

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Rakennustuotannon suuntautumisvaihtoehto

Eemi-Joona Heiskanen

## **Paikallavaletun välipohjan kuivatusmenetelmät**

Opinnäytetyö 2017

## Tiivistelmä

Eemi-Joona Heiskanen  
Paikallavaletun välipohjan kuivatusmenetelmät, 49 sivua, 3 liitettä  
Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Rakennustuotanto  
Opinnäytetyö 2017  
Ohjaajat: lehtori Timo Lehtoviita, Saimaan ammattikorkeakoulu,  
työpäällikkö Kari Valtonen, Rakennusliike Evälahti Oy

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kokonaisuudeltaan toimivin kuivatusmenetelmä paikallavaletulle betoniselle välipohjalle. Opinnäytetyön tilaajana toimi Rakennusliike Evälahti Oy. Opinnäytetyössä käytiin läpi kuivatusmenetelmiä sekä niiden ominaisuuksia, jotta kuivatukseen löytyisi tehokkain ja taloudellisin vaihtoehto. Paikallavaletun betonisen välipohjan kuivumisaikaan ja siihen vaikuttaviin tekijöihin perehdyttiin kattavasti. Opinnäytetyössä määritettiin, mitkä asiat vaikuttavat rakenteen kuivumiseen ja millä keinoin sitä voidaan nopeuttaa sekä kuinka eri vuodenaajat ja olosuhteet vaikuttavat kuivatuslaitteiden valintaan.

Opinnäytetyön aineiston keräämiseen käytettiin aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja Internet-lähteitä, joiden pohjalta tehtiin aineistolähtöistä analysointia. Aineistoa tutkittiin ja aiheeseen liittyvät faktat kerättiin ja käsiteltiin tukemaan opinnäytetyön sisältöä. Tiedonkeruussa käytettiin myös haastattelua, jossa selvitettiin toimivia kuivatusmenetelmiä paikallavaletulle betoniselle välipohjalle ja perehdyttiin erilaisiin kuivatuslaitteisiin. Lisäksi opinnäytetyössä hyödynnettiin aikaisempaa kokemusta ja havainnointia kuivumisen seurannasta.

Opinnäytetyön perusteella selvisi, että rakenteiden kuivatus on tiukasti rakennusfysiikkaan perustuvaa toimintaa. Tulosten perusteella voidaan antaa ohjeistus paikallavaletun betonisen välipohjan kuivumisajan laskentaan ja kuivatusmenetelmien ja laitteiden valintaan. Talvella käytetään avointa järjestelmää betonirakenteiden kuivatukseen. Betonirakenteet kuivuvat lämmittämällä kuivattavan tilan sisäilmaa. Kesällä kuivatukseen käytetään tilakuivausta, ilmankuivaimia ja puhaltimia. Kuivatettava tila on eristettävä ulkoilmasta ja muusta kosteasta tilasta. Keväällä ja syksyllä kuivatus hoituu rakennuksen ilman lämpötilaa nostamalla ja tehostetulla ilmanvaihdolla.

Asiasanat: betonin kuivuminen, kuivumisaika, kuivatusmenetelmät, kuivaimet, vuodenaika

## **Abstract**

Eemi-Joona Heiskanen

Drying methods for in-situ concrete upper floor slab, 49 Pages, 3 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Construction Engineering

Building Production

Bachelor's Thesis 2017

Instructors: Mr Timo Lehtoviita, Lecturer of Saimaa University of Applied Sciences, Mr Kari Valtonen, Construction manager of Rakennusliike Evälahti Oy

The purpose of this study was to examine the most functional drying method for an in-situ concrete upper floor slab. The work was commissioned by Rakennusliike Evälahti Oy. A number of drying methods was studied to find out which one is the most effective. One of the major purposes of this thesis was to determine which facts have an influence on drying of concrete. Furthermore how to accelerate it as well as how the time of year and conditions effect on the selection of dryers.

Data for this study were collected in literature and Internet sources related to the subject. The materials were studied and all the facts about this subject were gathered to support this study. Interviewing was also used to gather information about different dryers and drying methods. In addition previous knowledge and observation on monitoring of drying was utilized in this study.

As a result of this study instructions for calculating drying time of a in-situ concrete upper floor slab can be given, as well as the selection of drying methods and dryers. In the winter open system is used to dry concrete structures. The air inside must be warmed so that the concrete structures will dry. In the summer drying of space is used as a drying method including dryers and blowers. In the spring and autumn the drying can be taken care of with raised temperature and enhanced ventilation.

Keywords: drying of concrete, drying time, drying methods, dryers, time of year

## Sisältö

1 Johdanto .....	5
2 Betonirakenteiden kuivuminen .....	6
2.1 Betonin kuivuminen .....	6
2.2 Betonin kosteus .....	10
2.3 Betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät .....	15
2.4 Betonirakenteen kuivumisen nopeuttaminen .....	17
2.5 Betonin kuivumisen ja kutistumisen välinen yhteys .....	18
3 Betonirakenteen kuivumisaika-arviot .....	21
4 Betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaaminen .....	27
5 Kosteudenhallinta ja suojaus .....	32
6 Kuivatusmenetelmät ja laitteet .....	33
6.1 Tilakuivaus .....	35
6.2 Pikakuivaus .....	36
6.3 Matalalämpölevyt .....	36
6.4 Ilmankuivaimet ja puhaltimet .....	37
7 Vuodenajan merkitys kuivatuksessa .....	42
8 Johtopäätökset.....	44
Kuviot.....	46
Kuvat.....	46
Taulukot.....	46
Lähteet.....	48
Liitteet	
Liite 1	Kuivumisaika-arvion laskentaohje
Liite 2	Kuivatuslaitteita ja puhaltimia
Liite 3	Paikallavaletun betonisen välipohjan kuivumisen seuranta

# 1 Johdanto

Betonirakenteiden kuivuminen ja kosteusongelmat sekä homevauriot ovat viime vuosina olleet yleisiä keskustelun aiheita julkisuudessa. Betonin kuivuminen täytyy todeta esimerkiksi porareikämittauksella ennen kuin ryhdytään päällystystöihin, jotta kosteusvaurioita ei ilmaannu tulevaisuudessa. Betonirakenteiden kuivatus on yksi osa rakentamisaikaista kosteudenhallintaa. Kuivatus kuluttaa resursseja mutta aikataulussa pysyminen on taloudellisesti ja kokonaisvaltaisesti tärkeämpää kuin kuivatuslaitteisiin kuluva raha. Aikatauluviivästyksistä voi aiheutua suuria kuluja.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kokonaisuudeltaan paras mahdollinen kuivatusmenetelmä paikallavaletulle betoniselle välipohjalle. Opinnäytetyössä selvitetään betonin kuivumisprosessi ja määritetään, mitkä asiat vaikuttavat rakenteen kuivumiseen ja millä keinoin sitä voidaan nopeuttaa sekä kuinka eri vuodenaajat vaikuttavat kuivatuslaitteiden valintaan. Opinnäytetyössä keskitytään betonisen välipohjan kuivumisaikaan ja käydään läpi useita kuivatusmenetelmiä sekä niiden ominaisuuksia, jotta kuivatukseen löytyisi tehokkain ja taloudellisin vaihtoehto.

Tämä opinnäytetyö toimii tietolähteenä rakennusyriyten toimihenkilöille. Sen avulla voidaan määrittää paikallavalettujen välipohjien vaatimia kuivumisaikoja sekä suunnitella rakentamisaikaista betonirakenteiden kuivatusta. On myös oleellista muistaa informoida muita rakennustyömaiden työntekijöitä kuivatuksen tärkeydestä.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Rakennusliike Evälahti Oy. Evälahti on vahva ja tunnettu imatralainen rakennusliike, joka on harvinainen yli 65-vuotias perheyriys. Rakennusliike Evälahti Oy:n päätoimiala on talonrakentaminen sekä uudisrakennus- että peruskorjauskohteissa. He urakoivat monipuolisesti asunto- liike-, teollisuus- ja julkishallinnon kohteita. Evälahti-konserniin kuuluvat Rakennusliike Evälahti Oy, Rakennusliike Evälahti Uusimaa Oy, Evä-Kara Oy ja Eva Properties Ltd. (Rakennusliike Evälahti Oy 2017.)

## 2 Betonirakenteiden kuivuminen

Betonin kuivuminen on hidasta verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin johtuen eri tekijöistä, joita ovat esimerkiksi betonin ominaisuudet, kuivatusolosuhteet ja rakenneratkaisu. Betonin kuivuminen tahdistaa usein sisävalmistusvaihetta ja vaikuttaa koko rakentamisaikatauluun. Betonirakenteen kuivumisen asettamat vaatimukset tulee ottaa ajoissa huomioon, jotta välttyttäisiin aikatauluviivästyksiltä, taloudellisilta haitoilta ja kosteusvaurioilta päällystettäessä liian märkää rakennetta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 432.)

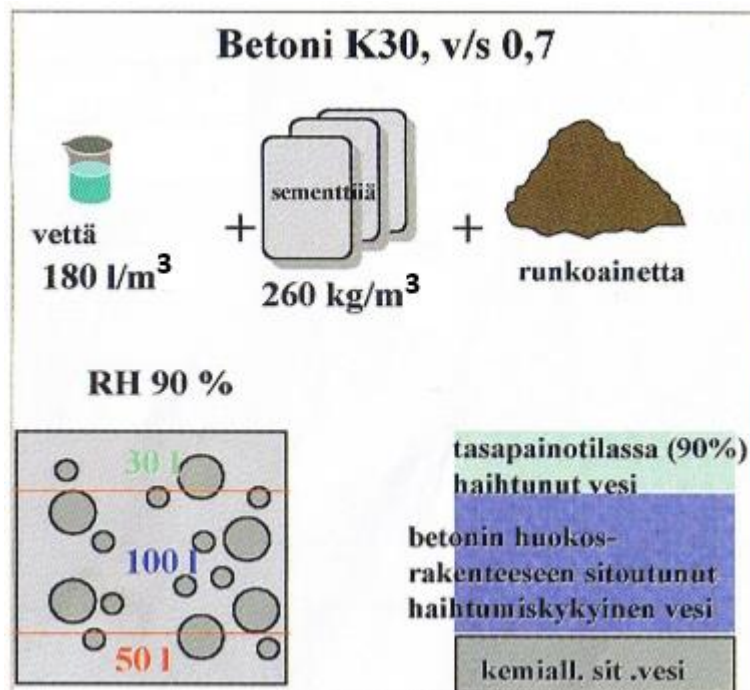
Rakenneratkaisun ja tavoitekosteuden ollessa tiedossa voidaan laatia kuivumisaika-arviot tunnetuimmille betonirakenteille. Kuivumisaika-arviota tehdessä muuttujina voidaan käyttää betonin ominaisuuksia (muun muassa vesisementtisuhte, sementin laatu, runkoaineen maksimiraekoko, lisäaineet ja notkeus), rakenneratkaisua ja kuivumisolosuhteita (ilman suhteellinen kosteus, lämpötila ja kastumisaika). Betonin ominaisuuksista vesisementtisuhte on oleellisin vaikuttava tekijä. (Merikallio 2002, 32.)

### 2.1 Betonin kuivuminen

Betonin valmistamiseen tarvitaan sementtiä ja seosvettä, joista muodostuu sementtiliimaa. Betonin kovettuessa sementtiliima sitoo kiviainepartikkelit toisiinsa. Betonin kovettumisreaktiossa eli hydrataatiossa betoniin sitoutuu kemiallisesti vettä, joka ei pysty poistumaan betonista normaaliolosuhteissa. Kemiallinen sitoutuminen alkaa muutaman tunnin kuluessa betonimassan sekoittamisesta ja se on aluksi nopeaa ja hidastuu ajan kuluessa, kunnes reaktio on valmis. Kemiallisesti sitoutuneen veden määrä täydellisessä hydrataatiossa on noin 25 paino-% betoniin sekoitetun sementin määrästä. Käytännössä veden määrä jää kuitenkin tätä alhaisemmaksi, koska hydrataatio ei ole täydellinen. Hydrataatio-reaktiossa tapahtuu sitoutumiskuivumista, josta johtuu vesimäärän väheneminen. Sitoutumiskuivuminen on betonin kuivumisen ensimmäinen vaihe. (Merikallio 2002, 32; Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 432.)

Betonin huokosiin jää paljon haihtumiskykyistä vettä, sillä vain osa seosvedestä sitoutuu hydrataatiossa. Vapaa haihtumiskykyinen vesi eli fysikaalisesti sitoutunut vesi on adsorboituneena betonin huokosten pintaan vesimolekyylikerroksina.

Betonin huokosrakenteeseen fysikaalisesti sitoutunut vapaa vesi pyrkii poistumaan ympäristöön, jotta betonin ja ympäristön välille syntyisi tasapainokosteus. Kuivumisprosessi kestää niin kauan, kunnes betoni on saavuttanut hygroskooppisen tasapainon ympäristön kanssa, eli betonissa olevien huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on sama kuin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus. (Merikallio 2009, 13; Merikallio 2002, 33.) Hygroskooppisella ominaisuudella tarkoitetaan huokoisen materiaalin kykyä luovuttaa kosteutta ilmaan sekä sitoa sitä ilmasta (Björkholtz 1997, 59). Kuvassa 1 esitetään seosveden jakautuminen betonissa. Betonin lujuusluokka on K30, ja huokosilman suhteellinen kosteus on 90 %.



Kuva 1. Seosveden jakautuminen betonissa (Merikallio 2002, 33)

Kun betonia valetaan, sen huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on 100 % eli ne ovat kyllästyneet vedellä (Merikallio 2002, 33). Suhteellinen kosteus ilmaisee ilman todellisen vesihöyrypitoisuuden suhdetta ilman kyllästysvesihöyrypitoisuuteen (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille 2004, 7). Sitoutumiskuivumisen vaikutuksesta suhteellinen kosteus voi tippua 98 – 90 %:iin betonilaadusta riippuen. Betonirakenteen on saavutettava alhaisempia arvoja, mikä tapahtuu fysikaalisesti sitoutuneen veden poistuessa betonin huokosrakenteesta. Betonin ja

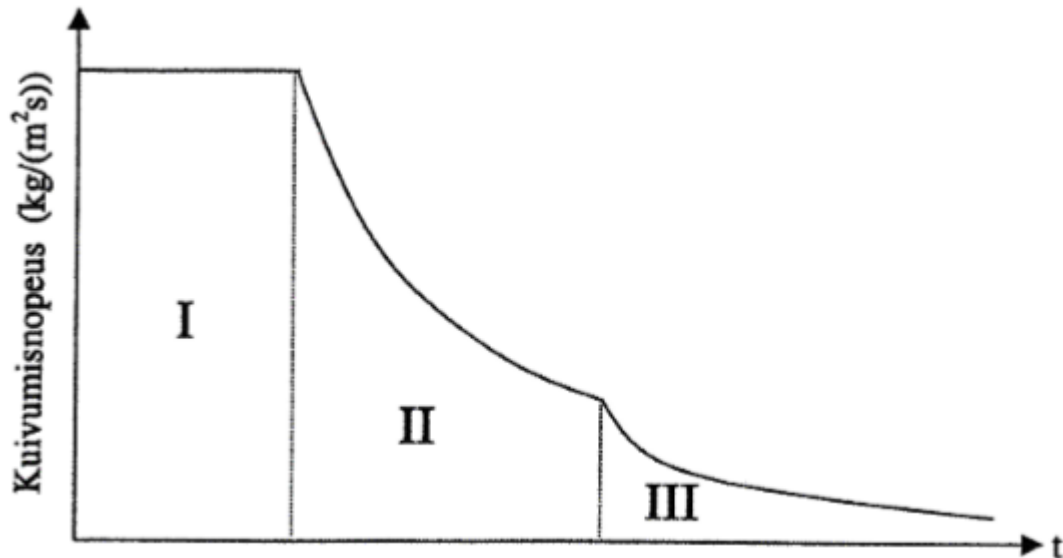
ilman rajanpinnan kautta haihtuu kosteutta ilmaan, koska yleensä betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on suurempi kuin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus. Kosteuden haihtuessa pinnasta siirtyy syvemmältä kosteuspi-toisemmasta rakenteen osasta lisää kosteutta pintaa kohti. Diffuusio ja kapillaa-rinen imu aiheuttavat edellä mainitun kosteuden siirtymisen yleensä yhtä aikaa. Kyseinen betonin kuivuminen on siirtymiskuivumista, josta voidaan puhua myös haihtumiskuivumisena, koska yleensä kosteus haihtuu ympäröivään ilmaan. Haihtumiskuivuminen on betonin kuivumisen toinen vaihe, jossa kosteus siirtyy kapillaarisesti ja diffuusion avulla. (Merikallio 2002, 33.)

Haihtumismahdollisuudet vaikuttavat pinnaltaan kostean betonin kuivumiseen. Betonin pintakerroksen kosteus vähenee haihtumisen vuoksi, josta seuraa kos-teuden siirtyminen syvemmältä rakenteesta pintaa kohti. Kosteuden siirtyminen loppuu, kun kosteutta siirtyy vähemmän pintaan kuin sitä siitä haihtuu. Pinnan kuivuttua kuivumisprosessi siirtyy syvemmälle betoniin, jolloin siihen vaikuttaa kapillaarijohtuminen ja diffuusio. Jotta kosteus voi siirtyä kapillaarisesti, pitää be-tonissa olla yhtenäinen vedellä täyttynyt huokosverkosto. Hydrataation edetessä kapillaarihuokokset täyttyvät hiljalleen ilmalla ja huokosverkosto katkeaa, jonka jäl-keen kosteuden siirtyminen tapahtuu diffuusion avulla. (Merikallio 2002, 34.)

