



# PAIKALLAVALUHOIVIN KUIVUMINEN

Juho Huttu

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2014  
Rakennusalan työnjohdon  
koulutusohjelma

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

HUTTU, JUHO:  
Paikallavaluholvin kuivuminen

Opinnäytetyö 76 sivua, joista liitteitä 23 sivua  
Joulukuu 2014

---

Kosteusvauriot ovat yleistyneet nykypäivänä runsaasti ja niiden ennaltaehkäisy on erittäin tärkeää. Ennaltaehkäisyllä vältetään monelta kosteudesta peräisin olevalta terveyshaitalta. Kosteusvaurioiden aiheuttamat korjaustyöt aiheuttavat yrityksille lisäkustannuksia ja samalla jokaisen korjaustyön myötä yrityksen maine laskee. Uudisrakennuksissa suurin syy lattioiden kosteusvaurioihin on betoniholvien puutteellinen kuivatus ja suojaus rakennusaikana. Uudisrakentamisessa betonin rakennusaikaiselle kuivatukselle on varattu hyvin lyhyt ajanjakso, joka tulee käyttää tehokkaasti hyödyksi vaikuttamalla betonin kuivumisaikoihin.

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli YIT Rakennus Oy:n Talonrakennus Tampere ja Pohjanmaa –yksikkö. Työn taustatutkimus tehtiin työnjohtoharjoittelun aikana Tampereen Keskustornin työmaalla. Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda toimintaohjeet lattioiden kosteusmittauksia varten. Tavoitteena oli myös perehtyä tarkemmin betonin kosteuskäyttäytymiseen ja paikallavaluholvien kuivumiseen. Holvien kuivumisessa keskityttiin olosuhteiden hallintaan sekä kuivumisnopeutta edistäviin tekijöihin.

Työn taustatutkimus suoritettiin alan kirjallisuutta analysoimalla ja kosteusmittauksia tekemällä. Perspektiiviä ja taustaa opinnäytetyön tekemiseen saatiin myös asiantuntija-haastatteluilla. Opinnäytetyön tuloksena syntynyt toimintaohje testattiin käytännössä ja se todettiin työtä helpottavaksi työkaluksi. Toimintaohjeessa luodaan selkeä kuva kosteusmittauksien etenemisestä. Ohjeessa käydään läpi kohta kohdalta jokainen mittaukseen liittyvä vaihe mittaussyvyyksien laskemisesta aina tulosten raportointiin asti. Vaiheet ovat esitelty havainnollistavien kuvien avulla. Toimintaohjeita voidaan soveltaa muissakin yksiköissä yhteistietojen päivytyksen jälkeen.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Site Management

HUTTU, JUHO:  
Drying of Intermediate Floors Cast-in-Situ

Bachelor's thesis 76 pages, appendices 23 pages  
December 2014

---

Moisture damage has become more common nowadays and its prevention is especially important. Health issues based on moisture damage can be prevented. Repairing moisture damages bring more expenses to the companies and every repair dents the company's image. The biggest reasons for moisture damage in new buildings are insufficient dehumidifying and protection during the construction period. Time reserved for dehumidifying concrete in new buildings is truly short, so this time should be used efficiently by affecting concrete's dehumidifying period.

Housebuilding Tampere and Pohjanmaa -unit of YIT Rakennus Oy commissioned the writing of this thesis. Research of this thesis was made during a training period at management of Tampereen Keskustorni's worksite. Purpose of this thesis was to create a manual for measuring the moisture in floors. Getting acquainted with concrete's moisture behavior and drying were also the objectives of this thesis. Management of the circumstances and acceleration of the concrete's dehumidifying were emphasized.

Research of this thesis was conducted by analyzing literature concerning industry, interviewing experts and performing moisture measurements. The manual which was created using this thesis was tried out in the field and was found useful.

Manual creates a distinct image how to perform a moisture measurement. Manual instructs every step of the measurement from calculating the depths of the measurements to reporting the results. Steps have been presented with visualizing pictures. Manual can be applied in other units after updating the contact information.

---

Key words: cast-in-situ, floor, moisture control, drying, humidity measurement

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	BETONIHOLVIN RAKENNE.....	6
2.1	Betonin perusteet .....	6
2.1.1	Hydrataatio.....	6
2.1.2	Lujuus.....	7
2.1.3	Rasitusluokat .....	11
2.1.4	Notkeus .....	12
2.1.5	Lattioiden luokitusjärjestelmä.....	14
2.2	Betonin raaka-aineet .....	15
2.2.1	Vesi .....	15
2.2.2	Sementti .....	15
2.2.3	Runkoaine .....	19
2.2.4	Lisäaineet .....	21
2.2.5	Seosaineet.....	25
2.3	Holvien betonityypit .....	25
3	HOLVIEN KUIVATUS .....	26
3.1	Kosteuden lähteet.....	26
3.2	Kosteuden liikkeet .....	26
3.3	Ilman lämpötilan kyky sisältää kosteutta.....	28
3.4	Betonin kuivumisajat ja niiden arviointi.....	30
3.5	Kuivumisnopeuteen vaikuttaminen .....	33
3.5.1	Suunnittelu ja ennakointi.....	33
3.5.2	Betonin koostumuksen valinta .....	34
3.5.3	Jälkihoito .....	37
3.5.4	Kosteudelta suojaus.....	39
3.5.5	Kuivumisolosuhteet .....	42
3.6	Holvien kutistuma.....	45
4	KOSTEUSMITTAUKSET .....	47
4.1	Teoria.....	47
4.2	Mittausmenetelmät.....	47
4.3	Toimintaohjeet lattioiden kosteusmittauksiin.....	48
5	POHDINTA.....	49
	LÄHTEET.....	52
	LIITTEET .....	54
	Liite 1. Toimintaohjeet lattioiden kosteusmittauksiin .....	54

## 1 JOHDANTO

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C2 todetaan ”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei siitä aiheudu sen käyttäjille tai naapureille hygienia- tai terveysriskiä kosteuden kertymisestä rakennuksen osiin tai sisäpinnoille.” Tämä ei toteudu tutkittaessa uutisten kertomaa karua faktaa uudisrakentamisesta, sillä uudisrakenteisissa kerrostaloissa lattioiden kosteusvauriot ovat yleistyneet huolestuttavasti. Lattioiden kosteusvauriot ovat usein peräisin puutteellisesta betoniholvien rakennusaikaisesta kuivutuksesta ja suojauksesta. Taustalla syynä on yleensä betonin riittämätön kuivuminen verrattuna nopeaan rakentamiseen.

Kosteusvaurioiden korjaukset ovat ylimääräinen menoerä rakennusliikkeille. Kosteusvaurioista aiheutuu rakennusliikkeille myös negatiivista julkisuutta sekä sen maine kärsii. Monelle rakennusliikkeelle laatu on yksi myyntivalteista, josta on pidettävä kiinni. Opinnäytetyön toimeksiantajayritys YIT Rakennus Oy on yksi rakennusalan edelläkävijä, jolle laatu on osa imagoa. Kosteusvaurioiden välttäminen ennaltaehkäisemällä on tärkeää, jotta luvattu laatu toteutuu ja saavutettu maine säilyy.

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä eri betonilaatujen kosteuskäyttäytymiseen ja paneutua paikallavaluholvien kuivumiseen vaikuttaviin tekijöihin. Tarkoituksena oli luoda toimintaohjeet lattioiden kosteudenmittausta varten.

Kosteuden vaikutusta betoniin tutkittiin tutustumalla alan kirjallisuuteen ja julkaisuihin. Perspektiiviä ja opastusta työn etenemiseen saatiin asiantuntijoita haastatteleamalla. Kosteusmittausten toimintaohjeiden luomisessa apuna käytettiin työnjohtoharjoittelun aikana kerättyä tietoa kosteusmittauksista ja kokemuksista työmaalla. Harjoittelu suoritettiin YIT Rakennus Oy:n Talonrakennus Tampere ja Pohjanmaa –yksikössä Tampereen Keskustornin työmaalla.

Opinnäytetyön rajauksessa paikallavaluholveja käsiteltiin vain kahteen suuntaan kuivuvina rakenteina ja talvibetonointia ei ole käsitelty omana osana.

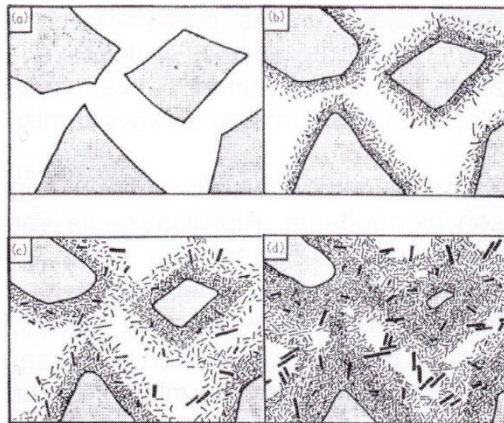
## 2 BETONIHOLVIN RAKENNE

### 2.1 Betonin perusteet

#### 2.1.1 Hydrataatio

Betonin pääraaka-aineita sekoitettaessa veden ja sementin välillä tapahtuu kemiallinen reaktio, hydrataatio. Hydrataation lopputuotteena on sementtiliima, eli sementtikivi, joka sitoo runkoaineen yhteen muodostaen keinotekoisen kiven, eli betonin, jota käytetään hyödyksi rakentamisessa. (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 31.)

Hydrataatio alkaa välittömästi mikrotasolla veden ja sementin sekoituksen jälkeen. Veden ja sementin seos on aluksi notkeaa. Jonkin ajan kuluttua, riippuen olosuhteista ja betoninmassan koostumuksesta, pasta alkaa hyytelöityä ja menettää plastisuuttaan. Tätä kutsutaan sementin sitoutumiseksi eli hydrataatioksi. Tämän jälkeen hyytelön kiinteys lisääntyy ajan funktiona ja kovettuminen alkaa. Hydrataatioreaktio on aluksi kiivasta ja hidastuu ajan kuluessa. Suurimmaksi osaksi normaalisementeillä sitoutumisreaktio on tapahtunut 15 vuorokauden kuluessa ja siitä eteenpäin reaktio jatkuu hyvin hitaasti. (Merikallio 2002, 32.) Sitoutumisen eteneminen on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Sementin sitoutumisen ja kovettumisen eteneminen asteittain: a) reagoimattomia sementtihiukkasia veden ympäröimänä, b) muutaman minuutin kuluttua veden lisäämisestä liimasauvat, eli hydrataatiotuotteet, laajenevat joka rakeen pinnasta vesitiilään, c) parin tunnin kuluttua liimasauvat ovat jo osittain kiinni toisissaan ja sitoutuminen on alkanut, d) parin vuorokauden kuluttua hydrataatio on edennyt pitkälle ja lujutusta syntyy lisää jatkuvasti niin kauan kuin reagoimatonta ja siihen tarvittavaa vapaata vettä riittää. (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 52.)

Hydrataatioon vaikuttaa huomattavasti vesi-sementtisuhde. Vesi-sementtisuhde ( $w$ ) on vesimäärä paino-osin ( $v$ ) jaettuna sementtimäärä paino-osin ( $s$ ), eli  $w = v/s$ . Vesimäärästä tulee vähentää myös kiviainekseen imeytyneen veden määrä. Yleisin vesi-sementtisuhde paikallavaluholveissa on 0,6-0,8. Kyseinen suhdeluku vastaa noin 180–200 l/m<sup>3</sup> vettä betonin valmistusvaiheessa. Tästä vesimäärästä hydrataatioon osallistuu vain 50–70 l/m<sup>3</sup>. Teoreettisesti täydelliseen hydrataatioon riittävä vesi-sementtisuhde on 0,25. Hydrataatio ei ole koskaan kuitenkaan täydellinen. Käytännössä hydrataatioaste jää noin 70 %:iin, josta seurauksena on ylimääräistä hydratoitumatonta vettä, joka vaikuttaa betonin kuivumiseen. (Lumme & Merikallio 1997, 14.) Vesi-sementtisuhteen vaikutusta betonin kuivumiseen käsitellään luvussa 3.5.2.

Hydrataatioreaktiossa vapautuu lämpöä, mutta toisaalta se myös vaatii vähintään + 5 °C minimilämpötilan jatkuakseen. Lämpötilan laskiessa alle 0 °C asteen, hydrataatio käytännössä pysähtyy. Hydrataation tuottamia liimasauvoja ei saa täryttää, etteivät liimasauvojen sidokset häiriinny ja tapahdu lujuuskatoa.

### 2.1.2 Lujuus

Betonirakenteiden suunnittelussa käytetään hyödyksi lujuusluokkia, joilla jaotellaan betonin kestävyys puristuslujuuden mukaan. Betonin lujuusluokat ovat kokeneet nimenmuutoksen viime vuosien aikana. Aikaisemmin lujuusluokat ovat merkitty Rakennusmääräyskokoelman B4 (RakMK B4) mukaan K-kirjaimen ja siihen lisätyn kuutiolujuutta vastaavan luvun avulla, esimerkiksi K30. Nykyään K30 vastaava lujuusluokka eurokoodien mukaan on C25/30, jossa luku 25 vastaa lieriölujuutta ja luku 30 kuutiolujuutta.

Kuutiolujuusmittaus tehdään sivuiltaan 150 mm olevalle koekuutiolle ja lieriölujuusmittaus tehdään puolestaan koelieriolle, jonka halkaisija on 150 mm ja korkeus 300 mm. Eurokoodien C-lujuusluokkia käytettäessä betonin standardipuristuslujuuskokeet tehdään betonin iän ollessa 28 vrk. Betonin varhaispuristuslujuutta mitataan iän ollessa 2 vrk tai 7 vrk. Mittauksia voidaan tehdä myös muun ikäisille betoneille. Betonin puristuslujuuden mittausiät määritetään rakennesuunnitelmissa. (Sahlstedt 2013, 6.) Lujuusluokkien vastaavuudet entisestä nykyiseen järjestelmään ovat esitetty taulukossa 1. Eri

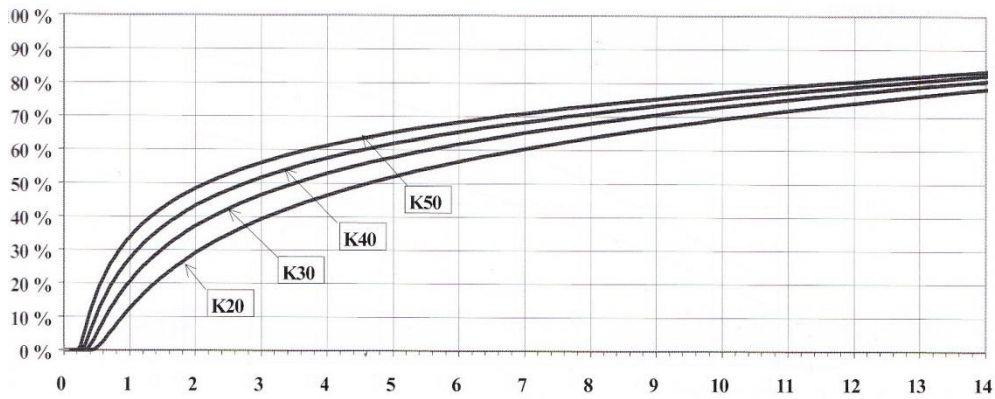
sementeistä valmistettujen lujuuden kehitys +20 °C:n lämpötilassa ovat esitetty kuvioissa 2-4.

TAULUKKO 1. Rakentamismääräyskokoelman B4 (RakMK B4) ja eurokoodijärjestelmän lujuuksien vastaavuudet (Sahlstedt 2013, 6)

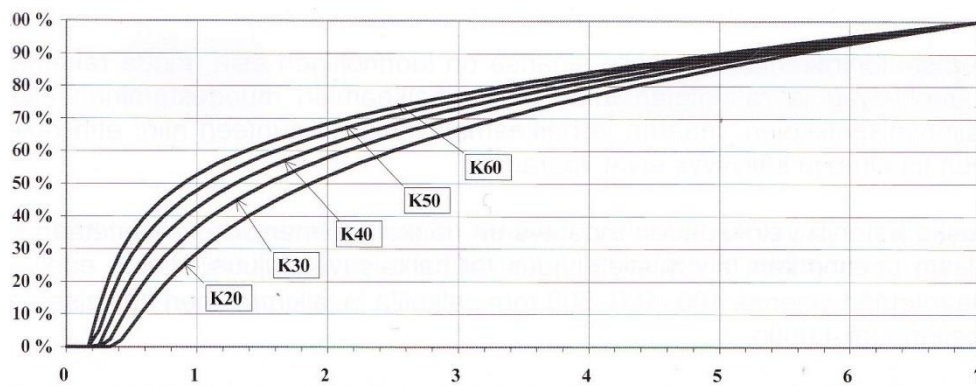
<b>RakMK B4</b>	<b>EN 206-1 ja EN 1992</b>
K20	C16/20
K25	C20/25
K30	C25/30
K35	-
-	C30/37
K40	-
K45	C35/45
K50	C40/50
K55	C45/55
K60	C50/60
-	C55/67
K70	-
-	C60/75
K80	-
-	C70/85
K90	-
-	C85/95
K100	-
-	C90/105

Suomessa kerrostalorakentamisessa käytettävä lujuusluokka-alue on yleensä C20/25 – C50/60 välillä. Lujuudeksi valitaan yleensä rakennepiirustuksissa mainittu lujuusluokka. Lujuusluokkaa voidaan nostaa, jotta pysytään toteutusaikataulussa, esimerkiksi tarvittaessa nopeampaa betonin kovettumista muottikierrosta johtuen. Lujuusluokan nostot voivat johtua myös vaativien olosuhteiden pakosta. Esimerkiksi tilanne, jossa betonirakenteeseen kohdistuu suuri kemiallinen rasitus, joka saavutetaan helpoiten lujuusluokkaa nostamalla. (Mantila & Petrow 2014, 81.)

