

Janne Willman

# Kosteudenhallinnan menetelmät

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK)

Rakentamisen koulutusohjelma

Insinööriytyö

1.9.2015

Tekijä(t) Otsikko	Janne Willman Kosteudenhallinnan menetelmät
Sivumäärä Aika	119 sivua 01.09.2015
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	Rakentamisen ylempi AMK- tutkinto
Suuntautumisvaihtoehto	Korjausrakentaminen
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Hannu Hakkarainen Työpäällikkö Jaakko Hakala
<p>Työmaan kosteudenhallinta on muutoksen edessä. Rakentamista koskevat asetukset uudistetaan vuoteen 2018 mennessä vuonna 2013 voimaan tulleen maankäyttö- ja rakennuslain muutoksen mukaisesti. Viiden vuoden siirtymäaikana työmaan kosteudenhallinta on nostettu erityisesti esille. Asunto- ja viestintäministeri on antanut kannanottoja jopa asettaa säänsuojaus laissa pakolliseksi.</p> <p>NCC Rakennus Oy:llä on lähdetty kehittämään työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaa sekä jalkauttamaan tietoa myös työmaan kosteudenhallinnasta työmaahenkilöstölle.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia rakennusmääräyskokoelman muutoksen suuntauksia sekä rakennuttajien kaupallisten asiakirjavaatimuksia ja niiden vaikutusta arkipäiväiseen rakentamiseen. Työmaan kosteudenhallinnan vaatimusten kiristyessä on NCC:llä ryhdytty kehittämään työmaan kosteudenhallinnan kustannustehokkaita ratkaisuja.</p> <p>Opinnäytetyön toisena tutkimusosiona tutkittiin nykyisiä kosteudenhallintamenetelmiä sekä niiden mahdollisia kehitysmahdollisuuksia.</p> <p>Tutkimuksessa käytettiin kirjallisia lähteitä sekä esimerkkikohdetta vertailulaskelmissa. Laskelmien ja esimerkki (case) -kohteen perusteella pyrittiin löytämään säästöpotentiaaleja työmaan säänsuojaukseen.</p>	
Avainsanat	kosteudenhallinta, Rakentamismääräyskokoelman muutos, kustannustehokkuus

Author(s) Title	Janne Willman Methods of Moisture Control on Construction site
Number of Pages Date	119 pages 1 September 2015
Degree	Master's degree
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Renovation
Instructor(s)	Hannu Hakkarainen, Principle Lecturer Jaakko Hakala, Certified Contract Manager
<p>Methods of moisture control on construction sites are changing since construction regulations will be revised by the year 2018 according to new land use and building legislation. In the year 2013 land use- and building legislation was revised. In the five-year transition period construction sites moisture and humidity problems are among those issues that have been suggested to need improvement. Furthermore, Minister of Culture and Housing has suggested that building rain shelters for constructions should be required by law.</p> <p>NCC Construction Company has started to develop their methods of controlling moisture and humidity on construction sites. Also, they have shared information about moisture control and problems caused by humidity to construction site foremen.</p> <p>One of the topics of research was to examine the trends of new building regulations and how they influence the construction process on a daily basis. NCC has started to find solutions for cost-effective methods that improve the quality of constructions' moisture control methods.</p> <p>Secondly, one of the main goals of the research project was to examine the current moisture control methods and how they can be developed.</p> <p>The research project contains a literature –section and a case study. As a result, case study was analyzed and calculations were made to find savings potentials in building rain shelters.</p>	
Keywords	Humidity, Moisture Control, Regulations concerning the construction, Cost-effective,

## Alkusanat

Haluan kiittää avovaimoani Mirva Havukaista sekä opinnäytetyöohjaajiani Jaakko Hakalaa ja Hannu Hakkarasta

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tutkimuksen tavoite ja rajaus	1
2	Kosteuslähteet	2
2.1	Sadevesi	3
2.2	Pohjavesi	4
2.3	Vuodot	5
2.4	Kapillaarinen vedenliike	6
2.5	Ilman kosteus	6
2.6	Kosteuden siirtyminen rakenteisiin	8
2.7	Aineen kosteus	10
2.8	Rakennuskosteus	13
2.9	Materiaalien kosteuskapasiteetti	14
2.10	Betonin kosteus	16
2.10.1	Betonin kastuminen	19
3	Tutkimusmenetelmät ja aineisto	20
4	Työmaan kosteudenhallinnan vaatimukset	22
4.1	Maankäyttö- ja rakennuslaki	23
4.2	Maankäyttö- ja rakennusasetus	25
4.3	Rakennustuoteasetus	26
4.4	Säännökset ja ohjeet	28
4.5	Rakentamismääräyskokoelma C2- kosteus, uudistus	30
4.6	Hyvä rakentamistapa	32
4.6.1	MaaRYL 2010	33
4.6.2	SisäRYL 2013	36
4.6.3	RT 14 – 10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus	37
4.7	Materiaalivalmistajien vaatimukset	39
4.8	Kaupalliset asiakirjat	43
5	Kosteudenhallinnan menetelmät	46
5.1	Suojaus	47

5.1.1	Koko rakennuksen sääsuojaus	49
5.1.2	Osittainen sääsuojaus	56
5.1.3	Rakentaminen ilman sääsuojausta	58
5.2	kuivaus	59
5.2.1	Ilmanvaihto	61
5.2.2	Lämmitys	62
5.2.3	Ilman kuivaus	64
5.3	Kosteusmittauksen menetelmät	72
5.3.1	Rakenteisiin asennettavat anturit	74
5.3.2	Pintakosteusmittaus	76
5.3.3	Piikkimittari	77
5.3.4	Porareikämittaus	78
5.3.5	Näytepalamittaus	80
6	Tulokset ja niiden tarkastelut	81
6.1	NCC Rakennus Oy:n kosteudenhallintasuunnitelma	81
6.2	Suojaus	82
6.3	Kuivaus	91
7	Johtopäätökset	115
	Lähteet	117

## Käsitteistö

Absoluuttinen kosteus	Absoluuttinen kosteus ilmoittaa veden tai vesihöyryn määrän tietyssä tilavuudessa tai massayksikössä toista ainetta
Ilmanpaine	Ilmanpaineella tarkoitetaan vapaan ilmakehän omasta painosta aiheutuvaa painetta
Ilman suhteellinen kosteus	Tarkoittaa ilman sisältämän vesihöyryn määrän suhdetta suurimpaan mahdolliseen määrän jonka ilma voi kyseissä lämpötilassa sisältää
Kapillaari-ilmio	Neste nousee tai laskee ohuissa putkissa tai huokosissa. Molekyylien väliset voimat ovat voimakkaampia nesteen ja kiinteän aineen välillä kuin pelkän nesteen sisällä
Kyllästyskosteus	Määrittelee paljonko vesihöyryä ilmassa voi olla kussakin lämpötilassa
Vesihöyryn diffuusio	kaasuseoksessa vakiopaineessa tapahtuva vesimolekyylien liike, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksen höyrypitoisuus- tai höyryn osapaine-eroja
Vesihöyryn konvektio	Kaasuseoksen sisältämän vesihöyryn siirtyminen kaasuseoksen mukana sen liikkeessä kokonaispaine-eron vaikutuksesta.
Vesihöyryn osapaine	Kaasun osapaineella tarkoitetaan kaasun painetta kaasuseoksessa, jonka kokonaispaine muodostuu sen kaikkien kaasujen paineiden summasta.

## 1 Johdanto

Rakentamista koskevat asetukset uudistetaan vuoteen 2018 mennessä vuonna 2013 voimaan tulleen maankäyttö- ja rakennuslain muutoksen mukaisesti. Viiden vuoden siirtymäaikana työmaan kosteudenhallinta on nostettu erityisesti esille. Uudistamisen periaatteena on laatia selkeä sääntely ja käytännöllinen kokoelma. Asetukset sisältäisivät jatkossa vain velvoittavia toimenpiteitä. Asetuksiin liittyvät ohjeet annetaan erikseen, tarvittaessa oppaina. Entinen Asunto- ja viestintäministeri Pia Viitanen on ajanut asiaa viedä sääsuojauksen pakollisuus asetukseen.

### 1.1 Tutkimuksen tausta

NCC Rakennus Oy:llä on valveuduttu panostamaan myös työmaan kosteudenhallinnan kehittämistä. Opinnäytetyön taustana oli tutkia mitä eri vaatimuksia kosteudenhallinnasta rakennuttajat ja tilaajat esittävät kaupallisissa asiakirjoissa. Rakennuslain muutoksen sekä rakentamismääräyskokoelman uudistuksen myötä tilaajat ja rakennuttajat ovat yhä valveutuneempia työmaan kosteudenhallinnasta. Näkyviä muutoksia on työmaan kosteudenhallinnan laatutason nostaminen.

### 1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajaus

Tutkimuksen tavoitteena oli perehtyä eri urakkamuotoisten kaupallisten asiakirjojen sääsuojavaatimuksiin.. NCC Rakennus Oy:llä on tiedostettu tilaajatahon sääsuojavaatimusten sekä kosteudenhallinnan laatutason korostaminen. Tutkimustyön tuloksena on saada selkeä kuva siitä mihin suuntaan tilaajien ja rakennuttajien sääsuojavaatimusten tahtotila on etenemässä. Opinnäytetyössä tutkittiin eri menetelmiä millä sääsuojavaatimukseen vastataan ja miten menetelmiä voisi kehittää kustannustehokkaammiksi.

Kosteudenhallinta ei ole pelkästään vain sääsuojausta. Yhä enemmän rakennetaan tiiviitä rakennuksia jolloin työmaan olosuohallinnan merkitys korostuu. Rakenteet kuivuvat sisäänpäin, jolloin ilmanvaihto on yksi merkittävimpiä tekijöitä rakennuskosteuden poistamiseen. Opinnäytetyössä tutkittiin myös olosuhteiden vaikutusta kuivausaikaan ja kustannuksiin.

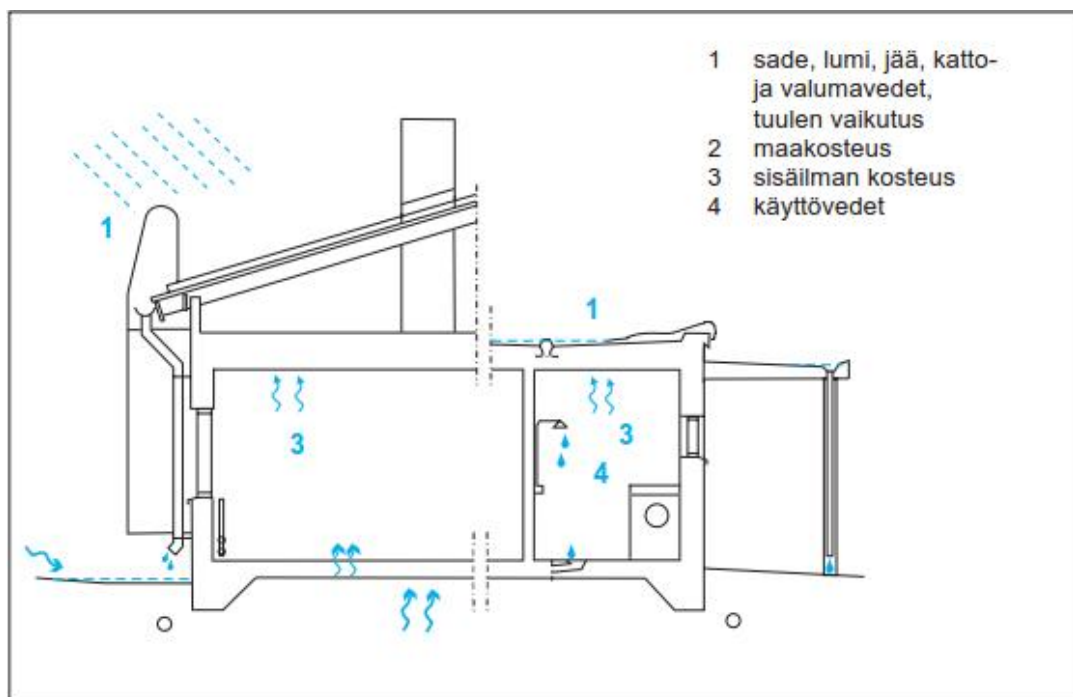
## 2 Kosteuslähteet

Rakennuksissa ja rakenteissa esiintyvä kosteus ilmenee näkyvänä vetenä, näkymättömänä vesihöyrynä tai rakennekosteutena.