Vesihöyryn diffuusiolla tarkoitetaan vesimolekyylien siirtymistä huokoisen mate-riaalin eri osissa, joissa vaikuttaa eri suuruisia vesihöyryn osapaineita, jotka pyr-kivät tasoittumaan. Kosteuden siirtyminen tapahtuu suuremmasta vesihöyryn osapaineesta pienempään vesihöyryn osapaineeseen. Kosteuden haihtuessa il-maan vesihöyryn osapaine laskee betonipinnan huokosissa ja syvemmältä beto-nista diffusioituu vesihöyryä betonin pintaan, jolloin haihtuminen jatkuu. Kuivumis-nopeus pienenee merkittävästi, kun kapillaarinen siirtyminen loppuu, koska dif-fuusion välityksellä siirtyvät kosteusmäärät ovat huomattavasti pienempiä. (Meri-kallio 2002, 34; Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 433.) Kuva 2 havainnollistaa huokoisen kappaleen, kuten betonin haihtumiskuivumista ajan funktiona. Kuivu-minen jakautuu kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa kuivumisno-peus pysyy vakiona, kun kappaleen pinta on kostea. Vesi poistuu kapillaarisesti. Toisessa vaiheessa kapillaarinen siirtyminen on katkennut pinnassa ja kuivumis-



nopeus pienenee jatkuvasti, mikä johtuu kappaleen kostean rintaman siirtymisestä syvemmälle rakenteeseen, jolloin kuivumiseen vaadittu matka ja vastus kasvavat. Kosteus siirtyy lähinnä diffuusion avulla. Betonin kuivuminen tapahtuu lähes täysin toisen vaiheen mukaisesti. Kolmannessa vaiheessa kuivuminen tapahtuu vain diffuusion avulla ja kuivumisnopeus laskee kohti nollaa. (Björkholtz 1997, 80; Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille 2004, 41 - 42.)



Kuva 2. Huokoisen kappaleen kuivuminen ajan funktiona (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille 2004, 41)

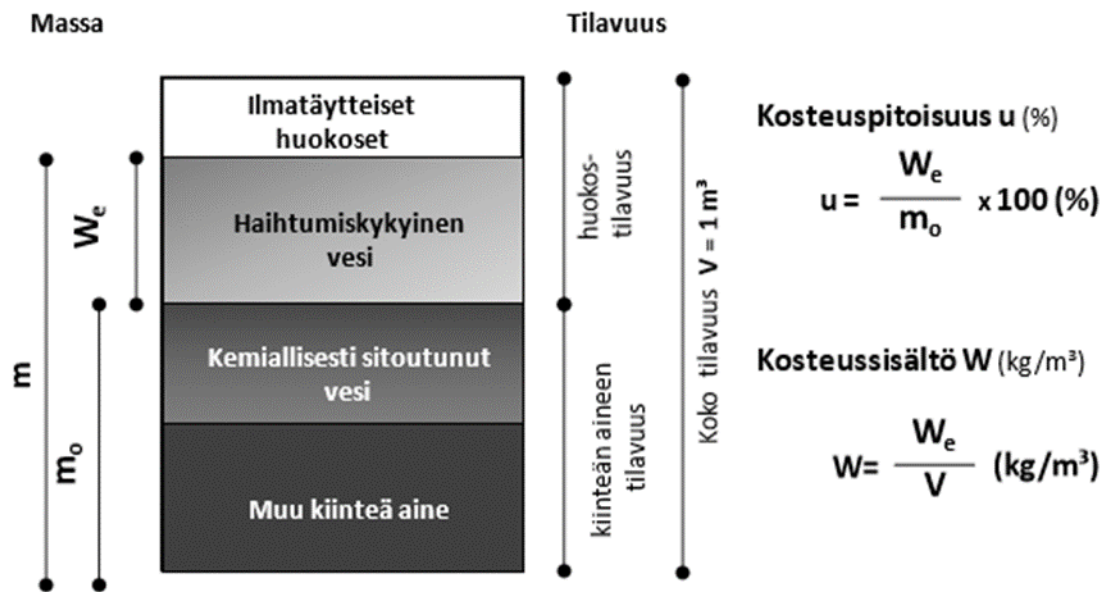
Hygroσκοoppisena materiaalina betoni voi luovuttaa kosteutta ympäristöön mutta se voi myös vastaanottaa sitä pyrkiessään kosteustasapainoon ympäristön kanssa. Betonin kyky imeä vettä on merkittävin tekijä sen mahdollisessa kastumisessa. Kosteuden lähteitä rakennusaikana ovat muun muassa vesi- ja lumisade, märät työvaiheet, kuten tasoitus ja maalaus sekä vesivahingot. Kastumisen vaikutus betonirakenteen kuivumiseen on sitä huomattavampi, mitä alhaisempi betonin lujuusluokka on, eli mitä korkeampi on betonin vesisideainesuhde (v/s). Betonin kyky imeä vettä heikkenee, kun vesisideainesuhde pienenee, koska betonista tulee tiiviimpää. Toinen merkittävä tekijä kastumisen vaikutuksessa on se, kuinka myöhään kastuminen tapahtuu. Suurempi vaikutus tulee, mitä myöhemässä vaiheessa rakenne kastuu. (Merikallio 2002, 34; Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 433.)

Rakenneratkaisusta riippuen voi betonirakenteiden kuivuminen tasapainokosteuteen ympäristön kanssa kestää vuosia. Rakennusaikana tasapainokosteutta ei kuitenkaan tarvitse saavuttaa. Ennen kuin betonirakenne peitetään kuivumista hidastavalla ainekerroksella eli päällyste- tai pinnoitemateriaaleilla, tulee sen saavuttaa materiaalin vaatima kuivuustaso. Betonirakenteen suhteellisen kosteuden arvo tulee olla välillä 80 – 90 % arviointisyvyydellä A (kts. kappale 4), kun rakenteita päällystetään tai pinnoitetaan kosteuserkillä materiaaleilla. (Merikallio 2002, 34.) Kosteusraja-arvoissa on suuria eroja eri materiaalien kesken, vaihteluväli on 60 – 90 % betonin pinnassa ja 10 – 30 mm syvyydellä ( $0,4 \times A$ , kts. kappale 4), joihin vaikuttaa muun muassa se, onko päällystemateriaalin ja betonin välillä kosteudeneristystä. (Merikallio 2009, 33 - 37.)

Laissa tai rakentamismääräyskokoelmissa ei ole yksiselitteisesti määritelty, mitä riittävän kuiva tarkoittaa. Urakkasopimukseen liitettävästä työselostuksesta pitäisi löytyä päällystemateriaalikohtaiset suurimmat sallitut kosteusarvot. Urakoitsijan tulee noudattaa ensisijaisesti materiaalivalmistajan antamia ohjeita, jotta tuotteen takuu säilyy. (Merikallio 2009, 33 - 37.)

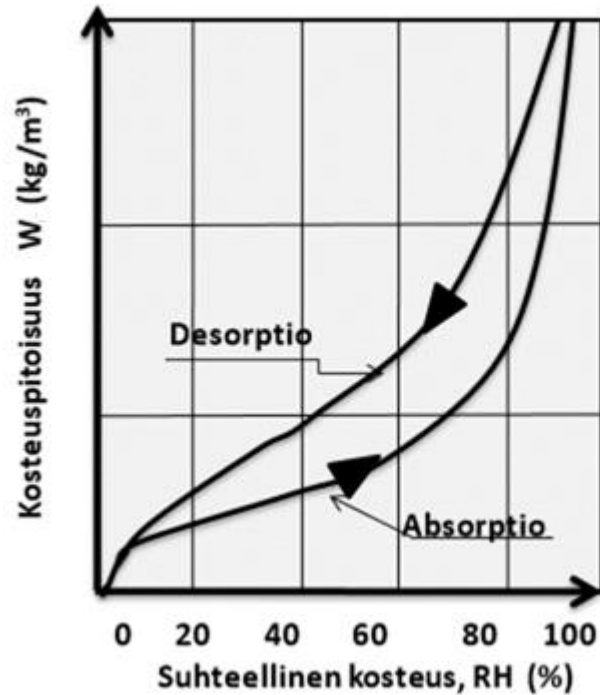
## 2.2 Betonin kosteus

Betoniin fysikaalisesti sitoutuneen veden määrällä tarkoitetaan yleensä betonin kosteuspitoisuutta. Kosteuspitoisuus ( $u$ ) voidaan määrittää joko kosteuspitoisuutena painoprosentteina betonin kuivapainosta ( $p$  - %) tai kosteussisältönä betonin tilavuuden suhteessa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Kosteuspitoisuuden voi ilmoittaa myös suhteellisenä kosteutena RH (%), joka määritetään betonin huokosten ilmatilassa olevan vesihöyryn määrän ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) ja lämpötilan perusteella. Betonihuokosten pintaan kiinnittynyttä kosteutta suhteellinen kosteus ei ota huomioon. (Merikallio 2009, 14 - 15.) Kuvassa 3 esitetään kosteuspitoisuuden  $u$  ja kosteussisällön  $W$  laskenta.  $W_e$  merkinnästä käytetään myös merkintää  $m_v$  eli kappaleessa olevan kosteuden massa (kg) (Rakennusfysiikka rakennusinsinööreille 2004, 35).

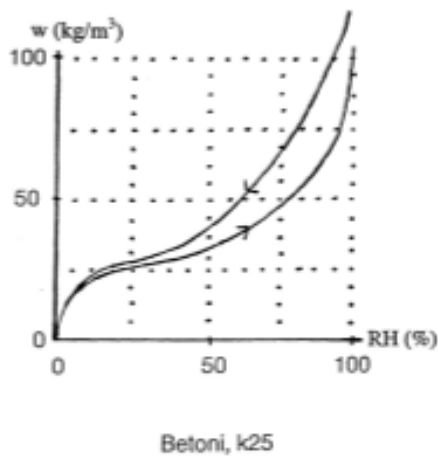


Kuva 3. Kiinteän aineen, huokosten ja kosteuden jakautuminen betonissa sekä kosteuspitoisuuden  $u$  ja kosteussisällön  $W$  laskentakaavat (Merikallio 2009, 14)

Betonin kosteuspitoisuuden ja suhteellisen kosteuden välille voidaan laatia hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä, joka ilmoittaa, kuinka paljon betonissa on kosteutta ( $\text{kg/m}^3$ ) jollain tietyllä suhteellisen kosteuden RH (%) arvolla tietyssä lämpötilassa. Tasapainokosteuskäyrien välillä voi olla suuria eroja riippuen betonin huokoisuudesta, vesisideainesuhteesta, lämpötilasta ja hydratoitumisasteesta. Betonin kuivuminen (desorptio) ja kostuminen (absorptio) tekevät käyristä myös erilaisia. Kuvassa 4 esitetään periaatteellinen kuva erään betonin hygroskooppisesta tasapainokosteuskäyrästä, joka ilmoittaa betonin sisältämän haihtumiskykyisen veden määrän tietyllä suhteellisen kosteuden arvolla tietyssä tasapainotilassa. Absorptiokäyrä kuvaa tilannetta betonin kostuessa ja desorptiokäyrä tilannetta betonin kuivuessa. (Merikallio 2009, 15 - 16.) Kuvassa 5 nähdään betonin K25 tyypillinen hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä.



Kuva 4. Betonin hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä (Merikallio 2009, 15)

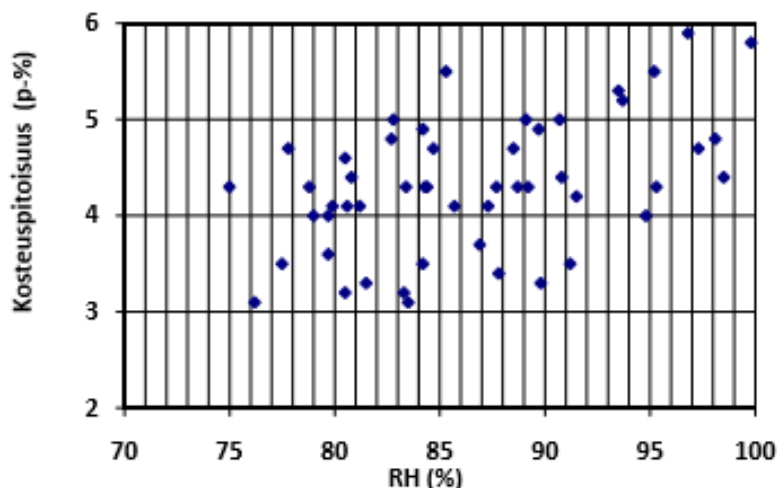


Kuva 5. Betonin K25 hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä (Rakennusfysiikka rakennusinsinöörille 2004, 38)

Betonin huokosrakenteessa olevan kosteuden sitoutumiseen vaikuttaa merkittävästi lämpötila. Betonin huokosilman suhteellinen kosteus nousee yleensä, kun lämpötila nousee mutta betonin kosteussisältö pysyy vakiona. Kyseinen ilmiö johtuu siitä, kun lämpötila nousee, osa betonihuokosen pintaan kiinnittyneestä kosteudesta siirtyy betonihuokosen ilmatilaan, josta seuraa huokosilman kosteussi-

sällön nousu. Tästä seuraa myös huokosilman suhteellisen kosteuden nouseminen. Huokosilman kosteussisältö ja suhteellinen kosteus laskevat lämpötilan laskeessa, vaikka betonihuokosen pintaan sitoutuu enemmän kosteutta. Kun ilman lämpötila muuttuu, sen kosteussisältö pysyy samana, joten ilmiö on eri kuin mitä tapahtuu betonihuokosessa. (Merikallio 2009, 16.)

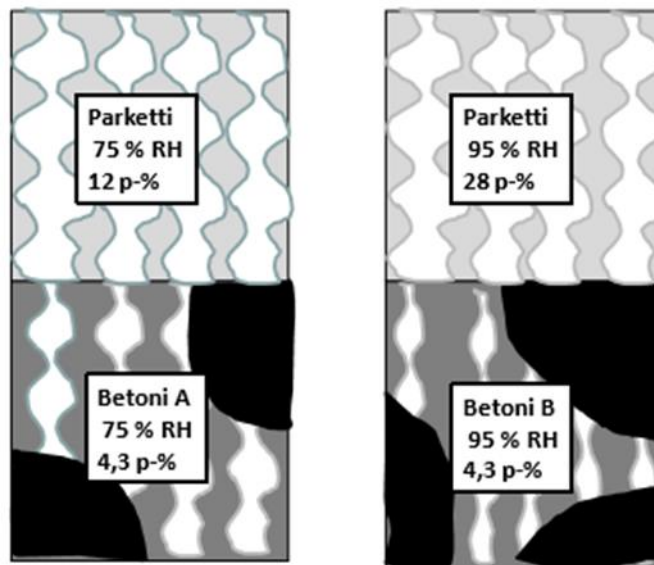
Betonin ominaisuudet ja lämpötila määräävät, kuinka paljon betonissa on kosteutta tietyllä suhteellisen kosteuden arvolla. Betonin todellista kosteuspitoisuutta suhteellinen kosteus ei ilmoita. Kahdella eri betonilla voi olla huomattavia eroja kosteuspitoisuuksissa painoprosentteina (p - %) mutta niiden suhteellinen kosteus RH (%) voi olla arvoltaan sama. Esimerkiksi alhaisen huokosmäärän omaavan betonin kosteuspitoisuus painoprosentteina on noin 2 p - % suhteellisen kosteuden ollessa 85 %, kun taas huokoisemmalla betonilla se voi olla yli 6 p - %. Betonikoekappaleiden kosteustila kuivumisen eri vaiheissa betonilaadusta riippuen on havaittu, että kosteuspitoisuuden ollessa noin 4 p - %, osalla betoneista suhteellinen kosteus oli noin 80 %, kun taas osalla suhteellinen kosteus saattoi olla 95 %. (Merikallio 2009, 16.) Kuvassa 6 esitetään betonin suhteellisen kosteuden RH (%) ja kosteuspitoisuuden (p - %) suhde muutamalle eri betonilaadulle eri iässä.



Kuva 6. Betonin suhteellisen kosteuden ja kosteuspitoisuuden suhde (Merikallio 2009, 17)

Betonissa oleva kosteus voi olla haitallista toiselle materiaalille, joka on kontaktissa betoniin, minkä suhteellinen kosteus kertoo painoprosenttikosteutta paremmin. Esimerkiksi jos puupäälyste asennetaan kostean betonin pintaan, pyrkii betoni tasapainokosteuteen puumateriaalin kanssa eli betoni luovuttaa kosteutta itsestään niin kauan, kunnes puumateriaalin huokosrakenteessa on sama suhteellinen kosteus kuin betonin huokosrakenteessa. Puumateriaaliin siirtyneen kosteuden vuoksi puumateriaali voi turvota ja siihen voi syntyä mikrobikasvustoa, jos betonista siirtynyt kosteus ei pääse poistumaan. (Merikallio 2009, 18.)

Erilaisesta huokosrakenteesta johtuen eri rakennusmateriaaleilla on erilainen kyky sitoa kosteutta. Esimerkiksi betonin ja parketin saavuttaessa hygroskooppisen tasapainokosteuden suhteellisen kosteuden ollessa 95 % voi parketissa olla yli 20 painoprosenttia kosteutta, kun taas jossakin betonissa voi olla noin 4 painoprosenttia kosteutta. Betonilaatujen huokosrakenteissa ja niiden kosteudensitomisominaisuuksissa on huomattavia eroja. Kuvassa 7 esitetään betonin ja parketin välistä tasapainotilaa. Kahdella erilaisella betonilla on erilaiset suhteellisen kosteuden arvot, vaikka niillä on sama kosteussisältö painoprosentteina. Tasapainotilassa parketin suhteellinen kosteus on sama kuin betonin, kun ne ovat kosketuksissa. Materiaalien huokosrakenteesta johtuen kosteuspitoisuudessa painoprosentteina on kuitenkin eroja. (Merikallio 2009, 18.)