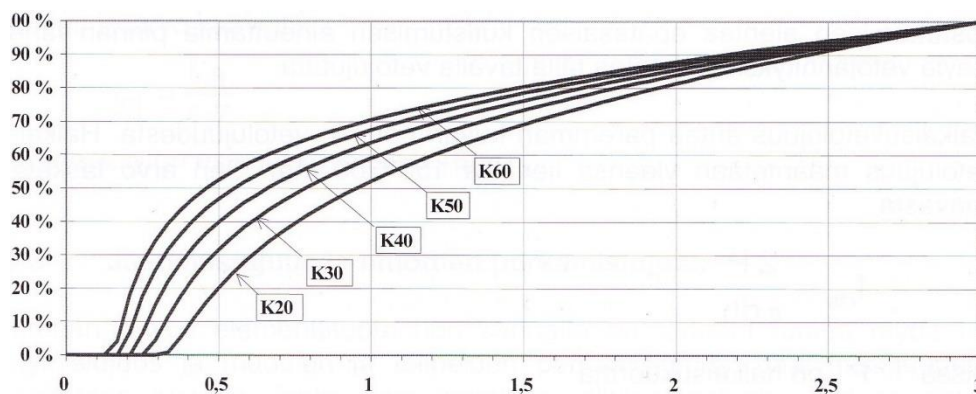




KUVIO 2. Normaalisti kovettuvan betonin lujuuden kehitys +20 °C:n lämpötilassa vuorokausien funktiona (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 83)



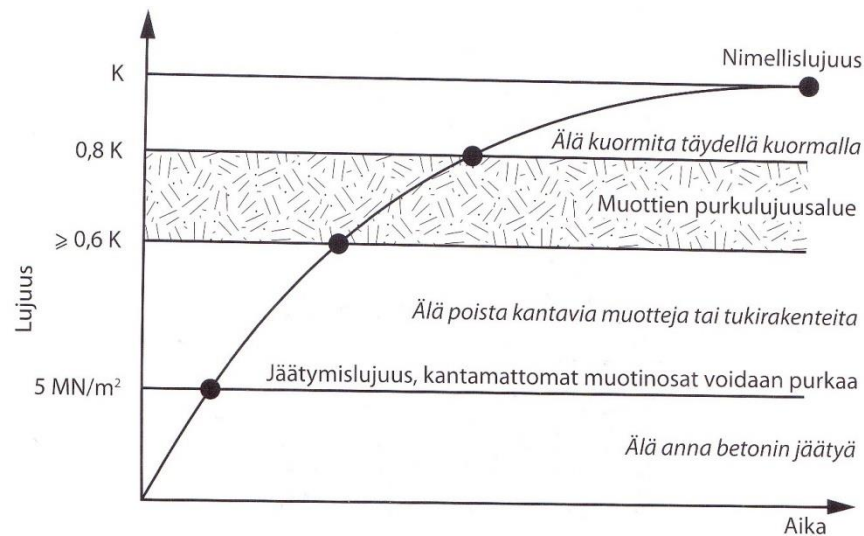
KUVIO 3. Nopeasti kovettuvan betonin lujuuden kehitys +20 °C:n lämpötilassa vuorokausien funktiona (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 83)



KUVIO 4. Erittäin nopeasti kovettuvan betonin lujuuden kehitys +20 °C:n lämpötilassa vuorokausien funktiona (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 83)

Jokaisella lujuusluokalla jäätymslujuus on vähintään  $5 \text{ MN/m}^2$ . Muotit ja tukirakenteet voidaan purkaa vasta, kun betoni on kovettunut niin paljon, että rakenteet kestävät niille tulevat rasitukset ja muodonmuutokset pysyvät sallituissa rajoissa. Muottien purkamisen edellyttää betonin vähintään 60 % lujuutta nimellislajuudesta. Muottien purkamisen

jälkeen betonin lujuuden kehityksestä on huolehdittava tarvittavin menetelmin. Betonin kovettumisen käyttäytymistä on esitelty kuviossa 5, jossa kirjain K tarkoittaa betonin lujuusluokkaa.



KUVIO 5. Betonin kovettumisen vaiheet (Sahlstedt 2013, 17)

Betonin lujuudenkehityksen seurantaan käytetään tietokonepohjaisia ohjelmia, jotka laskevat automaattisesti lujuuden kehityksen betonin lämpötilojen perusteella. Betoniin asennetut dataloggerit keräävät lämpötilatietoja muistiin, joista tietokonepohjainen ohjelma laskee rakenteen lujuuden. Dataloggerien käytöllä saadaan nopeasti luotettavaa tietoa betonin lujuuden kehityksestä. (Betoniteollisuus ry)

Betonin lujuudenkehitystä betonissa voidaan seurata myös laskennallisesti, kun tunnetaan käytetyn sementin lujuudenkehitys ja rakenteen lämpötila. Lujuudenkehityksen laskentaan voidaan käyttää Sadgroven menetelmää. Betonirakenteen lämpötila tulee mitata aina betonin kylmimmästä osasta, jossa hydrataatioreaktiot ovat hitaimmat. (By50. Betoninormit 2012, 128.) Sadgroven menetelmä on esitelty kaavassa 1.

$$t_{20} = \left( \frac{T + 16^{\circ}\text{C}}{36^{\circ}\text{C}} \right)^2 * t, \quad (1)$$

jossa T on betonin lämpötila aikana t [°C]  
t on kovettumisaika [d]

Betonin lämpötilan  $T$  pysyessä vakiona koko kovettumisajan, saadaan  $t_{20}$  suoraan kaavasta. Yleensä  $t_{20}$  määritetään summana ajanjaksoista, joissa lämpötila on ollut lähes vakio. Kuvioissa 2-4 on esitetty kypsyysikä funktiona eri betonien suhteellisia lujuuksia eri lujuusluokissa. Sadgroven menetelmä antaa betonin kypsyysikä  $[t_{20}]$  päivinä  $[d]$ , jonka jälkeen kuvaajasta katsotaan oikean lujuusluokan käyrältä kypsyysikä vastaava lujuusprosentti. Kuvaaja tulee valita sementin mukaan, eli onko kyseessä normaalisti kovettuva betoni, nopeasti kovettuva tai erittäin nopeasti kovettuva betoni. Betonin kypsyysasteen ja lujuuden välinen yhteys kuvioissa 2-4 on voimassa, kun betoni estetään jäätymästä ennen kuin se saavuttaa jäätymislujuuden  $5 \text{ MN/m}^2$ . (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 353.) Suomessa käytössä olevat rakennussementit ovat esitetty taulukossa 8.

Betonin lujuuden kehitystä voidaan seurata myös ottamalla koepaloja rakenteesta tai tekemällä olosuhdekoekappaleita, joita säilytetään samoissa olosuhteissa itse betonirakenteen kanssa. Koekappaleille tehdään puristuslujuuskokeet, joista saadaan selville betonin lujuus.

### **2.1.3 Rasitusluokat**

Rakenteille määritetään aina suunnitteluvaiheessa suunnittelukäyttöikä, joka yleensä vaihtelee 50–200 vuoden välillä, mutta poikkeustapauksissa iäksi voidaan määritellä myös 25 vuotta. Suunnittelukäyttöikä ja betoniin kohdistuvat ympäristön rasitukset määrittelevät betonilta vaadittavat ominaisuudet. Betonirakenteiden säilyvyyteen vaikuttavat karbonatisoituminen, kloridit, jäätymis-sulamisrasitus sekä kemialliset rasitukset. Nämä säilyvyyteen vaikuttavat tekijät jaotellaan rasitusluokkiin. Rasitustekijöitä voi kohdistua betonirakenteeseen samanaikaisesti useita, joten betoni voi kuulua myös useampaan eri rasitusluokkaan yhtä aikaa. (Rudus info 1/06, 1-3). Rasitusluokat ovat esitelty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Rasitusluokat ja niiden selitykset (By 201. Betonitekniiikan oppikirja 2004, 253)

Pääluokka	Rasitustekijä	Alaluokan merkintä	Olosuhdekuvaus
<b>X0</b>	<b>Ei korroosioriskiä betonille tai raudotteille</b>	X0	Betoni sisätiloissa, jossa ilman kosteus on hyvin alhainen
<b>XC</b>	<b>Karbonatisoituminen</b>	XC1	Kuiva tai jatkuvasti märkä
		XC2	Kostea, harvoin kuiva
		XC3	Kohtalaisen kostea
		XC4	Jaksollinen kastuminen ja kuivuminen
<b>XD</b>	<b>Kloridien aiheuttama korrosio</b>	XD1	Kohtalaisen kostea
		XD2	Kostea, harvoin kuiva
		XD3	Kostea ja kuiva vaihtelevat
<b>XS</b>	<b>Merivedessä olevien kloridien aiheuttama korrosio</b>	XS1	Betonia rasittavat tuulen mukana tulevat kloridit, ei suoraan kosketuksesta veteen
		XS2	Veden alla
		XS3	Vesirajassa ja roiskevyöhykkeellä
<b>XF</b>	<b>Jäätymis-/sulamisrasitus</b>	XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
		XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
	<b>Jäätymis-/sulamisrasitus ja suolarasitus</b>	XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
		XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
<b>XA</b>	<b>Kemiallinen rasitus</b>	XA1	Kemiallisesti heikosti aggressiivinen ympäristö
		XA2	Kemiallisesti kohtalaisesti aggressiivinen ympäristö
		XA3	Kemiallisesti voimakkaasti aggressiivinen ympäristö

#### 2.1.4 Notkeus

Tuoreen betonimassan tärkein ominaisuus on työstettävyys, jota kuvataan massan notkeudella. Notkeutta valittaessa peruseriaatteena tulisi olla mahdollisimman jäykkä betonimassa, jotta betonin kuivuminen olisi nopeampaa. Notkeutta mitataan yleensä painumakokeella tai leviämänä. Painumakokeita ja leviämiä voidaan mitata myös työmaalla. Esimerkiksi silloin, kun valettavat kohteet sijaitsevat pitkän etäisyyden päässä betoniasemasta tai jos käytössä on erikoisbetoni, jonka laatu halutaan varmistaa paikan päällä. Työstettävyyttä voidaan mitata lisäksi myös Vebe-kokeilla, mutta niitä tehdään vain laboratorioissa. (By 201. Betonitekniiikan oppikirja 2004, 69.) Suomessa käytössä olevat tuoreen betonimassan notkeusluokitukset ovat esitelty taulukoissa 3 ja 4.

TAULUKKO 3. Betonimassan notkeusluokitukset (By 50. Betoninormit 2012, 106)

<b>Painumaluokat</b>	
Luokka	Painuma (mm)
S1	10 – 40
S2	50 – 90
S3	100 – 150
S4	160 – 210
S5 <sup>1)</sup>	≥ 220
<b>Leviämäluokat</b>	
Luokka	Leviämän halkaisija (mm)
F1 <sup>1)</sup>	≤ 340
F2	350 – 410
F3	420 – 480
F4	490 – 550
F5	560 – 620
F6 <sup>1)</sup>	≥ 630
<b>Vebe-luokat</b>	
Luokka	Vebe-aika (s)
V0 <sup>1)</sup>	≥ 31
V1	30 – 21
V2	20 – 11
V3	10 – 6
V4 <sup>1)</sup>	5 - 3

<sup>1)</sup> Muutamien notkeusarvojen ulkopuolella mittausmenetelmät eivät ole tarkkoja, joten suositellaan käytettäväksi seuraavia mittausmenetelmiä:

- Painuma ≥ 10 mm ja ≤ 210 mm
- Leviämän halkaisija > 340 mm ja ≤ 620 mm
- Vebe-aika ≤ 30 s ja > 5 s

TAULUKKO 4. Betonimassan notkeusluokitus ja tyypillisiä käyttökohteita (Mantila & Petrow 2014, 82)

Notkeusluokka	Sanallinen kuvaus	Käyttökohde
F6 (S5)	Itsetiivistyvä (IT)	Vaikeasti tiivistettävät rakenteet tai nopeammat ja tasaisemmat lattiavalut
S4	Nesteytetty	Ahtaat rakenteet
S3	Vetelä	Ohuet laatat
<b>S2</b>	<b>Notkea</b>	<b>Suosittelava perusnotkeus</b>
S1	Jäykkä	Kovabetonilattia
-	Maakostea	Laatoitusalus

### 2.1.5 Lattioiden luokitusjärjestelmä

Betonilattioiden luokitusjärjestelmän tarkoituksena on esittää betonilattioiden merkittävimmät laatutekijät samassa järjestelmässä. Järjestelmä koostuu kirjaimesta, numerosta sekä roomalaisesta numerosta, esimerkiksi B-2-II. Kirjain kuvaa holvien suoruutta, ensimmäinen numero kuvaa kulutuskestävyyttä ja viimeinen roomalainen numero kuvaa sallittua halkeamaleveyttä. Poikkeustapauksissa luokitusjärjestelmän perään neljäntenä osana voidaan liittää kirjain T, joka kuvaa erittäin vaativaa kohdetta. (By 45/BLY 7. Betonilattiat 2014, 14-15.) Taulukossa 5 on esitetty luokitusjärjestelmässä käytetyt kirjaimet ja numerot.

TAULUKKO 5. Lattioiden luokitusjärjestelmässä käytetyt merkinnät (By 45/BLY 7. Betonilattiat 2014, 14)

Laatutekijä	Luokka	Vaativin luokka
Suoruus	A <sub>0</sub> , A, B, C	A <sub>0</sub>
Kulutuskestävyys	1, 2, 3, 4	1
Halkeamaleveys	I, II, III, (IV)	I
(E erityisen vaativa kohde)	(T)	(T)

## **2.2 Betonin raaka-aineet**

Betoni koostuu pää- ja osaraaka-aineiden kombinaatiosta. Pääraaka-aineet muodostavat betonin rungon, jonka ominaisuuksia ja työstettävyyttä voidaan muokata osaraaka-aineilla. Pääraaka-aineita ovat vesi, sementti ja runkoaine. Osaraaka-aineita ovat lisäaineet ja seosaineet.

### **2.2.1 Vesi**

Vesi on yksi betonin pääraaka-aineista. Veden tehtävänä on osallistua sementin kanssa hydrataatioreaktioon sekä parantaa tuoreen betonimassan työstettävyyttä. Veden tulee olla puhdasta eikä se saa sisältää epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet saattavat hidastaa hydrataatioreaktiota tai jopa estää kokonaan sen käynnistymisen. Epäiltäessä veden laatua on syytä tutkia vesi joko kemiallisesti tai betonikokeen avulla. (Uusitalo ym. 1994, 18.)

### **2.2.2 Sementti**

Sementti on betonin hydraulinen sideaines, jonka päätehtävänä on osallistua veden kanssa hydrataatioreaktioon. Sementin kemiallinen koostumus vaikuttaa tuoreen betonimassan työstettävyyteen sekä kovettuneen betonin säilyvyyteen. Sementin valinta vaikuttaa betonin lujuteen, lämmönkehitykseen ja kemialliseen kestävyys. Sementti muodostuu klinkkerin ja seosaineiden jauhatuksesta. Kyseisten aineiden suhteutuksen ja jauhatuksen määrää säätämällä voidaan valmistaa useita erilaisia sementtilaatuja samasta klinkkeripohjasta. Klinkkeri koostuu pääasiassa kalkkikivestä, johon on lisätty piioksidia, rautaoksidia, alumiinioksidia ja kipsiä. (Uusitalo ym. 1994, 11.) Seosaineita käsitellään tarkemmin luvussa 2.2.5.

Betonin valmistuksessa käytettävien sementtien on täytettävä sementtistandardin SFS-EN 197-1:n vaatimukset ja niiden tulee olla CE-merkittyjä. Yleisimpien sementtien valmistuksessa käytetään portlandklinkkeriä ja seosaineita. Standardi jaottelee sementit viiteen päälajiin niiden koostumuksen mukaan. (By 45/BLY 7. Betonilattiat 2014, 134.) Sementtien pääajit ovat esitelty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Sementtien päälajit (By 201, Betonitekniiikan oppikirja 2004, 42)

Tunnus	Sementtilaji
CEM I	Portlandsementti
CEM II	Portlandseossementti
CEM III	Masuunikuonaselementti
CEM IV	Pozzolaaniselementti
CEM V	Seossementti

CEM II ja CEM III sementtilajien tunnuksen yhteydessä esiintyvä kirjain A tai B kertoo seosaineiden osuudesta laskettuna klinkkerin ja seosaineiden yhteisestä määrästä. Pääsääntöisesti kirjain A kertoo 6-20 %:n osuudesta seosaineita ja kirjain B 21-35 %:n osuudesta seosaineita. Taulukon 6 mukaiset päälajit jaetaan edelleen eri sementtilajeihin käytetyn seosaineen ja seosainesuhteutuksen perusteella. Standardi tuntee yhteensä 27 erilaista sementtilajia, joissa seosaineena käytössä on ollut masuunikuona (S), kalkkikivi (L tai LL), silika (D), pozzolaanit (P tai Q), lentotuhkan (V tai W) ja poltetun liuskeen (T). Sementin sisältäessä edellä mainittuja seosaineita lisätään tunnuksen seosainetta vastaava kirjain, esimerkiksi CEM II/A-D. (By 201. Betonitekniiikan oppikirja 2004, 42-43.)

Sementtien päälajit jaotellaan myös kolmeen standardilujuusluokkaan, joita ovat 32,5, 42,5 ja 52,5. Lujuusluokilla tarkoitetaan standardilujuutta 28 vuorokauden iässä. Lujuusluokkatunnuksen perässä olevat kirjaimet kertoo sementin lujuuden kehityksen käyttäytymisestä. Kirjain R kertoo korkeasta varhaislujuudesta ja kirjain N normaalista varhaislujuudesta. Lujuusluokan kirjaimen R tai N perässä oleva tunnus kuvaa sementin erikoisominaisuuksia, kuten SR3. (By45/BLY7. Betonilattiat 2014, 134-135.) Rakennussementin standardi- ja varhaislujuudelle asetetut vaatimukset on esitetty taulukossa 7.



TAULUKKO 7. Rakennussementin puristuslujuudelle asetetut vaatimukset eri iässä (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 44)

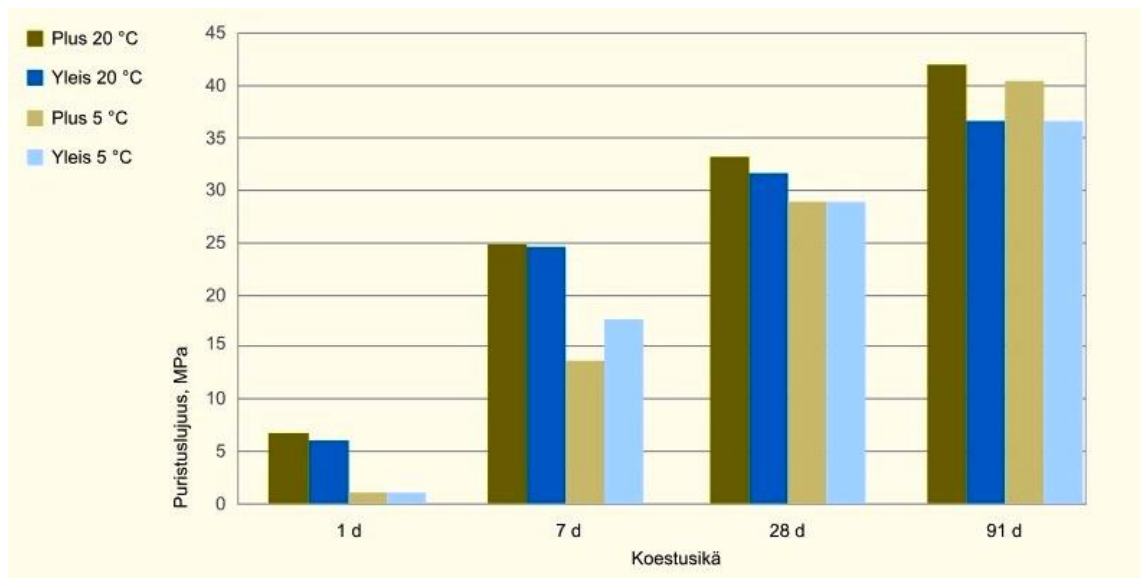
Lujuusluokka	Puristuslujuus [MPa]			
	Varhaislujuus		Standardilujuus	
	2 vrk	7 vrk	28 vrk	
32,5 N	-	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5 R	$\geq 10,00$	-		
42,5 N	$\geq 10,00$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5 R	$\geq 20,00$	-		
52,5 N	$\geq 20,00$	-	$\geq 52,5$	-
52,5 R	$\geq 30,00$	-		

Suomessa on käytössä seitsemän erilaista rakennussementtiä, jotka ovat esitetty taulukossa 8. Sementin valinta vaikuttaa betonityyppien nimeämisessä. Betonityypit jaotellaan kolmeen luokkaan, jotka ovat normaalisti kovettuva betoni, nopeasti kovettuva betoni ja erittäin nopeasti kovettuva betoni. Normaalisti kovettuva betoni voidaan valmistaa Plus- tai SR-sementillä, nopeasti kovettuva Rapid- tai Megaseimentillä ja erittäin nopeasti kovettuva Pika-sementillä. (By201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 353.)