Kosteus tarkoittaa kemiallisesti sitoutumatonta vettä kaasumaisessa (vesihöyry), nestemäisessä tai kiinteässä olomuodossa (jäätynenä). Kosteus ilmoitetaan prosentteina, mikä kuvaa aineeseen sitoutuneen kosteuden massan suhdetta aineen massaan. Kosteuden määrä ilmoitetaan painoprosentteina (1, S. 65).

Rakentamisen ja materiaalien valmistusprosessissa rakenteisiin sitoutuu huomattavia määriä vettä, mikä tulee myös poistaa rakentamisen aikana. Meitä ympäröivä ilma ja kaikki huokoiset materiaalit sekä rakenteet sisältävät normaalioloissa jonkin verran kosteutta, jonka määrä riippuu materiaalin ominaisuuksista ja ympäröivän ilman lämpötilasta ja kosteudesta.

Rakennusosien kastuminen, pitkä kuivuminen tai jatkuva kosteus voivat aiheuttaa kosteusvaurioita. Pitkään kosteudelle altistuneissa rakenteissa voi alkaa kasvamaan home- ja lahosieniä, hiivoja ja bakteereita, jota yhteisesti nimitetään mikrobeiksi.



Kuva 1. Yleisiä rakennuksen kosteuslähteitä (2, S.1)

## 2.1 Sadevesi

Sadevesi on näkyvin ja myös rakennusta eniten rasittava kosteuden muoto. Sateen aiheuttama vedenpaine kohdistuu eniten vesikattoon ja muihin vaakapintoihin sekä seinien ulkoverhouksiin. Osa sadevedestä valuu maan pintaa pitkin pintavetenä rakennuksesta pois päin ja osa painuu vajovetenä maahan aiheuttaen kosteuskuormitusta perustuksille.

Sade voi esiintyä vetenä, räntänä tai lumena. Sadetyypeistä kastelevin on räntäsade, joka jää usein pitkäksi ajaksi loiville ja vaakasuorille pinnoille. Helsingissä mitattiin vuonna 2014 syyskuun sademääräksi 64 mm vettä. Tämä tarkoittaa vaakasuoralla pinnalla 64 litraa vettä neliötä kohden. 1 mm vettä vaakasuoralla pinnalla vastaa 1 litraa vettä neliölle. Esimerkiksi 500 m<sup>2</sup> kokoiselle holville sataisi syyskuun aikana 32 000 litraa vettä. Lumena taas tämä 1 cm lunta vastaa 1 litraa vettä neliölle. Lumi kannattaa poistaa mekaanisesti tai puhaltamalla ennemmin kuin sulattamalla.

☐

Syyskuu Sademäärät	Kuukausisade-ennätykset			Lumensyvyys 15.9.								
	2014 mm	2013 mm	1981-2010 mm	Suurin mm	Pienin vuosi	vuosi	2014 cm	2014 cm	1981-2010 cm	Kuukausiennätys cm	pvm	
Kaarina Yltöinen	40	37	59	122	1997	3,7	1959	-	-	-	1	27.9.1986
Hki-Vantaa lentoasema	52	32	64	150	2012	5,1	1959	-	-	-	0	12.9.1973
Hki Kaisaniemi	54	17	56	160	2012	5,3	2002	-	-	-	8	29.9.1928
Nokia Tottijärvi	20	9	58	132	2011	6,2	2002	-	-	-	-	-
Jyväskylä lentoasema	28	47	55	153	1937	8,8	1901	-	-	-	6	24.9.1958
Seinäjoki Pelmaa	30	29	51	123	2004	14,2	2008	-	-	-	5	27.9.1986
Maaninka Halola	18	64	53	128	1983	11,7	1960	-	-	-	2	26.9.1986
Siikajoki Revonlahti	18	31	50	137	1970	15,5	2008	-	-	-	3	27.9.1972
Sodankylä	46	21	49	143	1932	5,8	1990	-	-	-	30	23.9.1968
Utsjoki Kevo	39	16	38	100	2012	5,0	1990	-	-	-	10	25.9.1984

Kuva 2. Sademäärät syyskuussa (3)

## 2.2 Pohjavesi

Pohjavesi on uusiutuva luonnonvara. Pohjavettä muodostuu alueilla, joilla maalaji on karkearakeista ja huokoista, jolloin vesi pääsee siihen imeytymään. Savikoilla ei pohjavettä muodostu, koska vesi ei pääse imeytymään tiiviiseen maahan

Pohjavedellä tarkoitetaan sellaista vettä, joka esiintyy pysyvästi maanpinnan alla maa- ja kallioperässä. Pohjavesi on yleensä läheisessä yhteydessä pintaveteen, kuten järviin ja jokiin. Kun pintavesi imeytyy maahan, siitä muodostuu pohjavettä. (1, S.67.)

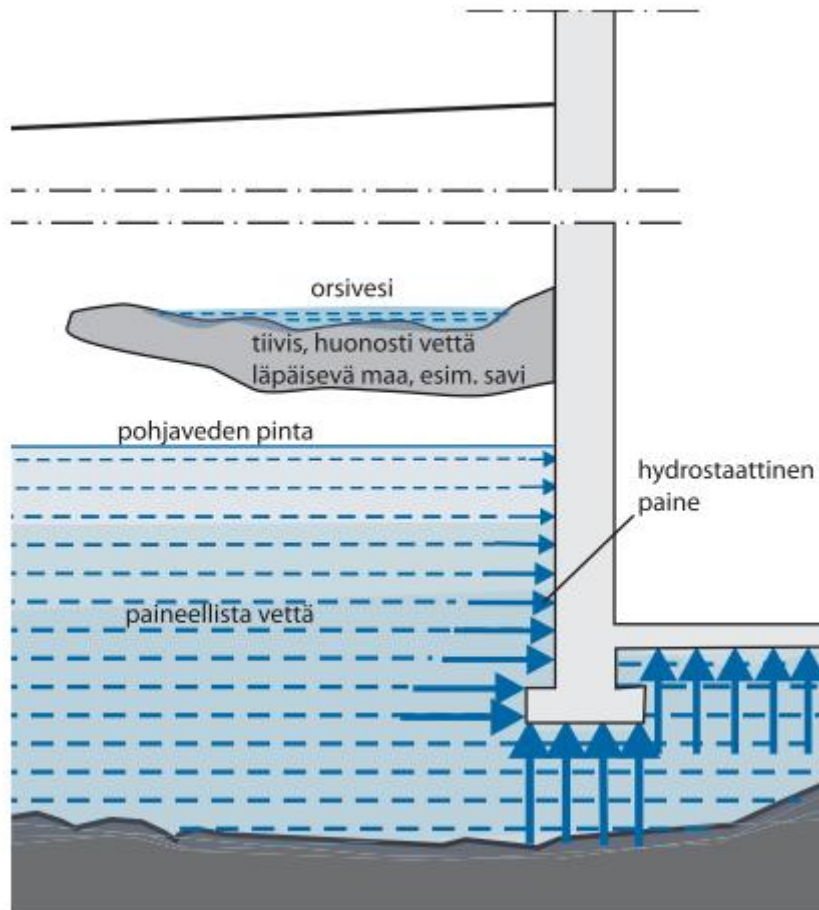
Pohjaveden pinnan korkeus tulee ottaa huomioon mm. rakennuksen perustussyvyyttä tai kellaritilojen korkeusasemaa määriteltäessä. Rakennuksen kellaritilat tulisi ensisijaisesti sijoittaa pohjavedenpinnan yläpuolelle, mutta tämä ei ole aina mahdollista. Veden aiheuttamat rasitukset maanpinnan alapuolisille rakenteille voidaan jakaa seuraavasti: Maakosteus (paineeton vesi joka suotautuu maaperän läpi painovoiman vaikutuksesta) sekä paineellinen pohjavesi vettä hyvin läpäisevässä maaperässä. Erityisesti vedeneristeiden asennukseen tulee kiinnittää erityisesti huomiota niin suunnitelmissa kuin asennustyössäkin. Pohjaveden lisäksi kellarin seinän rasitusta korostaa hydrostaattinen paine.

Hydrostaattinen paine on nesteessä vallitseva nesteen oman painovoiman aiheuttama paine. Se on nesteen tiheyden, putoamiskiihtyvyyden ja nesteen korkeuden tulo. (4,S.2)

Hydrostaattinen paine on siis  $p = \rho gh$ , jossa:

- $\rho$  = nesteen tiheys,  $\text{kg/m}^3$
- $g$  = putoamiskiihtyvyys,  $9,81 \text{ m/s}^2$
- $h$  = nesteen korkeus,  $\text{m}$

Esimerkiksi 3 metrin korkeudella vedenpaine perusmuuria vasten olisi  $30 \text{ kN/m}^2$ . Vedeneristystä suunniteltaessa tuleeikin ensin selvittää kosteuslähteet sekä mahdollinen pohjaveden paine.



Kuva 3. Kellarin seinän rasitukset pohjaveden korkeudella (4, S.1)

### 2.3 Vuodot

Rakennuksen vuodot johtuvat pääsääntöisesti huonosta suunnittelusta tai toteutuksessa tapahtuneesta virheestä. Vuodot esiintyvät yleisemmin lämmitys-, käyttövesi- ja viemäriputkistossa tai kattojen, terassien, parvekkeiden ja märkätilojen vedeneristyksissä ja liittymissä toisiin rakenteisiin (1, S.68)

## 2.4 Kapillaarinen vedenliike

Kapillaarivirtaus tarkoittaa huokosalipaineen paikallisten erojen aiheuttamaa nesteen siirtymistä huokoisessa aineessa. Maaperässä kapillaarivoimat pyrkivät nostamaan vettä pohjavedenpinnan yläpuolelle. Kapillaarinen siirtyminen johtuu kapillaaristen voimien aiheuttamasta huokosalipaineesta, jonka suuruus riippuu huokosen koosta siten, että mitä pienempi huokonen on, sitä suurempi on huokosalipaine.

Kapillaarisen vedenliikkeen aiheuttaa rakenteen ja sen eri ainekerrosten pyrkimys kapillaariseen tasapainokosteuteen (1,S.68).

Kapillaarinen siirtyminen voi tapahtua myös vaakasuunnassa tai alaspäin, jolloin myös painovoima tai tuulenpaine vaikuttaa veden siirtymiseen. Esimerkiksi sadeveden kohdatessa julkisivun vesi voi imeytyä rakenteeseen kapillaarivoimien vaikutuksesta tai samaan aikaan myös painovoiman ja tuulenpaineen vaikutuksesta. Myös materiaalinpintaan tiivistynyt vesi voi imeytyä kapillaarisesti materiaalien huokosiin. Myös perusrakenteissa kapillaarista siirtymistä voi esiintyä eri suunnissa. Huokoskoon aiheuttamien huokosalipaine-erojen takia vesi voi siirtyä kapillaarisesti myös suurempi-huokoisesta materiaalista pienempihuokoiseen materiaaliin ja suuremmista huokosista pienempiin huokosiin materiaalin sisällä.

## 2.5 Ilman kosteus

Sisäilman kosteus muodostuu ulkoilman kosteudesta ja sisäilman kosteuslisästä. Kosteuslisään vaikuttaa rakennuksen kosteuden tuotto, ilmanvaihto sekä rakennuksen tilavuus.

Ilman kosteustilaa voidaan ilmaista vesihöyrymääränä (absoluuttinen kosteus) joka on kg/m<sup>3</sup> tai kg/kg kuivaa ilmaa, vesihöyryn osapaineena (Pa) tai suhteellisenä kosteutena (%) (1, S.68).

Absoluuttinen kosteus on ilman sisältämän vesihöyryn määrä grammoina ilmakuutiometriä kohti. Ilman absoluuttinen kosteus ilmoitetaan g/m<sup>3</sup>. Mitä lämpimämpää ilma on sitä, suuremman määrän vesihöyryä se voi sisältää.