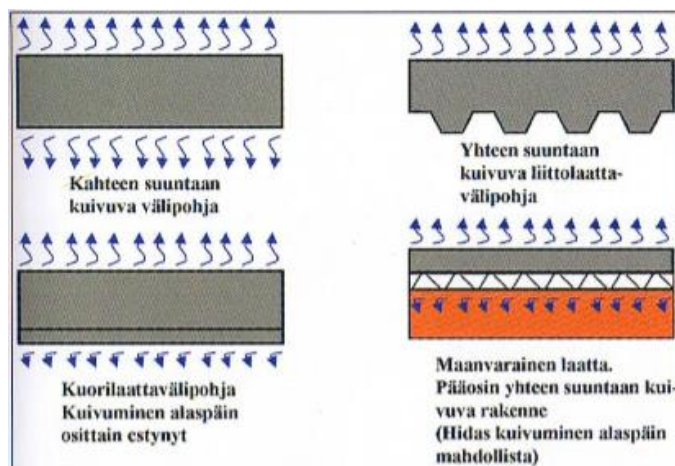


Kuva 7. Betonin ja parketin välinen tasapainotila (Merikallio 2009, 18)

### 2.3 Betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Betonin kuivumiseen eli siihen, kuinka nopeasti betonin kosteus saavuttaa tavoitetason, vaikuttavat merkittävästi rakenneratkaisut, ympäristöolosuhteet ja betonin ominaisuudet. Erinomaisissa olosuhteissa nopeimmin kuivuvat betonit kuivuvat jopa viikossa, kun taas epäedullisissa olosuhteissa kuivuminen voi kestää jopa vuoden. (Merikallio 2002, 35.)

Rakenneratkaisulla vaikutetaan siihen, miten pitkän matkan betonin kosteus joutuu siirtymään päästäkseen haihtumiskykyiseen pintaan (Kuva 8). Rakenteen ollessa massiivinen siirtymismatka on pidempi eli kuivuminen on hidasta verrattuna ohuempaan rakenteeseen. Kuivumisnopeuteen vaikuttaa huomattavasti, jos haihtuminen on mahdollista vain yhteen suuntaan, jolloin se hidastuu. (Merikallio 2002, 35; Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 433 - 434.)

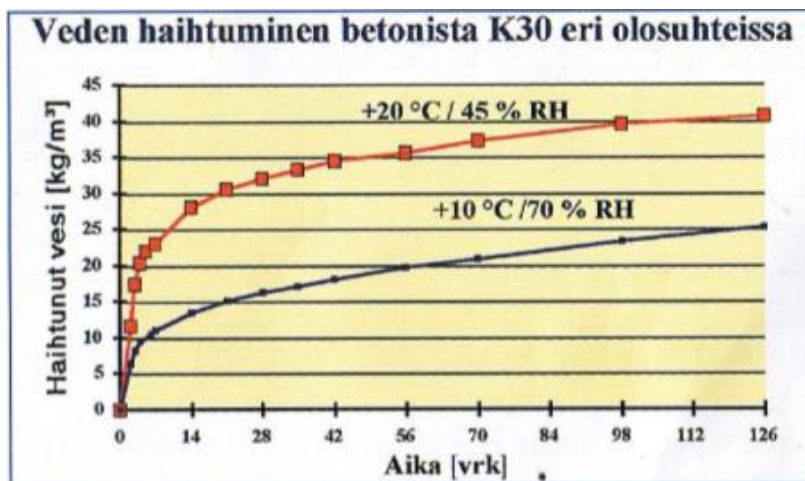


Kuva 8. Kosteuden siirtyminen erilaisissa rakenneratkaisuissa (Merikallio 2002, 35)

Olosuhteiden merkitys betonin kuivumisnopeuteen on suuri. Ilman suhteellinen kosteus, lämpötila ja ilmavirrat vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti betonin pinnalla oleva kosteus haihtuu ja betonin sisällä oleva kosteus siirtyy pintaan. Betonin lämpötila ja kosteus vaikuttavat myös sitoutumiskuivumiseen. Mitä korkeampia ne ovat, sitä nopeammin ja täydellisemmin sementti hydratoituu eli betonin kuivuminen nopeutuu. (Merikallio 2002, 35.)

Haihtumiskuivumisen merkitys normaaleilla betoneilla on suurempi kuin sitoutumiskuivumisen. Betonirakenteen ympäröivän ilman suhteellinen kosteus vaikuttaa haihtumiskuivumiseen päinvastoin kuin sitoutumiskuivumiseen. Mitä alhaisempi ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on, sitä suurempi on rakenteen sisäosan ja pinnan kosteusero, josta seuraa myös suurempi kosteutta siirtävä voima. Kun betonin suhteellinen kosteus laskee, kosteuden siirtyminen pintaosista hidastuu, sillä betonin vesihöyryn läpäisevyys laskee rajusti. Ilman suhteellisen kosteuden tulee olla noin 50 %, jota pidetään betonin kuivumisen kannalta optimaalisena. (Merikallio 2002, 35; Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 434.)

Lämpö on yksi merkittävä tekijä betonin kuivumisessa. Kun lämpötila nousee, vesihöyryn osapaine betonin huokosissa kasvaa, jolloin kosteutta siirtävät voimat kasvavat. Toisin sanoen kosteus siirtyy betonista sitä nopeammin pois, mitä lämpimämpää betoni on. Useimmiten betonirakenteen riittävän nopean kuivumisen varmistamiseksi tarvitaan vähintään +20 °C lämpötilaa. Kuivuminen nopeutuu merkittävästi lämpötilan noustessa +25 – 30 °C. Vesivauriokohteiden pikakuivatuksissa voidaan käyttää vielä korkeampia lämpötiloja. On tärkeä muistaa, että korkeat lämpötilat voivat aiheuttaa halkeilua ja lujuudenkatoa nuoressa betonissa. (Merikallio 2002, 35; Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 434.) Kuvassa 9 esitetään veden haihtumista betonista eri olosuhteissa.



Kuva 9. Suhteellisen kosteuden ja ympäristön lämpötilan vaikutus betonista K30 haihtuvan veden määrään (Merikallio 2002, 35)



Kun betonirakennetta kuivataan, on tärkeää saada itse betoni lämpimäksi, mutta betonia ympäröivän ilman lämmittäminen on myös järkevää kuivattamisen kannalta. Ilman suhteellinen kosteus laskee lämpötilan noustessa, jolloin ilman kyky vastaanottaa betonista haihtuvaa kosteutta kasvaa. (Merikallio 2002, 36.)

Halutun kosteustilan ja nopean haihtumisen saavuttamiseen vaikuttavat betonin ominaisuudet. Betonin huokosrakenne vaikuttaa haihtumisnopeuteen. Haihtumiskuivumisen osuus on merkittävä kuivumisen alkuvaiheessa, kun kapillaarihuokokset muodostavat yhtenäisen kapillaariverkoston. Hydrataation edetessä betonin huokosrakenne muuttuu, kun kapillaarihuokosten tilavuus pienenee, jolloin betonista tulee tiiviimpää eli kosteuden siirtyminen hidastuu. Alhainen betonin vesisideainesuhte tarkoittaa nopeampaa kapillaariverkoston katkeamista, jolloin haihtumiskuivumisen osuus pienenee. Periaatteessa alhainen vesisideainesuhte aiheuttaa siis hitaamman haihtumisen, mutta haihdutettava vapaa veden määrä jää pieneksi, koska tällaisessa betonissa on huomattavasti korkeampi sementtimäärä tai alhaisempi seosvesimäärä. Betonin alhaisen vesisideainesuhteen sitoutumiskuivumisen osuus on niin suuri, että ilman veden haihtumista voi betonin suhteellinen kosteus laskea 90 %:iin. Alhaisen vesisideainesuhteen betoneiden kuivumisnopeuteen eivät vaikuta rakenteen paksuus ja kuivumisolosuhteet yhtä paljon kuin tavanomaisiin betoneihin. (Merikallio 2002, 36; Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 434 - 435.)

## **2.4 Betonirakenteen kuivumisen nopeuttaminen**

Betonirakenteiden kuivumista nopeutetaan yleensä tiukan aikataulun vuoksi. Kuivumisen nopeuttamiseksi voidaan käyttää seuraavia keinoja:

1. Käytetään suuriraekokoista ja jäykkää massaa. Jos runkoaineen maksimiraekoko on pieni, massan alkuperäinen vesimäärä on suuri, jolloin kuivuminen on hitaampaa.
2. Käytetään nopeasti kuivuvia betonilaatuja (noudata valmistajan ohjeita betonoinnissa ja jälkihoidossa). Nopeasti kuivuvien betonien kuivuminen perustuu yleensä pienempään vesisideainesuhteeseen (v/s) kuin normaalibetonilla ja massan huokostamiseen.

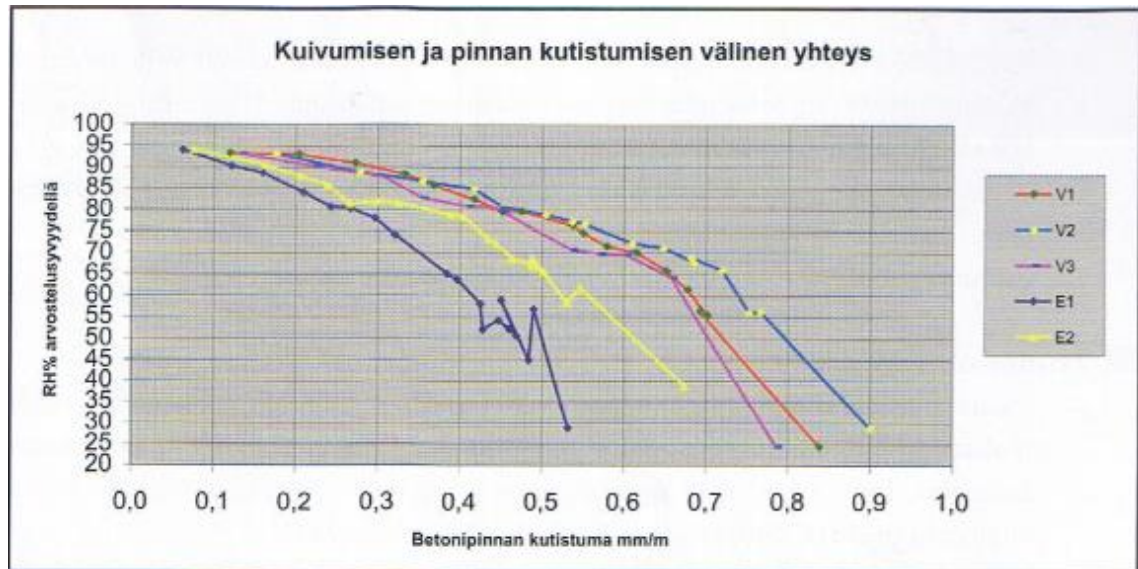
3. Estetään mahdollisimman hyvin betonirakenteen kastuminen. Betoniin imeytyy sitä enemmän vettä, mitä myöhemmin se kastuu.
4. Poistetaan mahdollisimman nopeasti betonirakenteeseen päässyt vesi ja lumi mekaanisesti (vesi-imurilla, lastalla, harjalla ym.).
5. Betonirakenteen ympärille luodaan hyvät kuivumisolosuhteet, unohtamatta huolellista jälkihoitoa. Ilman lämpötilan on hyvä olla vähintään +20 °C ja suhteellisen kosteuden (RH) alle 50 %. Betonirakenteen lämpötilan nostaminen on tehokkain menetelmä nopeuttaa kuivumista.
6. Pidetään betonirakenteen pinta puhtaana ja paljaana. Betonin pinta hiotaan (hiotaan sementtiliima pois), pöly poistetaan, ja ei varastoida tavaroita niin, että ne estävät haihtumisen. (Merikallio 2002, 37.)
7. Käytetään radiaali- ja aksiaalipuhaltimia kuivatuksen tehostamiseen (Cramo Finland Oy 2017).

## **2.5 Betonin kuivumisen ja kutistumisen välinen yhteys**

Kutistuma on betonirakenteiden muodonmuutoksista merkittävin ja se johtuu pääosin betonin kuivumisesta. Betonin sementtimäärä, vesisementtisuhde, runkoaineen määrä ja runkoaineen maksimiraekoko vaikuttavat merkittävästi betonin kuivumiskutistumiseen. Alhainen sementtimäärä ja vesisementtisuhde, runkoaineen suuri määrä sekä runkoaineen suuri maksimiraekoko pienentävät betonin kutistumista. Betonin kuivumiskutistumisesta osa on palautuvaa eli betonin tilavuus kasvaa betonin kastuessa tai betonin kosteuspitoisuuden noustessa. (Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinäpäällysteliitto ry 2007, 36.)

Betonirakenteita laatoittaessa on tärkeää muistaa, että betonirakenne voi jatkaa kuivumista vielä pitkään laatoittamisen jälkeen, jolloin tapahtuu myös kutistumista. Päällystämisen jälkeinen kutistuma voi olla niin suuri, että laatat irtoavat alustastaan, jos betonin suhteellisen kosteuden arvo on ollut korkea päällystys-hetkellä. Betonirakenteen muodonmuutokset ja alustan kutistuma ovat sitä pienemmät, mitä kuivempi betonirakenne on ennen laatoittamista. Kuvasta 10 nähdään betonin kuivumisen ja pinnan kutistumisen välinen yhteys. E1 ja E2 ovat elementtiteollisuuden betoneita. E1 on tasovalumassaa ja E2 on patterivalumassaa. V1, V2 ja V3 ovat valmisbetoneja. V1 on nopeasti kovettuva rakennebetoni,

V2 on nopeasti päällystettävä lattiabetoni ja V3 on normaali rakennebetoni. Kaikkien betonien lujuus on K30, paitsi V2 on lujuudeltaan K35. (Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry 2007, 36.)



Kuva 10. Betonin kuivumisen ja pinnan kutistuman välinen yhteys (Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry 2007, 36)

Betonin kuivuminen 80 – 90 % suhteellisen kosteuden arvoon voi kestää hyvissäkin olosuhteissa betonirakenteen paksuudesta riippuen useita kuukausia. Kuivumiseen vaikuttaviin tekijöihin, kuten betoninlaatuun ja kuivamisolosuhteisiin, voidaan vaikuttaa ajoissa, kun rakenteen vaatima kuivumisaika ja kutistuma otetaan huomioon eri suunnitteluvaiheissa. Riittävä kuivuminen useimmilla betoni-laaduilla päällystämisen kannalta on tapahtunut betonin suhteellisen kosteuden ollessa 80 % päällystysvaiheessa. Tässä tapauksessa laatoituksen kiinnitysjärjestelmältä ei vaadita erityistä elastisuutta. (Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry 2007, 36 - 37.)

Betonirakenteen kutistuma on suurta päällystämisen jälkeen, kun betonin suhteellisen kosteuden arvo on korkea. Kun betonirakennetta päällystetään kosteana (esimerkiksi 90 %), käytetään laattojen kiinnittämiseen muodonmuutoskykyistä kiinnitysainetta ja lisätään joustavien liikuntasaumojen määrää. Betonipinnan oletetun kutistuman päällystyksen jälkeen tulee olla aina pienempi kuin pintarakennepäällystysjärjestelmän tai päällysteen muodonmuutoskyvyn (Taulukko 2). (Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry 2007, 37.) Taulukossa 1

esitetään eri lähtökosteuksilla tapahtuvaa kutistumaa laatoituksen jälkeen rakenteen kuivuessa suhteellisen kosteuden arvoon 50 %.

Keraamiset laatat, kuivat tilat	Betonin RH (%) arviointisyvyydellä A
<b>Mahdollinen oletettu kutistuma laatoituksen jälkeen (mm/m)*</b>	
0,45–0,65	95
0,35–0,55	90
0,3–0,4	85
0,2–0,3	80

Taulukko 1. Kutistuma laatoituksen jälkeen (Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry 2007, 37)

Laatoituksen ja betonin välisen kiinnitysaineen muodonmuutoskyky	Oletettavissa oleva kutistuminen päällystämisen jälkeen vähintään (mm/m)
1. Erittäin hyvä *)	0,5
2. Hyvä	0,4
3. Keskinertainen	0,3
4. Pieni	0,2

Taulukko 2. Päällysteiltä ja pintarakennejärjestelmiltä edellytetty muodonmuutoskyky (Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry 2007, 40)

### 3 Betonirakenteen kuivumisaika-arviot

Massiivisen teräsbetonivälipohjalaatan kuivumisaikaan vaikuttavat betonin vesisideainesuhde, kuivumissuunta, rakenteen paksuus, kastumisaika ja kuivamisolosuhteet. Kuivuminen alkaa, kun rakenne ei saa enää lisäkosteutta ja kohteessa on riittävästi lämpöä (vähintään 10 °C). Liitteessä 1 on käyttöohje, peruskuivumiskäyrä ja kertoimet kuivumisaika-arvion laskentakaavalle. On tärkeä muistaa, että kuivumisaika-arviot ovat suuntaan antavia. Ne ovat tarkoitettu käytettäväksi rakennusaikataulujen ja kuivatuksen suunnitteluun. Rakenteen kosteustilan todellinen varmuus saadaan vain mittaamalla betonin kosteus. (Merikallio 2002, 38 - 41.)

Massiivisen teräsbetonilaatan arvioidun kuivumisajan laskentakaava on seuraava: peruskuivumisaika x vesisideainesuhdekerroin x kuivumissuuntakerroin x rakenteen paksuuskerroin x kastumisaikakerroin x kuivumisolosuuhdekerroin = arvioitu kuivumisaika (Merikallio 2002, 41). Verrattaessa kahta saman paksuista teräsbetonilaattaa, joilla on sama tavoitekosteus, samat kuivumisolosuhteet, kuivumissuunta ja kuivumisaika, vesisideainesuhteella on suuri merkitys arvioituun kuivumisaikaan, tämä ilmenee esimerkkilaskuissa. Kaikissa esimerkkilaskuissa lasketaan välipohjan kuivumisaikoja. Esimerkkilaskujen perässä voi olla yksi tai useampi kuvio. Kuviot on tehty esimerkkilaskujen tietojen perusteella.