TAULUKKO 8. Suomessa käytössä olevat rakennussementit (Finnsementti Oy)

<b>Rakennussementit</b>			
<b>Nimi</b>	<b>Tunnus</b>	<b>Lujuusluokka</b>	<b>Kuvaus</b>
Plussementti	CEB II/B-M (S-LL)	42,5 N	Normaalisti kovettuva portlandseossementti
Rapidsementti	CEM II/A-LL	42,5 R	Nopeasti kovettuva portlandseossementti
Pikaseimentti	CEM I	52,5 R	Erittäin nopeasti kovettuva portlandsementti
SR-Sementti	CEM I	42,5 N – SR3	Normaalisti kovettuva sulfaatinkestävä portlandsementti
Megaseimentti	CEM I	52,5 N	Normaalisti kovettuva portlandsementti
Valkoseimentti	CEM I	52,5 R – SR5	Nopeasti kovettuva valkoinen portlandsementti
Superplussementti	CEM II/B-M(S-LL)	42,5 R	Nopeasti kovettuva portlandseossementti

Taulukosta 8 havaitaan, että yleissementti on hävinnyt listalta pois ja tilalle on tullut plussementti. Teknisiltä ominaisuuksiltaan plussementti vastaa vanhaa yleissementtiä. Plussementin lujuuden kehitys on hieman hitaampaa kuin Yleissementin. Plussementin seosainemäärä on kaksinkertainen verrattuna yleissementin sisältämään määrään. Plussementin valmistaminen on huomattavasti ympäristöystävällisempää kuin yleissementin. Näin ollen voidaan olettaa, että tulevaisuudessa plussementti tulee korvaamaan yleissementin käytetyimpänä sementtilajina. Plussementin ja Yleissementin lujuudenkehitys on esitelty kuviossa 6. Superplussementti on ympäristöystävällinen sementtilaji, jolla on hyvä alku- ja loppulujuus sekä pieni vedenimu. Superplussementtiä käytetään näkyviin jäävissä betonituotteista. Kustannussyistä superplussementtiä käytetään harvoin paikallavaluholveissa. Valkosementtiä käytetään valkoisten ja värillisten elementtien ja betonituotteiden valmistukseen. (Finnsementti Oy.)



KUVIO 6. Plus- ja yleissementin sisältämän betonin (sementtiä:  $300\text{kg/m}^3$ ,  $v/s = 0,66$ ) lujuudenkehitys eri lämpötiloissa (Finnsementti Oy)

Suomessa yleisimmät kantavien välipohjien betonoinnissa käytetyt sementit ovat tyypiltään CEM II A tai B ja lujuusluokaltaan 42,5 N tai R. Sementtilajia vaihtamalla voidaan vaikuttaa moneen asiaan, kuten betonin varhaislujuuden kehitykseen. Esimerkiksi normaalisti kovettuva sementti (42,5 N), voidaan vaihtaa nopeasti kovettuvaan sementtiin (42,5 R), jos halutaan alkulujuuden kasvavan nopeammin. Jos alkulujuutta halutaan entisestä nostattaa, voidaan sementtilaji vaihtaa vielä erittäin nopeasti kovettuvaan sementtiin (52,5 R). Erittäin nopeasti kovettuva sementti nostattaa samalla myös koko lujuusluokkaa. Esimerkissä oletuksena on, että sementtimäärä pysyy vakiona. Sementin lujuudenkehitys riippuu oleellisesti myös vesi-sementtisuhteesta. (By 45/BLY 7, Betonilattiat 2014, 135.)

### 2.2.3 Runkoaine

Betonin runkoaineena on mahdollista käyttää periaatteessa mitä tahansa materiaalia, joka on riittävän lujaa ja tiivistä. Runkoaine on valittava siten, ettei se vaikuta betonin säilyvyyteen eikä hydrataatioreaktioon. Yleensä runkoaineena käytetään jotain kiviainesta. Betoninormien mukaan käytettävän kiviaineksen täytyy olla standardin SFS-EN 12620 kriteerit täyttävä sekä CE-hyväksytty. Kiviaineksen osuus betonin tilavuudesta on 65-70%, mikä vastaa 1700-1850 kg kiviainesta betoni- $\text{m}^3$  kohti. (By 201. Betoniteknikan oppikirja 2004, 31-32.)

Kiviaineksen raekoot eritellään seulomalla. Seulonnan tarkoituksena on saada eri raekoot eriteltyä toisistaan, jotta betonin valmistuksessa voidaan käyttää haluttua raekokoa runkoaineena. Normaaliseulasarjan silmäkoot pienimmästä suurimpaan ovat 0,125, 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8, 16, 31,5 ja 63 mm. Kiviainesten jaottelu tehdään raekoon mukaan. Nimeämisessä käytetään merkintää d/D, josta ilmenee alanimellisraja (d) ja ylänimellisraja (D). Yleisimmät kiviainekset ovat esitelty taulukossa 9. (By 201. Betonitekniiikan oppikirja 2004, 33.)

TAULUKKO 9. Yleisimmät kiviainekset ja niiden nimellisrajat (By 43. Betonin kiviainekset 2008, 12)

Kiviaines	Nimellisrajat
Filleri	$< 0,063$
Hieno kiviaines (hiekkä)	0/1, 0/2, 0/4
Luonnon lajittama 0/8 (sora)	0/8
Karkea kiviaines (murske)	d/D ( $d < D$ , $d \geq 2$ ; $D \geq 4$ )

Kiviaineksen valintaan vaikuttaa eniten suurin nimellisraekoko, rakeisuus ja raemuoto. Raemuoto voidaan määrittellä vain yli 8 mm kiviainesrakeille. Raemuodolla vaikutetaan tiivistyvyyteen ja kulutuskestävyyteen pääasiassa. Raekoko ja rakeisuus vaikuttavat betonin työstettävyyteen ja vedentarpeeseen. Suuri raekoko vähentää sementtiliiman tarvetta ja näin ollen nopeuttaa myös betonin kuivumista. Edellytyksenä on, että koko rakeisuuskäyrä puoltaa suuren raekoon käyttöä. Mikäli raekoko on suuri ja rakeisuuskäyrä on muuten pielessä, sementtiliiman määrä kasvaa. Hyvä rakeisuuskäyrä ilmenee betonin tasaisena ”pakkautuvuutena”. Epäonnistuneen rakeisuuskäyrän huomaa valutyön jälkeen tuoreen betonin pintaan nousseena paksuna vesikerroksena. (By 45/BLY 7. Betonilattiat 2014, 133.) Tarpeettoman pieni raekoko puolestaan lisää betonin virumaa, kutistumaa ja halkeilua. Raekoon pienentyessä kustannuksetkin nousevat johtuen suuresta sementin tarpeesta. (Mantila & Petrow 2014, 82.)

Suurimman raekoon valintaan vaikuttaa betonirakenteen paksuus. Suurin raekoko saa olla enintään 40 % rakenteen paksuudesta ja korkeintaan 0,8 kertaa raudoituksen terästankojen pienimmän vapaan välin mitasta. Suurimman raekoon valinnassa tulee ottaa huomioon myös valutapa, sillä esimerkiksi pumppuvalussa suurin raekoko saa olla korkeintaan 1/3 putken halkaisijasta, eli noin 32mm. Suuremmat rakeet voivat tukkia pum-

pun, mistä seuraa viivästyksiä valuun tai pahimmassa tapauksissa vaaratilanteita betonipumpun lähistöllä oleville henkilöille. (Uusitalo ym. 1994, 31.)

Kiviaineksen puhtaus tulee myös huomioida, koska kiviaineksen sisältämä humus, tai muu lika, voi hidastaa tai jopa kokonaan pysäyttää hydrataation. Kiviainekset eivät saa koostua jäätyneistä kivipaakuista eivätkä ne saa sisältää jäätä. (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 32.)

#### **2.2.4 Lisäaineet**

Lisäaineilla voidaan vaikuttaa betonin sitoutumiseen ja kovettumiseen sekä tuoreen betonin ja kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Lisäaineiden käytöllä voidaan muuttaa hyvän betonin ominaisuuksia, mutta huonoa betonia ei saa tehtyä hyväksi edes lisäaineilla. (Uusitalo ym. 1994, 25.)

Lisäaineiden käyttö on teknisesti ja taloudellisesti perusteltua. Esimerkiksi pakkasenkestävän betonin valmistus ilman lisäaineita on erittäin hankalaa. Lisäaineiden käyttö vaatii erityistä ammattitaitoa ja tehokasta laadunvalvontaa. Betonin ominaisuuksia muokattaessa lisäaineilla tulee aina tehdä ennakkokokeita, jotta saadaan riittävä varmuus lisäaineiden päävaikutuksista ja mahdollisista sivuvaikutuksista. Jokaisen käytettävän lisäaineen täytyy olla CE-hyväksytty ja tuotteesta täytyy olla käyttöseloste. Käyttöselosteesta pitää ilmetä kaupalliset ja tekniset perustiedot, tiedot käytöstä ja annostuksesta, hyväksymiskokeet sekä Betoniyhdistyksen hyväksymispäätös. (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 63-64.)

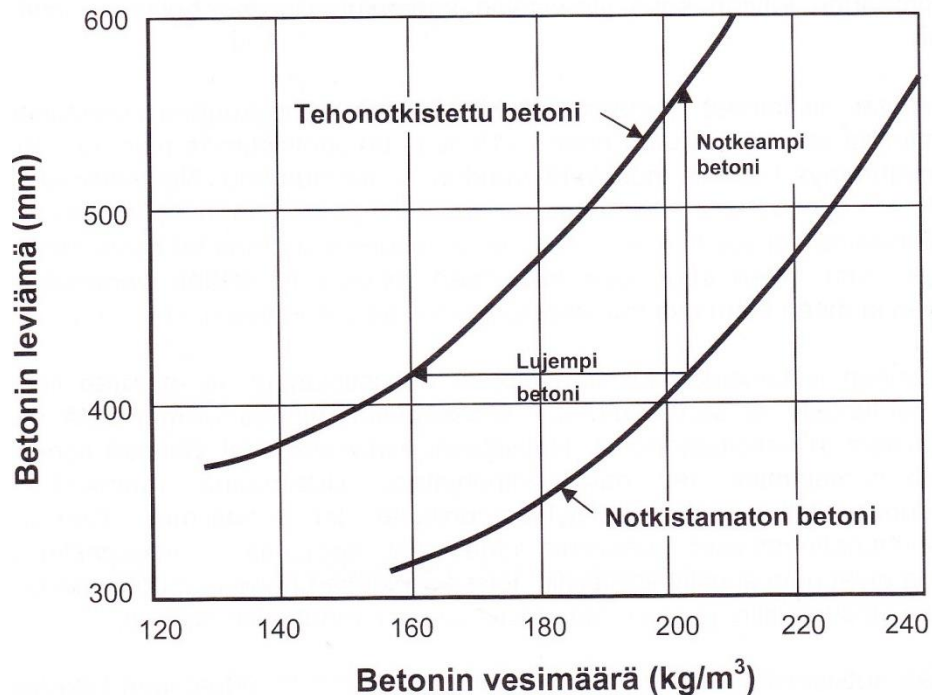
Lisäaineet voidaan luokitella ominaisuuksien mukaan. Lisäaineiden luokittelu on esitetty taulukossa 10. Jokaisella ominaisuudella on merkintänsä mukainen päävaikutus. Päävaikutuksen ohessa lisäaineilla on usein myös sivuvaikutuksia, jotka vaikuttavat betonin muihin ominaisuuksiin. Lisäaineilla saattaa olla myös piileviä vaikutuksia eri sementtilajien kanssa. Nämä huomioidaan ennakkokokeilla. Betonissa käytetyistä lisäaineista tavallisimpia ovat notkistimet ja huokostimet. (By 45/BLY7. Betonilattiat 2014, 135.)

TAULUKKO 10. Lisäaineiden luokittelu (By 201. Betonitekniiikan oppikirja 2004, 64)

Luokka	Lyhenne
Notkistavat lisäaineet <ul style="list-style-type: none"> <li>• Notkistin</li> <li>• Tehonotkistin</li> <li>• Nesteytin</li> </ul>	N N <sub>t</sub> N <sub>n</sub>
Huokostimet	L <sub>h</sub>
Muut pakkasenkestävyyttä parantavat aineet	L <sub>m</sub>
Kiihdyttimet	K
Hidastimet	H
Tiivistysaineet	T
Injektointiaineet	I
Muut lisäaineet	M

Notkistavilla lisäaineilla parannetaan betonin teknisiä ominaisuuksia ja koossapysyvyyttä sekä säädelään betonin notkeutta. Betonimassa on käytettävä parin tunnin sisällä valmistuksesta, vaikka se olisi vielä lisäaineiden ansiosta notkeaa työstää. Parin tunnin valusääntö on voimassa jokaisella betonilla, minkä tarkoituksena on ehkäistä betonin lujuskatoa. Lujuskato on seurausta häiriintyneestä kovettumisreaktiosta. Notkistavia lisäaineita käytetään usein tiheä raudotteisissa holvivaluissa, jotta tuore betonimassa saadaan valettua joka paikkaan. (Mantila & Pertow 2014, 82.)

Notkistavat lisäaineet jaotellaan kolmeen ryhmään niiden tehokkuuden perusteella. Notkistimilla aikaansaadaan noin 5-15 % vedenvähennys ja tehonotkistimilla noin 12–30 % vedenvähennys. Nesteyttimellä ei suoriteta vedenvähennystä vaan sillä parannetaan ainoastaan tuoreen betonin työstettävyyttä. Sama lisäaine voi toimia siis notkistimena, tehonotkistimena tai nesteyttimenä riippuen miten suuri osa lisäaineen tehosta käytetään betonin muokkautuvuuteen ja miten suuri osa vedenvähennykseen. Notkistavien lisäaineiden aikaansaamalla vesimäärän vähennyksellä saavutetaan pienempi vesi-sementtisuhde. Pienempi vesi-sementtisuhde vähentää betonin valmistuksessa käytetyn ylimääräisen veden määrää, jonka seurauksena betonin kuivuminen tapahtuu nopeammin, koska kuivatettavaa rakennekosteutta on vähemmän. (By201. Betonitekniiikan oppikirja 2004, 65.) Tehonotkistimen käytöllä tavoiteltavat ominaisuudet ilmenee kuviossa 7.



KUVIO 7. Periaatekuva tehonotkistimen käytöllä tavoiteltavista ominaisuuksista betonissa (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 66)

Notkistimilla aikaan saadaan myös tasalaatuisempaa betonia, sillä notkistimet dispersoivat betonin hienoaineesia. Notkistimien toiminta riippuu notkistinlaadusta ja sen määrästä sekä lisäksi toimintaan vaikuttaa muun muassa sementtilaji ja sen määrä, seosaineet, hienoaines määrä sekä lämpötila ja sekoitusteho. Notkistavat lisäaineet ovat lignosulfonaatti-, melamiini-, naftaleeni- tai polykarboksyyliesteripohjaisia. Näistä notkistimista polykarboksyyliesteripohjaisilla on paras kyky vähentää vesimäärän tarvetta, joka on korkeimmillaan 40 %. Notkistavien lisäaineiden vaikutusaika vaihtelee 15 minuutista useisiin tunteihin riippuen siitä, mihin lisäaine pohjautuu. Esimerkiksi lignosulfonaattipohjaiset lisäaineet hidastavat sementin hydrataatioreaktioiden alkua. Näin ollen ne eivät sovellu kohteisiin, joissa vaaditaan nopeaa muottikiertoa tai kylmiin olosuhteisiin, joissa reaktioiden käynnistyminen on muutenkin hidasta. (By 45/BLY 7. Betonilattiat 2014, 135-136.)

Normaalisti betoni sisältää 1-2 % ilmaa. Huokostamalla betonia voidaan ilmapitoisuus nostaa 4-8 %:iin, jolloin betonin pakkasenkestävyys paranee. Huokostin on paras lisäainevaihtoehto, jos kovettuneelta betonilta vaaditaan kykyä kestää toistuvaa jäätymis- ja sulamisrasitusta. Huokostimet muodostavat betoniin pieniä ilmakuplia, jotka jakautuvat betoniin tasaisesti. Pienet ilmakuplat toimivat niin sanotusti suojuukosina betonissa.

Suojahuokosten tehtävänä on vastaanottaa betonin sisältämän veden jäätyessä aiheuttama paine siten, ettei betoni rikkoudu. (Uusitalo ym. 1990, 26.)

Betonimassan ilmahuokosmäärän kasvatus parantaa betonin muokkautuvuutta sekä vähentää osa-aineiden erottumista. Huokostimien käyttö alentaa myös kovettuneen betonin lujuutta. Ilma-vesi-sementtisuhteessa yhden prosentin ilmamäärän lisäys alentaa karkeasti arvioiden 5 %:a kovettuneen betonin lujuutta.

Huokostinta ja notkistinta käytettäessä samanaikaisesti pitää huokostimen lisäksi kiinnittää erityistä huomiota. Jotkut notkistimet aiheuttavat ylimääräistä ilmaa betoniin. Tämä ilma on yleensä liian suuri huokoista verrattuna huokostimella tuotettuihin pieniin suojahuokosiin. Näin ollen huokostimilla tavoiteltu pakkasenkestävyys kärsii. Huokostimen ja notkistimen sekoituksessa betoniin on muistettava sekoitusjärjestys. Ensimmäiseksi betonimassaan lisätään huokostin. Massaa sekoitetaan vähintään minuutti, jonka jälkeen lisään vasta notkistin. Tämä järjestys on ehdoton, jotta saavutetaan huokostimen ja notkistimen samanaikaisella käytöllä tavoiteltu lopputulos. Näiden samanaikaisessa käytössä suositeltavin notkistintyyppi on melamiinipohjainen notkistin. (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 67.)

Kiihdyttimillä ja hidastimilla voidaan vaikuttaa betonin sitoutumisreaktion ajankohtaan. Kiihdyttimet nopeuttavat betonin sitoutumisreaktiota ja mahdollistavat näin muottien aikaisen purkamisen. Kiihdyttimiä voidaan käyttää viileissä valuolosuhteissa, mutta niissäkin on tehtävä ennakkokokeita. Kiihdyttimet korvataan usein sementtilajia vaihtamalla, lujuusluokan nostolla tai kuumabetonin käytöllä, koska betonin käyttäytymisen hallitseminen helpompaa ja edullisempaa. (By 45/BLY 7. Betonilattiat 2014, 146.)

Hidastimet hidastavat betonimassan sitoutumisen alkamista, mutta nopeuttavat kovettumista kovettumisen alettua. Hidastimet mahdollistavat oikealla suhteutuksella jopa muutaman vuorokauden työstettävyyssajan. Laaja pinta-alaisissa valuissa, joissa pidetään taukoja, edeltävät betonikerrokset valetaan yleensä hidastetulla betonimassalla. Hidastimien käyttö mahdollistaa valukerrosten yhteen täryttämisen ilman, että kerrosten väliin syntyy työsaumoja. Hidastimia voidaan käyttää tarvittaessa kuumabetonoinnin yhteydessä, jolloin betonointiin tarvitaan lisää työstöaikaa. Kesähelteillä hidastimien käyttö betonoinnissa on erittäin riskialtista, koska vesi haihtuu nopeasti betonin pinnasta ennen kuin sitoutumisesta aiheutuva lujuus ehtii kunnolla syntyä. Kesähelteillä betonin kos-



teuden haihtuminen tulee estää hyvin nopeasti huolellisella varhaisjälkihoidolla. Hidastimen käyttö helteillä hidastaa sitoutumista, mutta työstöaika ei juuri pitene. (Uusitalo ym. 1990, 26.)