Kyllästyskosteudella tarkoitetaan lämpötilaa, jossa ilmassa oleva vesihöyry muuttuu vedeksi, eli kondensoituu. Tätä kutsutaan myös kastepisteeksi jolloin ilman kosteus saavuttaa kyllästyskosteuden. Kyllästyspaine (Pa) on suurin vesihöyryn aikaansaama paine tietyssä lämpötilassa. Mitä suurempi lämpötila on, sitä suurempi on kyllästyspaine. Kyllästyskosteus on suoraan yhteydessä kyllästyspaineeseen.

Kyllästysvajaus on tietyissä lämpötilassa vallitsevan vesihöyryn kyllästyspaineen ja mitatun todellisen vesihöyrynpaineen erotus, eli se siis osoittaa ilman kosteudensitomiskyvyn.

Vesihöyryn osapaineella (Pa) tarkoitetaan painetta, jonka ilman sisältämä vesihöyry aiheuttaa. vesihöyrypitoisuuden ja lämpötilan lisäys kasvattavat vesihöyryn osapainetta.

t (°C)	v <sub>k</sub> (g/m <sup>3</sup> )	p <sub>vk</sub> (Pa)	t (°C)	v <sub>k</sub> (g/m <sup>3</sup> )	p <sub>vk</sub> (Pa)	t (°C)	v <sub>k</sub> (g/m <sup>3</sup> )	p <sub>vk</sub> (Pa)	t (°C)	v <sub>k</sub> (g/m <sup>3</sup> )	p <sub>vk</sub> (Pa)
-20	<b>0,88</b>	102	1	<b>5,21</b>	658	22	<b>19,40</b>	2640	43	<b>59,41</b>	8663
-19	<b>0,95</b>	111	2	<b>5,58</b>	708	23	<b>20,54</b>	2805	44	<b>62,40</b>	9128
-18	<b>1,04</b>	122	3	<b>5,98</b>	762	24	<b>21,74</b>	2979	45	<b>65,52</b>	9614
-17	<b>1,14</b>	135	4	<b>6,40</b>	818	25	<b>23,00</b>	3162	46	<b>68,77</b>	10122
-16	<b>1,25</b>	149	5	<b>6,84</b>	878	26	<b>24,32</b>	3355	47	<b>72,15</b>	10653
-15	<b>1,38</b>	164	6	<b>7,31</b>	941	27	<b>25,71</b>	3559	48	<b>75,67</b>	11207
-14	<b>1,52</b>	181	7	<b>7,80</b>	1008	28	<b>27,17</b>	3773	49	<b>79,33</b>	11786
-13	<b>1,67</b>	200	8	<b>8,32</b>	1079	29	<b>28,70</b>	3999	50	<b>83,14</b>	12390
-12	<b>1,83</b>	221	9	<b>8,87</b>	1154	30	<b>30,31</b>	4237	51	<b>87,10</b>	13020
-11	<b>2,01</b>	243	10	<b>9,45</b>	1234	31	<b>31,99</b>	4487	52	<b>91,21</b>	13677
-10	<b>2,20</b>	266	11	<b>10,06</b>	1318	32	<b>33,75</b>	4750	53	<b>95,48</b>	14362
-9	<b>2,40</b>	292	12	<b>10,71</b>	1408	33	<b>35,60</b>	5027	54	<b>99,92</b>	15075
-8	<b>2,61</b>	319	13	<b>11,39</b>	1502	34	<b>37,54</b>	5317	55	<b>104,52</b>	15818
-7	<b>2,84</b>	348	14	<b>12,10</b>	1603	35	<b>39,56</b>	5622	56	<b>109,30</b>	16592
-6	<b>3,08</b>	379	15	<b>12,86</b>	1708	36	<b>41,68</b>	5943	57	<b>114,25</b>	17397
-5	<b>3,33</b>	412	16	<b>13,65</b>	1820	37	<b>43,90</b>	6279	58	<b>119,39</b>	18234
-4	<b>3,60</b>	447	17	<b>14,49</b>	1939	38	<b>46,21</b>	6631	59	<b>124,72</b>	19105
-3	<b>3,89</b>	485	18	<b>15,37</b>	2064	39	<b>48,63</b>	7001	60	<b>130,24</b>	20010
-2	<b>4,19</b>	524	19	<b>16,30</b>	2197	40	<b>51,16</b>	7388	61	<b>135,95</b>	20951
-1	<b>4,51</b>	566	20	<b>17,28</b>	2337	41	<b>53,79</b>	7793	62	<b>141,87</b>	21928
0	<b>4,85</b>	611	21	<b>18,31</b>	2484	42	<b>56,54</b>	8218	63	<b>147,99</b>	22943

Kuva 4. Ilman kyllästysvesihöyrynpitoisuus ja kyllästyspaine lämpötilan funktiona (5, S.11)

Rakennustekniikassa ilman kosteudesta yleisemmin käytetty suure suhteellinen kosteus (RH) ilmoittaa prosentteina tietyn lämpöisen ilman sisältämä vesihöyryn määrän enimmäisvesihöyrymäärästä (g), jonka sen lämpöinen ilma voi sisältää. Kun suurin mahdollinen ilman sisältämä vesihöyrymäärä ylittyy, vesihöyry tiivistyy vedeksi. Suhteellinen kosteus ei voi ylittää 100 %:a. (1, s.70.)

Lämmityskaudella suhteellinen kosteus on kuivassa lämpimässä huonetilassa tavallisesti 20 – 40 %, kun taas samanaikaisesti ulkoilman suhteellinen kosteus on keskimäärin 85 %. Kesällä suhteellinen kosteus on ulkona yleensä 50 – 60 %.

Korkeasta suhteellisesta kosteudesta huolimatta ulkoilman kosteuspitoisuus on talvella hyvin alhainen. Vaikka suhteellinen kosteus onkin ulkona 90 %, on vesihöyryn määrä - 20 °C asteen lämpötilassa 0,8 g/m<sup>3</sup>. Samanaikaisesti + 20 °C asteen sisäilma, jonka suhteellinen kosteus on 40 %, sisältää 6,9 g/m<sup>3</sup> kosteutta.

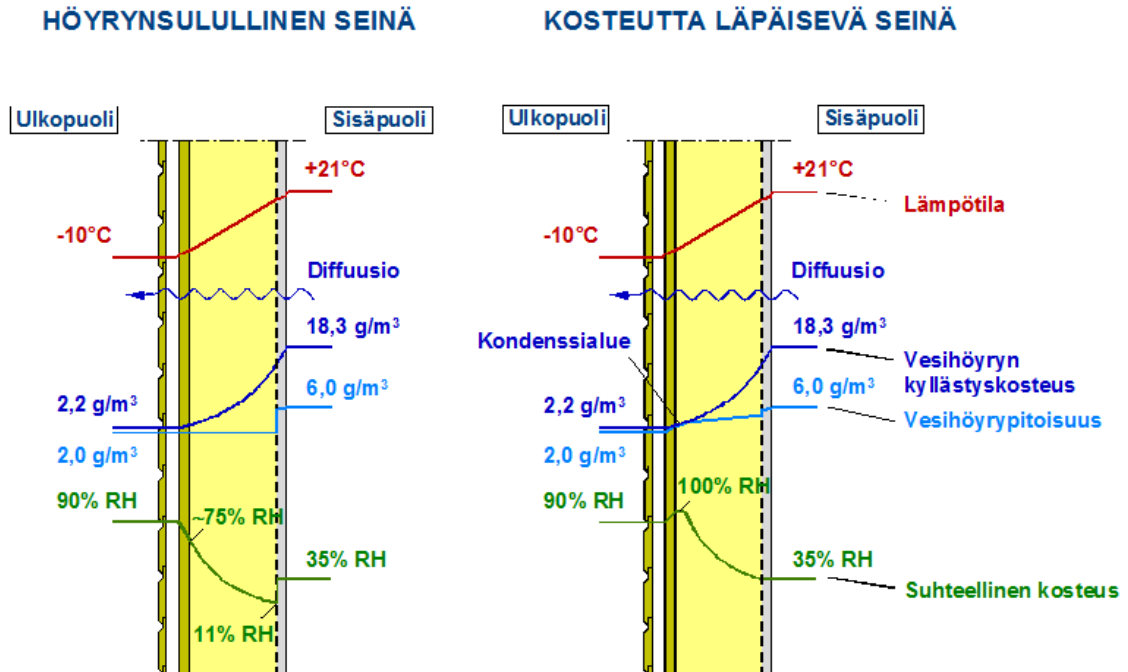
## 2.6 Kosteuden siirtyminen rakenteisiin

Huone- tai ulkoilman sisältämä kosteus kulkeutuu rakenteisiin joko vesihöyryn osapaine-eron aikaansaaman diffuusion muodossa (diffuusion suunta on suuremmasta vesihöyryn osapaineesta pienempää) tai rakenteen eri puolilla vallitsevan ilmanpaine-eron aiheuttaman ilmavirtauksen eli konvektion kuljettamana.

Rakennustekniikassa diffuusiolla tarkoitetaan yleensä kosteuden liikkumista vesihöyrynä rakenteen läpi. Lähes kaikki materiaalit läpäisevät tietyn määrän vesihöyryä. Yleisemmin diffuusion suunta on lämpimästä tilasta kylmempään päin. Tärkein diffuusion suuntaan vaikuttava tekijä on tilojen välillä vallitseva ilman kosteusero, eli kosteus pyrkii diffuusioitumaan erottavan rakenteen läpi tilaan, jonka ilman vesihöyryn osapaine (yleensä myös absoluuttinen kosteus) on pienempi (1, S.70). Tyypillinen vesihöyryn diffuusiosieritys tapahtuu talviaikaan, kun sisäilmassa on enemmän vesihöyryä kuin ulkoilmassa. Sisäilman vesihöyry pyrkii siirtymään (diffuntoitumaan) ulkoilmaan ulkovaipan läpi. Rakenne pyrkii estämään diffuusiovirtausta.

Jotta estettäisiin vesihöyryn liiallinen tunkeutuminen seinämärakenteisiin ja samalla mahdolliset kosteusvauriot, seinämä tulee suunnitella siten, että lämmöneristeen ja lämpimän sisätilan väliin tulee riittävän vesihöyrytiivis kerros ja seinämärakenteen ve-

siöhöyrynvastus pienenee kylmään tilaan päin mentäessä. Rakentamismääräyskokoelman C2 Kosteus mukaan avohuokoisen (esim. mineraalivilla) lämmöneristyksen lämpimällä puolella olevan rakennekerroksen vesihöyrynvastuksen tulee olla vähintään viisinkertainen verrattuna kylmällä puolella olevan rakennekerroksen vesihöyrynvastukseen.



Kuva 5. Kosteuden siirtyminen seinärakenteessa (6, S.2)

Vesihöyryn konvektio tarkoittaa kaasuseoksen (esim. ilma) sisältämän vesihöyryn siirtymistä kaasuseoksen mukana, sen liikkuessa kokonaispaine-eron vaikutuksesta (1, S.72). Rakennuksessa konvektio on huokoisten ja hyvin ilmaa läpäisevien aineiden ja rakennusosissa olevien rakojen läpi tapahtuvaa ilman virtausta. Ilmavirtauksia syntyy rakenteen eri puolilla vallitsevan ilman kokonaispaine-eron vaikutuksesta. Huonetiloissa ilmanpainesuhteet vaihtelevat

Kosteutta mukanaan kuljettavaa ilmavirtausta (konvektio) saattaa esiintyä seinän sisäisenä eli ilman tiheyseroista johtuvana ns. luonnollisena konvektiona tai rakenteessa olevien reikien tai rakojen kautta ilmanpaine-erojen vaikutuksesta tapahtuvana pakotettuna konvektiona.

Kondensoituminen tarkoittaa ilmiötä, jossa vesihöyry tiivistyy vedeksi. Tiivistyminen voi tapahtua joko rakenteen pinnassa tai sen sisällä, kun ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Rakenteissa vesihöyry tiivistyy aina ympäröivää ilmaa kylmemmälle, kovalle pinnalle, jos vesihöyryn kyllästymiskosteus (kastepiste) ylittyy.