#### **Kuivumisaika-arvioiden esimerkkilaskuja**

1. Massiivinen paikallavalettu teräsbetonilaatta, jonka paksuus on 280 mm, massan vesisideainesuhde (v/s) on 0,7, laatta on kastunut yli 2 viikkoa, lämpötila sisällä on 25 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Laatta kuivuu kahteen suuntaan. Tavoitekosteus on 85 %. Mikä on välipohjan arvioitu kuivumisaika?

Valitaan oikeat kertoimet laskentakaavaan:

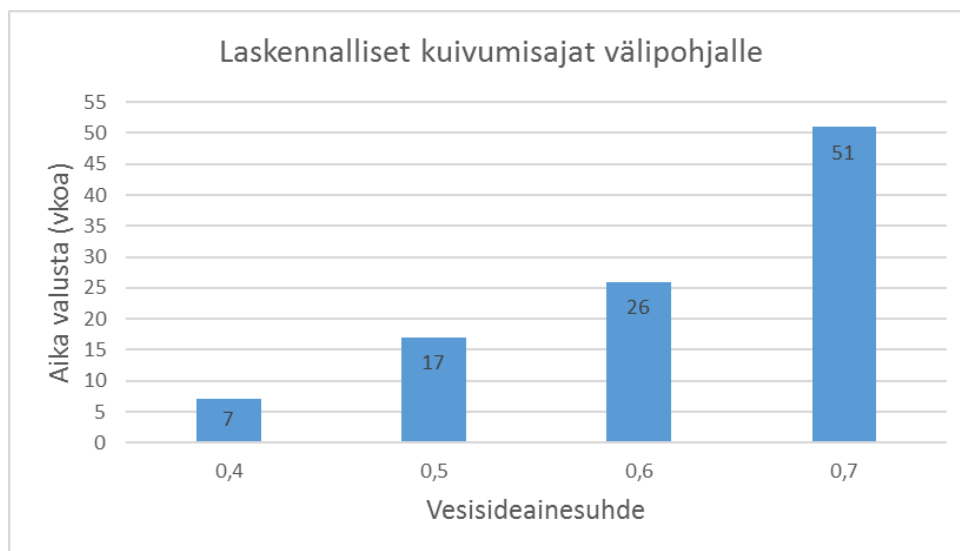
$37 \times 1,0 \times 1,3 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,5 = 50,505$ . Kuivumisaika-arvio on noin 51 viikkoa.

2. Massiivinen paikallavalettu teräsbetoni-laatta, jonka paksuus on 280 mm, massan vesisideainesuhde (v/s) on 0,5, laatta on kastunut yli 2 viikkoa, lämpötila siinä on 25 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Laatta kuivuu kahteen suuntaan. Tavoitekosteus on 85 %. Mikä on välipohjan arvioitu kuivumisaika?

Valitaan oikeat kertoimet laskentakaavaan:

$37 \times 0,5 \times 1,1 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,2 = 17,09$ . Kuivumisaika-arvio on noin 17 viikkoa.

Laskuesimerkeistä 1 ja 2 huomataan, että vesisideainesuhteella on suuri merkitys kuivumisaikaan (Kuvio 1). Betonit, joilla on pieni vesisideainesuhde, ovat yleensä nopeammin kuivuvia eli nopeammin päällystettäviä betonilaatuja. Kuten opinnäytetyössä on aikaisemmin mainittu, alhaisen vesisideainesuhteen betoneissa kuivamisolosuhteet ja rakenteen paksuus eivät vaikuta kuivumisnopeuteen niin paljon kuin tavanomaisissa betoneissa. Nopeammin kuivuvaa betonia suositellaan käytettävän paksuissa paikallavaluholveissa, liitto- ja kuorilaattarakenteissa, paksuissa täyttövaluissa sekä kylpyhuoneiden kallistusvaluissa. Betonin jälkihoitoon on kiinnitettävä erityistä huomiota nopeammin kuivuvaa betonia käytettäessä. (Merikallio 2006, 92.)



Kuvio 1. Vesisideainesuhteen vaikutus kuivumisaikaan

3. Massiivinen paikallavalettu teräsbetoni-laatta, jonka paksuus on 200 mm, massan vesisideainesuhte (v/s) on 0,7, laatta on kastunut yli 2 viikkoa, lämpötila sisällä on 25 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Laatta kuivuu kahteen suuntaan. Tavoitekosteus on 85 %. Mikä on välipohjan arvioitu kuivumisaika?

Valitaan oikeat kertoimet laskentakaavaan:

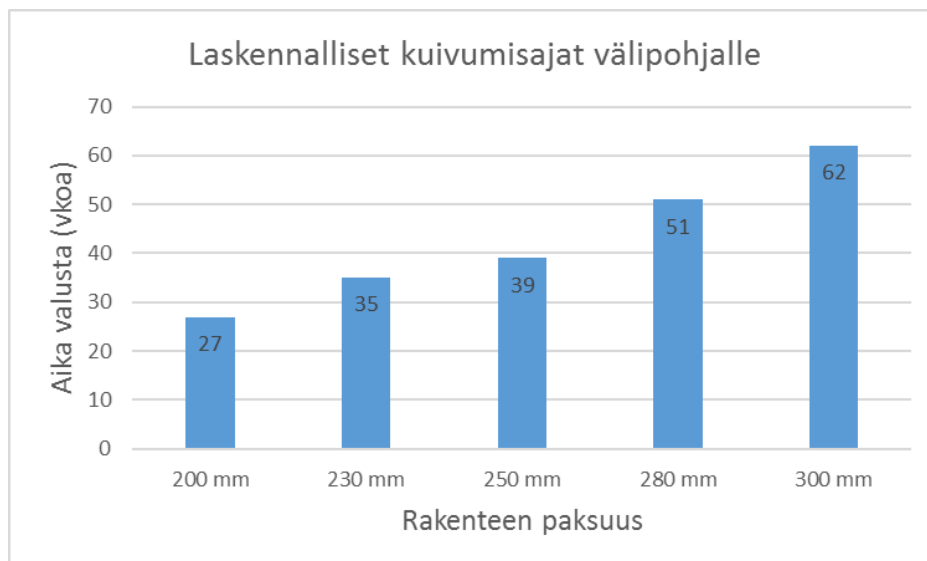
$37 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,5 = 27,2$ . Kuivumisaika-arvio on noin 27 viikkoa.

4. Massiivinen paikallavalettu teräsbetoni-laatta, jonka paksuus on 250 mm, massan vesisideainesuhte (v/s) on 0,7, laatta on kastunut yli 2 viikkoa, lämpötila sisällä on 25 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Laatta kuivuu kahteen suuntaan. Tavoitekosteus on 85 %. Mikä on välipohjan arvioitu kuivumisaika?

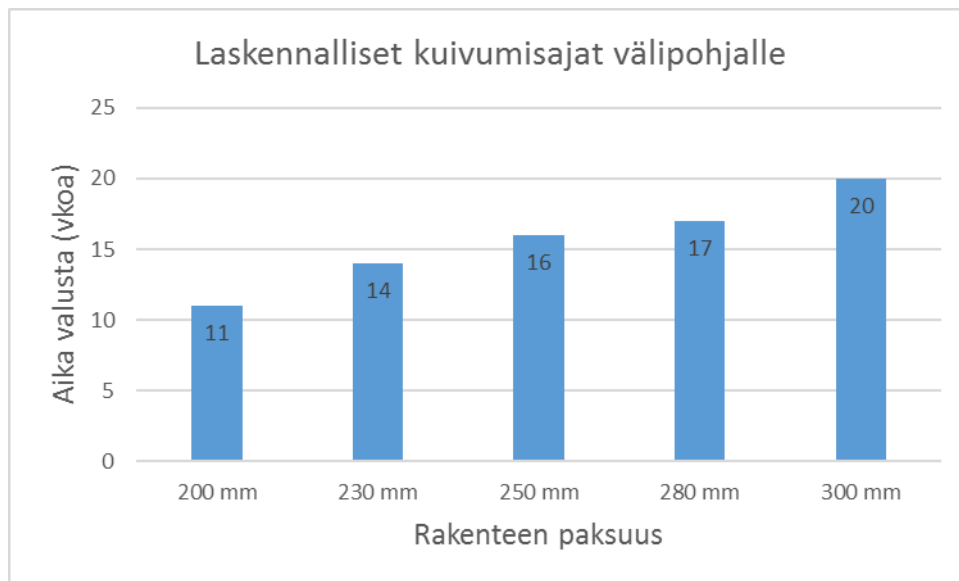
Valitaan oikeat kertoimet laskentakaavaan:

$37 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,5 = 38,85$ . Kuivumisaika-arvio on noin 39 viikkoa.

Laskuesimerkeistä 3 ja 4 huomataan, että rakenteen paksuus vaikuttaa merkittävästi paikallavaletun massiivisen välipohjan kuivumisaikaan (Kuvio 2 ja 3). Kuivumisaika-arvioiden erotus on noin 11 viikkoa. Paksumpi laatta kuivuu hitaammin, koska kosteuden on kuljettava pidempi matka betonin pintaan, josta se pääsee haihtumaan.



Kuvio 2. Rakenteen paksuuden vaikutus kuivumisaikaan. Betonimassan v/s = 0,7.



Kuvio 3. Rakenteen paksuuden vaikutus kuivumisaikaan. Betonimassan  $v/s = 0,5$ .

5. Massiivinen paikallavalettu teräsbetoni-laatta, jonka paksuus on 200 mm, massan vesisideainesuhte (v/s) on 0,7, laatta ei ole kastunut, lämpötila sisällä on 25 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Laatta kuivuu kahteen suuntaan. Tavoitekosteus on 85 %. Mikä on välipohjan arvioitu kuivumisaika?

Valitaan oikeat kertoimet laskentakaavaan:

$37 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,0 \times 0,7 \times 0,8 = 14,5$ . Kuivumisaika-arvio on noin 15 viikkoa.

6. Massiivinen paikallavalettu teräsbetoni-laatta, jonka paksuus on 200 mm, massan vesisideainesuhte (v/s) on 0,7, laatta on kastunut yli 2 viikkoa, lämpötila sisällä on 25 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Laatta kuivuu kahteen suuntaan. Tavoitekosteus on 85 %. Mikä on välipohjan arvioitu kuivumisaika?

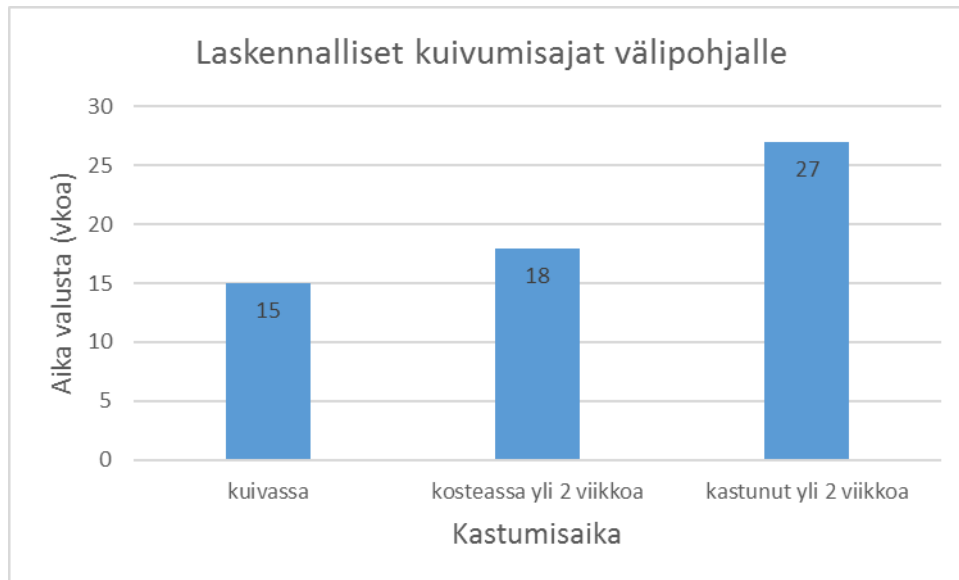
Valitaan oikeat kertoimet laskentakaavaan:

$37 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,5 = 27,2$ . Kuivumisaika-arvio on noin 27 viikkoa.

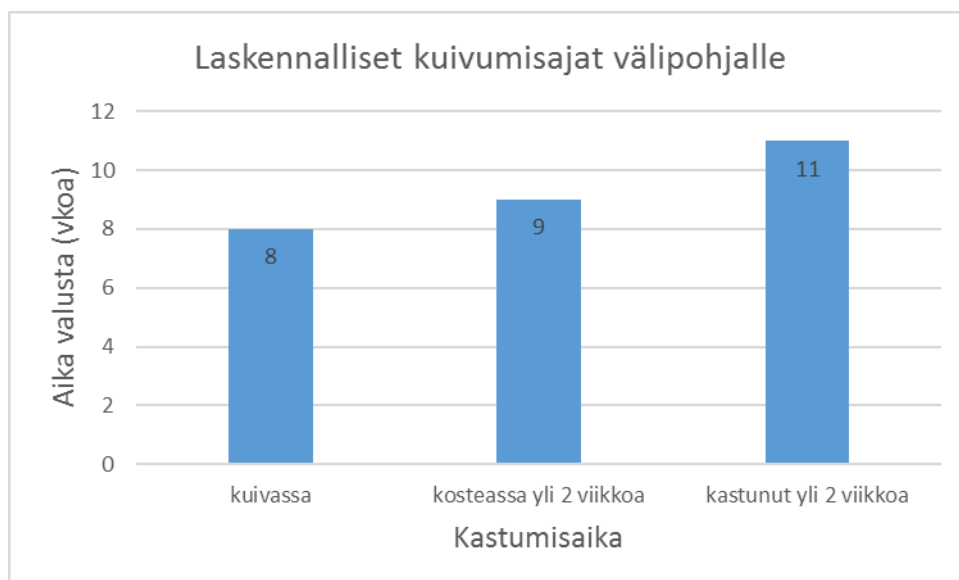
Laskuesimerkeistä 5 ja 6 huomataan, kuinka paljon kuivumisaika-arvioon vaikuttaa paikallavaletun välipohjan kastuminen. Kuivumisaika on noin 27 viikkoa, kun rakenne on kastunut yli 2 viikkoa, kun taas sen ollessa kuivassa kuivumisaika on



14,5 viikkoa (Kuvio 4). Kastunut laatta kuivuu noin 13 viikkoa kauemmin. On tärkeää muistaa poistaa lumi ja vesi betonin pinnasta ja suojata se aikaisessa vaiheessa. Nopeammin kuivuvien betonien pinnan kastumisesta ei ole niin paljon haittaa kuin normaalien betonien, koska ne ovat tiiviimpiä, jolloin vesi ei pääse imeytymään betoniin yhtä helposti (Kuvio 5).



Kuvio 4. Välipohjan kastumisen vaikutus kuivumisaikaan. Betonimassan  $v/s = 0,7$ .



Kuvio 5. Välipohjan kastumisen vaikutus kuivumisaikaan. Betonimassan  $v/s = 0,5$ .

7a. Massiivinen paikallavalettu teräsbetonilaatta, jonka paksuus on 300 mm, massan vesisideainesuhte (v/s) on 0,5, laatta on ollut kosteassa yli 2 viikkoa, lämpötila sisällä on 25 °C ja suhteellinen kosteus 35 %. Laatta kuivuu kahteen suuntaan. Tavoitekosteus on 85 %. Mikä on välipohjan arvioitu kuivumisaika?

Valitaan oikeat kertoimet laskentakaavaan:

$37 \times 0,5 \times 1,3 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,0 = 16,8$ . Kuivumisaika-arvio on noin 17 viikkoa.

7b. Sama laskuesimerkki kuin 7a mutta suhteellinen kosteus on 80 %.

Valitaan oikeat kertoimet laskentakaavaan:

$37 \times 0,5 \times 1,3 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 24,1$ . Kuivumisaika-arvio on noin 24 viikkoa.

8a. Massiivinen paikallavalettu teräsbetonilaatta, jonka paksuus on 300 mm, massan vesisideainesuhte (v/s) on 0,5, laatta on ollut kosteassa yli 2 viikkoa, lämpötila sisällä on 30 °C ja suhteellinen kosteus 35 %. Laatta kuivuu kahteen suuntaan. Tavoitekosteus on 85 %. Mikä on välipohjan arvioitu kuivumisaika?

Valitaan oikeat kertoimet laskentakaavaan:

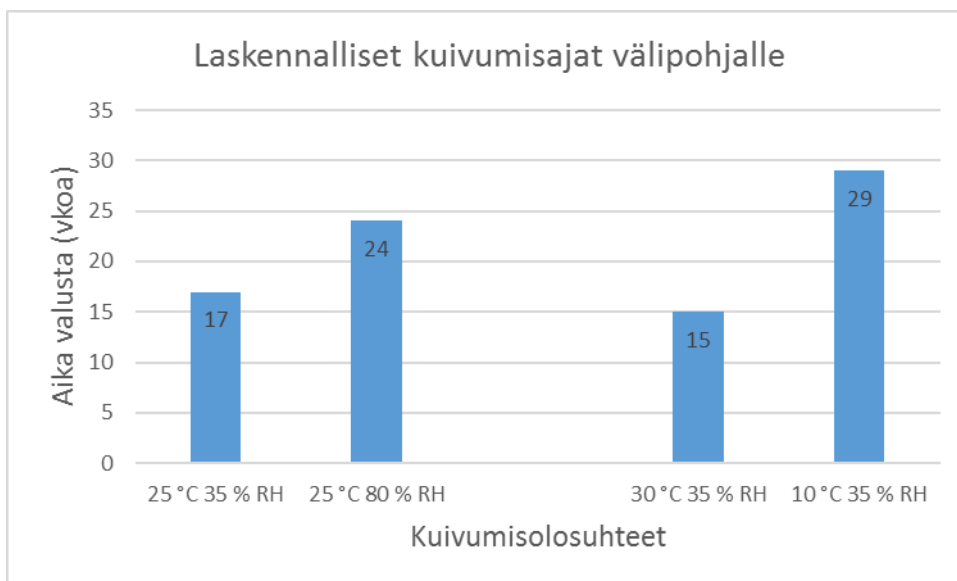
$37 \times 0,5 \times 1,3 \times 1,0 \times 0,6 \times 1,0 = 14,4$ . Kuivumisaika-arvio on noin 15 viikkoa.