### **2.2.5 Seosaineet**

Seosaineita ovat lentotuhka, masuunikuonajauhe ja silika. Seosaineilla voidaan vaikuttaa tuoreen betonin ominaisuuksiin, kovettumisen etenemiseen ja kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Sallitut enimmäismäärät seosaineiden lisäykselle riippuu betoniin käytävästä rakennussementistä ja rasitusluokasta. Seosaineiden lisäys tulee varmistaa aina ennakkokokein. (By 50. Betoninormit 2012, 175-176.)

Tuoreen betonimassan valmistuksessa käytetään nykyään harvoin seosaineita, koska rakennussementit sisältävät jo itsessään erimäärän seosaineita. Rakennussementtien sisältämät seosaineet ovat esitelty luvussa 2.2.2. Jos seosaineita lisätään, niiden prosentuaalinen osuus verrattaessa rakennussementin määrään on pieni. Seosaineet tarvitsevat hydrataatiota aloittaakseen oman kemiallisen reaktionsa, sillä seosaineet kykenevät reagoimaan vain hydrataatiossa syntyvien kemiallisten yhdisteiden kanssa.

## **2.3 Holvien betonityypit**

Holvivaluissa käytetyt betonityypit voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: rakennebetoneihin, lattiabetoneihin ja erikoisbetoneihin. Betonit voidaan tilata tarvittaessa myös hidastettuna, notkistettuna tai esilämmitettynä. Lattiabetonit ovat pääsääntöisesti nopeammin sitoutuvampia betoneita verrattuna rakennebetoneihin. Lattiabetoneilla saavutetaan korkeimmillaan C32/40 lujuusluokka. Tätä korkeampiin lujuusluokkiin päästään rakennebetoneilla ja erikoisbetoneilla. Erikoisbetoneihin kuuluu esimerkiksi korkealujuus betonit (KL betoni), nopeammin päällystettävät betonit (NP betoni) ja itsetiivistyvät lattiabetonit (IT betoni). (Mantila 2014, 514-517.)

### 3 HOLVIEN KUIVATUS

#### 3.1 Kosteuden lähteet

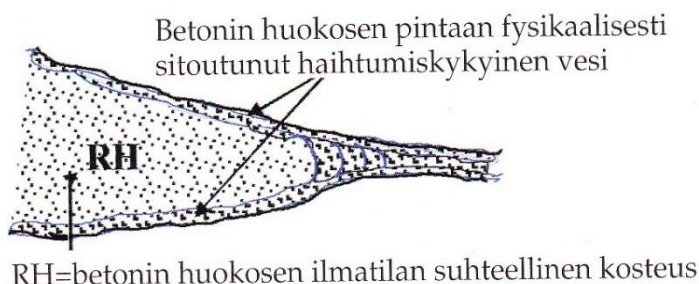
Paikallavaluholvien kosteus on pääosin peräisin betonin valmistukseen ja jälkihoitoon käytetystä vesimäärästä sekä ympäristöolosuhteista, kuten sadevesistä. Rakennusaikana betoniin kohdistuva kosteus jaetaan sisä- ja ulkopuolisiin kosteuden lähteisiin. Sisäpuoliset kosteuden lähteet ovat vesivahingot, putkivuodot, kylmävesiputkien kondenssi, vesihöyryn diffuusio ja konvektio. Ulkopuoliset kosteuden lähteet ovat puolestaan vesi- ja lumisade, tuuletusilman mukana tuleva vesihöyry ja ulkoilman vesihöyryn kondensoituminen kylmiin pintoihin. (Lumme & Merikallio 1997, 7.) Huoneilmaan ulkopuolista lisäkosteutta aiheutuu myös välivarastoinnin aikana kastuneista rakennusmateriaaleista, kuten pehmeistä villoista. Huoneilmaan lisäkosteutta tulee myös lattiapinnoitteista ja –päällysteistä sekä huoneistoissa tehdyistä tasoitetöistä. (Merikallio 1998, 15.)

#### 3.2 Kosteuden liikkeet

Lähtötilanteessa tuoreen betonimassan suhteellinen kosteus on lähes 100 %. Ennen kun betonipinta voidaan päällystää, osan vedestä on poistuttava, jotta betonin suhteellinen kosteusprosentti laskee alle päällystemateriaalin asettaman arvon. (Merikallio & Lumme 1997, 13.)

Osa betonin valmistamiseen käytetystä vedestä sitoutuu kemiallisesti hydrataatioreaktiossa, jonka seurauksena betonissa tapahtuu kuivumista. Tätä kutsutaan sitoutumiskuivumiseksi. Betonilaadusta riippuen sitoutumiskuivumisessa betonin suhteellinen kosteusprosentti laskee 90–98 %:iin. Loput valmistamiseen käytetystä vedestä sitoutuu fysikaalisesti betonin huokosrakenteeseen siten, että betonin pyrkiessä tasapainokosteuteen ympäröivän ilmatilan kanssa osa vedestä haihtuu ilmatilaan. Fysikaalisesti sitoutunut vesi on haihtumiskykyistä, kun vastaavasti kemiallisesti sitoutunut vesi ei haihdu. Fysikaalisesti betonihuokoseen sitoutunut kosteus on esitetty kuviossa 8. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 13.) Betonin kuivumista eli fysikaalisesti sitoutuneen veden poistumista betonin huokosista tapahtuu niin kauan, kunnes betonin huokosten ja ympä-

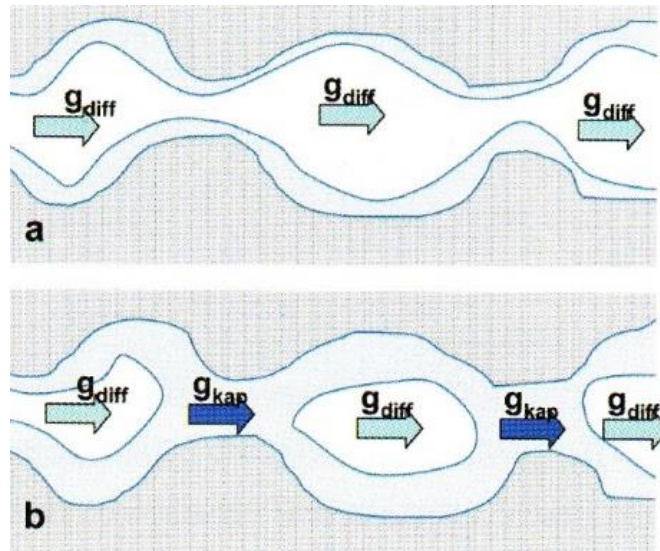
röivän ilmatilan suhteellinen kosteus on sama. Tätä tasapainotilaa kutsutaan hygroskoopiksi tasapainoksi. (Merikallio 2002, 10.)



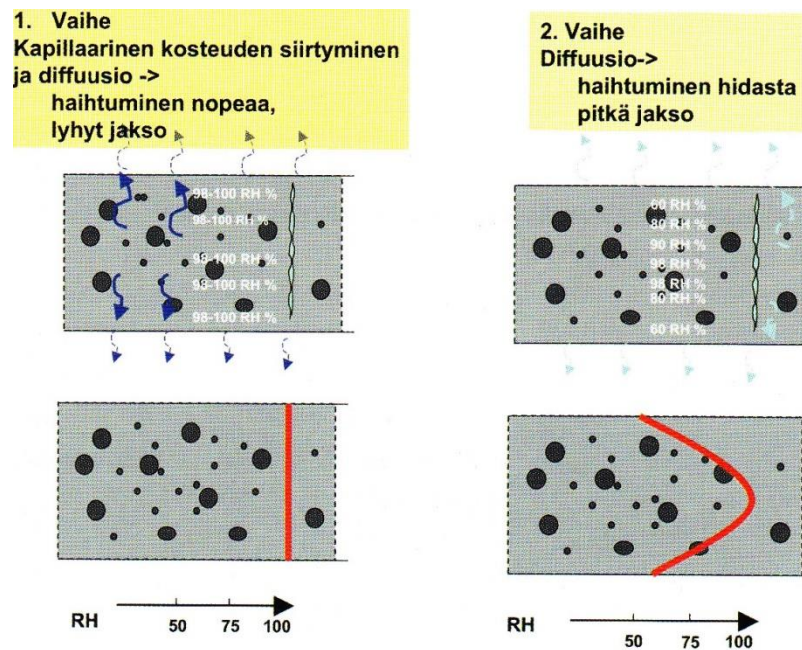
KUVIO 8. Betonissa haihtumiskykyistä kosteutta on sekä huokosen ilmatilassa että huokosen pintaan kiinnittyneenä (Merikallio 2002, 10)

Fysikaalisesti betonin huokosrakenteeseen sitoutuneen veden liikkumista betonirakenteen sisällä sekä sen poistumista ympäristöön kutsutaan haihtumiskuumiseksi. Haihtumiskuumista tapahtuu kahdella eri tavalla, kapillaarisena imuna tai diffuusio haihtumisena. Kapillaarista kuivumista, eli kosteuden siirtymistä betonirakenteen keskeltä kohti pintaa, voi tapahtua ainoastaan kuivumisen alkuvaiheessa betonin suhteellisen kosteuden ollessa yli 97 %. Kosteuden siirryttyä rakenteen pintaan se haihtuu diffuusiona ympäristöön. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 20.) Diffuusiosiiirtyminen on vesihöyryn siirtymistä vesihöyryn paine-eron seurauksena suuremmasta pienempään. (Björkholtz 1997, 55.)

Kapillaarisen kosteuden siirtymisen ohessa voi samanaikaisesti tapahtua myös diffuusiosiiirtymistä, jolloin betonirakenteen kuivuminen on nopeimmillaan. Betonirakenteen alkuhetken nopean kuivumisen jälkeen rakenteen pinta kuivuu huomattavasti nopeammin kuin rakenteen keskiosa. Tämän seurauksena kapillaarinen kosteuden siirtyminen estyy ja ainut jäljelle jäävä kosteuden siirtyminen on diffuusiosiiirtyminen. Kosteuden siirtyminen diffuusiona verrattuna kapillaariseen siirtymiseen on erittäin hidasta. Haihtumisrintaman siirtyessä syvemmälle betonirakenteen keskiosaa, kuivuminen hidastuu koko ajan, koska diffuusiomatka kasvaa. Kuivumista tapahtuu siihen asti, kunnes betonirakenteen sisällä ja rakenteen ympäristön välillä vallitsee suhteellinen kosteustasapaino. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 21.) Kosteuden siirtymistä betonissa on esitetty kuviossa 9 ja betonirakenteen kuivumisvaiheet on esitetty kuviossa 10.



KUVIO 9. Kosteuden siirtyminen betonirakenteessa: a) Hidas kosteuden siirtyminen  $g_{diff}$  b) Nopea kosteuden siirtyminen  $g_{kap}$  ja  $g_{diff}$  (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 21)



KUVIO 10. Betonirakenteen kuivumiskäyttäytymisen muutos pinnan kuivuessa (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 21)

### 3.3 Ilman lämpötilan kyky sisältää kosteutta

Kaikki rakenteet ovat kosketuksissa ilman kanssa. Ilman kosteuspitoisuuden huomioon ottaminen holvien kuivattamisessa on tärkeää. Kuivuminen tapahtuu diffuusio haihtu-

misena ilman paine-eroista johtuvasta vesihöyryn siirtymisestä suuremmasta pienempään. Paine-ero tulee huomioida betonin ja ympäristöolosuhteiden välillä sekä ympäristöolosuhteiden tuuletuksen kanssa, ettei tuuletukselta tapahdu vahingossa väärään suuntaan.

Suhteellisella kosteudella (RH) tarkoitetaan ilmassa olevan kosteusmäärän suhdetta kylästys kosteuteen. Tätä suhdetta ilmaistaan yleensä suhteellisena kosteusprosenttina (RH %). Suhteellista kosteutta voidaan laskea kahdella eri menetelmällä. Menetelmät ovat esitetty kaavoissa 2 ja 3. Kaavoissa käytettävien kylästyskosteuden arvoja on esitelty taulukossa 11.

$$RH = \frac{v}{v_k} \quad (2)$$

tai

$$RH = \frac{p}{p_k} \quad , \quad (3)$$

jossa

- $RH$  = vesihöyryn määrä ( $\text{g/m}^3$ )
- $v_k$  = kylästyskosteuden määrä ( $\text{g/m}^3$ )
- $p$  = vesihöyryn paine (Pa)
- $p_k$  = kylästyskosteuden paine (Pa)

Kostea ilma on kuivan ilman ja vesihöyryn seos. Ilman kyky sitoa vesihöyryä itseensä vaihtelee eri lämpötiloissa. Alhaisissa lämpötiloissa, kuten pakkasella, ilman kyky sisältää vesihöyryä on pieni verrattaessa kesä helteiden ilman kykyyn sitoa vesihöyryä. Kun ilman kyky sitoa vesihöyryä ylittyy, tätä vesihöyry- eli kosteusmäärää kutsutaan kylästyskosteudeksi. Eri ilman lämpötilojen kyky sitoa kosteutta vaihtelee huomattavasti, mikä ilmenee taulukosta 7. Esimerkiksi lämpötilan ollessa  $+20\text{ }^\circ\text{C}$ , sen kyky sitoa kosteutta on  $17,28\text{ g/m}^3$ . Lämpötilassa  $-7\text{ }^\circ\text{C}$  se on  $2,84\text{ g/m}^3$ . Edellä mainitussa esimerkissä käsiteltiin kylästyskosteutta, jonka suhteellinen kosteusprosentti on 100.



TAULUKKO 11. Ilman ominaisuuksia normaali ilmakehän paineessa 101325 Pa (Björkholtz 1997,44)

t °C	v <sub>k</sub> g/m <sup>3</sup>	p <sub>k</sub> Pa	t °C	v <sub>k</sub> g/m <sup>3</sup>	p <sub>k</sub> Pa	t °C	v <sub>k</sub> g/m <sup>3</sup>	p <sub>k</sub> Pa
-20	0,87	102	14	12,10	1602	48	75,67	11207
-19	0,95	111	15	12,86	1708	49	79,33	11786
-18	1,04	122	16	13,65	1820	50	83,14	12390
-17	1,14	135	17	14,49	1939	51	87,10	13020
-16	1,25	149	18	15,37	2064	52	91,21	13677
-15	1,38	164	19	16,30	2197	53	95,48	14362
-14	1,52	181	20	17,28	2337	54	99,92	15075
-13	1,67	200	21	18,31	2484	55	104,5	15818
-12	1,83	221	22	19,40	2640	56	109,3	16592
-11	2,01	242	23	20,54	2805	57	114,2	17397
-10	2,20	266	24	21,74	2979	58	119,4	18234
-9	2,40	292	25	23,00	3162	59	124,7	19105
-8	2,61	319	26	24,32	3355	60	130,2	20010
-7	2,84	348	27	25,71	3559	61	135,9	20951
-6	3,08	379	28	27,17	3773	62	141,9	21928
-5	3,33	412	29	28,70	3999	63	143,0	22943
-4	3,60	447	30	30,31	4237	64	154,3	23997
-3	3,89	485	31	31,99	4487	65	160,9	25090
-2	4,19	524	32	33,75	4750	66	167,7	26224
-1	4,51	566	33	35,60	5027	67	174,7	27401
0	4,85	611	34	37,54	5317	68	181,9	28620
1	5,21	658	35	39,56	5622	69	189,4	29884
2	5,58	708	36	41,68	5940	70	197,1	31194
3	5,98	762	37	43,89	6278	71	205,1	32551
4	6,40	818	38	46,21	6631	72	213,3	33956
5	6,84	878	39	48,63	7000	73	221,8	35410
6	7,31	941	40	51,16	7388	74	230,6	36915
7	7,80	1008	41	53,79	7793	75	239,6	38471
8	8,32	1079	42	56,54	8218	76	248,9	40082
9	8,87	1154	43	59,41	8663	77	258,5	41747
10	9,45	1234	44	62,40	9127	78	268,4	43468
11	10,06	1318	45	65,52	9614	79	278,6	45247
12	10,71	1408	46	68,77	10122	80	289,1	47084
13	11,38	1502	47	72,15	10653			

Verrattaessa ulko- ja sisäilmaa tulee huomioida sisäilman aiheuttama kosteuslisä. Sisäilman kosteuslisä ulkoilmaa nähden vaihtelee rakennuksittain. Asuinrakennuksia käytetään kosteuslisänä yleensä 3 g/m<sup>3</sup>, mutta ilmanvaihdon ollessa erittäin huono saatetaan joskus käyttää arvoa 4 g/m<sup>3</sup>. Sisäilman kosteuspitoisuuteen vaikuttaa ulkoilman kosteuspitoisuus, sisällä kehitetyn kosteuden määrä ja ilmanvaihdon suuruus.

### 3.4 Betonin kuivumisajat ja niiden arviointi

Betonin kuivumisaikojen tunteminen ennakkoon edesauttaa holvivalujen suunnittelua. Betonirakenteiden kuivumisaikojen arviointi on oleellinen osa rakennustyömaan kosteudenhallintaa. Arvioiden perusteella voidaan verrata kuivumisaikojen täsmävyyttä yleisaikataulussa rakenteen kuivumiselle varattuun ajanjaksoon. Mikäli arvioitu kuivumisaika ei riitä, tulee ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin betonin kuivumisen nopeuttamiseksi jo hyvissä ajoin ennen valutyötä. Eri betonilaatujen suuntaa antavia kuivumisaikoja tietyissä olosuhteissa on esitetty taulukossa 12.

TAULUKKO 12. Eri betonilaadun kuivumisaikoja tietyissä olosuhteissa (Mantila 2014, 516)

Rakenne -suhteellinen kosteus	Peruslattiabetoni	Nopeasti sitoutuva lattiabetoni	Nopeammin päällystettävä lattiabetoni (NP)
Pintalattia, 50 mm - tavoite RH 90 % - tavoite RH 85 %	n. 7 viikkoa n. 12 viikkoa	n. 7 viikkoa n. 12 viikkoa	n. 3 viikkoa n. 5 viikkoa
Holvi, 240 mm - tavoite RH 90 % - tavoite RH 85 %	n. 12 viikkoa n. 22 viikkoa	n. 12 viikkoa n. 22 viikkoa	n. 6 viikkoa n. 10 viikko
Olosuhde: T = +20 °C, RH = 45 % Jälkihoitona muovipeite 1 viikko, ei tasoitetta, ei kastumista. Ajat eivät ole yleispäteviä.			

Betonin kuivumisen arvioinneissa tulee muistaa, että arviot ovat vain suuntaa antavia tietoja betonin kuivumisesta. Todelliset tiedot betonin kuivumisesta saadaan ainoastaan paikanpäällä betonista tehdyistä kosteusmittauksista. Kosteusmittauksia tulee tehdä useita, jotta nähdään miten betonin kuivuminen edistyy. Kosteusmittaukset kannattaa tehdä porareikämittauksilla, koska ne antavat luotettavimmat työmaaolosuhteissa mitattavat tiedot betonin kuivumisen kehityksestä. (Hatakka 2014, 15.) Kosteusmittauksia käsitellään luvussa 4.0.

Rakennustyömaan arkea helpottamaan on tehty myös Microsoft Excel –pohjainen betonin kuivumisen arvioinnin laskentapohja. Laskentapohjan on luonut kandidaatintyönä A-P Lassila (2011). Laskentaohjelma laskee betonin kuivumiseen vaadittavan ajanjakson automaattisesti, kun syöttää tarvittavat lähtötiedot niille varattuihin kohtiin. Tarvittavia lähtötietoja laskentaan ovat esimerkiksi paikkakunta ja rakennepaksuus. (Toivari 2011, 31-32.)