Kastepiste on se lämpötila, jossa vesihöyryä sisältävän kaasun suhteellinen kosteus on 100 %. Esimerkiksi 24 °C asteen lämpötila 80 %:in suhteellisella kosteudella vastaa n. + 20,3 °C asteen kyllästysvesihöyrypitoisuutta. Kastepiste ilmiönä on hyvin yleinen kuumen suihkun jälkeen. Jos peilin pintalämpötila on + 20,3 °C astetta, ilman vesihöyry (+24 °C ja RH 80 %) tiivistyy vedeksi peilin pinnassa.

Tavallisimmin kosteuden tiivistymistä aiheuttavat

- liian kylmä lämpimään huonetilaan rajautuva rakenteen sisäpinta (esim. kylmä ikkunalasi)
- kylmäsillat
- höyrynsulun puutteellisuus tai väärä sijainti
- rakenteen höyrynsulussa olevat reiät, jotka mahdollistavat ilmavirtauksen (konvektion) sisältä ulos.

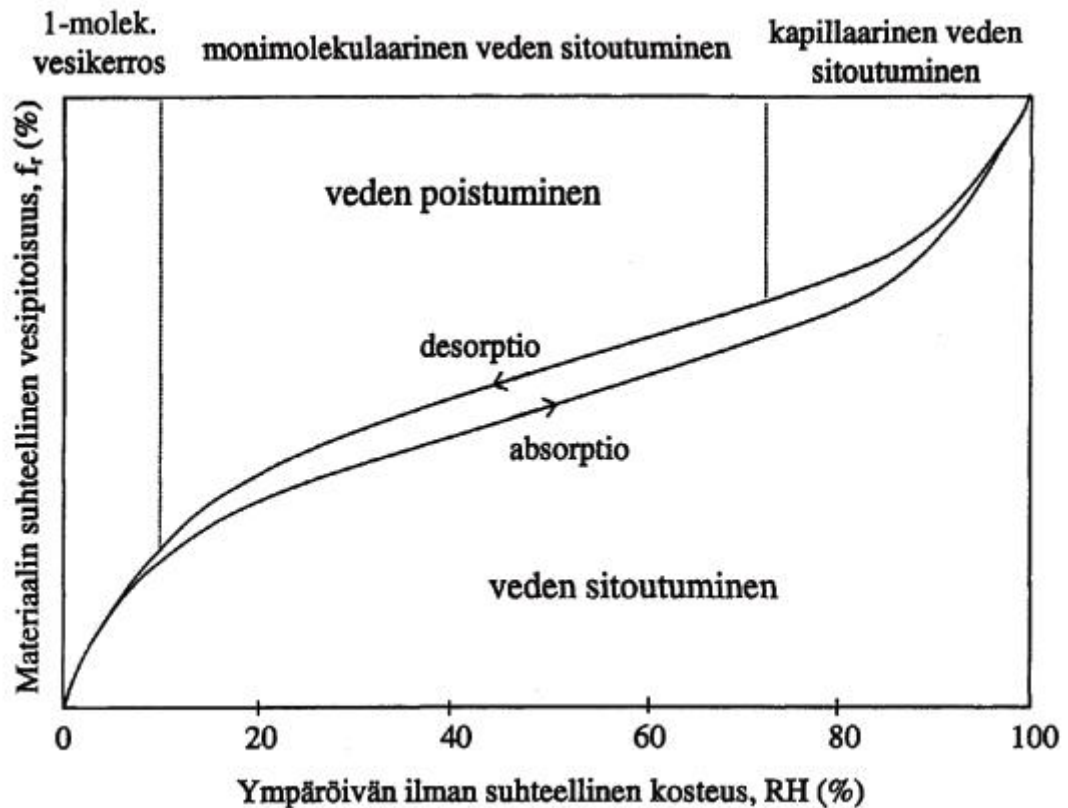
## 2.7 Aineen kosteus

Lähes kaikki materiaalit ovat vuorovaikutuksessa kosteuden kanssa. Ympäröivän ilman kosteusvaihtelu saattaa tuottaa fysikaalisia muutoksia rakenteeseen.

Aineessa oleva kosteus määrä ilmoitetaan tavallisesti kosteuden massan ja kuivan aineen massan välisenä suhteena. Lukuarvio ilmaistaan tavallisesti prosentteina kuivapainosta. Aineen kosteus voidaan ilmaista myös kosteuden massan ja tilavuuden välisenä suhteena ( $\text{kg/m}^3 = \text{tilavuus- \%}$ ) tai ns. tasapainokosteuden avulla. (1, S.77.)

Kosteus liikkuu aineessa ulkoisten voimien vaikutuksesta. Kosteuden kulkeutumista aineeseen kutsutaan absorptioksi, sen liikkumista aineesta sorptioksi ja poistumista desorptioksi. Materiaaliin voi siis sitoutua vettä ja siitä voi poistua vettä. Kumpikin muutos aiheuttaa aineen fysikaalisten ominaisuuksien ja ulkonäön muuttumista.

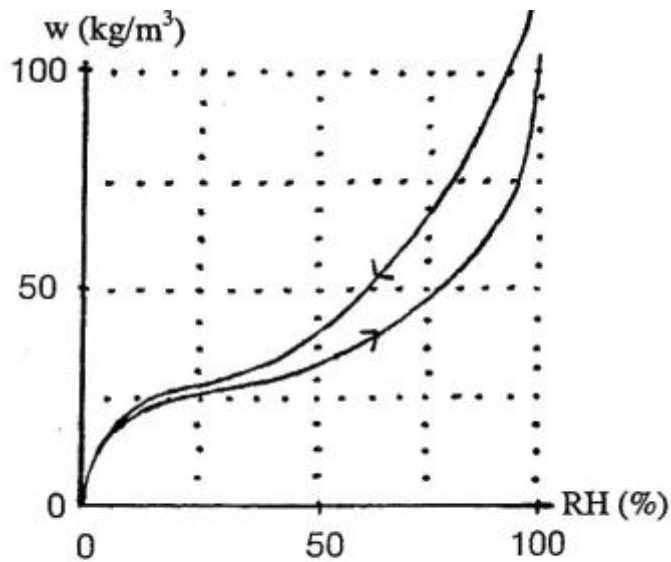
Aineen kosteuden ja ympäröivän ilman välille asettuu tasapaino, jota kuvaa aineelle ominainen sorptiokäyrä, ts. tasapainokosteuskäyrä.



Kuva 6. Tasapainokosteuskäyrän periaate (5, S.37)

Hygroσκοoppinen kosteus on kosteutta, jonka sorptio saa aikaan aineessa suhteellisen kosteuden normaaliarvoilla eli huokoinen aine pystyy sitomaan kosteutta ilmasta ja luovuttamaan kosteutta ilmaan. Aineen kosteus asettuu tasapainotilaan ympäristönsä kanssa, jolloin sillä on hygroσκοoppinen tasapainokosteus. (1, S.77.) Hygroσκοoppisella tasapainokosteudella tarkoitetaan aineessa olevaa kosteutta ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan funktiona. Kapillaarisella tasapainokosteudella tarkoitetaan aineen sitomaa kosteutta sen ollessa yhteydessä vapaaseen veden pintaan.

Tasapainokosteudella tarkoitetaan aineessa olevaa kosteusmäärää tietyissä ympäristön kosteusrasitusolosuhteissa ja lämpötilassa. Tasapainokosteus ilmaistaan usein ns. sorptiokäyränä, jossa toisena muuttujana on aineen sitoma kosteus ja toisena muuttujana hygroσκοoppisesta sorptiokäyrässä ilman suhteellinen kosteus. (1, S. 77.)



Betoni, k25

Kuva 7. Betonin sorptiokäyrä (6, S.38)

Eri aineilla tasapainokosteuden saavuttaminen ympäristöolosuhteiden äkillisesti muuttumisen kestää eripituisen ajan. Vesihöyryä hyvin läpäisevät aineet saavuttavat ympäristöä vastaavan tasapainokosteuden nopeasti ja huonosti läpäisevät hitaasti. Tasoitumisaika riippuu ainepaksuudesta.

Jos materiaalissa on paljon pieniä huokosia, se varastoi enemmän hygroskooppista kosteutta ilman suhteellisen kosteuden muuttuessa kuin huokosten ollessa isoja.

Kun tiiliseinän rappauksen huokoskoko on pienempi kuin tiilen, tiili imee kosteutta sen jälkeen, kun rappaus on kyllästetty vedellä, mutta kuivuu nopeasti pienempihuokoisien rappauksen imun vaikutuksesta. Kun seinärakenteen ulkopuolisen pintarakenteen huokokset ovat seinärakenteen huokosia suuremmat, pienempihuokoinen seinärakenne imee pintarakenteeseen varastoitunutta vettä (sade, vuodot).

## 2.8 Rakennuskosteus

Rakennuskosteus on rakennusaineisiin ja -tarvikkeisiin valmistuksen, varastoinnin tai rakentamisen aikana joutunutta ylimääräistä kosteutta. Rakennuskosteudella tarkoitetaan sitä vesimäärää, joka rakenteesta poistuu, ennen kuin rakenne on kosteustasapainossa ympäristönsä kanssa.

Rakentamisvaiheessa oleva vesimäärä voi vaihdella suuresti riippuen rakennusaineesta, varastoinnista, kuljetuksesta sekä rakenteen suojauksesta. Kastumista voidaan vähentää käyttämällä oikeita suojausmenetelmiä. Rakenteista sisäilmaan haihtuva kosteus lisää rakennuskosteutta.

Materiaali	Rakennusvaiheen kosteus, kg/m <sup>3</sup>	Kemiallisesti sidottu kosteus, kg/m <sup>3</sup>	Tasapaino kosteus, kg/m <sup>3</sup>	Rakennuskosteus, kg/m <sup>3</sup>
Betoni K 15	180	40	25	115
Betoni K 25	180	60	30	90
Betoni K 40	180	70	40	70
Kevytbetoni	100 – 200		20	80 – 180
Kalkkisementti laasti	300	20	30	250
Tiili	10		10	0
Tiilimuuri	80		10	70
Puu	60		40	20

Kuva 8. Eräiden rakennusmateriaalien ja rakenteiden kosteuksia (6,S.39)

Rakennuskosteus voidaan ilmaista kaavalla:

$$W_{\text{rakennuskosteus}} = W_{\text{O}} - W_{\text{tasapaino}}$$

Missä  $W_{\text{O}}$  rakentamisvaiheessa rakenteessa oleva vesimäärä (kg/m<sup>3</sup>) ja  $W_{\text{tasapaino}}$  on rakenteen tasapainokosteus ympäristön kanssa (kg/m<sup>3</sup>), joka on riippuvainen ympäristön suhteellisesta kosteudesta sekä lämpötilasta.

Rakennuskosteus on merkittävin kosteuslähde rakentamisen aikana ja rakennuksen valmistumisen jälkeen. Tasapainokosteuden saavuttaminen voi kestää jopa vuosia rakennuksen valmistumisen jälkeen. Rakenteet voidaan pinnoittaa vasta sitten, kun rakennuskosteus on poistunut riittävästi rakenteista. Tyypillisiä kuivatettavia rakenteita ovat betonirakenteet. Normaalibetonilla kuivatettavaa rakennekostettua on  $70 \text{ kg/m}^3$  –  $115 \text{ kg/m}^3$ .

Koska on tavallista nopeuttaa rakennuksen kuivumista lämpötilaa nostamalla, on vältettävä sisäpuolisten lämmöneristeiden asennusta ennen kuivatuksen aloittamista. Rakennusaikainen suuri suhteellinen kosteus ja normaalia korkeampi lämpötila saattavat johtaa vesihöyryn tiivistymiseen höyrynsulun sisäpinnalle niin, että rakenteet kastuvat.