8b. Sama laskuesimerkki kuin 8a mutta lämpötila on 10 °C

Valitaan oikeat kertoimet laskentakaavaan:

$37 \times 0,5 \times 1,3 \times 1,0 \times 1,2 \times 1,0 = 28,9$ . Kuivumisaika-arvio on noin 29 viikkoa.

Laskuesimerkeistä 7 – 8 huomataan kuivamisolosuhteiden tärkeys massiivista paikallavalettua välipohjaa kuivattaessa. Suhteellisen kosteuden ollessa 35 % kuivumisaika on noin 17 viikkoa. Kuivumisaika on noin 24 viikkoa suhteellisen kosteuden ollessa 80 % (lämpötila 25 °C). Lämpötilan vaikutus on vielä suurempi. Kun lämpötila on 30 °C kuivumisaika on noin 15 viikkoa ja sen ollessa 10 °C kuivumisaika on 29 viikkoa (Kuvio 6). Kuivumisaikojen erotus on 14 viikkoa. Edellisistä esimerkeistä huomataan kuivamisolosuhteiden tärkeys. Ilman lämpötilan tulee olla vähintään +20 °C ja suhteellisen kosteuden alle 50 %, jotta niiden merkitys betonin kuivumisen kannalta kasvaisi suureksi.



Kuvio 6. Kuivumisolosuhteiden vaikutus kuivumisaikaan

#### 4 Betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaaminen

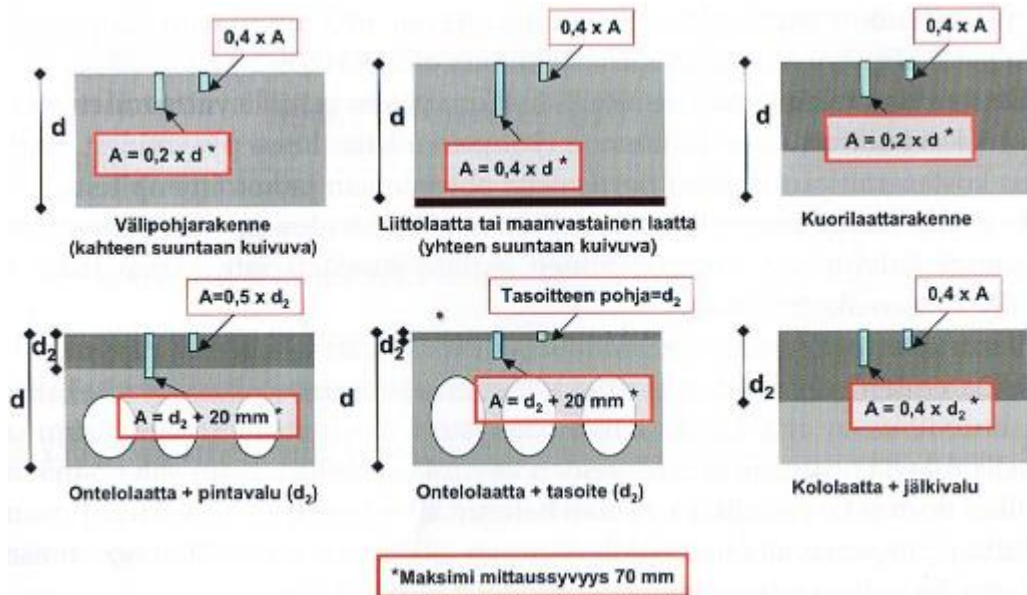
Kun betonirakenne kuivuu, sen pintaosien ja syvempien osien välinen kosteusjakauma on yleensä hyvin jyrkkä. Esimerkiksi 0 – 10 mm syvyydellä suhteellinen kosteus voi olla 30 %, 20 mm syvyydellä 75 %, 50 mm syvyydellä 90 % ja 70 mm syvyydellä yli 95 %. Kuvassa 11 esitetään erilaisten rakennetyyppien kosteusmittaussyvyudet. Arviointisyvyys (A) on rakenneratkaisusta ja rakenteen paksuudesta riippuvainen mittaussyvyys. Päälystemateriaalin vaatima kriittinen suhteellisen kosteuden arvo on alitettava kyseisessä syvyydessä. 70 mm on maksimimittaussyvyys. Lisäksi betonirakenteen pinnasta tehdään mittaus 10 – 30 mm syvyydestä ( $0,4 \times A$ ), jossa suhteellisen kosteuden tulee olla tyypillisesti alle 75 %. (Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinänpäälysteliitto ry 2007, 6.)

Betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaamiseen voidaan käyttää porareikämenetelmää ja näytepalamenetelmää. Porareikämenetelmää käytettäessä betonin lämpötila tulee olla välillä +15 – 25 °C. Jos lämpötila poikkeaa edellä mainitusta, käytetään näytepalamenetelmää. (Merikallio 2002, 23; Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinänpäälysteliitto ry 2007, 7.)

Porareikämenetelmän ohje:

1. Mittapiste valitaan huomioiden rakenneratkaisu, betonilaatu, olosuhteet ja päällystemateriaali.
2. Betonin ja huonetilan lämpötilat tarkastetaan. Betonin lämpötilan tulee olla lähellä rakenteen käyttölämpötilaa, yleensä noin +20 °C.
3. Varmistetaan olosuhteiden pysyminen vakaana mittauspisteen ympärillä mittauksen aikana (porauksesta lukemien ottamiseen). Rakenteen ja yläpuolisen ilman lämpötilanäyttämien ero ei saa olla yli 2 °C.
4. Varmistetaan, että mittauspisteen kohdalla ei ole sähkö- tai vesiputkia (esimerkiksi lattialämmityskaapeleita). Lattialämmitys ei saa olla päällä.
5. Rakenneratkaisu selvitetään ja määritetään mittaussyvyudet.
6. Reiät porataan kuivamenetelmällä. Vähintään kaksi rinnakkaista reikää arviointisyvyydelle, joiden lisäksi yksi reikä lähemmäs pintaa 10 – 30 mm:n syvyydelle.
7. Reiät puhdistetaan huolellisesti porauspölystä.
8. Reiät tiivistetään sivuilta reiän pohjaan ulottuvalla putkella. Putki puhdistetaan imuroimalla. Betonin ja putken rajakohta tiivistetään kitillä ja putken yläpää tulpalla.
9. Mittauspiste suojataan lämpötilavaihteluilta ja muilta häiriöiltä.
10. Reikien annetaan tasaantua vähintään 3 vuorokautta.
11. Mittapäiden tulee olla kunnossa ja kalibroitu.
12. Mittapäiden annetaan tasaantua mittauspistettä ympäröiviin olosuhteisiin ennen reikään asennusta.
13. Mittapääät asennetaan nopeasti ja mittapään ja putken väli tiivistetään huolellisesti.
14. Mittapään annetaan tasaantua mittausräissä mittapään vaatiman ajan. Tasaantumisaika riippuu muun muassa mittapäätyyppistä ja betonilaadusta. Nopeimmatkin mittapääät vaativat vähintään tunnin tasaantumisajan. Vaisala HMP44 vaatii tunnin tasaantumisajan, Vaisala HMP36 ja HMP46 vaativat 4 tunnin tasaantumisajan. Alle tunti ei ole riittävä tasaantumisaika, koska vaadittava lisäys kosteusarvoon ei ole vakio.
15. Mittapäää kiinnitetään näyttölaitteeseen, luetaan suhteellinen kosteus (RH) ja lämpötila (T) sekä kirjataan arvot, mittapäännumero, mittauspisteen sijainti ja mittaussyvyys. Myös huoneilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitataan ja kirjataan arvot.

16. Mittauksesta tehdään raportti, josta ilmenevät tulokset, johtopäätökset, mittaaja, mittausajankohta ja tarkka menetelmäkuvaus mittauksesta. (Merkallio 2002, 30; Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinäpäällysteliitto ry 2007, 7 - 8.)



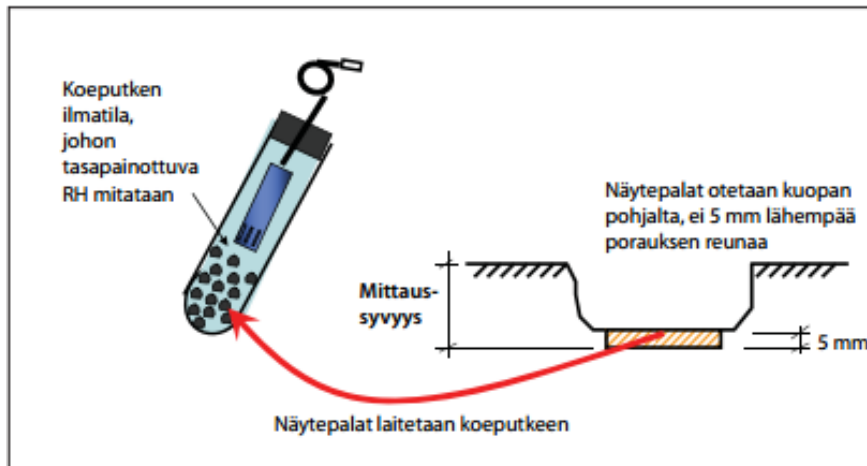
Kuva 11. Kosteusmittausyvydet eri rakenneratkaisuille rakennepaksuuksista riippuen (Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinäpäällysteliitto ry 2007, 6)

Betonin suhteellisen kosteuden mittaus kannattaa tehdä näytepalamenetelmällä, kun betonin lämpötila vaihtelee välillä -20 – 80 °C, olosuhteet ovat epävakait, tulos tarvitaan nopeasti tai halutaan maksimoida mittaustarkkuus. Kuvassa 12 esitetään näytepalamenetelmämittaus. (Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinäpäällysteliitto ry 2007, 8.)

Näytepalamenetelmän ohje:

1. Mittapiste valitaan huomioiden rakenneratkaisu, betonilaatu, olosuhteet ja päällystemateriaali.
2. Varmistetaan, että mittauspisteen kohdalla ei ole sähkö- tai vesiputkia (esimerkiksi lattialämmityskaapeleita). Lattialämmitys ei saa olla päällä.
3. Rakenneratkaisu selvitetään (paksuus, kerroksellisuus) ja määritetään mittaussyvydet.

4. Betoniin tehdään kuivamenetelmällä halkaisijaltaan 50 – 100 mm:n monttu, jonka suora pohja on ylempänä kuin mittaussyvyys (noin 5 mm). Näin ollen irrotettavat betonimuruset ovat mittaussyvyydeltä ja siitä 5 mm ylöspäin.
5. Betoninäytteet piikataan montun pohjalta ja mittaussyvyys tarkistetaan. Näytepaloja ei oteta 5 mm lähempää ringin sisäreunaa porauksen johdosta kohonneen lämpötilan vuoksi.
6. Irrotetut betonikappaleet laitetaan välittömästi koeputkeen ja putken suu suljetaan tiiviisti kitillä. Koeputkeen ei laiteta porauspölyä tai suuria runkoainerakeita. Samasta mittasyvyydestä otetaan vähintään kaksi koeputkelista näytteitä. Koeputken vapaasta tilavuudesta tulee olla vähintään kolmasosa betoninäytteitä, jotta niiden sisällä oleva kosteus tasapainottuu koeputken ilmatilaan. Mittapäiden ja koeputkien tulee tasaantua mittauskohdassa vallitseviin olosuhteisiin ennen mittausta.
7. Mittapään tasaantumisaika määrää (5 – 10 tuntia) koeputkien tasaantumisaajan vakiolämpötilassa. Koeputket suojataan kuljetuksen ajaksi lämpötilamuutoksilta, esimerkiksi lämpölaukussa. Tasaantumisaika pitenee, jos betonin näytteenottohetkiset lämpötilat poikkeavat huomattavasti normaalista. Lujilla betoneilla tasaantumisaika on myös pidempi.
8. Mittapään tiedot, suhteellinen kosteus, lämpötila, mittaussyvydet ja mittauskohta kirjataan ylös tasaantumisen jälkeen.
9. Lopuksi tehdään raportti, josta löytyvät tulokset, johtopäätökset, mittaaja, mittausajankohta ja tarkka menetelmäkuvaus mittauksesta (näytteenottohetki, olosuhteet, lukemienottohetki ja lukemienottolämpötila). (Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinäpäällysteliitto ry 2007, 8 - 9.)



Kuva 12. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus näytepalamenetelmällä (Rakennustieto Oy 2010, 7)

### Lämpötilan vaikutus porareikämittaukseen

Kun mitataan betonin suhteellista kosteutta, lämpötila voi aiheuttaa merkittäviä mittausvirheitä. Mittausvirheitä voivat aiheuttaa betonin lämpötila, jos se on mitaushetkellä eri kuin rakennuksen käyttölämpötila, jos betonin lämpötila on eri kuin mitta-anturin lämpötila mitaushetkellä tai lämpötila muuttuu mittauksen aikana. (Merikallio 2002, 16.)

Jos betonin lämpötila poikkeaa 20 °C asteesta korkeintaan  $\pm 5$  °C astetta, voi lämpötilan aiheuttama mittausvirhe yleensä olla suhteellisen kosteuden arvoon  $\pm 0 - 5$  % yksikköä. Kosteusarvot ovat yleensä todellista alhaisempia, jos lämpötila on alle 20 °C astetta. Jos lämpötila on yli 20 °C astetta kosteusarvot ovat yleensä todellista korkeampia. Mittausvirhe voi olla hyvinkin suuri, jos lämpötila poikkeaa mitaushetkellä edellä mainitusta. (Merikallio 2002, 16.)

Betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus nousee betonin lämpötilan noustessa. Ilman lämpötilan noustessa suhteellinen kosteus laskee vesipitoisuuden pysyessä samana eli ilmiö on päinvastainen kuin mitä tapahtuu betonin huokosten ilmatilassa. Kun betonin lämpötila nousee, huokosten pintaan fysikaalisesti sitoutunut vesi alkaa höyrystyä huokosten ilmatilaan, jolloin ilmatilan vesihöyrypitoisuus kasvaa ja siitä seuraa suhteellisen kosteuspitoisuuden nousu. Jossain vaiheessa lämpötilan noustessa saavutetaan raja, jolloin suhteellinen kosteus lähtee laskemaan eli rakenne kuivuu. Kyseinen ilmiö on riippuvainen

muun muassa betonin hydrataatioasteesta, vesisementtisuhteesta, huokosrakteesta, iästä ja kosteudesta. Betonin suhteellista kosteutta ei pystytä muuttamaan jotain tiettyä lämpötilaa vastaavaksi, koska ei ole pystytty laatimaan riittävän tarkkoja korjauskertoimia. (Merikallio 2002, 16.)

Mittausreikien porausta ja mittausta ennen betonin annetaan jäähtyä rakennuksen käyttölämpötilaan, jos betonia on lämmitetty kuivatuksen vuoksi. Jos näin ei toimita, voi mittausreikään kondensoitua kosteutta rakenteen jäähtyessä, mikäli reiät porataan lämmitettyyn betoniin. (Merikallio 2002, 16.)

Betonin ja mitta-anturin välinen lämpötilaero aiheuttaa suhteellisen kosteuden lukumassa virheen. 5 %-yksikön muutoksen voi aiheuttaa jo 1 °C asteen lämpötilaero. Kyseinen lämpötilaero voi syntyä esimerkiksi, jos ulko-ovi avataan talvella, mittaus tehdään lämmöneristeen läpi tai mitta-anturiin paistaa aurinko. Tulokseksi saadaan todellista alhaisempia arvoja, jos anturi on lämpimämpi kuin mitattava betoni. Jos anturi on mitattavaa betonia kylmempi, saadaan todellista korkeampia arvoja. Ympäristön lämpötilan tulee olla vakaa mittauksen aikana, jotta lämpötilaeroja ei synny. Taulukossa 3 esitetään anturin ja betonin välisen lämpötilaeron aiheuttaman systemaattisen virheen suuruus. Betonin suhteellinen kosteus on 90 % ja lämpötila +20 °C. (Merikallio 2002, 16.)

Lämpötilaero, °C	RH-virhe, %RH
0,1	0,5
0,2	1,0
0,4	2,0
1,0	5,0

Taulukko 3. Betonin ja anturin välisen lämpötilaeron vaikutus suhteellisen kosteuden (RH) arvoon (Merikallio 2002, 16)

## 5 Kosteudenhallinta ja suojaus

Sopivien olosuhteiden luominen työmaalle on rakennustyömaan olosuhdehallinnan tavoite eli rakenteiden kuivuminen suunnitellussa aikataulussa ilman kohtuuttomia lisäkustannuksia. Rakenteiden kastumisen estäminen ja rakennekosteuden kuivaaminen kuuluvat olosuhdehallintaan. (Merikallio 2006, 91.)



Betonirakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen kastumisella on merkittävä vaikutus. Lisäkosteus ei varsinaisesti turmele betonia, mutta se hidastaa betonin kuivumista huomattavasti. Betonin kastuessa yli 2 viikkoa voi betonirakenteen kuivuminen hidastua jopa 20 viikolla olosuhteista riippuen. Ensimmäisen viikon aikana kastumisella ei ole merkittävää vaikutusta paikallavaletun välipohjarakenteen kuivumiselle, mutta jos kastuminen tapahtuu rakenteen kuivumisen alettua, on vaikutus huomattavasti suurempi. (Merikallio 2006, 91.)