Betonirakenteen kuivumisaikojen arviointien tekeminen voidaan suorittaa myös käsin, mikä on erittäin harvinaista laskentaohjelmien yleistyttyä. Käsineläskemistä voidaan suorittaa Merikallion tekemien ohjeiden perusteella laskemalla eri kertoimia keskenään yhteen laskentakaavan mukaan. Laskentakaava vaihtelee eri rakenteiden välillä. (Merikallio 2002, 38.)

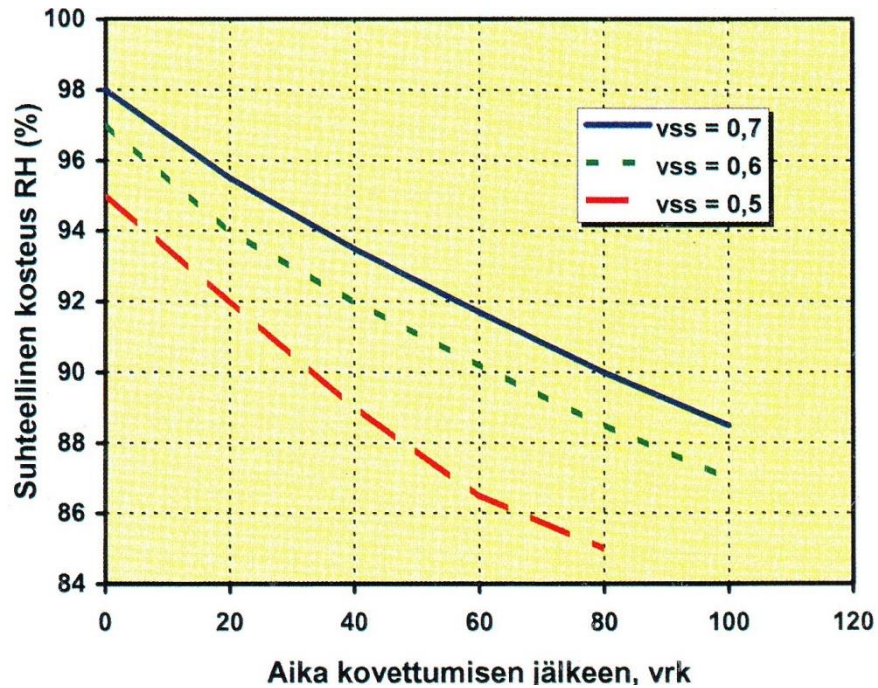
Jälkihoidon, rakennepaksuuden ja kuivumisolosuhteiden vaikutus vesi-sementtisuhteiltaan erilaisten betoneiden kuivumisaikoihin saadaan selville taulukon 13 ja kuvion 11 avulla. Esimerkiksi vesi-sementtisuhteen ollessa 0,7 ja rakennepaksuuden

250 mm, kestää betonin kuivuminen 90 % RH:n arviolta noin 144 vuorokautta. Vesi-sementtisuhteen ollessa 0,6 betonin kuivuminen kestää noin 92 vuorokautta. Jos betonin vesi-sementtisuhte olisikin 0,5 kestäisi betonin kuivuminen vain noin 48 vuorokautta.

TAULUKKO 13. Jälkihoidon, rakennepaksuuden ja kuivumisolosuhteiden vaikutus vesi-sementtisuhteeltaan erilaisiin betoneihin. Kyseisten betonien peruskuivumisajat saadaan kuviossa 11 esitetyistä käyristä. (Lumme & Merikallio 1997, 13.)

<b>Muuttuja</b>	<b>Betoni 1</b> vss 0,7	<b>Betoni 2</b> vss 0,6	<b>Betoni 3</b> vss 0,5
<b>Jälkihoito:</b>			
1 vrk muotissa	0,7x	0,5x	0,5x
14 vrk vedessä	1,0x	0,9x	0,8x
28 vrk muovikalvo	0,8x	0,7x	0,5x
14 vrk vedessä +			
14 vrk muovikalvo	1,0x	1,0x	1,0x
28 vrk vedessä	1,3x	1,3x	1,0x
<b>Rakennepaksuus:</b>			
100 mm	0,4x	0,4x	0,4x
150 mm	0,7x	0,8x	0,8x
180 mm	1,0x	1,0x	1,0x
200 mm	1,2x	1,1x	1,1x
250 mm	1,8x	1,5x	1,4x
<b>Kuivumisolosuhde:</b>			
RH = 35 %	0,8x-0,9x	0,8x-0,9x	0,8x-0,9x
RH = 60 %	1,0x	1,0x	1,0x
T = 18 °C	1,0x	1,0x	1,0x
T = 30 °C	0,6x-0,7x	0,6x-0,7x	0,6x-0,7x





KUVIO 11. Vesi-sementtisuhteeltaan erilaisten betonien ohjeelliset kuivumiskäyrät. Kuivumisen oletetaan alkavan kovettumisen jälkeen (28 vrk). Jälkihoidon, rakennepaksuuden ja kuivumisolosuhteiden vaikutus kuivumiseen saadaan kertomalla käyrältä saatu kuivumisaika taulukosta 13 saatavilla kertoimilla. (Merikallio & Lumme 1997, 13.)

### 3.5 Kuivumisnopeuteen vaikuttaminen

#### 3.5.1 Suunnittelu ja ennakointi

Lattioiden kosteusvaurioiden syntymistä voidaan ehkäistä kuivattamalla betoniholvit huolella ennen niiden päällystämistä. Rakentamisaikataulujen kiireellisyydestä johtuen holvit tulee päällystää aikaisin suhteessa betonin luontaiseen kuivumiseen. Näin ollen betonin kuivumista pitää nopeuttaa eri menetelmin. Kuivumisnopeuteen vaikuttavien tekijöiden huomioon ottaminen jo valutyön suunnitteluvaiheessa edesauttaa työmaata luomaan hyvät edellytykset onnistuneelle holvivalulle.

Holvivalun suunnittelussa erityistä huomiota on kiinnitettävä vallitseviin ympäristöolosuhteisiin, yleisaikatauluun ja rakennepiirustuksissa määritettyihin betonin vaatimuksiin. Näiden perusteella voidaan määrittää betonin koostumus, oikea jälkihoitotapa ja riittävät kuivumisolosuhteet. Lisäksi runkovaiheen ollessa vielä kesken on huomioitava

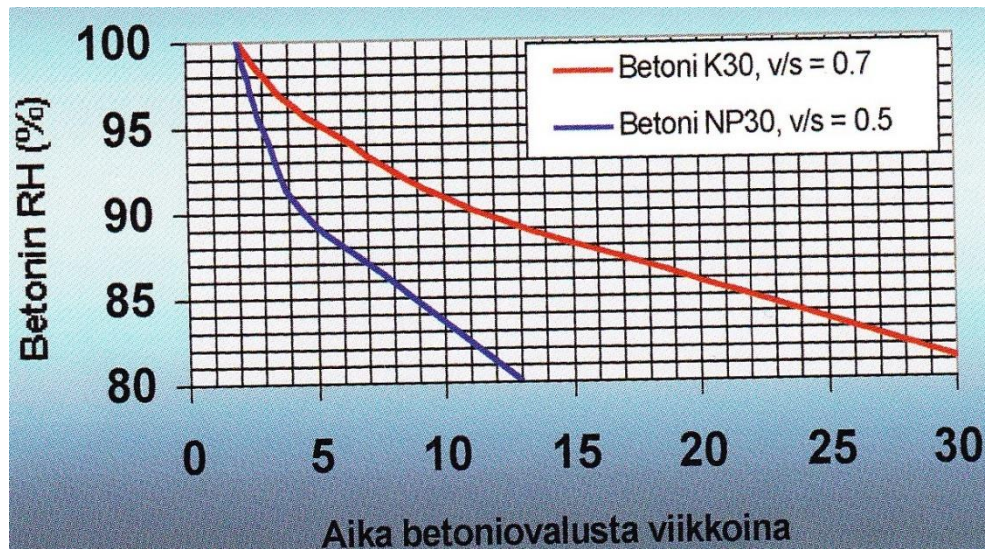
myös holvin suojaaminen ylimääräiseltä kosteudelta sekä varauduttava riittävällä kalustolla betonin lujuuden kehityksen turvaamiseksi, esimerkiksi lämmitykseen ja kuivatukseen.

Betonin kuivumisen voidaan olettaa alkavan siinä vaiheessa, kun olosuhteet ovat kunnossa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että lisäkosteuden pääsy betonirakenteeseen on estetty ja rakenteen ympärillä olevan ilman suhteellinen kosteus on alhainen. Edellä mainitut kriteerit täyttyy yleensä siinä vaiheessa, kun vesikatto on tiivis, ikkunat on asennettu ja lämmitys on aloitettu. (Merikallio 2002, 36.)

### **3.5.2 Betonin koostumuksen valinta**

Rakennesuunnittelija määrittää kovettuneelta betonilta vaadittavat ominaisuudet, joiden perusteella työmaa valitsee käytettävän betonin. Vaadittaviin ominaisuuksiin vaikuttaa esimerkiksi rakenteeseen kohdistuvat rasitukset ja suunniteltu käyttöikä. Näiden perusteella rakennesuunnittelija määrittelee muun muassa betonin lujuus- ja rasitusluokan sekä laatuvaatimukset. Työmaa voi vaikuttaa betonissa esimerkiksi suurimpaan raekokoon, notkeuteen, työstettävyyteen.

Betonimassan koostumuksella voidaan nopeuttaa 2-10 kertaaisesti betonin kuivumisaikaa. Kuivumista voidaan nopeuttaa esimerkiksi sementtilaatu valinnalla sekä käyttämällä pientä vesisementtisuhdetta että käyttämällä suurta raekokoa ja sitä puoltavaa rakeisuutta. Betonin lämpötilan nosto ja sen ylläpito tehostaa myös kuivumista. Betoni voidaan tilata työmaalle myös esilämmitettynä. Erikoisbetoneiden käytöllä voidaan merkittävästi vaikuttaa betonin kuivumisnopeuteen. Erikoisbetoneita ovat esimerkiksi korkealujuusbetoni (KL), nopeammin päällystettävällä betoni (NP) ja itsetiivistyvä betoni (IT). (Mantila & Petrow 2014, 85.) Betonin raaka-aineiden yleisvaikutukset kuivumiseen ovat esitelty luvussa 2.2. Normaalilattiabetonin ja nopeammin päällystettävän betonin kuivumisaikoja on verrattu kuviossa 12.



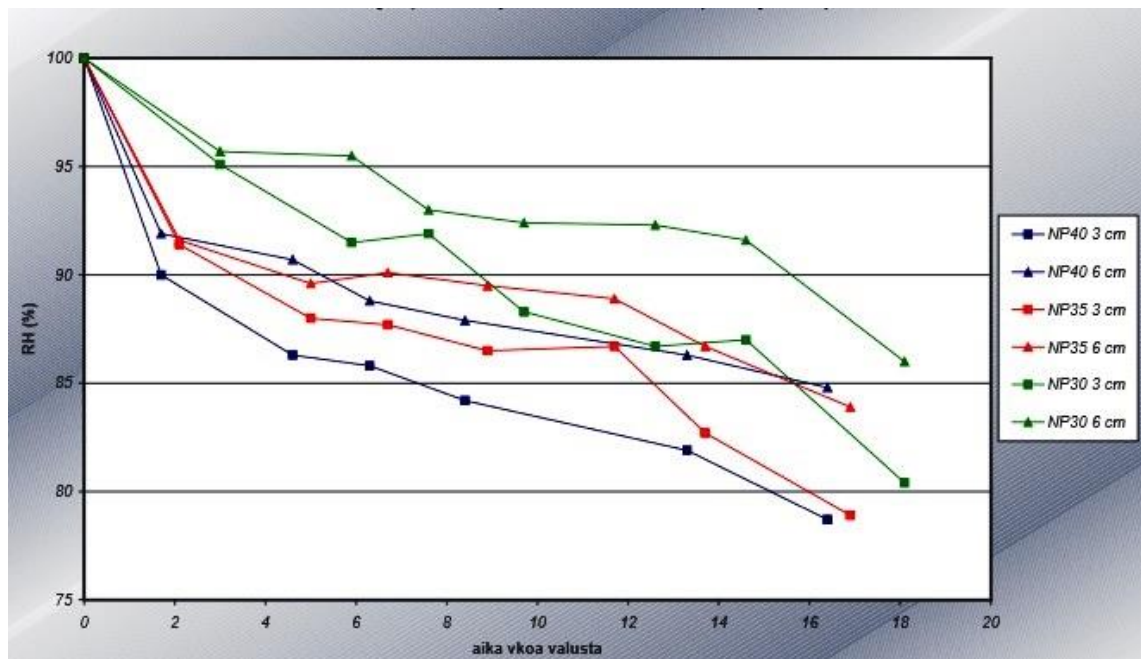
KUVIO 12. Betonilaadun vaikutus 200 mm paksun holvin kuivumiseen, kun rakenne on kaksi ensimmäistä viikkoa sateessa ja sitten olosuhteissa +20 °C/RH 50%. (Merikallio 2002, 42.)

Betonimassan koostumuksessa vesi-sementtisuhteella on useita vaikutuksia betoniin. Vesisementti-suhteen vaikutus betonin kosteuteen on huomattava, mitä suurempi vesisementti-suhde sitä enemmän haihdutettavaa rakennekosteutta betoni sisältää. Suuri vesi-sementtisuhte lisää myös kutistuman määrää. Vesi-sementtisuhteen ollessa alhainen tuoreesta betonista tulee todella jäykkää ja hankala työstää, mutta haihdutettavaa kosteutta on vähemmän ja kuivumisaika on lyhyempi. Alhaisen suhteen takia joudutaan yleensä lisäämään notkistavia lisäaineita. Vesi-sementtisuhdetta suunniteltaessa on otettava huomioon myös runkoaineen ominaisuus sitoa itseensä kosteutta. (Merikallio 2002, 33.) Vesi-sementtisuhteen vaikutusta hydrataatioikään on esitetty taulukossa 14.

TAULUKKO 14. Vesi-sementtisuhteesta riippuva betonin likimääräinen ikä, jossa sementin hydrataatio on edennyt niin pitkälle, että kapillaarihuokokset eivät enää muodosta yhtenäistä verkosta. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 18.)

Vesi-sementtisuhte	Vaadittava ikä (hydrataatioaika)
0,40	3 vuorokautta
0,45	7 vuorokautta
0,50	14 vuorokautta
0,60	6 kuukautta
0,70	1 vuosi
yli 0,7	ei koskaan

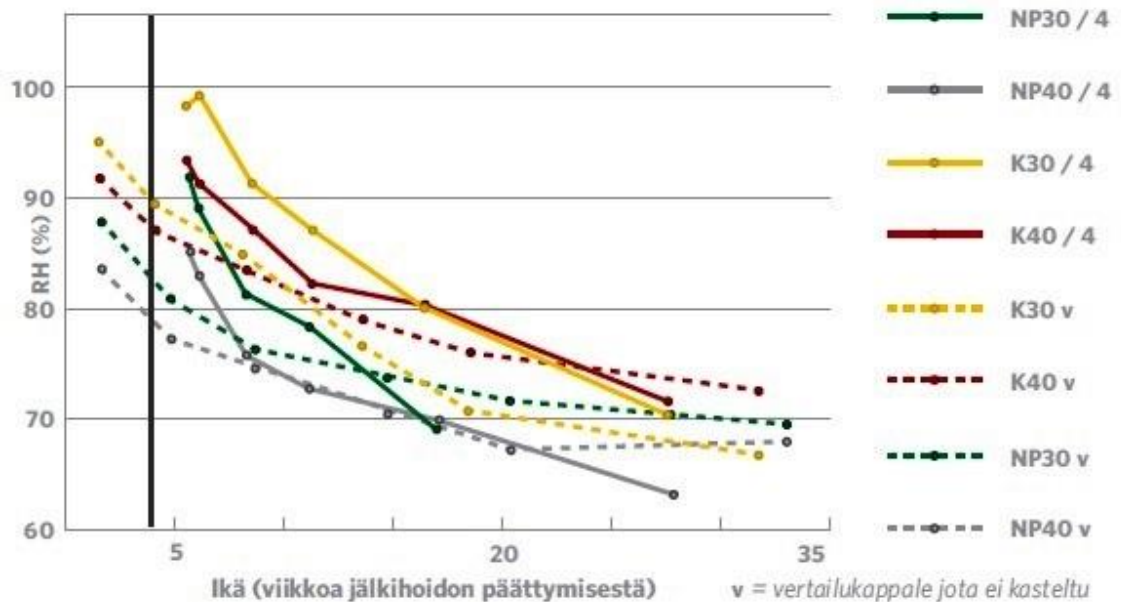
Erikoisbetoneilla voidaan vaikuttaa huomattavasti betonin kuivumisaikoihin. Erikoisbetoneiden nopeampi kuivuminen perustuu sementtilaatuun, alhaiseen vesisementtisuhteeseen ja lisäaineiden käyttöön. NP betoneissa on normaalibetoneja suurempi sementtimäärä ja alhaisempi vesimäärä. NP betonille ominaista on nopea varhaislujuuden kehitys sekä normaalia vähäisempi vedenimeytyminen hierrettyjen pintojen läpi. Nopeasta varhaislujuuden kehityksestä NP betoni vaatii myös erittäin huolellista varhaisjälkihoitoa. NP betoni on erittäin sitkeää työstää, johtuen suuresta hienoaines- ja lisäainemäärästä. Nopeammin päällystettävien betonien kuivumista eri lujuusluokissa on esitetty kuviossa 13. IT betoni on erittäin notkeaa ja leviävää, jota ei tarvitse erikseen tiivistää. Leviävyydestä johtuen pinnan laatu on tasaisempaa kuin normaalilattiabetonia käytettäessä. Pinnan tasaisuus vähentää ylimääräisten tasoitusten määrää ja näin ollen myös vähentää betonirakenteeseen johtuvaa ylimääräistä kosteutta. IT betonin jälkihoito on välttämätöntä. (Mantila 2014, 517.)



KUVIO 13. Nopeammin päällystettävien betonien kuivumisen kehittyminen eri lujuusluokissa. Holvi 300 mm paksu. Mittaussyvyyydet 3 cm ja 6 cm. (Merikallio 2006, 92.)

Kovettuneelle NP betonille ja IT betonille yhteistä on, että molemmat imevät itseensä ylimääräistä kosteutta huomattavasti hitaammin kuin normaalirakennebetoni. Toisaalta kastuneet erikoisbetonit kuivuvat vastaavasti hitaammin verrattuna normaalirakennebetoniin. Erona kosteuteen suhtautumisella näillä kahdella erikoisbetonilla on, että IT betoni imee itseensä vähemmän kosteutta verrattuna NP betoniin. IT betonin vähäinen ylimääräisen kosteuden imeminen itseensä johtuu sen erittäin tiiviistä rakenteesta. Tii-

viistä rakenteesta johtuen IT betonin täytyy olla useita viikkoja kosteudelle alttiina, jotta kosteus etenee edes muutaman senttimetrin syvyyteen. Kovettuneen NP betonin kastumisen jälkeistä kosteuskäyttäytymistä ja sen vertailua normaali betoniin on esitetty kuviossa 14.