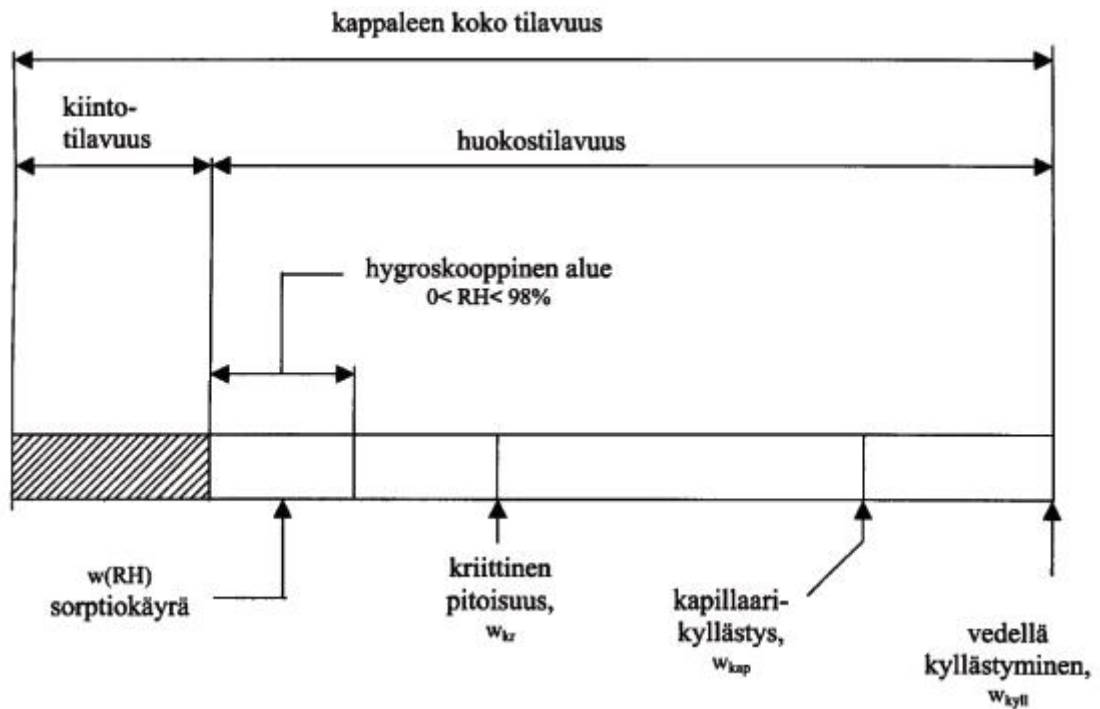
## 2.9 Materiaalien kosteuskapasiteetti

Kosteuskapasiteetillä tarkoitetaan aineen tai tarvikkeen kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta (1, S.80). Kosteuskapasiteetin merkitys korostuu erityisesti puurakenteissa. Puun kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta voidaan käyttää myös rakenteellisesti hyödyksi. Esimerkiksi pinnoittamaton puuritiä alakatto tasapainottaa sisäilman kosteutta.

Huokoisessa aineessa tapahtuvista kosteuden vaihteluista aiheutuu usein myös muodonmuutoksia (pituuden- ja tilavuudenmuutoksia) siten, että kosteuden lisääntyminen aiheuttaa laajenemista ja väheneminen kutistumista. Useimmilla aineilla laajeneminen ja kutistuminen tapahtuvat pääasiassa hygroskooppisella alueella (1, S.82).

Huokoinen materiaali kastuu ollessaan kosketuksissa kostean ilman, märän materiaalin tai veden kanssa. Ensiksi materiaalin pinta kastuu, jonka jälkeen vesi alkaa tunkeutua materiaalin sisään diffuusion, kapillaari-ilmiön tai konvektion avulla. Vesimolekyylit voivat myös tiivistyä vedeksi materiaalin pinnalle tai huokosseinämiin, jos niiden lämpötila on korkeintaan ympäröivän ilman kastepistelämpötila.

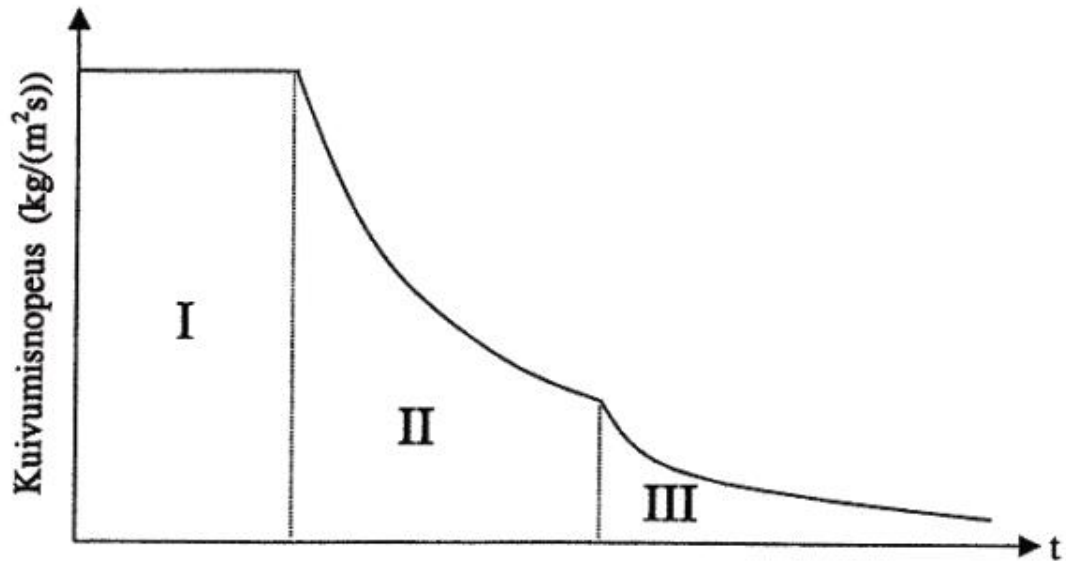
Käytännössä kosteuden aiheuttama liike on merkittävintä puuperäisillä tuotteilla. Kosteuseläminen on otettava myös huomioon epäorgaanisissa rakennustarvikkeissa, joissa on sementtiä tai kalkkia sideaineena. Erityisen merkittävä on kovettumisen aikana tapahtuva kutistuminen.



Kuva 9. Kaaviokuva eri alueista ja määristä materiaaliin varastoituneesta vedestä (6,S.41)

Pumppausvaikutuksen avulla voidaan kuivattaa huokoista materiaalia. Pumppausvaikutus perustuu kaasujen tilanyhtälöön, jonka mukaan ilmamäärän tarvitsema tilavuus vakio paineessa ja – lämpötilassa on vakio. Tilavuuden ollessa muuttumaton ilma poistuu lämmitessään esimerkiksi yläpohjan kautta ja viilenee, kun tilalle tulee ulkoa vastaava määrä viileää ilmaa. Ulos virtaava ilma on lämmennyt ja sisältää enemmän kosteutta kuin sisälle virtaava kylmä ulkoilma, jolloin syntyy pumppausvaikutus, joka pienentää yläpohjan lämmöneristeen sisältämää vesimäärää.

Märän kappaleen kuivuminen tapahtuu ensin haihtamalla rakenteen pinnalla. Vesi alkaa ensiksi poistua kapillaarisesti yhtä nopeasti kuin pinta ehtii haihtuttaa. Kuivuminen riippuu täysin ulkoisista tekijöistä, kun kappaleen pinnan kosteus laskee alle kriittisen kosteuden, kapillaarinen nousu katkeaa pinnassa. Tämän jälkeen kuivumisnopeus pienenee ajan funktiona, koska diffuusio on käytännössä ainoa kosteuden siirtymismuoto rakenteesta. Betoniin kuivuminen tapahtuu lähes täysin tämän vaiheen mukaisesti.



Kuva 10. Huokoisen kappaleen kuivuminen ajan funktiona (6, S.41)

Ensimmäisen ja toisen vaiheen kuivuminen tarkoittaa ns. vapaan veden poistumista. Kuivumisolosuhteeksi riittänee hyvin tavanomainen sisälämpötila ja sisäilman kosteus, koska kapillaariputkista vesi haihtuu jo, kun suhteellinen kosteus on alle 98 %. Viimeiseksi materiaalin jää kemiallisesti sitoutunut vesi.

## 2.10 Betonin kosteus

Betonin raaka-aineena käytetään vettä minkä tehtävänä on muodostaa sementin kanssa sementtiliima, joka sitoo kiviainekset toisiinsa, sekä tehdä betonimassasta työstettävää. Osa betonin valmistamiseen käytetystä vedestä sitoutuu kemiallisesti reagoiessaan sementin kanssa, betonin kovettuessa. Kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on kuitenkin vain noin 20 painoprosenttia sementin massasta (täydellisessä hydrotaatiossa noin 25 %) (7, S.13)

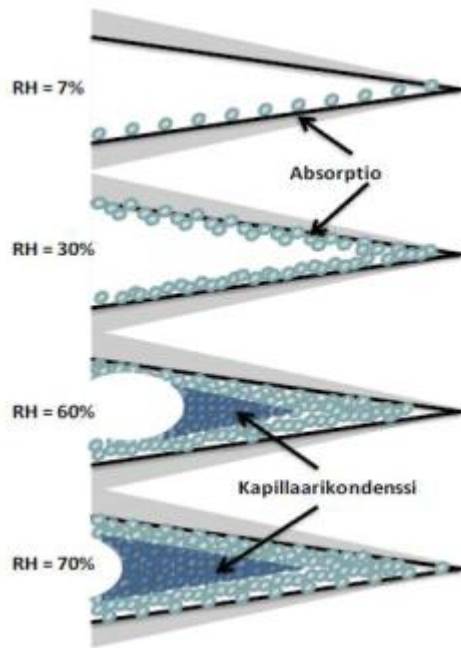
Esimerkiksi, jos normaalin lattiabetonin valmistamiseen käytetään  $200 \text{ kg}/\text{m}^3$  vettä ja  $250 \text{ kg}/\text{m}^3$  sementtiä, alkuperäisestä vesimäärästä vain noin  $50 \text{ kg}/\text{m}^3$  sitoutuu kemiallisesti. Loppu vesi, tässä esimerkkitapauksessa  $150 \text{ kg}/\text{m}^3$ , sitoutuu betonin huokosrakenteeseen fyysikaalisesti siten, että betonin pyrkiessä tasapainokosteuteen ympäristön kanssa osa vedestä poistuu ympäristöön.

Fysikaalisesti sitoutunut vesi on siis haihtumiskykyistä vettä, jota poistuu betonin kuivussa, kun taas kemiallisesti sitoutunut vesi ei haihdu. Fysikaalisesti sitoutunut vesi on kiinnittynyt löysästi betonin huokosten pintaan. Lisäksi huokosen ilmatilassa on vesihöyryä.

Betonin ominaisuudet, lähinnä vesisideainesuhde ja huokosrakenne, vaikuttavat siihen, miten betoni sitoo kosteutta. Kun verrataan eri betonilaatua, joiden valmistamiseen käytetään sama määrä vettä, mutta sementtimäärässä on eroa, kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on suurempi betonissa, jossa sementtimäärä on suurempi. Vastavasti haihdutettavan veden määrä on tällöin pienempi.

Betonin kovettuessa osa betonin valmistamiseen käytetystä vedestä sitoutuu kemiallisesti. Valtaosa sitoutumisesta tapahtuu muutamassa päivässä. Vaikka betoni olisikin kemiallisen sitoutumisen seurauksena saavuttanut loppulujuutensa eli kovettunut, se voi silti olla hyvin kosteaa. Betonin varsinaista kuivumista tapahtuu vasta, kun fysikaalisesti sitoutunutta vettä poistuu eli haihtuu betonista. Kuivumista tapahtuu niin kauan, kunnes betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on sama kuin betonin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus, eli kunnes betoni on saavuttanut hygroskooppisen tasapainokosteuden ympäristön kanssa.

Jos kostea betonirakenne on esimerkiksi huonetilassa, jonka suhteellinen kosteus on 60 %, haihtuu kosteutta niin kauan kuin betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on yli 60 %. Kuiva betoni taas puolestaan voi imeä kosteutta ilmasta kunnes tasapainotila on saavutettu.