Välipohjarakenteen eli holvin kastumisen minimoinnin kannalta on tärkeää saada seuraava kerros mahdollisimman nopeasti tiiviiksi. Holvilla olevien aukkojen ja läpivientien sulkemisella saadaan paikallavalukohteissa holvi helposti tiiviiksi. Esivalmistetut hormielementit edesauttavat läpivientien nopeaa tiivistämistä. Kastumisaikaa saadaan pienennettyä huomattavasti nopealla rungon pystytys-tahdilla, esimerkiksi kerros per viikko. (Merikallio 2006, 91 - 92.)

Rakenteiden mahdollinen kastuminen on huomioitava ympäri vuoden. Sateet voivat kastella keskeneräisiä rakenteita ja rakennustarvikkeita. Kastumisesta aiheutuu materiaalihukkaa ja lisäkuivatusta. Holvibetoniin imeytyy osa holville sata-neesta vedestä, mutta suurin osa voi kulkeutua seinärakenteeseen aiheuttaen paikallisen kosteusrasituksen. Lisäksi viistosade voi kastella voimakkaan tuulen aikana seinärakenteita ja sivuilta suojaamattomat välipohjat. Ikkuna- ja parvekkeiden oviaukot ovat tärkeää suojata mahdollisten sateiden ja kuivumisen kan-nalta. (Merikallio 2006, 92.)

## **6 Kuivatusmenetelmät ja laitteet**

Rakentamisaikana betonirakenteiden kuivatusmenetelminä käytetään esimerkiksi tilakuivausta, imukuivausta, puhalluskuivasta, suljettua kuivausta tai pikakuivausta (Cramo 2016). Paikallavaletun massiivisen välipohjan kuivattamiseen toimivia menetelmiä ovat tilakuivaus ja pikakuivatus, adsorptio- ja kondenssi-kuivaimet, matalalämpölevyt, ja kuivumisen tehostamiseen voidaan käyttää erilaisia pintapuhaltimia. Kuivatuslaitteilla luodaan optimaaliset olosuhteet raken-teen kuivumiselle. Kuivattamisen päämääränä on kosteuden mahdollisimman tehokas ja hallittu poistaminen. (Cramo Finland Oy 2017.)

Lämpötila ja rakennetta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus vaikuttavat huomattavasti kosteuden poistumiseen rakenteista. 50 % sisäilman suhteellinen kosteus, jota pidetään tavoitteena betonirakenteiden kuivumisen kannalta, edellyttää lämpötilaeron saamista sisä- ja ulkoilman välille. Sisäilman suhteellinen kosteus on samaa luokkaa kuin ulkoilman suhteellinen kosteus ja usein jopa korkeampi, jos kohteessa ei ole lämpö päällä. (Merikallio 2006, 93.)

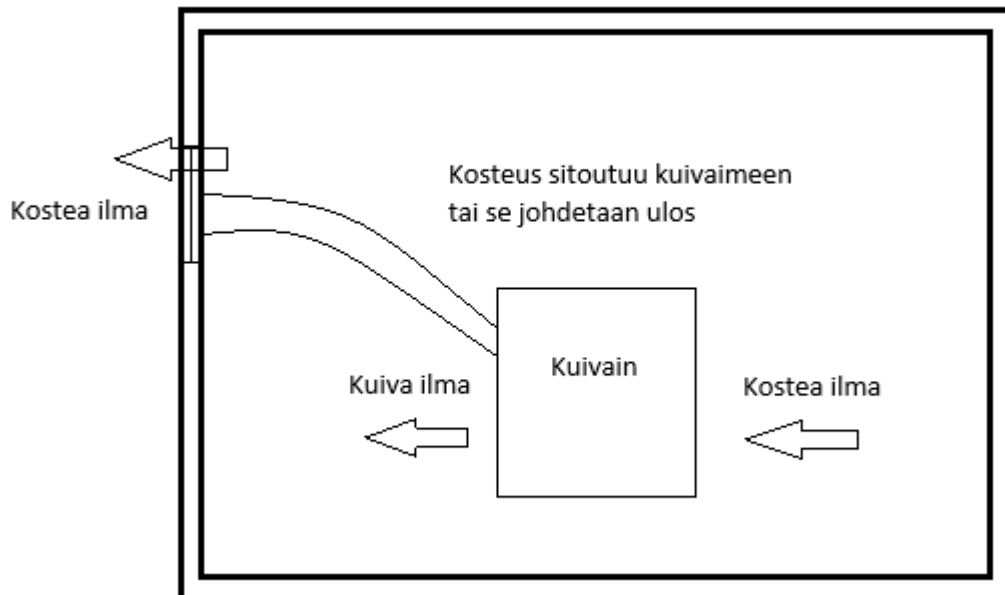
Rakennusmateriaalit pyrkivät kosteustasapainoon ympärillään olevan kosteuden kanssa. Materiaali ei kuivu, jos sitä ympäröivä ilma on kosteampaa. Tämän vuoksi on tärkeää pitää kuivattavan tilan ilman suhteellinen kosteus riittävän alhaisena. Kyseiseen tehtävään on kaksi vaihtoehtoa, joita ovat avoin ja suljettu järjestelmä. (Rakentamisen kosteudenhallinta 2016.)

Hyvät kuivumisolosuhteet saadaan järjestettyä avoimella tai suljetulla järjestelmällä, joiden valintaan vaikuttaa vuodenaika. Rakennuksen sisäilmaa lämmitetään avoimessa järjestelmässä rakennuksen omalla lämmitysjärjestelmällä tai lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmällä. Lämmitetty ilma pystyy imemään itseensä enemmän kosteutta, jota betonirakenteet luovuttavat. Rakennuksen tuuleuksesta on huolehdittava, jotta lämmin ja kostea sisäilma saadaan vaihdettua kuivempaan ulkoilmaan. Avointa järjestelmää käytetään talvisin, koska kylmä ulkoilma on kuivempaa kuin lämmin sisäilma. Rakennuksen sisälle kylmä ulkoilma tulee aukoista ja vuotokohdista. Kostean ilman johdattaminen ulos onnistuu alitai ylipaineistuksella. (Lamminen 2015, 16 - 17.)

Suljettu järjestelmä perustuu rakennuksen tiivistämiseen, jolloin ilma ei pääse vaihtumaan rakennuksessa. Tiivistämisellä huolehditaan, että kosteutta ei pääse ulkoa rakennukseen, muutoin lämpöenergiaa kuluu turhaan myös kostean ulkoilman kuivaamiseen. Ilmaa lämmitetään rakennuksessa, ja ilmankuivaajat keräävät ylimääräisen rakenteista haihtuvan kosteuden pois. Kerätty kosteus poistetaan astioilla tai erillisellä viemärintijärjestelmällä. Suljettua järjestelmää käytetään kesällä ja syksyllä, koska ulkoilman kosteus on suuri, jolloin avoin järjestelmä ei ole tehokas. Suljetun järjestelmän ongelmana on rakennuksen vaipan tiivistäminen, koska sen toteuttaminen on vaikeaa rakennusvaiheessa. (Lamminen 2015, 19.)

## 6.1 Tilakuivaus

Tilakuivaus on suljettu kuivausmenetelmä eli suljettu järjestelmä. Tilakuivaus on prosessi, jossa koneellisia kuivainlaitteita käytetään madaltamaan kuivattavan tilan tai rakennuksen ilman suhteellista kosteutta merkittävästi (Kuva 13). Tarvittaessa voidaan käyttää kuivatuksen tehostamiseen lisälaitteita, kuten lämmittimiä ja puhaltimia. Rakenteet pyrkivät tasapainokosteuteen vallitsevan kuivan ilmassan kanssa, jonka vuoksi rakenteet luovuttavat kosteutta kuivattavaan tilaan. Rakenteiden luovuttaessa kosteutta kuivauslaitteet poistavat sitä tilan ilmasta. Paikallavalettujen välipohjien kuivatuksessa on muistettava sementtiliiman poistaminen hiomalla, koska kaikki sulkevat pinnat estävät kosteuden haihtumista kuivattavaan tilaan. (Cramo Finland Oy 2017; Gles Oy 2012, 1.)



Kuva 13. Tilakuivauksen pääperiaate

Tilakuivauksen onnistumiseen vaikuttaa merkittävästi kuivattavan tilan tiiviys suhteessa ulkoilmaan tai muuhun kuivaustarpeettomaan tilaan. Jos kuivattava tila ei ole tiivis, pääsee ulkopuolelta kosteaa ilmaa tilaan, jolloin vallitseva ilmankosteus pysyy korkealla tasolla ja kuivattavat rakenteet eivät luovuta kosteutta, vaikka kuivainlaitteet erottelevat kosteutta tehokkaasti. Epätiiviyys tarkoittaa käytännössä auki tai raollaan olevia ikkunoita, ovia ja muita läpivientejä, joiden kautta kulkeutuu kosteaa korvausilmaa kuivattavaan tilaan. (Gles Oy 2012, 1 - 2.)

Tilakuivauksessa voi ilmaantua seuraavia ongelmia/virheitä:

1. Kuivattavien rakenteiden pintoja ei ole hiottu sementtiliimasta, tasoitteista tai pinnoitteista.
2. Kuivattava tila ei ole tiivis vaan kosteaa ilmaa pääsee virtaamaan ulkoa tai muusta kosteasta tilasta.
3. Kosteus on poistettu väärin. Kuivaimien poistoletkuja ei ole liitetty tai ne ovat ohjattu ulos väärin, siten että kuivattavaan tilaan pääsee kosteaa ilmaa ulkoa.
4. Kuivattavan tilan lämpötila- ja kosteusolosuhde eivät täsmää kuivainlaite-tyyppin kanssa.
5. Kuivainlaitekapasiteettia ei ole laskettu oikein.
6. Kuivaimien suodattimia ja roottoreita ei ole puhdistettu.
7. Ilma ei tasaannu kuivattavassa tilassa.
8. Lisäilmansiirtimiä (puhaltimia) ei ole asennettu. (Gles Oy 2012, 3.)

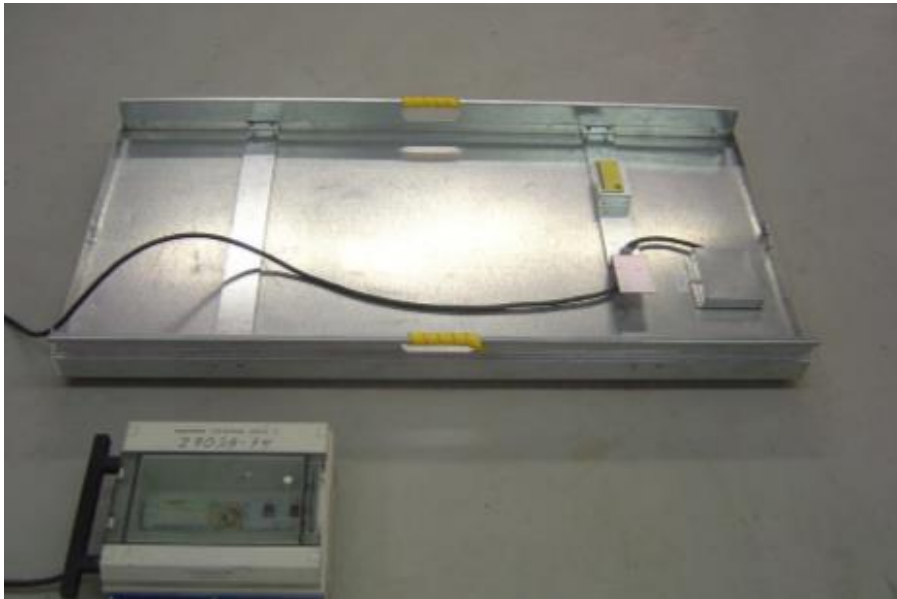
## **6.2 Pikakuivatus**

Pikakuivatuksen tarkoituksena on lämmittää kuivattavaa rakennetta suoraan. Rakenteen lämmittäminen onnistuu erilaisilla lämpösäteilijöillä tai valun sisään asennetuilla lankalämmittimillä. Rakenteen lämmitessä kuivumisnopeus kasvaa. Pikakuivatuksessa ilmanvaihto onnistuu avoimella järjestelmällä tai suljetulla järjestelmällä käyttämällä ilmankuivamia poistamaan kosteutta sisäilmasta. Ulkolämpötilan perusteella valitaan tehokkaampi tapa. Avoin järjestelmä on kustannustehokkaampi talvella kylmän ja kuivan ulkoilman vuoksi. Suljettua järjestelmää käytetään kesällä, sillä lämmin ulkoilma on jo valmiiksi kosteaa. Lämmitysenergiaa ei haluta tuhjata kostean ulkoilman kuivaamiseen. Tehostetusta lämmityksestä ei ole hyötyä, jos ilman suhteellinen kosteus pääsee kasvamaan liian suureksi, koska rakenteet eivät pääse kuivumaan. (Lamminen 2015, 23.)

## **6.3 Matalalämpölevyt**

Matalalämpölevyjen toiminta perustuu kuivattavan rakenteen täsmälliseen lämmittämiseen, jossa rakenteen pinta lämmitetään 40 – 60 °C asteeseen. Kuivattavan materiaalin ja ympäröivän ilman välille pyritään saamaan mahdollisimman

suuri höyryn osapaineen ero. Levyissä on ajastin, jolla lämmitystä katketaan sopivissa ajan jaksoissa. Rakenteen pinnan viilenemistä voidaan tehostaa tuuletuksella. Rakenteen syvempien osien ja pinnan välille muodostuva lämpötilaero saa kosteuden liikkumaan pienemmän lämpötilan eli alemman höyryn osapaineen suuntaan. Matalalämpölevyjä käytetään yhdessä ohjauskeskuksen kanssa, johon voi liittää usean levyn (Kuva 14). (Cramo Finland Oy 2017.)



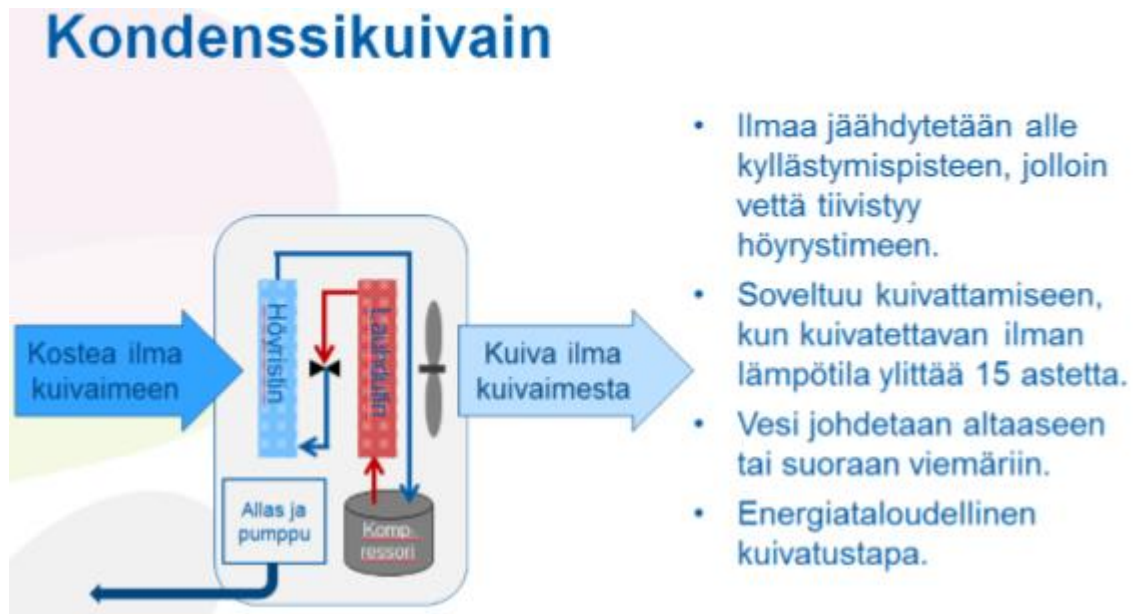
Kuva 14. Matalalämpölevy ja ohjauskeskus (Cramo Finland Oy 2017)

#### **6.4 Ilmankuivaimet ja puhaltimet**

Kostea sisäilmaa ja rakenteista haihtuvaa kosteutta kuivattaessa voidaan käyttää erilaisia ilmankuivaimia, kuten kondenssi- ja adsorptiokuivaimia. Edellä mainittuja kuivaimia käytetään tilakuivauksen yhteydessä. Kuivaimet valitaan niiden toimintaperiaatteiden suosimien olosuhteiden mukaan. Ilmankosteus ja lämpötila vaikuttavat merkittävästi kuivaimen valintaan, jotta kuivattaminen saadaan riittävän tehokkaaksi. Kuivattamisen tehostamiseen käytetään erilaisia puhaltimia, joita ovat aksiaali- ja radiaalipuhaltimet, jotka saavat ilman liikkumaan kuivattavassa tilassa. (Cramo Finland Oy 2017.)