KUVIO 14. 4 viikon iässä kastellun betonin kuivuminen, mittaus­syvyys 28 mm, holvi 300 mm (Rudus Oy)

### 3.5.3 Jälkihoito

Jälkihoidon päätehtävänä on turvata betonin lujuudenkehitys ja estää veden liian nopea poistuminen betonista, kunnes betonin suunnitellut mekaaniset ominaisuudet ovat saavutettu. (Mantila & Petrow 2014, 79.) Jälkihoidon tavoitteena on pitää suhteellinen kosteus betonin huokosissa lähellä veden kyllästymispistettä, siihen asti kunnes hydrataatio tuotteet sitovat riittävässä määrin betonirakennetta. Hydrataatio heikkenee, jos huokosten suhteellinen kosteus laskee alle 80 %. Jälkihoidolla tavoitellaan myös tasaista kuivumista, jotta vältetään betonin halkeamilta. Betonirakenteiden puutteellinen jälkihoito voi aiheuttaa rakenteille asetettujen vaatimusten täyttymättömyyden, vaikka valutyö olisi muuten erinomaisesti toteutettu. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 11.)

Jälkihoito tulee aloittaa heti tai viimeistään tunnin kuluttua pinnan hierron jälkeen. Ennen hierontaa betoni pitää olla huolella täytetty, jotta massasta poistuu ylimääräinen ilma



pois. Betonin hierron tarkoituksena on tiivistää betonin pintaosa, vähentää huokoisuutta ja samalla parantaa pinnan lujuutta ja tiiviyttä. Hyvälaatuisen betonipinnan saaminen edellyttää riittävää jälkihoitoa betonin sitoutumisen alkuvaiheessa. Vaativissa olosuhteissa jälkihoito tulee aloittaa jo betonipinnan oikaisun yhteydessä tapahtuvalla varhaisjälkihoidolla. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 11.)

Betonin jälkihoitotavat tulee suunnitella aina tapauskohtaisesti. Jälkihoito koostuu kolmesta tehtävästä: suojaamisesta, kosteana pitämisestä ja kovettumislämpötilan huolehtimisesta. Jälkihoito on erittäin tärkeässä roolissa runkovaiheen aikana, jolloin holvit ovat alttiina ulkoisille haittavaikutuksille.

Kosteana pitäminen on edellytys siihen, että kovettumisreaktiot jatkuisivat riittävän pitkään ja betoni saavuttaa tavoitelujuuden. Riittävä kosteus betonissa ylläpidetään estämällä kosteuden haihtuminen joko ruiskuttamalla jälkibetoniaminetta tai muovikalvolla peittämällä. Rakenteen jälkihoito vedellä kastelemalla ei ole suotavaa, jottei haihdutettavan kosteuden määrä lisäänty. Jälkihoitoainetta ruiskutettaessa tulee varmistua pitääkö se myöhemmin hioa pois vai haihtuuko se itsestään. Muovikalvo on myös hyvä ratkaisu holvien suojaamiseen ylimääräiseltä vedeltä. Suojaamisella vältetään kovettuvan betonin ylimääräinen kastuminen, joka hidastaa huomattavasti betonin kuivumista. (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 331-332.) Kastumisen vaikutusta kovettuvaan betoniin on käsitelty luvussa 3.5.4.

Betonivalun jälkeen betonin lämpötilaa tulee seurata täsmällisesti, jotta varmistutaan sitoutumisen etenemisestä. Lämpötila arvojen ollessa heikot on ryhdyttävä toimenpiteisiin, ettei hydrataatio pääse pysähtymään. Lämpötilan nostaminen betonissa nopeuttaa sementin ja veden välistä hydrataatiota. Jo 10 °C nostolla saadaan betonin reaktioaika puolittumaan. Betonin lämmitystä ei tule tehdä liian aikaisin liian tehokkaasti, jotta vältetään betonin halkeilu. Lämpötilojen muutokset tulee tehdä hitaasti ja hallitusti. Hyvänä sääntönä voidaan pitää maksimissaan 5°C nostoa yhdessä päivässä. Hydrataatioreaktiota ei voi kuitenkaan kiihdyttää rajattomasti betonin lämpötilaa nostamalla, koska betoni tulee lämpökäsitellyksi yli 50 °C lämpötilassa, jolloin tapahtuu lujuuskatoa. (By 45/BLY 7. Betonilattiat 2014, 46.) Betonin lämpötilojen vaikutus betonin lujuuden kehitykseen on esitelty taulukossa 15.

TAULUKKO 15. Betonin lämpötilan vaikutus betonin/betonimassan lujuuden kehitykseen (Sahlstedt ym. 2014, 15)

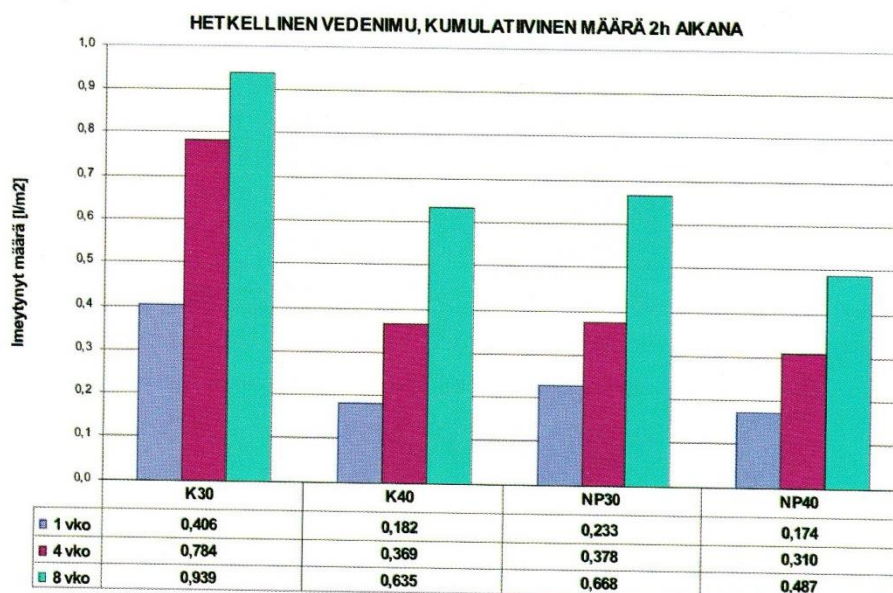
Lämpötila [°C]	Huomioita
> + 60	Seurauksena lujuuskatoa ja säilyvyyden heikentyminen. Lujuuskadon määrä selvitetään ja otetaan huomioon.
+ 50 ... + 60	Yhden vuorokauden lujuudet nousevat, mutta valmiin betonin lujuusominaisuudet kärsii (lujuuskato).
+ 30 ... + 40	Betonimassan suositeltava kovettumislämpötila
+ 20	Betonin tavoitelujuus saavutetaan n. 28vrk:n kuluttua.
+ 5	Betonilla ei ole havaittavaa lujuutta vielä yhden vuorokauden iässä.
< 0	Betonin lämpötilan laskiessa alle 0 °C:n lujuuden kehitys käytännössä lakkaa. Betonissa oleva vesi alkaa jäätyä.
-10 ... - 15	Lujuudenkehitys pysähtyy käytännössä katsoen kokonaan. Jäätäneellä betonilla saattaa olla valelujuutta.

Betonin lämpötilaa voidaan nostaa lämmittämällä muottia tai betonia. Betonoinnissa voidaan käyttää myös esilämmitettyä betonia. Kylmälle alttiita paikkoja, kuten ulokkeet, voidaan lämmittää lankalämmittimillä. Lämpöhäviötä voidaan puolestaan estää käyttämällä muovipintaisia lämpömattoja valun päällä. (Hatakka 18.11.2014.)

### 3.5.4 Kosteudelta suojaus

Työmaalla voidaan vaikuttaa kuivumisaikoihin merkittävästi. Kosteuslähteiden tuntemin ennakkoon antaa valmiuden toimia siten, että betonin kuivatus voidaan suorittaa tehokkaammin.

Betoniholvien kastumista tulee välttää betonin kuivumisvaiheessa, koska se hidastaa merkittävästi betonin kuivumisnopeutta. Mitä myöhemmässä vaiheessa kuivumista betoniin pääsee ylimääräistä kosteutta, sitä enemmän siitä on haittaa betonin kuivumiselle, koska myöhäisemmässä vaiheessa betoni imee enemmän vettä itseensä. Suuremman vedenimun takia haihdutettavaa kosteutta on enemmän. Valuvaiheessa betonin huokokset ovat lähes täynnä vettä, joten niihin ei mahdu ylimääräistä kosteutta juuri lainkaan. Kovettumisen edetessä huokosrakenne tiivistyy, mutta ei tarpeeksi kyetäkseen estämään ylimääräisen veden pääsyä rakenteeseen. Huokosrakenteen tiivistyminen vaikeuttaa ainoastaan kosteuden poistumista rakenteesta. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 22.) Betonin hetkellinen vedenimu eri ajankohtina on esitetty kuviossa 15.



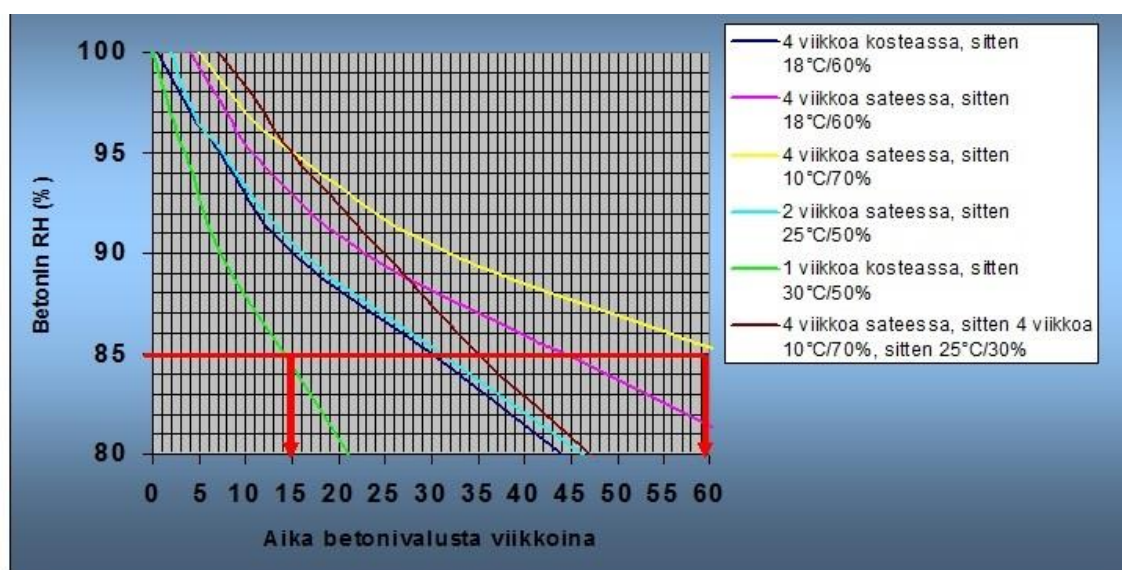
KUVIO 15. Eri betonilaatujen vedenimu eri aikoina (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 19)

Betonin kastumis- ja kuivumiskäyttäytymistä voidaan verrata talouspaperiin. Talouspaperi imee nopeasti kosteuden itseensä, mutta kuivuminen entiselleen kestää erittäin kauan ilman apukeinoja. Apukeinoja, kuten lämmitys, käyttämällä kuivumista voidaan nopeuttaa. Kuivattamiseen kuluu ylimääräistä aikaa, joka hidastaa talouspaperin uusiokäyttöä. Talouspaperin kuivumista ja uusiokäyttöä voidaan verrata betonin kuivumiseen ja sen hyödyksi käyttöön, kuten päällystettävyyteen. Ylimääräinen betonin kuivataminen vie suuren loven kallisarvoisesta ja lyhyestä rakennusajasta. Tästä johtuen työmaalla tulee kiinnittää erityistä huomiota holvien suojaukseen ylimääräiseltä kosteudelta.

Paras ratkaisu sateista johtuvan kosteuden ehkäisyyn on koko rakennuksen huputtaminen runkovaiheessa, kunnes vesikatto on kauttaaltaan vedenpitävä. Kyseinen huputtamistapa onnistuu parhaiten, kun hupun sisälle on pystytetty hallinosturi. Edellä mainittua tapaa on jo käytössä puurakentamisessa. Teknologian kehittyessä ja määräysten uusiutuessa myös betonirakentamisessa koko runkovaiheen huputtaminen tulee yleistymään. Perinteistä huputtamistapaa, jossa ei ole hallinosturia, pystytään harvoin hyödyntämään runkovaiheen ollessa kesken, koska rakennuksen hupun vaatima kehikko on monesti tiellä elementtejä asennettaessa. (Hatakka 2014.)



Jos rakennusta ei huputeta, tulee rakennuksen runko saada nopeasti pystyyn ja vesikatto vedenpitäväksi. Runkovaiheen ollessa vielä kesken, holvien tiivyyteen tulee kiinnittää huomiota, etteivät sateet pääse kastelemaan alempien kerroksien betonirakenteita. Holvien suojaamisessa pitää huomioida suojen paikalla pysyvyys ja sadevedet tulee ohjata holveilta pois joko pysyvää viemärijärjestelmää käyttämällä tai poistaa vesilammikot vesi-imuria käyttämällä. Holveille satava lumi tulee ensisijaisesti poistaa mekaanisesti, koska lumen sulaessa kosteus lisääntyy. Holvien ympäristöolosuhteiden vaikutusta betonin kuivumisaikoihin on esitetty kuviossa 16.



KUVIO 16. Paikallavaaletun 250 mm paksun välipohjan kuivumisaikoja erilaisissa olosuhteissa. Betonin vesi-sementtisuhde on 0,7. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 23.)

Rakennuksen edetessä betoniholveille aiheutuu lisäkosteutta ympäröivästä huoneilmasta, vesivahingoista, roiskevesistä ja materiaalien mukana. Ympäröivää huoneilmaa ja sen muutoksia ja vaikutusta betoniin käsitellään tarkemmin luvussa 3.5.5. Betonirakenteet tulisi valaa kerralla oikeaan korkoon, jotta vältetään ylimääräisiltä lattiatasoituksilta. Jokainen lattian oikaisukerros tuo lisäkosteutta kovettuvaan holviin ja muodostaa siihen mahdollisesti vesihöyryä läpäisemättömän kalvon. Vesihöyryä läpäisemätön kalvo saattaa pahimmassa tapauksessa kääntää betonin kaksisuuntaisen kuivumisen yksisuuntaiseksi, joka saattaa lisätä olosuhteista riippuen betonin kuivumisaikaa jopa nelinkertaiseksi. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007. 22.)

Vesivahinkojen aiheuttamiin vaurioihin työmaalla tulee varautua nopealla kaluston saatavuudella, kuten vesi-imurin ja kuivauslaitteiden. Vesivahingon aiheuttaja pitää korjata välittömästi, jotta vältytään uusilta vaurioilta. Kaluston nopea saatavuus on myös huomioitava vesipisteen vaatimissa töissä, kuten esimerkiksi laatoitus- ja tasoitustöissä, joissa mahdollisesti tapahtuvat vesisaavien kaatumiset voidaan kuivata nopeasti. Vesipisteen lähiympäristö tulee suojata myös mahdollisilta roiskevesiltä. (Merikallio 1998, 15.)

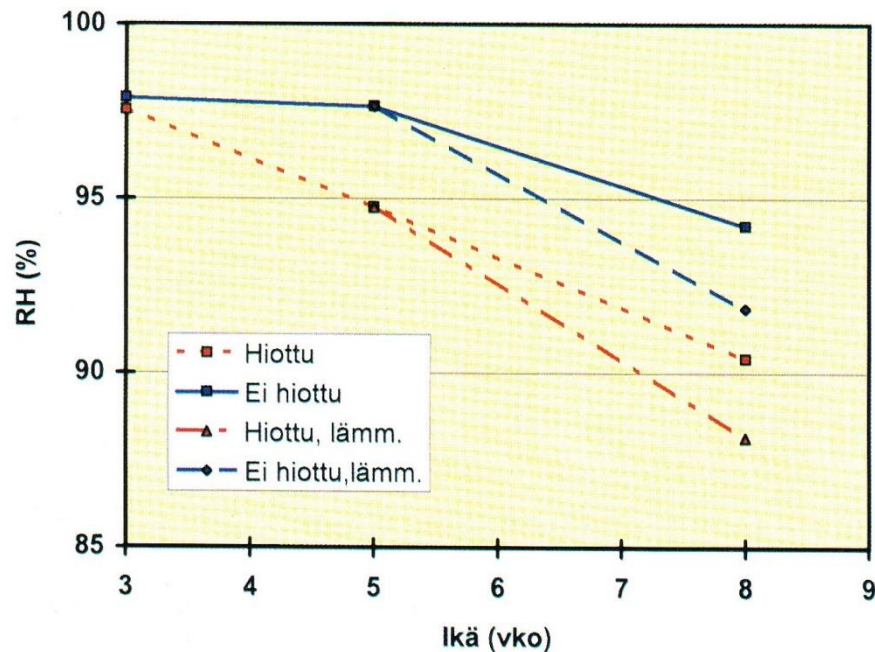
Rakennusmateriaalien mukana kerrokseen tuleva lisäkosteus voidaan estää jo hyvissä ajoin. Kosteudelle alttiita rakennusmateriaaleja tilattaessa työmaalle oletuksena tulisi olla, että materiaalit ovat jo tehtaalta lähetettäessä kuivat ja kosteudelta suojatut, mutta näin ei aina ole. Säältä suojaamiseen on monia tapoja. Materiaalit voidaan tilata työmaalle niin pieninä erinä, että ne siirretään suoraan kerrokseen ja saman tien asennetaan paikoilleen, mutta tämä ei ole taloudellisesti kannattavaa. Jokainen materiaalien kuljetus työmaalle on ylimääräinen menoerä, joten materiaaleja tilattaessa tulee huomioida työmaan logistiset puitteet. Tilattavien erien kasvaessa rakennusmateriaalit varastoidaan joko työmaan välivarastoon tai suoraan rakennuksen sisälle.

Rakennuksen sisälle varastoitaessa materiaalit pitää aina varastoida pattinkien varaan tai lavoille. Tällä vältetään betonin diffuusiokuivumisen estäminen sekä mahdollinen kapillaarinen kosteuden siirtyminen materiaalista betoniin. Tämä tulee huomioida etenkin rungon mukana holville varastoitaessa tavaraa, kuten kipsilevyt. Välivarastoitaessa työmaa-alueelle rakennusmateriaalit tulee välittömästi niiden saavuttua suojata säältä muovilla tai pressuilla sekä nostaa irti maanpinnasta, jottei materiaaleihin tapahdu kosteuden kapillaaristasiirtymää. (Hatakka 2014, 15.)

### **3.5.5 Kuivumisolosuhteet**

Betonirakenteen kuivumista, vesikaton ollessa kokonaan ummessa, voidaan tehostaa luomalla hyvät ympäristöolosuhteet. Ympäristön suhteellinen kosteusprosentti, ilmavirrat ja lämpötila vaikuttavat siihen, miten nopeasti betonirakenteen pinnalla oleva kosteus haihtuu ja miten nopeasti rakenteen sisällä oleva kosteus siirtyy pintaan. Rakennusta lämmitettäessä tulee huomioida, että tuuletus on kunnossa. Kuivumista voidaan tehostaa myös aikaisella betonipinnan hionnalla, sillä betonin kovettuessa betonin pinnalle muo-

dostuu kalvo, joka estää diffuusion tapahtumista. (Merikallio 2002, 35.) Esimerkkinä betonipinnan hionnan vaikutusta betonin kuivumiseen on esitetty kuviossa 17, jossa hiottavana pintana on kylpyhuoneen kaatolattia.