Kuva 11. Betonin huokosrakenteet kosteuden määrä kasvaa suhteellisen kosteuden noustessa (31,S.13)

Kovettunut betoni sisältää aina jonkin verran kosteutta. Kosteus on pääosin peräisin betonin valmistamiseen käytetystä vedestä, mutta myös rakenteen kastumisesta rakennusaikana. Lisäksi betonirakenteeseen voi tulla ulkopuolista kosteutta esimerkiksi maaperästä tai erilaisten vesivahinkojen kuten putkivuotojen seurauksena. Huokoisena materiaalina betoni pystyy myös sitomaan itseensä ympäröivän ilman vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta.

Betonin suhteellisella kosteudella tarkoitetaan betonin huokosten ilmatilan suhteellista kosteutta. Suhteellinen kosteus ei kerro, miten paljon ( $\text{kg}/\text{betoni-m}^3$ ) betonissa on kosteutta. Suhteellinen kosteus huomioi vain betonin huokosten ilmatilassa vesihöyrymuodossa olevan kosteuden.

Betonin huokosen ilmatilassa oleva kosteus sekä betonin huokosen pintaan fyysikaalisesti sitoutunut kosteus muodostavat yhdessä betonin kosteussisällön  $W$ , joka voidaan ilmoittaa kilogrammoina betonikuutiota kohden ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) Betonin kosteuspitoisuus voidaan ilmoittaa myös painoprosentteina ( $p\%$ ), eli kuinka monta prosenttia betonin kuivapainosta on vettä. (7, S.15.)

Materiaalien vaurioitumisen kannalta oleellista on nimenomaan niiden huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus. Tästä syystä betonirakenteiden päällystettävyysskosteusrajarvot ilmoitetaan suhteellisenä kosteutena ja niiden saavuttaminen määritetään menetelmällä, joka mittaa suoraan suhteellista kosteutta.

### 2.10.1 Betonin kastuminen

Huokoisena materiaalina betoni pystyy imemään itseensä kosteutta sekä hygroskooppisesti että kapillaarisesti. Kun kuivaa betonikappaletta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus nousee, betoni alkaa imeä itseensä vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta kunnes betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on sama kuin ympäröivän ilman. Tällöin kyseessä on hygroskooppinen kosteudensiirtymisilmiö, ja betonin kosteuden noususta käytetään määritelmää kostuminen.

Ollessaan kosketuksissa vapaaseen veteen tai märkään (kapillaarisella alueella olevaan) materiaaliin betoni alkaa imeä itseensä nestemäisessä muodossa olevaa kosteutta eli vettä. Tällöin kyseessä on kapillaarinen kosteuden siirtyminen, ja betonissa tapahtuu kastumista.

### 3 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia ympäristöministeriön muuttuvien ohjeistuksien vaikutusta työmaan kosteudenhallintaa. Lähtökohtana oli selvittää miten työmaan kosteudenhallinta vastaa nykyvaatimuksia ja miten kiristyviin säännöksiin varaudutaan. Tutkimus rajattiin viiteen eri osa-alueeseen.

- kirjallisuus
- ympäristöministeriön muutos
- kaupallisten asiakirjojen vaatimukset koskien sääsuojausta
- kosteudenhallinnan menetelmät NCC:llä
- kosteudenhallinnan kustannustehokkaat menetelmät

Kirjallisuustutkimuksessa perehdyttiin kosteuden teoriaan sekä etsittiin jo olemassa olevaa tietoa työmaan kosteudenhallinnasta.

Ympäristöministeriön uudistuksen lähdetietona käytettiin eri tutkimusraportteja sekä Eduskunnan kannanottoa koskien työmaa kosteudenhallintaan. Tutkimustulokseen on perehdytty tarkemmin kohdissa 4.1 – 4.5.

Rakennuttajan vaatimuksia työmaan sääsuojauksesta perehdyttiin vertailemalla eri rakennuttajien kaupallisten asiakirjoja. Lähdeaineistona käytettiin urakkalaskentavaiheen kaupallisia asiakirjoja. Tutkimustuloksiin on perehdytty tarkemmin kohdassa 4.8.

Tutkimuksen päätavoitteena oli löytää menetelmät miten työmaan kosteudenhallintaa voidaan suorittaa kustannustehokkaasti. Tutkimuskohteena käytetään toteutunutta hanketta, mihin vertaillaan eri toteutusmenetelmiä suojauksen ja kuivauksen välillä.

Esimerkkikohteena käytettiin Helsingin Santahaminassa 2014 aikana toteutettua toimitalihanketta. Hanke valittiin, vertailukohteeksi rakennuksen ulkomittojen suorakulmaisuuden vuoksi. Näin sääsuojan vertailulaskelmissa ei tarvitse ottaa erityispiirteitä huomioon kuten erkkerit, vinoudet yms. arkkitehtuurisesti näyttäviä piirteitä. Näiden piirteiden hinnoittelu on aina tapauskohtaista eikä niitä voida käyttää hyvänä vertailuna.

Rakennuksen kuivatusta arvioitiin laskemalla tuuletus- sekä kuivatusilman avulla. Laskennan apuna käytettiin Tampereen Teknillisen yliopiston Frame-hankkeen pohjalta laadittua Excel-pohjaista laskenta ohjelmaa (33), millä arvioidaan täyselementtitekniikalla rakennetun kosteuden poistoa ilman vaihdon avulla. Laskenta ohjelman avulla arvioidaan kuivatusaikaa rakennuksen ilmanvaihtoluvun avulla.

#### 4 Työmaan kosteudenhallinnan vaatimukset

Työmaan kosteudenhallinnan vaatimukset ovat kiristymässä 2010-luvulla siinä missä työmaan työturvallisuustason vaatimukset 2000-luvun alussa. Rakentamismääräyskoelma C2 laadittiin kosteudesta johtuvien vaurioiden ja haittojen välttämiseksi rakentamisessa. Siitä huolimatta rakennusala leimaa huonon laadun maine. Pitkään on rakennusalan julkaisuissa kuin yleisessä mediassa käyty keskustela rakentamisen laadusta sekä homeongelmista. Valtioneuvosten päätöksellä vuonna 2009 käynnistettiin hometalkoot ohjelma, mikä on valtakunnallinen, viisivuotinen toimintaohjelma, jonka tehtävänä on saattaa alkuun suomalaisen rakennuskannan tervehdyttäminen kosteus- ja homevaurioista. Ilmaston muutos, kiristyvät energiamääräykset, sisäilmavaatimukset ja rakennusurakoiden pilkkominen sekä kireä aikataulu ovat tuoneet nykypäivän rakentajalle yhä enemmän haasteita projektinhallintaan.

Ympäristöministeriön strategia ”Yhdessä kestävään tulevaisuuteen” valmistui kesällä 2010. Ympäristöministeriön rakentamista koskevat strategisia hankkeita on mm. Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisarviointi, kosteus- ja hometalkoot sekä rakennetun ympäristön energiatehokkuus. Näillä teemoilla pyritään nostamaan rakentamisen laatua. Aikaisemmin ohjeistuksena toimineet menettelyt pyritään nostamaan velvoittaviksi toiminnoiksi. Tämä lisää työmaalle yhä enemmän laissa määrättyjä velvoittavia toimenpiteitä sekä vastuullisen työnjohdon määrää.

#### 4.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Rakennustyömaan kosteudenhallintaa ohjaa maankäyttö- ja rakennuslaki sekä jäljempänä maankäyttö- ja rakennusasetus. Rakennus ei saa aiheutua terveydelle vaaraa mm. rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi. Siitä huolehtii viime kädessä rakennushankkeeseen ryhtyvä. Rakennusvalvontaviranomainen valvoo rakennustointa yleisen edun nimissä ja osaltaan huolehtii, että lain ja asetusten säädöksiä noudatetaan.

Maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellään rakentamista koskevat yleiset edellytykset, olennaiset tekniset vaatimukset sekä rakentamisen lupamenettely ja viranomaisvalvonta. Tarkempaa rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan.

Maankäyttö- ja rakennuslain muutos (958/2012) tuli voimaan 1.1.2013. Muutoksessa huomioitiin perustuslaista tulevat vaatimukset. Aikaisemmat asetuksenantovaltuudet eivät vastanneet perustuslain mukaisia vaatimuksia. Lailla säädetään rakennuksen olennaisia teknisiä vaatimuksia ja niihin liittyviä asetuksenantovelvollisuuksia. Maankäyttö- ja rakennuslain muutoksella rakennuksen olennaisia teknisiä vaatimuksia täsmennettiin ja ne siirrettiin maankäyttö- ja rakennusasetuksesta lakiin.

##### 117 c §. Terveellisyys

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen. Rakennuksesta ei saa aiheutua terveyden vaarantumista sisäilman epäpuhtauksien, säteilyn, veden tai maapohjan pilaantumisen, savun, jäteveden tai jätteen puutteellisen käsittelyn taikka rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi.

Rakentamisessa on käytettävä tuotteita, joista ei niiden suunnitellun käyttöiän aikana aiheudu sisäilmaan, talousveteen eikä ympäristöön sellaisia päästöjä, joita ei voida pitää hyväksyttävänä. Rakennuksen järjestelmien ja laitteistojen on sovellettava tarkoitukseensa ja ylläpidettävä terveellisiä olosuhteita.

Ympäristöministeriön asetuksella voidaan antaa uuden rakennuksen rakentamista, rakennuksen korjaus- ja muutostyötä sekä rakennuksen käyttötarkoituksen muutosta varten tarvittavia tarkempia säännöksiä rakennukselta edellytettävistä terveellisyyteen

liittyvistä fysikaalisista, kemiallisista ja mikrobiologisista olosuhteista, taloteknisistä järjestelmistä ja laitteistoista sekä rakennustuotteista. (8, luku 17.)

Maankäyttö- ja rakennuslain muutos (41/2014) tuli voimaan 1.9.2014. Laissa täsmennettiin rakennushankkeeseen ryhtyvän huolehtimisvelvollisuuksia. Rakennushankkeeseen ryhtyvän velvollisuuksia, rakennuksen suunnittelua ja suunnittelijoita, rakennustyönjohtoa, rakennuslupahakemusta ja viranomaisvalvontaa koskeva sääntely on uudistettu vastaamaan perustuslain säädöstäsoa sekä asetuksenantovaltuutta koskevia vaatimuksia. Samalla, kun sääntely on saatettu perustuslain vaatimusten mukaiseksi, rakennushankkeeseen ryhtyvän velvollisuuksia, rakennusten suunnittelua ja suunnittelijoita, rakennustyönjohtoa, rakennuslupamenettelyä ja rakentamisen viranomaisvalvontaa koskevia säännöksiä on selkeytetty helpottamaan niiden yhtenäisempää soveltamista. Sisällöllisesti sääntely säilyi pääosin ennallaan.

#### 119 § Rakennushankkeeseen ryhtyvän huolehtimisvelvollisuus

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä myönnetyn luvan mukaisesti. Rakennushankkeeseen ryhtyvällä on oltava hankkeen vaativuus huomioon ottaen riittävät edellytykset sen toteuttamiseen.

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava myös siitä, että rakennushankkeessa on kelpoisuusvaatimukset täyttävät suunnittelijat ja työnjohtajat ja että muillakin rakennushankkeessa toimivilla on heidän tehtäviensä vaativuus huomioon otettuna riittävä asiantuntemus ja ammattitaito. (8, Luku 17.)

Maankäyttö – ja rakennuslain muutos 41/2014 perusteella rakennusvalvontaviranomainen voi edellyttää rakennushankkeeseen ryhtyvältä erillistä laadunvarmistusselvitystä.

#### 121 a § Laadunvarmistusselvitys

Rakennusvalvontaviranomainen voi rakennusluvassa tai aloituskokouksen perusteella edellyttää rakennushankkeeseen ryhtyvältä erillistä laadunvarmistusselvitystä toimenpiteistä rakentamisen laadun varmistamiseksi. Laadunvarmistusselvitystä voidaan edellyttää, jos rakennushanke tai osa siitä on erittäin vaativa tai jos aloituskokouksessa sovittujen menettelyjen perusteella ei voida perustellusti olettaa, että rakentamisessa saavutetaan rakentamista koskevien säännösten ja määräysten mukainen lopputulos.