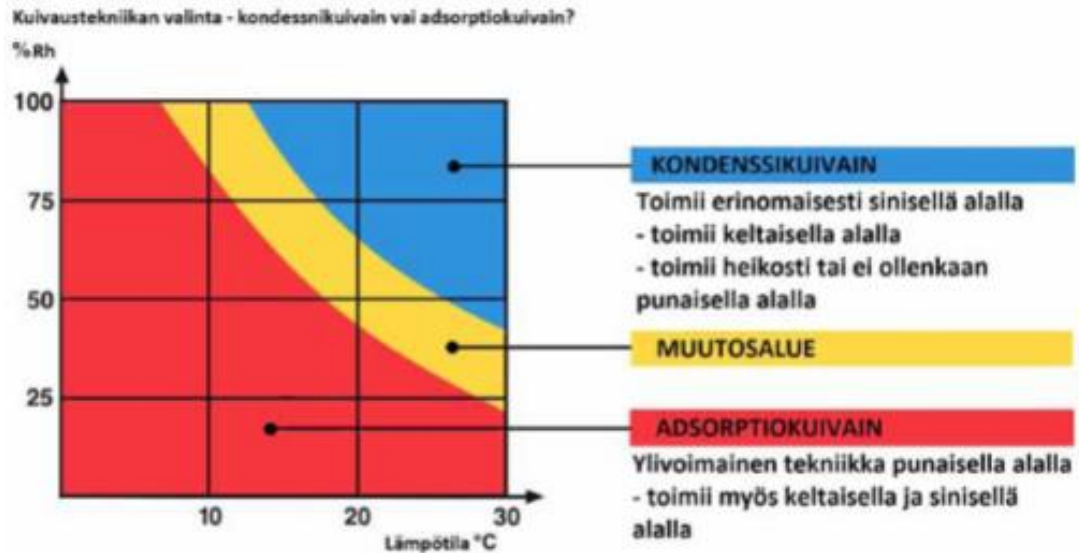
Kondenssikuivaimen toiminta perustuu kosteuden erotteluun ilmasta. Kuivaimen toiminta perustuu laitekompessoriin, laitepuhaltimeen, kylmäaineputkiin sekä kylmäaineeseen ja sulatusjärjestelmään. (Strong Finland Oy 2017b.) Kondenssi-kuivain on erittäin tehokas kosteissa olosuhteissa, joissa lämpötila on noin +20 –

30 °C mutta ilman suhteellisen kosteuden arvon laskiessa sen kosteudenerottelukyky heikkenee merkittävästi, vaikka rakenteet edelleen luovuttavat kosteutta. Kondenssikuivain toimii hyvin tiloissa, joissa kostea ilmaa ei pystytä johtamaan ulos ja se sopii myös tiloihin, joissa työskennellään ja asutaan samanaikaisesti kuivatuksen aikana. On tärkeää muistaa pitää laitesuodattimet puhtaana, ja kondensoitua vesi tulee ohjata pois laitteesta. (Cramo Finland Oy 2017; Gles Oy 2012, 2 - 4.) Kuvassa 15 esitetään kondenssikuivaimen toimintaperiaate.



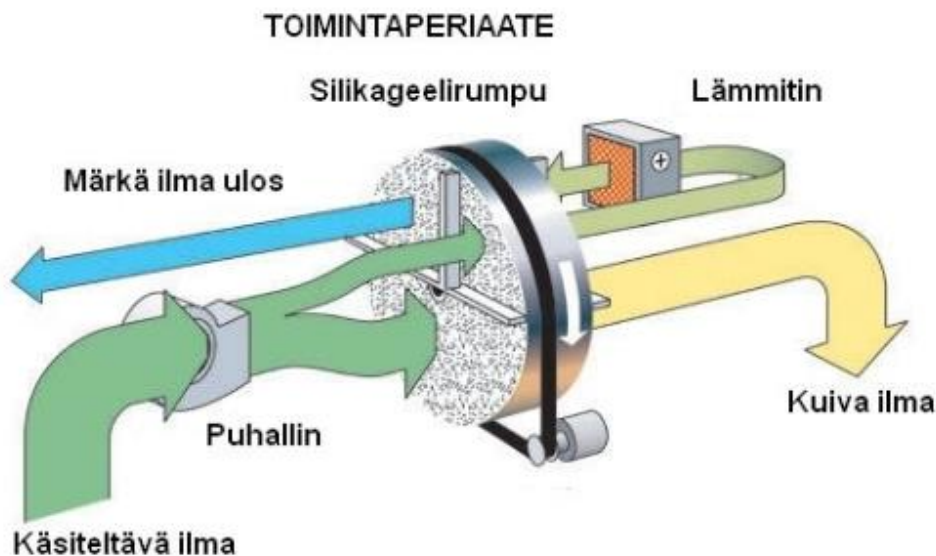
Kuva 15. Kondenssikuivaimen toimintaperiaate (Lamminen 2015, 22)

Adsorptiokuivain on kokonaisvaltaisempi kuivainlaite kuin kondenssikuivain, sillä se toimii tehokkaasti lähes kaikissa olosuhteissa (Kuva 16). Adsorptiokuivaimen toiminta perustuu laitepuhaltimen, lämmitysvastusten ja keraamisen silikageeliroottorin yhteistoimintaan. Kuivain poistaa kosteutta ilmasta kemikaalien avulla. Kuivaimen eroteltu vesihöyry ohjataan erillisellä poistoletkulla ulos kuivattavasta tilasta ja kuivunut ilma puhalletaan takaisin tilaan. Kuivailmaa saadaan tuotettua runsaasti kyseisellä laitteella, jolloin rakenteet voidaan kuivata aina haluttuun tasepainenokosteuteen saakka. (Cramo Finland Oy 2017; Strong Finland Oy 2017a.)



Kuva 16. Kondenssikuivaimen tai adsorptiokuivaimen valinta olosuhteiden perusteella (Gles Oy 2012, 4)

Adsorptiokuivaimessa on hyvä olla usea kuivailmaulostulo, jolloin kuivailmaa saadaan ohjattua useampaan paikkaan. Puhaltimilla voidaan helposti ohjata laitteen tuottamaa kuivailmaa haluttuun suuntaan kuivattavassa tilassa. Adsorptiokuivain tuottaa myös lämpöä jonkin verran. Tyypillinen virhe adsorptiokuivaimen käytössä on poistoletkun päänsijoittaminen avoimeen ikkunaan. Ikkunaa ei ole ”tulpattu” eli tiivistetty. Poistoletku tulee johtaa ulos vain letkun kokoisesta aukosta, sillä muuten ikkunasta tulee jatkuvasti kuivattavaan tilaan kosteaa ulkoilmaa ja mahdollisesti kertaalleen tilasta poistettu kosteus voi ohjautua putken päästä takaisin sisälle. (Gles Oy 2012, 2 - 5.) Kuvassa 17 esitetään adsorptiokuivaimen toimintaperiaate.



Kuva 17. Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate (ASTQ Supply House Oy 2017)

Ilmansiiroimillä eli aksiaali- ja radiaalipuhaltimilla tehostetaan kuivatun ilman liikumista kuivattavassa tilassa ja kuivattavien rakenteiden pinnoilla. Ilmaa liikutetaan kokonaisvaltaisesti tilassa tai sitä voidaan kohdentaa johonkin kuivailmavirtausta vaativaan kohtaan tai katvealueeseen aksiaalipuhaltimilla. Radiaalipuhaltimilla tuotetaan suuri ilmanpaine kulkemaan tasopinnoilla, kuten lattioilla, jotka halutaan kuivata. Rakenteiden kuivuminen nopeutuu, kun laminaarinen ilmavirtaus rikkoo kostean ja kuivemman ilman välisen rajapinnan, joka on lähellä kuivattavan rakenteen pintaa. Kuivattavat tilat on pidettävä puhtaana, koska puhaltimet nostavat rakennuspölyä ilmaan. Toinen haittavaikutus on niiden pitämä, varsinkin radiaalipuhaltimen, kohtalaisen kova meteli. Liitteestä 2 löytyy kuivaimien ja puhaltimien kuvia ja teknisiä tietoja. (Cramo Finland Oy 2017; Gles Oy 2012, 3.)

### **Kuivauksen tehostus**

Tilakuivausta voidaan tehostaa lisälämmittimien ja ilmansiiroimien lisäksi myös pienentämällä kuivattavaa tilaa osastoimalla sitä. Isoa huone- tai hallitilaa voidaan osastoida esimerkiksi väliseinillä tai korkeissa tiloissa rakentamalla väliaikainen katollinen osastointitila kuivattavan tilan päälle. Rakennusvaiheessa olevassa kiinteistössä, esimerkiksi kerrostalossa, ei ole asennettu ovia eri tilojen välille, jotta ne eivät ole tiellä ja pysyisivät ehjinä. Oviaukkoihin voidaan asentaa



väliaikaiset ovet, jos suuresta tilasta halutaan kuivata vain tiettyä osaa. (Gles Oy 2012, 5.)

Kuivattavan tilan osastoinnin merkitys kasvaa, kun halutaan vain tietyn rakenteen tai alan rakenteista kuivuvan, mutta tilan kuutiotilavuus on suuri. Esimerkiksi jos kuivaimilla halutaan kuivata korkean hallin betonilattia, pitää laitekapasiteetti periaatteessa laskea koko tilan kuutioiden ( $m^3$ ) mukaan. Ilmansiirtimillä kuten radiaalipuhaltimilla kuivaa ilmaa ohjaamalla lattiapintaa pitkin voidaan kuivatusta hie- man manipuloida korkeissa tiloissa. Laitekapasiteetin täytyy olla tarpeeksi suuri kookkaissa tiloissa. (Gles Oy 2012, 5.)

### **Laitekapasiteetin laskenta**

Laitekapasiteetin laskennassa määritetään, suoritetaanko tilakuivaus kondenssi- vai adsorptiokuivaimella. Kuivainlaitetyypin valinnan jälkeen lasketaan kuivatta- van tilan kuutiotilavuus. Seuraavaksi lasketaan, millaisia kuivaimia tarvitaan. Las- kuihin tarvitaan kuivaimen tiedot prosessi-ilmamäärästä ja laitetyypimäärästä. Adsorptiokuivaimen laitevalmistaja ilmoittaa laitteen prosessi-ilmamäärän. Kapa- siteettia laskettaessa jaetaan ilmoitettu ilmamäärä 2:lla. Näin saadaan kuutio- määrä, johon kapasiteetti riittää tehokkaasti. (Gles Oy 2012, 6.)

#### Laskuesimerkki 1

Kuivattava tila on  $500 m^2$ , huonekorkeus on  $3 m = 1500 m^3$

Adsorptio kuivaimen prosessi-ilmamäärä esimerkiksi  $500 m^3$

Tilaan soveltuva kapasiteetti  $500 m^3 / 2 = 250 m^3$

Kuivaimia tarvitaan  $1500 m^3 / 250 m^3 = 6$  kpl

Kondenssikuivaimen kapasiteettia laskettaessa, jaetaan valmistajan ilmoittama ilmamäärä lämpötilasta riippuen 4:llä ( $+ 20\text{ °C}$ ) tai 3:lla ( $+ 30\text{ °C}$ ). Näin saadaan tehokas laitekapasiteetti. (Gles Oy 2012, 6.)

#### Laskuesimerkki 2

Kuivattava tila  $500 m^3$

Kondenssikuivaimen prosessi-ilmamäärä  $500 m^3$

Tilaan soveltuva kapasiteetti, lämpötila  $+ 20\text{ °C}$  niin  $500 m^3 / 4 = 125 m^3$

Kuivaimia tarvitaan  $500 \text{ m}^3 / 125 \text{ m}^3 = 4$  kpl

Jos lämpötila on + 30 °C niin tilaan soveltuva kapasiteetti on  $500 \text{ m}^3 / 3 = 167 \text{ m}^3$

Kuivaimia tarvitaan  $500 \text{ m}^3 / 167 \text{ m}^3 = 3$  kpl. Lämpötilakasvu parantaa kapasiteettia noin 25 %.

## **7 Vuodenajan merkitys kuivatuksessa**

Lämpötilaeron saaminen sisä- ja ulkoilman välille on kesällä huomattavasti vaikeampaa kuin talvella, minkä vuoksi sisäilman suhteellinen kosteus on vaikeampaa saada alhaisemmaksi. Sisäilman suhteellinen kosteus voi olla hyvinkin korkea kesällä ulkoilman korkean kosteussisällön vuoksi. Jos sisäilman kosteuslisä nousee suureksi ja ulkoilma on sisäilmaa lämpöisempää, voi suhteellinen kosteus nousta sisäilmassa niin korkeaksi, että rakenteet eivät kuivu enää vaan ne voivat jopa kostua. (Merikallio 2006, 93.)

Jos betonirakenteiden kuivatusaika ajoittuu kesälle, kun ulkoilma on lämmintä ja kosteaa, koneellisilla kuivaimilla (ilmankuivaajat, kosteudenerottimet ja kosteudenkerääjät) voidaan laskea sisäilman suhteellista kosteutta. Ulkoa tulevan kostean ilman määrä minimoidaan eli kuivatettava tila suljetaan tiiviisti, jotta kuivaimien toiminta kohdistuu rakenteista haihtuvan kosteuden poistamiseen. Kuivaimet pitävät rakenteita ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden alhaisena. Näin ilma pystyy ottamaan vastaan rakenteista haihtuvaa kosteutta. (Merikallio 2006, 93.)

Pelkästään kuivaimet eivät tehosta kosteuden siirtymistä syvemmillä rakenteesta. Rakenteiden tehokas kuivuminen edellyttää lämpöä ja ilman kiertoa ilman lämpökerrostumien estämiseksi kuivaimia käyttäessä. Kuivaimia tarvitaan, jos sisäilmaa ei saada ulko- ja sisäilman lämpötilaerolla kuivaksi. Sisäilmasta tehtävillä kosteus- ja lämpötilamittauksilla voidaan määrittää kuivaimien käyttötarve. (Merikallio 2006, 93 - 94.)

Talviaikaan rakenteet kuivuvat parhaiten lämmittämällä sisäilmaa. Lämpö siirtää kosteutta pois rakenteista ja sisäilma pysyy tarpeeksi kuivana vastaanottamaan rakenteista haihtuvaa kosteutta. Varsinaista tuuletusta ei tarvitse järjestää kos-

teuden poistamiseksi, sillä rakennusvaiheessa rakennuksessa on yleensä riittävästi aukkoja kosteuden poistumiselle. Energiakulutuksen kannalta aukkojen määrä pitää minimoida, jotta lämpöä ei karkaa turhaan. Kosteuden tiivistymisen estämiseksi rakennuksen kylmiin pintoihin tulee osastoittain lämmitetty tila tiivistää huolella, jotta lämmin ilma ei pääse kulkemaan kylmiin tiloihin. (Merikallio 2006, 94.)

Syksyllä ja keväällä lämpötilan nostolla ja tehostetulla ilmanvaihdolla voidaan tehostaa rakenteiden kuivumista. Tarvittaessa voidaan käyttää ilmankuivaimia, jos sisäilman suhteellisen kosteuden arvo on korkea. Pintapuhaltimet tehostavat rakenteiden kuivumista entisestään. (Merikallio 2006, 94.)

### **Olosuhteiden seuranta**

Työmaan ja kuivattavan tilan olosuhteita seurataan lämpö- ja kosteusmittareilla. Tarkkaa seurantaa tehdään etäluettavilla jatkuvatoimisilla olosuhdehallintalaitteilla. Ne säädetään mittaamaan halutun aikavälein lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvon. Nämä niin sanotut loggerit toimittaa yleensä kosteudenhallintaan erikoistunut ulkopuolinen yritys. Olosuhteiden seurannalla voidaan luoda paremmat kuivumisolosuhteet rakenteille. Tarvittaessa sisäilman suhteellista kosteutta lasketaan ilmankuivaimilla ja parannetaan ilman liikkuvuutta puhaltimilla. (Cramo Finland Oy 2017.)

Rakenteiden kuivumista seurataan porareikä- ja näytepalamittauksella. Kuivattamisen aloituksen ja rakennuksen vaipan sulkemisen jälkeen tehdään ensimmäinen mittaus. Rakenteen lähtökosteus saadaan selville ja voidaan arvioida rakenteen vaatimaa kuivumisaikaa. Mittauksia tehdään esimerkiksi 2 viikon välein (Liite 3). Mittaustulosten perusteella seurataan rakenteen kuivumisen kehitystä ja tarvittaessa parannetaan kuivumisolosuhteita. Viimeinen ja virallinen kosteusmittaus tehdään ennen kuin ryhdytään päällystämään betonirakenteita. Sen suorittaa ulkopuolinen taho. (Merikallio 2006, 94.)

## 8 Johtopäätökset

Opinnäytetyön perusteella selvisi, että betonirakenteita kuivattaessa vuodenaika vaikuttaa kuivatusmenetelmien ja ratkaisujen valintaan. Talvella ja kesällä käytetään eri menetelmiä, joilla luodaan mahdollisimman hyvät kuivumisolosuhteet rakenteille.

Talvella paikallavaletun betonisen välipohjan kuivattamiseen on järkevää käyttää avointa järjestelmää kuivan ulkoilman vuoksi. Talvella se on kustannustehokkaampi tapa kuin suljettu järjestelmä. Rakenteet kuivuvat parhaiten lämmittämällä sisäilmaa. Lämmitykseen käytetään yleensä lisälämmittämiä, kuten lämpöpuhaltimia, jotka toimivat esimerkiksi öljyllä tai sähköllä. Lämpö siirtää kosteutta pois rakenteista ja sisälle johdettu lämmennyt kuiva ulkoilma vastaanottaa rakenteista haihtuvaa kosteutta. Kosteus poistuu rakentamisvaiheessa olevasta rakennuksesta aukkojen kautta. Aukkojen määrä pitää minimoida, jotta lämpöä ei pääse karkaamaan liikaa, jolloin energiankulutus kasvaisi.

Toinen vaihtoehto välipohjien kuivatukseen talvella voisi olla matalalämpölevyt mutta niillä koko välipohjan kuivaaminen ei ole kannattavaa. Niitä tarvittaisiin paljon, ja ne olisivat sisätyövaiheiden tiellä. Ne sopivat paremmin pienemmille alueille, esimerkiksi kuivaamaan vesivahinkoalueita.

Tilakuivaus on toimivin ja tehokkain kuivatusmenetelmä paikallavaletulle betoniselle välipohjalle kesäaikaan. Koneellisilla kuivaimilla madalletaan kuivattavan tilan ilman suhteellista kosteutta ja luodaan näin optimaaliset kuivumisolosuhteet välipohjalle. Haihtumista voidaan tehostaa käyttämällä puhaltimia, jotka saavat ilman liikkumaan tilassa etenkin kuivattavien rakenteiden pintoja pitkin. Tilakuivatuksen onnistumisen kannalta on tärkeää, että kuivattava tila on tiivis eli kaikki epätiiviyshkohdat, kuten ikkunat, ovet ja läpiviennit pitää sulkea, jotta kosteaa korvausilmaa ei pääse kulkeutumaan sisälle niiden kautta. Kosteaa ulkoilmaa ei haluta sisälle, koska kuivaimien toiminta halutaan kohdistaa vain rakenteista haihtuvan kosteuden poistamiseen.