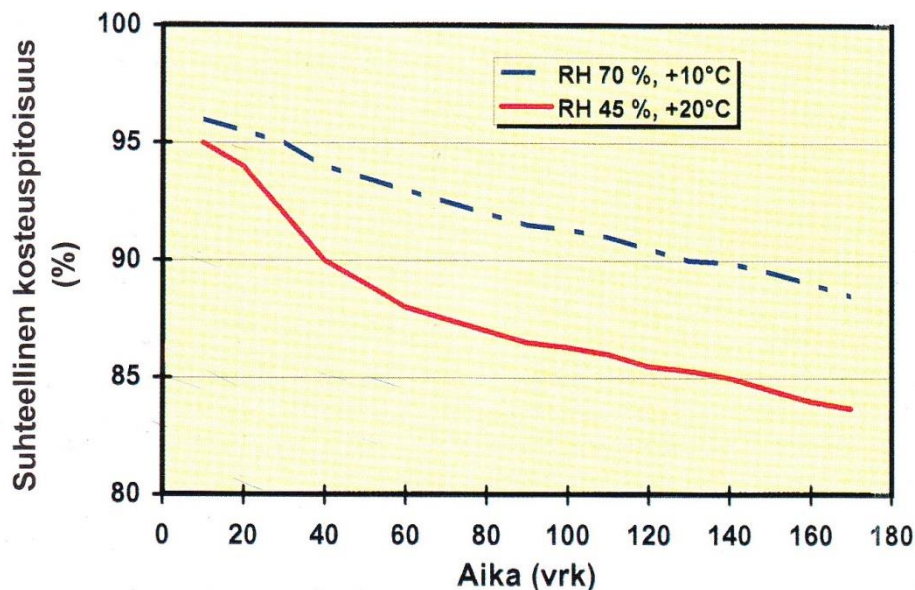


KUVIO 17. Pinnan hionnan ja lankalämmityksen vaikutus lattiabetonin C25/30 kuivumiseen kylpyhuoneen kaatolattioissa. Lämmitys päällä 11 vuorokautta valun ollessa 3,5-5 viikon ikäinen. (Lumme & Merikallio 1997, 20.)

Lämpötilan nostolla betonissa ja sitä ympäröivässä ilmassa on vaikutusta diffuusiohaihtumiseen. Betonirakennetta ympäröivän ilman lämpötilan noustessa myös sen suhteellinen kosteus laskee, jos vesihöyrynmäärä ( $\text{g/m}^3$ ) pysyy vakiona. Näin ollen sen kyky vastaanottaa betonista haihtuvaa kosteutta kasvaa. Betonirakenteen lämpötilan kasvaessa betonin vesihöyrynpaine kasvaa ja samalla myös paine-erosta johtuva kosteutta siirtävä voima kasvaa. Jos lämpötilaerolla halutaan nopeuttaa betonin kuivumista, on lämmitettävä siis itse betonia. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 21.)

Betonirakennetta ympäröivän ilman lämpötilaa voidaan pitää hieman korkeampana betonin kuivumisen alkuvaiheessa verrattuna lopulliseen käyttölämpötilaan. Ennen betonipinnan päällystetöitä tulee lämpötila kuitenkin tiputtaa maltillisesti lähelle lopullista käyttölämpötilaa, jottei kosteus tiivisty betonipinnan ja päällysteen väliin. Ennen betonin päällystämistä pitää tehdä aina kosteusmittaukset, jotta varmistutaan rakenteen riittävästä kuivuudesta. Kosteusmittaukset tulee tehdä oikeassa lämpötilassa, joka selviää päällystemateriaalin käyttötiedoista. Kosteusmittauksiin perehdytään tarkemmin luvussa

4.0. (Lumme & Merikallio 1997, 15.) Ympäristön ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaikutus kahteen suuntaan kuivuvaan rakenteeseen on esitetty kuviossa 18.



KUVIO 18. Ympäristön ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaikutus 250 mm paksuun kahteen suuntaan kuivuvaan betonin (C25/30) rakenteeseen (Lumme & Merikallio 1997, 15)

Rakennuksen lämmittämisessä hyödynnetään ensisijaisesti rakennuksen omaa lämmitysjärjestelmää. Runkovaiheen edetessä kerrokset pitää osastoida tiiviiksi kokonaisuuksiksi, jotta lämmitys voidaan kytkeä alemmissa kerroksissa päälle. Oman lämmitysjärjestelmän asentamisen ollessa vielä kesken, voidaan työmaalla ottaa rakennuslämmittimet käyttöön ylläpitämään lämpöä rakennuksessa. (Hatakka 2014)

Lämmittimiä voidaan käyttää myös lisälämmityksenä lopullisen lämmitysjärjestelmän ohessa, mikäli lämmitysjärjestelmän kapasiteetti ei riitä betonin kuivattamiseen. Rakennuslämmittimiä on useita erikokoisia ja eritehoisia. Lämmittimien valintaan vaikuttaa lämmitettävän kohteen koko ja lämmönlähteen saatavuus, esimerkiksi kaasun saatavuus. Lisälämmitykseen voidaan käyttää muun muassa sähköä, öljyä, kaasua ja neste-kaasua. Nestekaasulämmittimet ovat erittäin tehokkaita lämmittimiä, mutta niistä aiheutuu myös paljon kosteutta ilmaan. Lämmitinvalinnan muistisääntönä on, että useampi pienempi lämmitin on parempi kuin yksi tehokas, koska useampi lämmönlähde lämmittelee kohdetta tasaisemmin kuin yksi iso. Betonirakennetta lämmitettäessä lämmityslaitteet on sijoitettava siten, ettei kosteusvirtaa käännetä vastoin luonnollista kulkusuuntaa.

Esimerkiksi säteilylämmittimet tulee asentaa holvin alapuolelle. (Lumme & Merikallio 1997, 19.)

Diffuusiohaihtumista voidaan tehostaa laskemalla huonetilan ilman suhteellista kosteutta joko tuuletuksella tai koneellista kuivainta käyttämällä. Edellytyksenä huonetilan ilman muutokseen on ikkunoiden aikainen asentaminen sekä kerroksien osastoiminen tiiviiksi kokonaisuuksiksi, jotta ei tapahtuisi hallitsemattomia ilmavuotoja. Betonin korkea suhteellinen kosteusprosentti edellyttää vähintään +20 °C lämpötilaa huoneilmassa sekä ilman suhteellisen kosteuden (RH) tulee olla 50–60 %, jotta diffuusiosiiirtymä olisi tehokasta. Huonetilan ilman suhteellisen kosteusprosentin laskeminen alle 50 %:iin ei tehosta tutkitusti diffuusiota sen enempään kuin mitä se on 50-60 %:n välillä. (Merikallio 1998, 19.)

Huoneilman tuuletuksessa on varmistuttava siitä, että tuuletettava ilma on kuivaa. Ulko- ja sisäilmalla on lähes aina eroa kosteuspitoisuuksissa, joten ennen ikkunoiden aukaisemista on varmistuttava, että tuuletettava ulkoilma on kuivempaa kuin sisäilma. Ilman kuivuus voidaan todentaa luvussa 3.3 käytettyjen laskentakaavojen perusteella.

Betonin pinta tulee pitää myös puhtaana, jottei holvin kaksisuuntainen kuivuminen muutu yksisuuntaiseksi. Yksisuuntainen kuivuminen on erittäin hidasta, sillä diffuusio-alue kasvaa kaksinkertaiseksi. Hyvissä kuivumisolosuhteissa täytyy myös estää liialliset ilmavirtaukset, jotka kasvattavat betonin pinnan ja keskiosan välistä kosteuseroa. (By 45/BLY 7. Betonilattiat 2014, 46.)

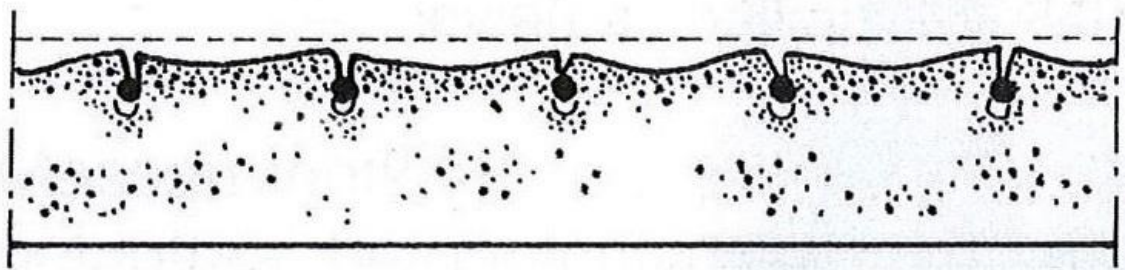
### **3.6 Holvien kutistuma**

Kutistuma on betonin kovettumisen aiheuttavan kemiallisen reaktion ja kuivumisen takia tyypillinen ominaisuus betonille. Kutistumatonta normaalibetonia ei ole olemassa, mutta kutistuman syntymiseen ja suuruuteen voidaan vaikuttaa betonin jälkihoidolla. Kutistumat voidaan jakaa kahteen osaan, varhais- ja myöhäisvaiheen kutistumaan. Varhaisvaiheen kutistumat muodostuvat 1-48 tunnin aikana valusta ja myöhäisvaiheen kutistumat muodostuvat betonin kovettumisen jälkeen. Varhaisvaiheen kutistumia ovat plastinen kutistuma ja plastinen painuma. Myöhäisvaiheen kutistumalla tarkoitetaan betonin kuivumisesta johtuvaa luonnollista kutistumaa eli kuivumiskutistumaa. Jälki-

hoidolla voidaan vaikuttaa merkittävästi varhaisvaiheen kutistumaan, mutta myöhäisvaiheen kutistumaan sillä ei ole suurta merkitystä. (By 45/Bly 7. Betonilattiat 2014, 138-140.)

Potentiaalisesti suurin kutistumatyyppi on plastinen kutistuma ja siksi sen hallinta on tärkeää lattian laadun kannalta. Se on myös yleisin halkeilun syy lattioissa, vaikka useimmissa tapauksissa se on estettävissä. Plastisella kutistumisella tarkoitetaan betonin kutistumista vaakatasossa. Plastisessa vaiheessa vesimäärän haihtuminen betonin pinnassa on suurempaa kuin syvemmältä betonista pinnalle erottuva korvaava vesimäärä, jonka seurauksena betonin pintaan syntyy vetojännitteitä. Vetojännitteiden takia betonin pintaan syntyy halkeamia. Tätä tapahtuu vain tuoreessa betonissa ja sitä jatkuu niin kauan kuin kiviaines ja sementti pystyvät liikkumaan. Halkeamien syntyä voidaan estää turvaamalla betonin tasainen kuivuminen hyvällä jälkihoidolla. (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 73.)

Plastinen painuma tarkoittaa betonin painumista alaspäin veden noustessa ylöspäin, eli veden erottuessa. Tämä johtuu painovoiman vaikutuksesta, sillä kiviaines ja sementti ovat painavampia kuin vesi. Plastisen painuma voi aiheuttaa halkeamia betonin pinnassa varsinkin terästankojen kohdalla. Plastisen painuman aiheuttamat halkeamat ovat esitetty kuviossa 19. Plastista painumaa holveissa voidaan estää käyttämällä riittävästi notkeustasoa (S2-S3), sopivaa rakeisuuskäyrää ja kohtuullista vesimäärää. (By 45/Bly 7. Betonilattiat 2014, 139.)



KUVIO 19. Plastisen painuman aiheuttamia halkeamia raudoituksen kohdalla (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 72)

## 4 KOSTEUSMITTAUKSET

### 4.1 Teoria

Betonin suhteelliseksi kosteudeksi kutsutaan betonin rakennehuokosissa olevan ilman suhteellista kosteutta. Suhteellista kosteutta merkitään RH (*relative humidity*). Betonin sisältämä suhteellinen kosteus kuvaa liikkumiskykyistä, kuten esimerkiksi päällysteen alle, tasapainottumaan pystyvää kosteuspitoisuutta. Betonin kosteusmittauksia tehdään, kun halutaan varmistaa betonin suhteellinen kosteusprosentti (RH %) ja lämpötila (°C). Kyseiset tiedot ovat merkittävässä arvossa betonin päällystettävyyttä selvitetessä. Betonin suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvot ovat tärkeitä tietoja kun seurataan betonin kuivumisen kehitystä rakennusaikana. Tietoja tarvitaan myös kosteusvaurioita selvitetessä sekä niiden kuivatustarpeen määrittämisessä. (Rakennustieto Oy.)

Päällystettävyyden arvot eivät tarkoita, että betonirakenteen täytyisi olla kauttaaltaan kuivunut alle annetun raja-arvon. Raja-arvon alitus riittää arviointisyvyyteen (A) asti. Päällyste- ja pintamateriaalien raja-arvot tulee aina tarkistaa tuoteselosteesta. Tuoteselosteesta tulee myös tarkistaa raja-arvojen lisäksi lämpötila, jossa materiaalia voi käyttää. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 27.)

### 4.2 Mittausmenetelmät

Kosteuden mittausmenetelmiä on useita erilaisia. Mittausmenetelmät jaetaan kahteen pääryhmään, tarkkoihin menetelmiin ja suuntaa antaviin menetelmiin. Molemmissa tarkoituksena saada selville mitattavan betonin lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH%).

Tarkkoihin mittausmenetelmiin kuuluu porareikä- ja näytepalamittaukset, jotka ovat tarkimpia mittausmenetelmiä, joita rakennustyömailla käytetään. Tarkat mittausmenetelmät ovat rakenteita rikkovia ja työläämpiä mittauksia verrattuna suuntaa antaviin mittauksiin. Suuntaa antaviin mittausmenetelmiin kuuluu pintakosteusilmaisimien käyttö sekä porareikä- ja näytepalamittausmenetelmien sovellukset, kuten mittaus putkittamattomasta reiästä ja useasti toistuvat mittaukset samoista rei'istä. Suuntaa antavia mene-

telmiä käytettäessä tulee huomioida tulosten suuret poikkeamat. Pintakosteuden osoittimia voidaan käyttää haluttaessa kartoittamaan kosteimmat alueet rakenteissa. (Hatakka 2014, 15.)

### **4.3 Toimintaohjeet lattioiden kosteusmittauksiin**

Opinnäytetyön yhteydessä YIT Rakennus Oy:lle tehtiin toimintaohjeet lattioiden kosteusmittauksien suorittamista varten. Toimintaohjeet kosteusmittauksiin on nähtävissä liitteessä 1. Toimintaohjeiden teossa paneuduttiin Talonrakennus Tampere ja Pohjanmaa -yksikön (TR/TAM) toimintatapoihin. Toimintaohjeita voidaan käyttää myös muissa YIT:n yksiköissä, mutta ennen sen käyttöönottoa tulee tehdä päivitys ohjeiden lopussa olevien tekstien osalta, kuten yhteystietojen. Toimintaohjeiden teossa on käytetty lähteinä RT 14-109840 ohjetta, joka käsittelee betonin suhteellisen kosteuden mittausta. Kirjallisena lähteenä ohjeessa käytettiin Merikallion (2007) ”Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet” kirjaa. Lisäksi toimintaohjeiden lähteenä käytettiin työmaalla hyväksi havaittuja toimintatapoja, kuten sinitarran korvaaminen akryylimassalla asennusholkkien tiivistämisessä ja syvyydensäätölaippojen kiinnityksessä. Toimintaohjeiden tarkoituksena on luoda kosteusmittauksien tekijälle selkeät toimintaohjeet havainnollistavien kuvien avulla.



## 5 POHDINTA

Lattioiden kosteusvaurioiden taustalla on monesti heikosti hoidettu paikallavaluholvien kuivattaminen rakennusaikana (Hatakka 2014). Betoniholvien kuivumisesta rakennusaikana seurataan betonin suhteellista kosteutta mittaamalla kosteusmittauksin. Kosteusmittaukset tulee tehdä määräysten mukaan ja huolellisesti, jotta mittaustulokset antavat luotettavaa tietoa betonin suhteellisesta kosteudesta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda kosteusmittauksiin toimintaohjeet havainnollistavien kuvien kanssa, jotta mittauksien suorittaja saa selkeän näkemyksen kosteusmittauksien etenemisestä ja siihen liittyvistä toimintatavoista.

Toimintaohjetta lattioiden kosteusmittauksiin laadittaessa havaittiin toimivana menetelmänä korvata sinitarran käyttö akryylimassalla asennusholkkien tiivistyksessä ja syvyydensäätölaippojen kiinnityksessä. Sinitarran korvaaminen akryylimassalla tekee holkin juuresta tiiviimmän, mikä johtaa luotettavimpiin kosteusmittaustuloksiin. Syvyydensäätölaippojen kiinnitys akryylimassalla betonirakenteeseen tekee valmiista asennusholkista tukevamman kompleksin, joka estää pienien kolhujen aiheuttamat holkkien irtoamiset. Asennusholkkien irtoaminen mitattavasta rakenteesta on yleinen ongelma rakennustyömailla. Usein irtoamisen syynä on epähuomiossa tapahtunut asennusholkin kolhaiseminen jalalla. Holkkien irtoaminen vie ylimääräistä aikaa ja johtaa uusiin kosteusmittauksiin, koska holkit tulee asentaa uudestaan sekä niiden tasaantumisaikat tulee täyttyä uudestaan. Akryylimassan käyttö sinitarran sijasta vie hieman enemmän aikaa, mutta lopputuloksena saadut hyödyt ovat paremmat kuin sinitarran käytöllä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä eri betonilaatujen kosteuskäyttäytymiseen ja paneutua paikallavaluholvien kuivumiseen vaikuttaviin tekijöihin sekä kuivumisen tehostamiseen. Betonin kuivumisesta ei saa sekoittaa betonin kovettumiseen. Betonien kosteuskäyttäytymistä tutkittaessa huomattiin, että betonin kovettumisen alkuvaiheessa kosteuden siirtyminen pois betonista on suurempi verrattuna kovettuneeseen betoniin. Kosteuskäyttäytymisessä huomattiin myös, että kovettunut betoni imee itseensä helposti vettä, eli kastuu, mutta kastuttuaan se kuivuu hitaammin kuin tuore betoni.

Betonityypin valinnalla on suuri merkitys kovettuneen betonin kykyyn imeä ylimääräistä vettä itseensä sekä kykyyn haihduttaa sitä. Erikoisbetoneilla saavutetaan betonin no-

pea kuivuminen. Kovetuttuaan erikoisbetonien vedenimukyky on pienempi kuin normaali lattiabetonien johtuen erikoisbetonien tiiviistä rakenteesta. Tiiviistä rakenteesta johtuen kosteuden haihtuminen on erittäin hidasta verrattuna normaalilattiabetoniin.

Betonin suojaaminen ylimääräiseltä kosteudelta on erittäin tärkeää, ettei rakenteiden kastumista pääse tapahtumaan. Paras tapa ylimääräiseltä kosteudelta suojaamiseen on koko rakennuksen huputtaminen runkovaiheen ajaksi. Tämä ehkäisee monia ulkoisista kosteuden lähteistä peräisin olevia kosteusongelmia. Huputtaminen tekee myös holvivalujen jälkihoidosta helpompaa. Rakennuksen huputtamisen ansiosta työmotivaatio parantuu ja samalla työtehokkuus lisääntyy. Etenkin syysateiden aikaan, koska mieluummin ihminen työskentelee kuivana kuin läpimärkänä.

