suunnitellun loppulujuuden ja muut vaadittavat ominaisuudet. Jälkihoidolla on kolme päätehtävää: rakenteen suojaaminen, kosteana pitäminen ja kovettumislämpötilan ylläpitäminen. (Merikallio ym. 2007, 11; BY 201. 2004, 331; Kääriäinen 2015.)

Suojaaminen voidaan toteuttaa pitämällä muotteja paikallaan mahdollisimman pitkään, ruiskuttamalla rakenteen pintaan jälkihoitoainetta, peittämällä rakenne muovikalvolla tai muovikalvolla päällystetyllä mineraalivillamatolla. Suojaamisen tehtävä on estää vastaavaleitetun rakenteen altistuminen sateelle, tuulelle, auringon paisteelle, virtaavalle vedelle ja kylmälle ilmalle. (BY 201. 2004, 332.)

Rakenne voidaan pitää kosteana estämällä kosteuden haihtuminen tai lisäämällä kosteutta. Kesäaikana suoritettavissa ulkovaluissa, missä auringon paiste ja tuuli pääsevät kosketuksiin betonin kanssa, on usein perusteltua käyttää molempia keinoja. Kosteuden haihtuminen voidaan estää peittämällä rakenne muovikalvolla tai käyttämällä jälkihoitoaineita. Kosteuden lisääminen tapahtuu yksinkertaisesti kastelemalla rakenteen pinta vedellä. (Kääriäinen 2015.)

Kovettumislämpötilan ylläpitäminen liittyy talvibetonointeihin. Lämpötilaa voidaan ylläpitää rakenteen lämpöeristämällä, rakenteen tai tilan koneellisella lämmittämällä. Riittävän kovettumislämpötilan takaamiseksi lämpötilaa tulee seurata jatkuvasti. (BY 201. 2004, 332.)

10 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mahdollisimman kattavasti maanvaraisen teräsbetoni- ja betonilaatan kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä. Kuivumiseen vaikuttavien tekijöiden selvittämisen jälkeen opinnäytetyössä tarkasteltiin kahden Lemmin-käinen Talo Oy:n elinkaarihanketyömaan alapohjien kosteuskäyttäytymisessä ilmenneitä ongelmia ja riskejä. Kohteita koskevat havainnot ja korjausehdotukset on koottu liitteisiin 1 - 4. Liitteet tulevat tilaajayrityksen sisäiseen käyttöön.

Kohteissa havaituille ongelmille ja riskeille löydettiin selkeät tieteelliset selitykset opinnäytetyössä tehtyjen kuivumiseen vaikuttavien tekijöiden selvityksien pohjalta. Tätä kautta oli helppo etsiä ennaltaehkäisykeinoja samankaltaisten ongelmien ehkäisemiseksi tulevaisuudessa.

Kattavan kuivumisaikaan vaikuttavien tekijöiden selvittämisen lisäksi työssä selvitettiin, miten tekijöihin voidaan rakennusprojektin aikana vaikuttaa.

Kävi ilmi, että rakenteen ihanteellinen kuivuminen vaatii panostusta koko rakennusprojektin ajan. Optimaalisten kuivumisolosuhteiden jatkuva ylläpitäminen vaatii ymmärrystä ja asennoitumista niin työnjohdolta kuin työmaahenkilökunnaltakin. Silti rakenteiden riittävän kuivumisen saavuttamiseksi rakenteiden kosteuskäyttäytymiseen tulee kiinnittää huomiota jo rakenteiden suunnitteluvaiheessa.

Opinnäytetyössä laadittiin taulukoita, joita lukemalla maanvaraisen teräsbetoni- ja betonilaatan kuivumisaikaa on helppo arvioida työmaan aikana. Taulukoiden käyttö helpottaa työmaan tulevien työvaiheiden ajankohtien ennustamista ja näin ollen aikataulujen päivittämistä.

Kuivumisajan arviointiin laadittuja laskentamalleja tarkasteltaessa esiin tuli odottamaton ongelma: laskentamallien antamat tulokset poikkesivat huomattavasti toisistaan. Työssä päädyttiin tekemään eri laskentamalleihin perustuen useita taulukoita, joita vertaamalla nähdään laskentamallien antamien tuloksien erot. Laskentamallien tarkastelu ja vertailu vahvistivat ennestään sitä käsitystä, kuinka suuntaa-antavia kuivumisaika-arviot todellisuudessa ovat.

LÄHTEET

Anttila, Vesa. Betonin valinta. Saatavissa:

<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090403.pdf>. Hakupäivä 15.4.2016.

Betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät. Saatavissa:

<http://www.reditalot.fi/tempo/default.asp?sivu=betonin%20kuivumiseen%20vaikuttavat%20tekij%E4t>. Hakupäivä 15.4.2016.