Laadunvarmistusselvitykseen on merkittävä olennaiset tiedot niistä toimista, joilla varmistetaan, että rakentamisessa saavutetaan rakentamista koskevien säännösten ja määräysten mukainen lopputulos. Laadunvarmistusselvityksessä osoitettuja menettelyjä on noudatettava rakennustyössä. Rakennushankkeeseen ryhtyvän on liitettävä laadunvarmistusselvitys 150 f §:n mukaiseen rakennustyön tarkastusasiakirjaan.

Ympäristöministeriön asetuksella voidaan antaa tarkempia säännöksiä laadunvarmistus selvityksen sisällöstä. (8, Luku 17.)

Helsingin rakennusvalvontaviraston ohjeessa, edellytetään jo rakennushankkeeseen ryhtyvältä kosteudenhallinnan tavoitteita ennen lupahakemuksen jättämistä. Edellytyksen taustalla antaa hankkeen suunnittelijoille ja asiantuntijoille riittävästi aikaa kartoittaa hankkeen rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan liittyviä riskejä ja suunnitella ratkaisut sekä määrittellä tarvittavat toimenpiteet, jotka tukevat työnaikaista olosuhteiden suojausta ja rakenteiden kuivumista.

#### 4.2 Maankäyttö- ja rakennusasetus

Asetus on Suomen lakia täsmentävä tai täydentävä säädös, joka annetaan lain antaman asetuksenvaltuutuksen nojalla. Ministeriö voi antaa asetuksia eduskunnan säätämän lain perusteella. Ministeriön määräykset koskevat oman toimivaltansa säädöksiä.

Asetuksen tarkoituksena on tarkentaa lakia muuttamatta sen sisältöä. Asetuksena annetut ja Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kootut rakentamista koskevat säännökset ovat velvoittavia. Ministeriön antamat ohjeet eivät sen sijaan ole velvoittavia.

Maankäyttö- ja rakennuslain muutoksen perusteella rakennusasetuksen olennaisia teknisiä vaatimuksia koskevat uudet asetukset ovat viiden vuoden siirtymäajan piirissä. Täsmennykset tulee antaa 1.1.2018 mennessä.

216/ 2015 Ympäristöministeriön asetus rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä nojalla rakennustyömaan kosteudenhallintasuunnitelma on nostettu asetuksen tasolle.

##### 15 § Kosteudenhallintasuunnitelman sisältö

Työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaan on sisällyttävä tieto toimenpiteistä, joilla rakennusaineet ja -tuotteet sekä rakennusosat suojataan sään aiheuttamilta tai työmaan olosuhteista johtuvilta haittavaikutuksilta sekä toimenpiteistä, joilla rakennusaineiden ja -tuotteiden sekä rakennusosien kosteudensuojaus toteutetaan ja rakenteiden kuivuminen varmistetaan. (10, 15§.)

### 4.3 Rakennustuoteasetus

Rakennustuotteita koskevan lainsäädännön tavoitteena on varmistaa, että rakennustuotteista saatava tieto on luotettavaa ja vertailukelpoista, kun suunnittelija ja rakentaja arvioivat tuotteiden soveltuvuutta rakennettavaan kohteeseen. Lainsäädännön tehtävänä on myös edistää rakennustuotteiden myyntiä sekä kotimaan markkinoille että vientiin. (11.)

Euroopan unionin asetukset ovat suoraan sovellettavaa lainsäädäntöä eli niitä sovelletaan sellaisenaan EU:n jäsenmaissa. Rakennustuotteisiin liittyvä keskeinen EU-säädös on niin sanottu EU:n rakennustuoteasetus, joka tuli voimaan kokonaisuudessaan 1.7.2013. Rakennustuoteasetus korvaa rakennustuotedirektiivin 89/106/ETY. Rakennustuoteasetuksessa säädetään kuinka rakennustuotteen ominaisuuksista kerrotaan ja millä edellytyksillä rakennustuotteet voidaan CE-merkitä. (11.)

Rakennustuoteasetuksen tavoitteena on tarkkojen ja luotettavien tietojen saanti rakennustuotteiden suoritustasoista ja ominaisuuksista yhteisellä eurooppalaisella tavalla. Asetus selkeyttää CE-merkinnän käyttöä. Lisäksi asetuksen tavoitteena on rakennustuotteiden vapaa liikkuvuus ja kaupanesteiden poistamiseen EU:n sisämarkkinoilla.

Rakennustuotteiden on oltava turvallisia ja kestävän kehityksen periaatteiden mukaisia eivätkä ne saa aiheuttaa haittaa terveydelle. Rakennustuotteet ovat kelpoisia rakentamisessa käytettäväksi silloin, kun ne täyttävät maankäyttö- ja rakennuslaissa tai sen nojalla säädetty olennaiset tekniset vaatimukset, jotka koskevat

- rakenteiden lujuutta ja vakautta
- paloturvallisuutta
- terveellisyyttä
- käyttöturvallisuutta
- esteettömyyttä
- meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita sekä
- energiatehokkuutta.

Rakennustuotteiden kelpoisuus osoitetaan CE-merkinnällä, jos tuote kuuluu harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan tai valmistaja on hakenut tuotteelle ETA:n. CE-merkintä varmistaa, että tuotteiden ominaisuudet ilmoitetaan suoritustasoilmoituksella aina samalla, harmonisoidun tuotestandardin tai ETA:n mukaisella tavalla.

EU:n rakennustuoteasetuksen myötä suurinta osaa rakennustuotteiden CE-merkinnän pakollisuus aiheuttaa muutostarvetta rakentamismääräyksiin. Aikaisemmin rakentamismääräyksissä on annettu lähinnä kohdekohtaisia vaatimuksia eikä useimmille rakennustuotteille ole ollut kansallisia tuotekohtaisia vaatimuksia.

Rakennustuoteasetuksen myötä on tullut tarvetta antaa asetuksena tuotekohtaisia vaatimuksia mm. vedeneristys ja höyrynsulkutuotteille. Asetuksen lisäksi annettavassa ohjeessa annettaisiin tietoa kuinka asetuksessa säädettyjä teknisiä vaatimuksia voitaisiin testata ja määrittää.

#### 4.4 Säännökset ja ohjeet

Rakentamisen ohjauksella tuetaan laadukkaita, turvallisia ja esteettisiä rakentamisratkaisuja. Samalla tuetaan energian käytön vähentämistä, energiatehokkuuden parantamista sekä uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämistä rakentamisessa. Suomen rakentamismääräyskokoelma sisältää täydentäviä säännöksiä ja ohjeita maankäyttö- ja rakennuslakiin sekä asetukseen.

Viranomaiset valvovat ja ohjaavat rakentamista Suomessa. Rakentamisen yleinen ohjaus perustuu lain ja asetuksen tasoisiin säännöksiin. Maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellään rakentamista koskevat yleiset edellytykset, olennaiset tekniset vaatimukset sekä rakentamisen lupamenettely ja viranomaisvalvonta. Tarkemmat asetuksena annettavat rakentamisen säännökset sekä niitä täydentävät ministeriön ohjeet on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan.

Rakentamisen ohjauksen ja sääntelyn tavoitteena on varmistaa, että rakentaminen täyttää olennaiset tekniset vaatimukset ja että:

- rakentamisen laatu on korkeatasoista
- rakentaminen on turvallista, terveellistä ja esteettisesti korkeatasoista
- rakennus soveltuu käyttäjien tarpeisiin koko sen elinkaaren ajan
- rakennus sopii rakennettuun ympäristöön ja maisemaan
- suunnittelussa ja rakentamisessa korostuvat vastuu ja hyvä ammattitaito
- rakennuksen korjaus- ja muutostyössä rakennuksen ominaisuudet ja erityispiirteet otetaan huomioon
- rakentaminen edistää kestäväää kehitystä.

Olenaiset tekniset vaatimukset koskevat:

- rakenteiden lujuutta ja vakautta
- paloturvallisuutta
- terveellisyyttä
- käyttöturvallisuutta
- esteettömyyttä
- meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita sekä
- energiatehokkuutta.

Rakentamismääräyskokoelman määräykset ovat perinteisesti koskeneet uuden rakennuksen rakentamista. Rakennuksen korjaus- ja muutostyössä määräyksiä on sovellettu vain siltä osin kuin toimenpiteen laatu ja laajuus sekä rakennuksen tai sen osan mahdollisesti muutettava käyttötapa ovat edellyttäneet (ellei määräyksissä ole nimenomaisesti määrätty toisin). Rakentamista koskevien määräysten soveltaminen on tarkoitettu joustavaksi siten kuin se rakennuksen ominaisuudet ja erityispiirteet huomioon ottaen on mahdollista. Olemassa olevia rakentamiskokoelman määräyksiä sovelletaan viiden vuoden siirtymäaikana, kuten tähänkin asti. Sitä mukaa, kun rakentamismääräyskokoelman osia uudistetaan, kustakin uudesta asetuksesta käy suoraan ilmi, koskeeko se uuden rakennuksen rakentamista vai rakennuksen korjaus tai muutostyötä

Rakentamista koskevat asetukset uudistetaan vuoteen 2018 mennessä vuonna 2013 voimaan tulleen maankäyttö- ja rakennuslain muutoksen mukaisesti. Uudistuksen keskeisenä tavoitteena on rakentamista koskevan sääntelyn selkeyttäminen sekä sen soveltamisen yhtenäistäminen. Asetukset kootaan Suomen rakentamismääräyskokoelmaan, jonne myös yhtenäisen soveltamisen tueksi annetut ministeriön ohjeet sekä suositusluonteiset ohjeet kootaan. (12.)

Maankäyttö- ja rakennuslain muutoksen myötä myös nykyinen rakentamismääräyskokoelma C2, kosteus on muutoksen edessä. Nykyinen, vielä voimassa oleva määräys ja ohjeistus astui voimaan 1.1.1999. Silloin tavoitteena on ollut kosteudesta johtuvien vaurioiden ja haittojen välttäminen rakentamisessa.

#### 4.5 Rakentamismääräyskokoelma C2- kosteus, uudistus

Rakentamismääräyskokoelman C2- kosteus uudistuksen takana on kolme tausta tekijää.

##### 1. Maankäyttö- ja rakennuslain muutokset

- MRL -muutos 958/2012
- MRL -muutos 41/2014

##### 2. Rakennustuoteasetuksen voimaantulo

##### 3. Eduskunnan kannanotto rakennusten kosteus- ja homeongelmiin (EK 5/2013 vp)

Eduskunnan kannanotossa (EK 5/2013) on 14 eri kohtaa, minkä mukaan on ryhdyttävä toimenpiteisiin kosteus- ja homeongelmien poistamiseksi. Eduskunnan kannanotossaan hallitukselle edellytetään, että hallitus ryhtyy toimenpiteisiin rakentamisen ohjauksen ja neuvonnan uudistamiseksi, koska nykyinen ohjausjärjestelmä ei toimi.

Kannanoton muistiossa on esitetty selkeitä toimenpidemuutoksia rakennusaikaiseen kosteushallintaan.

Eduskunta edellyttää hallituksen ryhtyvän toimenpiteisiin rakennustyömaiden kosteudenhallinnan parantamiseksi. Vaativille kohteille tulee nimetä kosteuden ja puhtauden hallinnasta vastaava asiantuntija. Muissa kohteissa vastaavan työnjohtajan vastuuta työmaan kosteudenhallinnasta tulee lisätä. Hallituksen on luotava ohjeistus rakennushankekohtaiselle kosteudenhallintasuunnitelmalle, jonka liittämistä osaksi rakennushankkeen tarjouspyyntöä muodostuisi luonteva ja vakiintunut käytäntö. (13, EK 5/2013 vp – M 5/2013 vp)

Ympäristöministeriö ryhtyi toimenpiteisiin ja arvioitti rakentamismääräyskokoelman C2 toimivuutta käytännössä. Ympäristöministeriö valitsi arviointityöhön kilpailutuksen jälkeen Vahanen Oy:n. Rakentamismääräyskokoelman C2 toimivuuden arviointi toteutettiin vuoden 2014 aikana.