Paikallavaluholvien kuivumiseen perehdyttiin ensin kartoittamalla betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät, jonka jälkeen selvitettiin millä tavoin näihin tekijöihin voidaan vaikuttaa. Holvien kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä tutkittaessa betonin ihanteellisiksi kuivumisolosuhteiksi havaittiin, että ilman lämpötilan tulisi olla yli  $+20^{\circ}\text{C}$  ja suhteellisen kosteuden tulisi lähellä 50 %. Ihanteellisissa kuivumisolosuhteissa ilmavirtauksien vaikutus betoniin täytyy estää. Betonin kuivumista voidaan nopeuttaa esimerkiksi koostumuksen valinnalla ja betonin lämpötilaa nostamalla.

Nopea rakentamiskulttuuri aiheuttaa jatkuvia muutoksia suunnitelmiin. Muutokset kosteudenhallintasuunnitelmaan eivät ole poikkeus. Kosteushallintasuunnitelman huolellisella ennakkoon suunnittelulla ja pohtimisella voidaan varautua moniin kosteudesta syntyviin haastaviin tilanteisiin. Ennakkoon suunnittelussa tulisi määrätä yksi ainut henkilö, joka vastaa kosteudenhallinnasta koko rakennushankkeen aikana. Vastuu käsitäisi kosteudenhallintasuunnitelman sekä sen päivityksen ja tämän tiedon jakamisen muille rakennushankkeen osapuolille. Tietojen päivityksellä ja tiedon jakamisella vältytään mahdollisilta epätietoisuuksilta osapuolten välillä.

Yksi kosteusongelmien suurimmista syistä on rakennustöiden hoitaminen minimivaatimuksin (Hatakka 2014). Rakentamiskulttuurissa tulisi tapahtua samanlainen vallankumous asenteissa kosteutta kohtaan kuin muutamia vuosia sitten tapahtui suhtautumisessa työturvallisuuteen. Ennen vanhaan ei tullut mieleenkään esimerkiksi käyttää kypärää rakennustöissä. Nykyään työturvallisuuden kehittyminen on pakottanut jokaisen osapuolen käyttämään kypärää rakennustyömaalla. Asennemuutos kosteutta kohtaan tulisi

tapahtua jo tilaajasta lähtien. Tilaajan täytyy määrittää riittävän korkea taso kosteudenhallinnalle, jotta rakennustyömaalla tehtävä kosteudenhallinta pysyy rakennusmääräyskokoelmassa mainitun rakennustavan tasolla. Kokoelma määrittää tavan miten rakennus tulee suunnitella ja rakentaa ilman, että se aiheuttaisi hygienia- ja terveysriskejä.

Tulevaisuuden haasteena on saada ihmisten asenteet muuttumaan kosteudenhallintaa kohden. Jatkossa haasteena on myös runkovaiheen rakentaminen hupun suojassa taloudellisesti ja aikataulullisesti kannattavasti. Mikäli rakennusta ei huputeta, haasteena on valita oikea tapa rakentaa runkovaihe niin, ettei rakenteiden ylimääräistä kastumista pääse tapahtumaan. Jatkossa kovettuneen betonin kastumisen jälkeistä uudelleen kuivumista tulisi tutkia, jotta voidaan havainnollistaa ihmisille, kuinka tärkeää kastumisen ehkäiseminen on rakentamisessa.

## LÄHTEET

Betoniteollisuus ry. Valmisbetoni. Lujuuden kehitys. Tulostettu 18.11.2014.  
<http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/betoniteknologia/lujuuden-kehitys>

Björkholtz, C. 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. 3. painos. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004. Suomen betoniyhdistys ry. 2009. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

By 43. Betonin kiviainekset 2008. Suomen betoniyhdistys. 2009. Helsinki: Multiprint Oy.

By 45/BLY7. Betonilattiat 2014. Suomen Betoniyhdistys. 2013. Helsinki: Tammerprint.

By 50. Betoninormit 2012. Suomen Betoniyhdistys. 2012. Lahti: Esa Print Oy.

Finnsementti. Sementit. Tulostettu 7.11.2014.  
<http://www.finnsementti.fi/tuotteet/sementit>

Finnsementti. Plussementti. Fiksu sementti, vähemmän päästöjä. Tulostettu 10.11.2014.  
[http://www.pinta.fi/asiakkaat/finnsementti/Plussementtiesite/files/plus\\_esite\\_flash.indd.pdf](http://www.pinta.fi/asiakkaat/finnsementti/Plussementtiesite/files/plus_esite_flash.indd.pdf)

Hatakka, K. 2014. Rakennustyömaan kosteudenhallinta. Mestari & Insinööri 05/2014, 14-15.

Hatakka, K. rakennusvalvoja FISE. 2014. Rakennustyömaan kosteudenhallinta sekä pelastus- ja palosuunnitelma. Luento. 18.11.2014. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Lassila, A-P. 2011. Rakentamisen aikainen betonirakenteiden tehokas kuivattaminen. Tampereen teknillinen yliopisto, Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö.

Leppävuori, E., Prokki, H., Kanerva, P. & Vähäkallio, P. 1979. Rakennusaineet. Helsinki: Kyrriiri Oy

Lumme, P. & Merikallio, T. 1997. Betonin kosteuden hallinta. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy.

Mantila, A. 2014. Rakentajain kalenteri. Valmisbetonin valinta, tilaaminen ja vastaanotto. Porvoo: Bookwell oy.

Mantila, A. & Petrow, S. 2014. Lattiabetonin valinta. Betoni 3/2014, 76–89.

Merikallio, T., Niemi, S. & Komonen, J. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Lahti: Esa Print Oy.

- Merikallio, T. 1998. Kosteuden hallinta rakennustyömaalla. Betonirunkoratkaisu. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy.
- Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Merikallio, T. 2006. Kestävä kivitalo. Betonin kosteuden hallinta. Helsinki: Libris Oy.
- RT 14-109840 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. 2010. RT-kortisto. Rakennustieto Oy.
- Rudus info1/06. 2006. Rasitusluokat betonirakenteissa. Lohja Rudus Oy AB. Tulostettu 19.10.2014. <http://www.rudus.fi/aineistot/esitteet/betoniesitteet>
- Rudus Oy. Nopeammin päällystettävät NP-lattiabetonit. Tulostettu 2.12.2014. [www.rudus.fi](http://www.rudus.fi)
- Sahlstedt, S., Koskenvesa, A., Lindberg, R., Kivimäki, C., Palolahti, T. & Lahtinen, M. 2013. Talvibetonointi. Sastamala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- Toivari, O-P. 2011. Kosteudenhallinnan ja sääsuojauksen taloudellinen tarkastelu. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitoksen rakennustuotannon ja -talouden yksikkö. Diplomityö.
- Uusitalo, J., Ihanamäki, J. Rajala, R. & Vallin, O. 1994. Betonityöt. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Ympäristöministeriö 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma C2. Kosteus.

## LIITTEET

### Liite 1. Toimintaohjeet lattioiden kosteusmittauksiin



### Sisällysluettelo:

1. Salkun sisältö
2. Toimintaohjeet
  - 2.1 Mittausreiät
  - 2.2 Kosteuden mittaus
3. Kalibrointi (TR/TAM)
4. Kuittaukset (TR/TAM)
5. Muuta (TR/TAM)

# 1. Salkun sisältö



1. HMI41 kosteus- ja lämpötilamittari (1 kpl)
2. HMP44 kosteus- ja lämpömittapää (8 kpl)
3. Asennusholkki (1-12 kpl)
4. Syvyydensäätölaippa (1-12 kpl)
5. Kumitulppa (1-12 kpl)
6. Paineilmastay (1 kpl)
7. Poranterä  $\varnothing$  16 mm (2 kpl)
8. Teräsharja (1 kpl)
9. Teippirulla (1 kpl)
10. Katkoteräveitsi (1 kpl)
11. Sinitarra (1 erä)
12. Kantolaukku (1 kpl)
13. Rullamitta (1 kpl)
14. Akryylimassa (1 kpl)
15. Pitkä kumitulppa, tuoreelle betonille (1 erä)
16. Tämä toimintaohje (1 kpl)

YIT | 3 |

YIT

## 2. Toimintaohjeet

### 2.1 Mittausreiät

### 2.2 Kosteuden mittaus

YIT | 4 |

YIT

## 2.1 Mittausreiät

YIT | 5 |

YIT

## Mittauspaikka

Mitataan vähintään kahdesta (2) eri kohdasta / mitattava alue

- Jokaisesta kerroksesta
- Valualueittain
- Rakennetyypeittäin
- Kosteimmalta alueelta

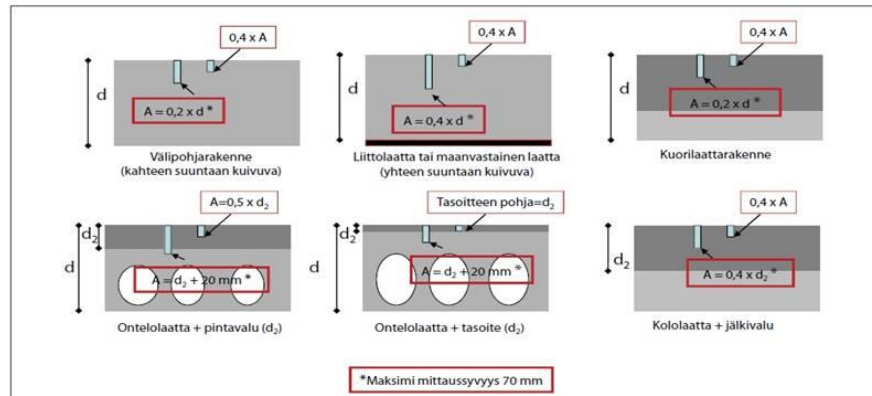
Mittauspaikan tulee olla puhtas ja muulta työltä rauhoitettu alue sekä ilman lämpötila +15...+25 °C

YIT | 6 |

YIT



## Laskuohjeet



Kuva 20. Mittausvyvydet eri rakennatavoilla rakennepaksuudesta riippuen. Jos päällysteen vesihöyrynläpäisyvyys ei ole tarkasti tiedossa, verrataan syvyyden A mittaukseen päällysteen/pinnoitteen kriittiseen kosteusarvoon. Jos ontelolaatan päälle valetun pintabetonilaatan paksuus on 60 mm tai suurempi, tulee kosteuspitoisuus mitata lisäksi arviointisyvyyden A yläpuolella syvyydellä  $0,4 \times A$ , jossa RH:n tulee yleensä olla alle 75 %./Betonilaattarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen/

Lähdetiedot: RT 14-10984, sivu 14

## Poraussyvyyksien merkitseminen

Yleisimmät porausvyvydet:

- Paikallavaluholvi 260 mm
  - Holvi kuivuu kahteen suuntaan
    - Porausvyvydet: 21 mm ja 52 mm
  - Holvi kuivuu yhteen suuntaan
    - Porausvyvydet: 42 mm ja 70 mm
- Tasoitteen (paksuus "A" mm) jälkeen
  - Porausvyvydet: "A" ja "A" + 20 mm

HUOM! Syvydet tarkistettava aina työmaakohtaisesti laskemalla! (Max\_porausvyvyys aina 70 mm!)



## Reikien (Ø16 mm) poraus 2 kpl



Varmista piirustuksista, ettei mittauspisteen kohdalla ole sähkö- tai vesiputkia (esim. lattialämmityskaapeleita)

YIT | 9 |

YIT

## Poratut reiät



YIT | 10 |

YIT

## Reikien putsauskalusto



YIT | 11 |

YIT

## Putsaus toistetaan kolme (3) kertaa

### Harjaputsaus



### Paineilmaputsaus



YIT | 12 |

YIT

## Asennusholkki



YIT | 13 |

**YIT**

## Holkin asennus



Paina reilusti pohjaan asti

YIT | 14 |

**YIT**

## Reiän viimeinen putsaus paineilmalla



YIT | 15 |

YIT

## Asennusholkin juuren tiivistys akryylimassalla



Pyysi holkin juuri, jotta siitä  
tulee tiivis

YIT | 16 |

YIT



## Akryylimassan lisäys (toinen kerta)



YIT | 17 |

YIT

## Holkin juuren tiivistys



YIT | 18 |

YIT

## Syvyydensäätölaippa



YIT | 19 |

**YIT**

## Huomioi asennusholkin hammastus!



YIT | 20 |

**YIT**

## Paina kunnolla ja käännä 90°



YIT | 21 |

YIT

## Tiiviiksi asennettu syvyydensäätölaippa



YIT | 22 |

YIT



## Reunan siistiminen → tiivis



YIT | 23 |

YIT

## Kumitulppa



YIT | 24 |

YIT

## Käännä lieriö tulpan sisälle



YIT | 25 |

**YIT**

## Kumitulpan asennus



YIT | 26 |

**YIT**

## Valmis asennusholkki



YIT | 27 |

**YIT**

## Holkin ylimmän renkaan poisto (lyhyempi reikä)



Helpottaa syvyydensäätölaipan asennusta!

YIT | 28 |

**YIT**

## Toinen holkki asennetaan samalla tavalla kuin edellinen



YIT | 29 |

YIT

## Valmis mittauspiste



- Reikien annetaan tasaantua väh. 3 vrk ennen mittauksia
- Samoista rei'istä voidaan mitata useita mittauksia (uudet mittausreiät porattava kuitenkin 1 kk jälkeen edellisistä porauksista, jotta mittaustulosten luotettavuus säilyy)

YIT | 30 |

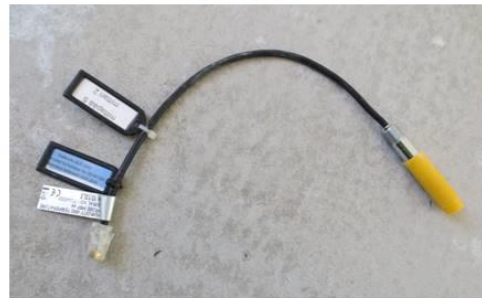
YIT

## 2.2 Kosteuden mittaus

YIT | 31 |

**YIT**

### Kosteusmittari + mittausanturi

**HMI41****HMP44**

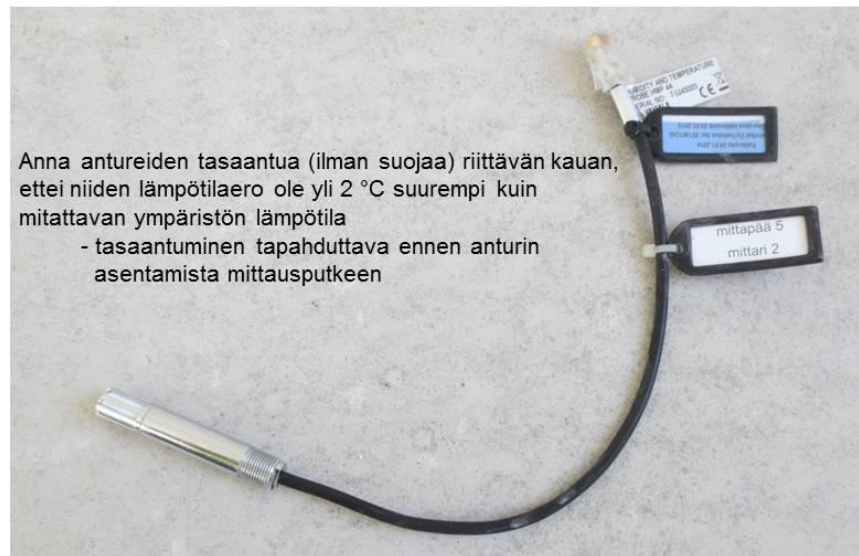
Käytä anturissa muovisuojaa aina, jottei anturin mittaussensorit vaurioidu

YIT | 32 |

**YIT**



## Mittausanturi HMP44



Anna antureiden tasaantua (ilman suojaa) riittävän kauan, ettei niiden lämpötilaero ole yli 2 °C suurempi kuin mitattavan ympäristön lämpötila  
 - tasaantuminen tapahtuva ennen anturin asentamista mittausputkeen

YIT | 33 |

YIT

## Anturin asentaminen holkkiin



Paina pohjaan asti kunnes kuuluu naksaus

YIT | 34 |

YIT

## Tulpan asennus



YIT | 35 |

**YIT**

## Antureiden tasausaika ennen mittausta väh. 60 min



YIT | 36 |

**YIT**

## Anturin kiinnitys mittalaitteeseen (HMP44 → HMI41)



YIT | 37 |

YIT

## Kosteudenmittaus (huomioi mittapään numero)



- Kosteusmittaukset tulee tehdä oikeassa lämpötilassa, joka selviää päällystemateriaalin käyttötiedoista
- Mittauksia jatketaan kunnes päästään alle vaadittavien raja-arvojen
- Tarvittaessa mahdollisuus teettää loppumittaukset yhteistyökumppanillamme / Polygon Finland Oy

YIT | 38 |

YIT





## Mittaustulosten kirjaus + mittauspaikan merkkkaus pohjakuvaan

**YIT** Kosteusmittausraportti 1 (1)

**KOEEYTYYSOYTYAKKIA**

Yhtymä  
Nimi  
Osoite  
Puhelin

Mittauspaikka  
Käytös  
Mittausaika

Mittausmenetelmä  
Mittausväline

Mittauspaikan kuvaus

Mittauspaikan kuvaus

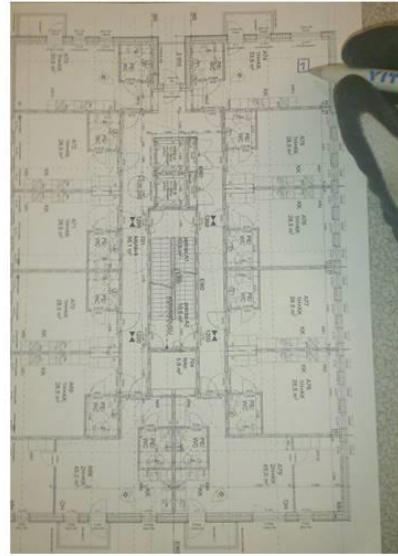
Mittauspaikan kuvaus

Mittausno.	Mittauspaikka	Mittausaika	Mittausväline
1	A 72	1	
1	A 74	1	
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Mittauspaikan kuvaus

Mittauspaikan kuvaus

Mittauspaikan kuvaus



YIT | 41 |

**YIT**

## Arkistointi



YIT | 42 |

**YIT**

### 3. Kalibrointi (TR/TAM)



- Huoltoraportti kalibroinneista löytyy Arto Ylikangas / 040 515 6563
- Seuraava suoritettava mittauslaitteiden kalibrointi lukee jokaisen mittausanturin kyltissä / vastuuhenkilö ArYL
- Kalibroinnin suorittaa Servikal Oy

### 4. Kuittaukset (TR/TAM)

- Varustelaukun mukana tulee kuittauslista, johon pitää laittaa seuraavat tiedot laitekokoisuuden kuittamisesta:
  - Kuittaajan allekirjoitus ja nimenselvennys
  - Työmaan numero mihin laitteisto menee
  - Kuittauksen päivämäärä
  - Huomautus kohtaan maininta, jos varustelaukussa ei ole listassa ilmoitettuja tarvikkeita (pois lukien akryylimassa)
    - Puuttuvat tarvikkeet veloitetaan siltä työmaalta, joka ne hukkaa

## 5. Muuta (TR/TAM)

- Varustepuutteista tieto Arto Ylikangas / 040 515 6563
  - Tieto jo ennen varusteiden loppumista, jotta käyttäjä voi aloittaa mittauksien valmistelut heti laitteen saatuaan
- Varusteiden uusiokäyttö
  - Mittauksien jälkeen putsaa syvydensäätölaipat ja kumitulpat huolellisesti, jotta voit käyttää niitä uudestaan
- Lisätietoa kosteusmittauksista
  - *RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus*
  - *"Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet", Merikallio 2007*

**Together  
we can  
do it.**