Lämpö on merkittävä tekijä betonin kuivatuksessa. Betoni kuivuu huomattavasti nopeammin, kun lämpötila on + 30 °C, + 10 °C sijaan, joka todettiin laskuesimerkissä. Korkeat lämpötilat voivat kuitenkin aiheuttaa lujuudenkatoa ja halkeilua

nuoressa betonissa, joten betonin lämpötilaa tulee seurata. Lisäksi lämpötila vaikuttaa betonin suhteellisen kosteuden arvoon ja porareikämittaukseen. Lämpötilan vaihtelut voivat aiheuttaa huomattavia virheitä mittaustuloksiin.

Betonirakenteiden kuivatus on taloudellisesti ja ajallisesti tehokasta ja kannattavaa, jos se aloitetaan ajoissa ja eri kuivatusmenetelmiin ja ratkaisuihin on perehdytty kunnolla. Mikäli betonirakenteita ei saada kuivaksi ja aikataulusta jäädään jälkeä, se voi aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia rakennusyritykselle. Betonirakenteiden kuivattaminen vaatii kuitenkin paljon aikaa ja tuottaa siten kustannuksia, joten on tärkeä tietää, mikä vaadittu kuivuustaso on. Turha ylimääräinen kuivattaminen ei ole taloudellisesti järkevää.

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa ei ole selkeitä määritelmiä tai ohjeita siitä, mitä riittävä kuivuminen tarkoittaa. Edellytetään, että kosteille rakenteille on annettava kuiva-arvo tai niitä on kuivatettava riittävästi, ennen kuin ne päällystetään kuivumista hidastavalla ainekerroksella. Betonin tulee olla niin kuiva, että kosteusvaurioita ei pääse syntymään. Lattiapäällystemateriaalien asennusohjeissa ja alan yleisissä ohjeissa, kuten SisäRYL 2000:ssa löytyy päällystemateriaalikohtaisia betonin sallittuja kosteusarvoja päällystämishetkellä. Eri ohjeissa ja julkaisuissa voi olla huomattavia eroja saman päällystemateriaalin kosteusraja-arvoissa. Kosteusraja-arvoilla on merkittäviä vaikutuksia betonirakenteilta vaadittavaan kuivumisaikaan. Korkea kosteusraja-arvo voi aiheuttaa myöhemmin kosteusvaurion, josta seuraa toiminnallisia, taloudellisia ja mahdollisesti terveydellisiä haittoja. Alhainen kosteusraja-arvo voi aiheuttaa päällystämistöiden viivästyksen, josta voi seurata huomattavia lisäkustannuksia.

Rakennusfysikaalisia laskelmia betonirakenteiden kuivumisajoista ja rakennuskosteusmittauksia on kehitettävä jatkuvasti, jotta saadaan varmuus kuivasta rakenteesta. Käytännön lisätutkimuksilla eli eri kuivatusmenetelmien käytöllä voidaan tutkia tarkemmin, kuinka nopeasti kosteus poistuu betonista ja näin tarkentaa kuivumisaikoja. Erilaisia kuivatusmenetelmiä voitaisiin testata betonikappaleille tilassa, jossa on vakio-olosuhteet.

## **Kuviot**

- Kuvio 1. Vesisideainesuhteen vaikutus kuivumisaikaan, s. 22
- Kuvio 2. Rakenteen paksuuden vaikutus kuivumisaikaan, s. 23
- Kuvio 3. Rakenteen paksuuden vaikutus kuivumisaikaan, s. 24
- Kuvio 4. Välipohjan kastumisen vaikutus kuivumisaikaan, s. 25
- Kuvio 5. Välipohjan kastumisen vaikutus kuivumisaikaan, s. 25
- Kuvio 6. Kuivumisolosuhteiden vaikutus kuivumisaikaan, s. 27

## **Kuvat**

- Kuva 1. Seosveden jakautuminen betonissa, s. 7
- Kuva 2. Huokoisen kappaleen kuivuminen ajan funktiona, s. 9
- Kuva 3. Kiinteän aineen, huokosten ja kosteuden jakautuminen betonissa sekä kosteuspitoisuuden  $u$  ja kosteussisällön  $W$  laskentakaavat, s. 11
- Kuva 4. Betonin hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä, s. 12
- Kuva 5. Betonin K25 hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä, s. 12
- Kuva 6. Betonin suhteellisen kosteuden ja kosteuspitoisuuden suhde, s. 13
- Kuva 7. Betonin ja parketin välinen tasapainotila, s. 14
- Kuva 8. Kosteuden siirtyminen erilaisissa rakenneratkaisuissa, s. 15
- Kuva 9. Suhteellisen kosteuden ja ympäristön lämpötilan vaikutus betonista K30 haihtuvan veden määrään, s. 16
- Kuva 10. Betonin kuivumisen ja pinnan kutistuman välinen yhteys, s. 19
- Kuva 11. Kosteusmittausvyvydet eri rakenneratkaisuille rakennepaksuuksista riippuen, s. 29
- Kuva 12. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus näytepalamenetelmällä, s. 31
- Kuva 13. Tilakuivauksen pääperiaate, s. 35
- Kuva 14. Matalalämpölevy ja ohjauskeskus, s. 37
- Kuva 15. Kondenssikuivaimen toimintaperiaate, s. 38
- Kuva 16. Kondenssikuivaimen tai adsorptiokuivaimen valinta olosuhteiden perusteella, s. 39
- Kuva 17. Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate, s. 40

## **Taulukot**

- Taulukko 1. Kutistuma laatoituksen jälkeen, s. 20

Taulukko 2. Päälysteiltä ja pintarakennejärjestelmiltä edellytetty muodonmuutoskyky, s. 20

Taulukko 3. Betonin ja anturin välisen lämpötilaeron vaikutus suhteellisen kosteuden (RH) arvoon, s. 32

## Lähteet

ASTQ Supply House Oy 2017. Kosteudenhallinta, jäähdytys, lämmitys ja jvt. AT 30 adsorptiokuivain. [http://www.astq.fi/tuotteet/adsorptiokuivaimet/at\\_30\\_adsorptiokuivain/](http://www.astq.fi/tuotteet/adsorptiokuivaimet/at_30_adsorptiokuivain/). Luettu 20.4.2017.

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. 2. painos. Saarijärvi: Rakennustieto Oy.

Cramo 2016. Palvelut & Ratkaisut. Kuivauspalvelut. <http://www.cramo.fi/Web/Core/Pages/Article.aspx?id=9468&epslanguage=Fi>. Luettu 8.11.2016.

Cramo Finland Oy 2017. Jari Oksman, haastattelu 14.2.2017.

Gles Oy 2012. Kuivausohje. Lyhyt ohjeistus rakennuksen koneellisesta tilakuivauksesta. [http://www.gles.fi/pdf/GLES\\_kuivausohje.pdf](http://www.gles.fi/pdf/GLES_kuivausohje.pdf). Luettu 28.3.2017.

Lamminen, S. 2015. Betonirakenteiden kuivumisen aikamallien testaus. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Merikallio, T. 2009. Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa. Teknillinen korkeakoulu. Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos. Väitöskirja. <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/4656/isbn9789512299577.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 12.2.2017.

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

Merikallio, T. 2006. Kestävä kivitalo. Betonin kosteuden hallinta. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille 2004. Kosteus. Rafnet-oppimateriaalin teoriaosan osio K (Kosteus). [http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/tal-rakjatko/kosteus\\_27092004.pdf](http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/tal-rakjatko/kosteus_27092004.pdf). Luettu 12.2.2017.

Rakennusliike Evälahti Oy 2017. Evälahti. Yritys. Rakennusliike Evälahti Oy monipuolinen ja arvostettu rakennusliike. <https://www.evalahti.com/fi/yritys>. Luettu 12.1.2017.

Rakennustieto Oy 2010. RT 14-10984. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. Rakennustietosäätiö RTS.

Rakentamisen kosteudenhallinta 2016. Kuivatuksen suunnittelu ja toteutus. <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimet/kuivatus/kuivatuksen-suunnittelu-ja-toteutus>. Luettu 8.11.2016.

Strong Finland Oy 2017a. Kuivaimet. Adsorptiokuivain. <http://kuivain.fi/kuivaimet/adsorptiokuivain/>. Luettu 19.4.2017.



Strong Finland Oy 2017b. Kuivaimet. Kondenssikuivain. <http://kuivain.fi/kuivaimet/kondenssikuivain/>. Luettu 19.4.2017.

Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinäpäällysteliitto ry. 2007. Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. 3. painos. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

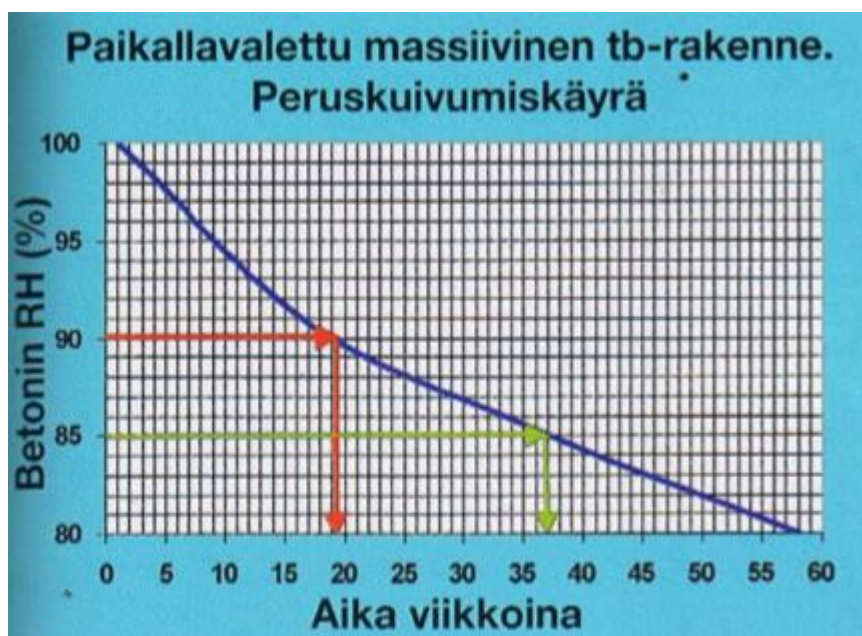
Suomen Betoniyhdistys ry. 2004. Betonitekniikan oppikirja. 7. painos. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

## Kuivumisaika-arvion laskentaohje

Betonirakenteiden kuivumisen arviointiohjeiston avulla voidaan laskea kuivumisaika-arviot yleisimmille betonilattia- ja seinärakenteille. Tässä ohjeessa on peruskuivumiskäyrä (Kuva 1) ja muunnoskertoimet (Kuva 2) massiiviselle teräsbetonirakenteelle, mitä voidaan soveltaa lattiaihin ja seiniin. (Merikallio 2002, 38.)

Käyttöohje kuivumisaika-arviota varten:

1. Valitaan rakenne.
2. Määritetään tavoitekosteus (betonin suhteellinen kosteus).
3. Katsotaan peruskuivumiskäyrästä tavoitekosteutta vastaava aika viikkoina.
4. Kerrotaan peruskuivumisaika eri kertoimilla. Kertoimet ovat vesisideainesuhde, rakenteen paksuus, kuivumissuunta, kuivumisolosuhteet ja kastumisaika.
5. Tulokseksi saadaan arvioitu kuivumisaika viikkoina. (Merikallio 2002, 38.)



Kuva 1. Peruskuivumiskäyrä (Merikallio 2002, 39)

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

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
200	0,7	0,7	0,7	0,8
230	0,9	0,9	0,9	0,9
250	1,0	1,0	1,0	1,0
280	1,3	1,1	1,1	1,1
300	1,6	1,4	1,3	1,2

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

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

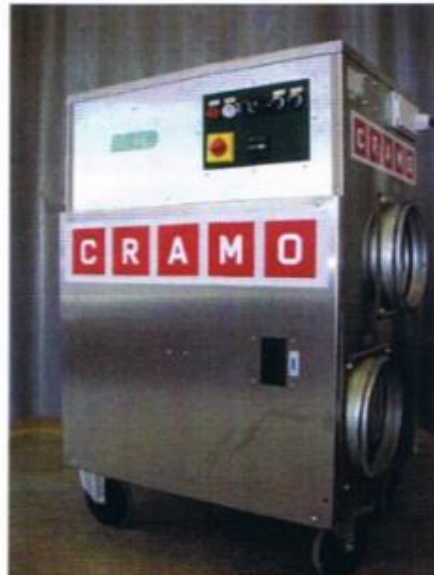
  

Kastuminen	Vesisideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5

Kuva 2. Muunnoskertoimet (Merikallio 2002, 39)

## Kuivatuslaitteita ja puhaltimia

Tämä liite sisältää kuvia ja teknisiä tietoja erilaisista kuivaimista ja puhaltimista.



Tekniset tiedot:	DST 060	DST 061
Käyttöjännite	3 x 400 V	3 x 400 V
Litântäteho	6,4 kW	14,7 kW
Puhallusteho	1000 m <sup>3</sup> / h	1450 m <sup>3</sup> / h
Kuivauskapasiteetti	4,6 kg / h	10,0 kg / h
Mitat (p x l x k)	680x400x1100	765x560x1080
Paino	63 kg	110 kg

Kuva 1. Adsorptiokuivain ja sen teknisiä tietoja (Cramo Finland Oy 2017)



Tekniset tiedot:	EB K75	EB K125
Käyttöjännite	230 V / 50 Hz	230 V / 50 Hz
Nimellisvirta	6 A	10 A
Jäähdytysaine	R 134 A	R 407 C
Työskentelylämpötila	7 – 35 °C	7 – 35 °C
Kapasiteetti	n. 27 l / vrk (70 %RH, 26 °C)	n. 67 l / vrk (70 %RH, 26 °C)
Puhallusteho	700 m <sup>3</sup> /h	850 m <sup>3</sup> /h
Mitat (p x l x k)	340 x 360 x 760 mm	440 x 480 x 920 mm
Paino	42 kg	49 kg

Kuva 2. Kondenssikuivaimet ja niiden teknisiä tietoja (Cramo Finland Oy 2017)



Tekniset tiedot:	
Käyttöjännite	230 V / 50 Hz
Nimellisvirta	7,2 A
Teho	1 kW
Puhallusteho	2 250 – 3 800 m <sup>3</sup> /h
Mitat (p x l x k)	470 x 430 x 480 mm
Paino	11 kg

Kuva 3. Radiaalipuhallin/pintapuhallin (simpukkamalli) ja sen tekniset tiedot (Cramo Finland Oy 2017)



Tekniset tiedot:

Nimellisteho	750 W
Puhallusteho	3600 m <sup>3</sup> /h
Nimellisvirta	2,2 A
Paino	15 kg

Kuva 4. Aksiaalipuhallin ja sen tekniset tiedot (Cramo Finland Oy 2017)

## Paikallavaletun betonisen välipohjan kuivumisen seuranta

Tässä liitteessä on dataa eräiden paikallavalettujen välipohjien kuivumisesta. Kuivumista seurattiin porareikämittauksella. Kuvasta 1 nähdään mittauksen päivämäärä, mittaussyvyys, rakenteen lämpötila ja mittaustulos, joka on betonin suhteellisen kosteuden arvo. Suhteellinen kosteus on laskenut pääosin kaikissa mittauksissa. Pieniä heittoja on suuntaan ja toiseen, jotka voivat johtua lämpötilan muutoksista ja mittalaitteiston tasaantumisajasta. On tärkeää pitää olosuhteet vakaina, jotta betonin lämpötila ei pääse muuttumaan mittausten aikana radikaalisti. Kesällä se voi olla haastavaa. Betonin suhteellisen kosteuden arvo nousee betonin lämpötilan noustessa, koska huokosiin fysikaalisesti sitoutunut vesi höyrystyy huokosten ilmatilaan. Porareikämittausta käyttäessä betonin lämpötila tulee olla noin + 20 °C, muuten mittaustulokset voivat olla virheellisiä.

pvm.	70 mm.		30 mm.		pvm.	70 mm.		30 mm.		pvm.	70 mm.		30 mm.	
	T	RH	T	RH		T	RH	T	RH		T	RH	T	RH
8.4.2016	14,4	96,4	14,1	95,8	15.4.2016	20,0	94,8	19,6	91,0	22.4.2016	20,1	92,5	20,0	89,0
8.4.2016	15,2	94,1	14,9	90,9	15.4.2016	19,5	92,5	19,3	87,4	22.4.2016	19,8	91,2	19,4	86,5
8.4.2016	13,4	96,8	13,4	92,5	15.4.2016	17,0	97,2	16,3	92,9	22.4.2016	18,0	96,9	17,1	92,8
17.5.2016	20,4	89,3	20,1	79,3	3.6.2016	20,9	87,3	22,1	75,0	15.6.2016	20,8	85,8	20,7	74,3
17.5.2016	19,3	91,3	19,0	78,0	3.6.2016	21,5	89,1	21,9	76,6	15.6.2016	20,4	86,0	20,7	70,9
18.5.2016	13,4	96,1	12,2	89,5	6.6.2016	16,3	90,6	15,6	82,2	15.6.2016	20,1	86,7	20,3	76,6
18.5.2016	19,0	93,8	19,0	83,0	6.6.2016	17,1	94,3	16,0	84,2	16.6.2016	20,3	90,6	20,4	78,4
18.5.2016	18,0	92,3	17,9	80,7	6.6.2016	18,7	90,6	18,3	78,0	16.6.2016	20,7	89,9	20,5	78,1
19.5.2016	14,8	92,3	14,8	85,0	7.6.2016	14,5	95,3	14,5	83,6	16.6.2016	19,7	88,3	19,8	81,3

Kuva 1. Kuivumisen seuranta