Betonointisuunnitelma. Betoniteollisuus Ry. Saatavissa: <http://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonointisuunnitelma/>. Hakupäivä 15.4.2016.

Betonin kosteuden hallinta. Betoniteollisuus Ry. Saatavissa:

<http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/kosteudenhallinta>. Hakupäivä 18.4.2016.

Betonin pintakäsittelyn käsikirja. 2014. Teknos Oy. Saatavissa:

<http://www.mz.teknos.com/marketingzone/getitem.asp?id=%7B68264E5F-CBA6-4BBB-92CC-18D619FF7145%7D>. Hakupäivä 18.4.2016.

BY 45. 2000. Betonilattiat 2000. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

BY 45. 2014. Betonilattiat 2014. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

BY 50. 2011. Betoninormit 2012. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys Ry.

BY 201. 2005. Betonitekniikan oppikirja 2004. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

C2. 1998. Kosteus. Määräys ja ohjeet 1998. C2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.

Huokostimet. Semtu Oy. Saatavissa: <http://www.semtu.fi/fi/tuotteet/betonin-lisaineet/huokostimet/>. Hakupäivä 15.4.2016.

Ilmankosteus. Saatavissa: <http://www.tekeville.fi>. Hakupäivä 15.4.2016.

Kallio, Jani 2014. Rakenteiden koneellinen kuivatus. Opinnäytetyö. Kuopio: Itä-Suomen yliopisto.

Kaukiainen, Sami 2012. Rakenteiden kuivatuksen toteutus työmaalla. Opinnäytetyö. Lappeenranta: Saimaan ammattikorkeakoulu, Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma.

Keinänen, Hanna 2013. Hyvät tutkimustavat betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointiin. Opinnäytetyö. Kuopio: Itä-Suomen yliopisto.

Kosteuden hallinnan opetusdiasarja. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: www.tut.fi/site. Hakupäivä 15.4.2016.

Kosteus. 2004. Rafnet-ryhmä.

Kääriäinen, Hannu 2015. T512605 Betonitekniikka 2 5 op. Opinnot syksyllä 2015. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Kääriäinen, Hannu 2016. Re: Vesisementtisuhteen vaikutus betonin kuivumiseen. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Hannu Kääriäinen. 24.3.2016.

L 23.4.2015/545. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista.

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

Merikallio, Tarja 2009. Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa. Väitöskirja. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos.

Merikallio, Tarja - Niemi, Sami - Komonen, Juha 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Muovipäällysteet. 2016. Upofloof Oy. Saatavissa:
<http://www.upofloor.fi/Resilient/Asennus---Hoito/Asennus/Muovipaallysteet/>.
Hakupäivä 15.4.2016.

Pihlajavaara, S. E. 1961. Betonin rakenteesta ja muodonmuutoksista. Helsinki: Valtion teknillinen tutkimuslaitos.

Puhjo, Jesse 2008. Nopeasti pinnoitettava betoni. Insinöörityö. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma.

Pyhäjärvi, Teemu 2016. Re: Opinnäytetyö. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Teemu Pyhäjärvi, Lemminkäinen Talo Oy. 7.4.2016.

RIL 126-2009. 2009. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.

RIL 149-1983. 1983. Betonityöohjeet: betonointi, talvibetonointi, korjaus ja paikkaus. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.

RIL 250-2011. 2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.

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

Siikanen, Unto 1996. Rakennusfysiikka, Perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Similä, Kimmo 2015. Työnjohtaja, Lemminkäinen Talo Oy. Haastattelu 2.12.2015.

Similä, Kimmo 2016. Työnjohtaja, Lemminkäinen Talo Oy. Puhelinhaastattelu 13.4.2016.

Sisäilman laadun hallinta. 2004. Helsinki: VTT Oy.

Sääsuojat. 2016. Saatavilla:

<http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimet/suojaus/161-saeaesuojauskalusto/saeaesuojat/156-saeaesuojat>. Hakupäivä 15.4.2016.

Talvibetonointityöohje. Rudus Oy. Saatavissa:

<http://www.rudus.fi/ohjeet/betonin-ohjeet>. Hakupäivä 1.2.2016.

Tavallisimmat virheet perustettaessa maanvaraista laattaa. Muottikolmio Oy.

Saatavissa: <http://www.isodran.fi/kayttokohteet/maanvarainen-laatta/tavallisimmat-virheet-perustettaessa-maanvaraista-laattaa/>. Hakupäivä 15.4.2016.

Torvikoski, Antti 2013. T522105 Rakennusfysiikka 5 op. Opinnot syksyllä 2013. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Työmaan suojaus. 2016. Saatavilla:

<http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimet/suojaus/tyoemaan-suojaus>.

Hakupäivä 15.4.2016.

Uusitalo, Sami 2016. Vastaava työnjohtaja, Lemminkäinen Talo Oy. Haastattelu 29.3.2016.