Vahanen Oy:n raportti sisältää asiantuntijoiden näkemyksiä C2 kosteusmääräyksen parannusehdotuksista sekä haastatteluja (14). Kosteusmääräysten uudistustarpeen arviointi aloitettiin toteuttamalla kaikille avoin kysely otakantaa.fi-palvelussa. Sama kysely tehtiin myös arviointityön toteuttaneen Vahanen Oy:n henkilökunnalle. Kyselyssä kysyttiin kantaa määräysten laajuuteen ja muotoon sekä määräyksiä selvittävien ohjeiden tarpeellisuuteen. Kyselyssä tiedusteltiin myös muuttuvien lämmöneristysmääräysten ja ilmastonmuutoksen aiheuttamia muutostarpeita kosteusmääräyksiin sekä mieltä siitä tulisiko rakennustyömaan kosteudenhallinnan painoarvoa kasvattaa tulevissa kosteusmääräyksissä.

Raportin mukaan tärkeimmiksi tarkennettaviksi tai muutettaviksi kohdiksi nykyisissä kosteusmääräyksissä nähtiin muun muassa kosteudenhallintasuunnitelma. Kosteudenhallintasuunnitelmassa painotettiin sitä, että sen tulisi olla yksilöllinen, kyseiselle työmaalle suunniteltu. Lisäksi sääsuojasta ja rakennusaikaista kosteudenhallintaa pidettiin tärkeänä asiana, ja niitä tulisi tuoda näkyvämmiin esille uudistetuissa kosteusmääräyksissä.

Arviointityössä keskeisiksi nähtyjä uudistustarpeita

- Kosteudenhallintaan liittyvän riskiarvion / alustavan kosteudenhallintasuunnitelman vaatiminen osana rakennuslupaa.
- Työmaalle nimetty kosteudenhallinnasta vastaava henkilö
- kosteudenhallintasuunnitelman mukaiset toimenpiteet → mittaus → dokumentointi
- Suunnitelmien rakennusfysikaalinen tarkastaminen
- Kosteudenhallinnan ja rakennusfysikaalisen toimivuuden ulkopuolinen arviointi
- Työturvallisuuskorttikoulutusta vastaava koulutus työmaankosteudenhallinnasta.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että työmaan sääsuojaus, kosteudenhallinta ja niiden etukäteissuunnittelu eli kosteudenhallintasuunnitelma nähtiin keskeisimpinä uudistustarpeina. (14.)

#### 4.6 Hyvä rakentamistapa

Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset määrittää rakennusalalla yleisesti tunnustetun hyvän rakennustavan. RYL:n keskeisenä tavoitteena on kiinteistö- ja rakennusalan yhteisen laatuikäsitteen avulla tarjota käytännön työkaluja hyvän rakennustavan mukaiseen suunnitteluun ja toteutukseen. Kun kohteen tekninen laatutaso on kuvattu RYL:n avulla, saadaan samalla käsitteet ja mittarit rakennustyön lopputulosten puolueettomaan arviointiin.

Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, RYL, edustaa maamme kiinteistö- ja rakentamisalan eri osapuolten yhdessä hyväksymää käsitystä nykypäivän hyvää rakennustavasta. Se antaa täsmällistä ja konkreettista sisältöä sekä maankäyttö- ja rakennuslain (117 §) ja asunto-osakeyhtiölain (4 luku, 1 §) velvoitteille noudattaen rakentamiselle asetettujen vaatimusten lisäksi hyvää rakennustapaa että Rakennusurakan yleisissä sopimusehdoissa (YSE 1998 1 §) mainitulle urakoitsijan velvollisuudelle suorittaa sopimuksenmukainen tehtävänsä ammattitaidolla noudattaen voimassa olevia rakentamista koskevia säädöksiä ja hyvää rakennustapaa. Mikäli nimenomaista viranomais määräystä ei jostain tietystä asiasta ole, voi hyvän rakennustavan käsite jäädä väljäksi ilman RYL:n vaatimustason määrittelyä. Tällöin RYL voi saada laajempaakin oikeudellista merkitystä hyvän rakennustavan noudattamista arvioitaessa, erityisesti yksityisoikeudellisissa sopimuksissa ja rakentamiseen liittyvissä virhetilanteissa toteutunutta laatua arvioitaessa (18, S.3.)

Hyvää rakentamistapaa voidaan täsmentää vielä yksilöllisemmin ohjekortein. RT-kortisto on Suomalaisen Rakennustieto Oy:n julkaisema kortistomuotoinen tietokoelma, joka sisältää tietoa ja ohjeita sisältää tietoa ja ohjeita mm. rakenteista, tilasuunnittelusta, rakennusalan sopimuksista ja tehtävänjaosta. RT-kortisto auttaa suunnittelun ja rakentamisen kaikkia osapuolia pitämään ammattitaitonsa ajan tasalla suunnittelussa, rakentamisessa, tarvikevalinnoissa ja hankkeen ohjauksessa.

#### 4.6.1 MaaRYL 2010

MaaRYL eli maanrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset julkaisu sisältää talonrakentamisen maatoissa sovellettavan hyvän rakennustavan. Se käsittelee maa-, pohja- ja kalliorakenteiden sekä päällysteiden ja pintarakenteiden teknisiä vaatimuksia. Ensimmäistä kertaa julkaisu käsittelee myös rakennusaikaisen kuivatuksen sekä maaperän puhdistamisen vaatimuksia.

MaaRYL 2010 ohjeistuksen mukaan rakennuksen kaivanto pidetään kuivana pumpaamalla suoraan kaivannosta tai pohjavedenpintaa alentamalla (16, S.119). Muilla menetelmillä toteutettava kuivanapito tehdään erillisen suunnitelman mukaan. Yleensä hankkeen geo- tai rakennesuunnittelija määrittelee erikoissuunnitelmissaan toteutustavan.

MaaRYL 2010 kohdan 251 (16, S.119) Rakennuskaivannon kuivanapito -ohjeistuksen mukaan kaivanto pidetään työn aikana niin kuivana, että kaivannossa tehtävät työt voidaan asianmukaisesti suorittaa ja että pohjamaa pysyy mahdollisimman häiriintymättömänä maanvaraisten rakenteiden kohdilla. Vedet poistetaan kaivannon pohjaan tehtyyn esim. pumppauskuoppaan asennetulla uppopumpulla.

Valmiin kuivatuksen vaatimus todetaan kohdassa 2511.5 (16, S.119) valmis kuivatuskohdan mukaisesti. Ohjeen mukainen tulkinta on, että kaivannossa ei ole vettä haitallisessa määrässä.

MaaRYL 2010 ohjeistus ei tuo tiukennuksia maanrakennustöiden työnaikaiseen kuivanapitoon. Kaupallisissa taikka teknisissä asiakirjoissa viittaus MaaRYL:iin suo tilaajalle enemmän mahdollisuuksia velvoittaa urakoitsijaa toimimaan määriteltyjen ohjeitten mukaisesti. Tontin työn aikainen kuivanapitomenetelmä on helppo todeta MaaRYL:n ohjeistuksesta, valmis lopputulos ei niinkään helposti tulkittavissa. Tarkoituksena on, että rakennusalue tai kaivanto pidetään kuivana työn aikana, niin etteivät kaivannon vakavuus ja ympäristö häiriinny pohja- tai pintaveden virtauksen seurauksena.

*RunkoRYL 2010*

RunkoRYL eli talonrakennuksen runkotöiden yleiset laatuvaatimukset, on rakennusala- la yleisesti hyväksytyn hyvän rakennustavan kuvaus. Työmenetelmissä ja valmiin työn arvioinnissa on yhä enemmän kiinnitetty huomioita työnaikaiseen kosteudenhallintaan.

Betonirakentamisessa RunkoRYL 421.1.7 kohdan (17, S.156) mukaan elementtien kuljetus ja varastoinnin vaatimuksena on, että elementit sidotaan ja suojataan kuljetuk- sen ajaksi likaantumiselta ja kolhiintumiselta julkaisussa Betonielementtien kuljetusohje esitetyllä tavalla. Elementit on tarkastettava silmämääräisesti niiden saavuttua työmaal- le. Elementit varastoidaan sekä elementtitehtaalla että työmaalla siten, ettei niihin pää- se syntymään haitallisia muodonmuutoksia, ulkonäköä heikentäviä virheitä tai läm- möneristys kastu haitallisin määrin.

Ensisijaisesti sandwich-elementit tulisi suojata kastumiselta myös asennusaikana. Va- rotoimenpiteistä huolimatta, kastuessaan kivivillalla eristetty seinä voidaan kuitenkin asentaa. Esimerkiksi Paroc Oy:n kivivillan käsittelyohjeistuksen mukaan kivivilla kuivuu nopeasti eikä kastuminen vaikuta sen ominaisuuksiin pysyvästi. Oleellista on, että ele- mentti kastuessaan pääsee myös kuivumaan.

Puurakentamisessa RunkoRYL 711.1.1.2 (17, S.218) kohdan mukaan puutavaran kos- teus saa olla toimitettaessa enintään 25 % puun kuivapainosta. Mikäli puutavara on tarkoitus pintakäsittellä, saa sen kosteus pintakäsittelyn ajankohtana olla enintään 18 % puun kuivapainosta.

Kohdan 711.1.1.3 (17, S.221) mukaan on puutavara suojattava kuljetuksen ja varas- toinnin aikana kastumiselta, likaantumiselta, kolhiintumiselta sekä naarmuuntumiselta. Paineekyllästettyä puutavaraa ei tarvitse suojata kastumiselta RunkoRYL:n ohjeistuksen mukaan.

Puurungon asennustöissä RunkoRYL kohta 711.4 (17, S.228) mukaan puutavara ei saa olla välittömässä kosketuksessa sellaisen materiaalin kanssa, joka kuljettaa vettä kapillaarisesti (esimerkiksi betoni).

Työnaikainen seuranta osoitetaan RunkoRYL 711.6 kohdan mukaisesti.

Ennen töiden aloittamista todetaan perustusten/alustan, puutavaran ja runkotarvikkeiden kelpoisuus sekä työn edellyttämät kosteus- ja lämpötilaolot.

Rungon asennuksen aikana valvotaan jatkuvasti asennusolojen sopivuutta, peittyvien työsuoritusten asianmukaisuutta, tarvikkeiden asiakirjojen mukaista käyttöä, tarvittavia liikkuma- ja asennusvaroja, väliaikaista tuentaa ja suojausta sekä kiinnitysten riittävyttä ja pitävyyttä. Tarkastuksesta laaditaan tarvittaessa pöytäkirja (17, S.232)

Lämmöneristeiden toimituksessa RunkoRYL kohta 911.1.4 kohdan (17, S.278) mukaan tuotteet toimitetaan rakennuspaikalle suojattuina mekaanista vaurioitumista, kostumista ja likaantumista vastaan. Tarvikkeet säilytetään työmaalla suojattuina vahingoittumista vastaan. Varastoinnissa otetaan huomioon valmistajien ohjeet. Eristystarvikkeiden suojaamiseen kosteutta vastaan kiinnitetään erityistä huomiota.

Asennuksessa noudatetaan 911.2 (17, S.278) Kiinnitys-, saumaus- ja tiivistystarvikkeet - ohjeistusta. Vaatimuksena on, että lämmöneristys asennetaan kuivana, poikkeuksena kosteutta sisältävät ruiskutettavat ja puhallettavat eristeet. Haitallinen kosteuden pääsy rakennusosaan estetään. Rakenteessa oleva tai siihen tuleva kosteus johdetaan tarvittaessa pois tuuletuksella tai muilla toimilla. Erityisesti huolehditaan siitä, että tuulettaviksi tarkoitetut rakenteet pääsevät tuulettuman kauttaaltaan eikä tuuletuksen virtauksen esteitä ole.

Lämmöneristys suojataan mekaanista vaurioitumista ja sään haitallisia vaikutuksia vastaan. Lämmöneristykseen suojaamiseen kastumista vastaan kiinnitetään erityistä huomiota. Valmis lämmöneristys tai sen osa suojataan vahingoittumista vastaan välittömästi asennustyön jälkeen. Työn keskeytyksen aikana käytetään riittävää väliaikaista suojausta. Lämmöneristystä ei saa kuormittaa edes tilapäisesti niin, että sille tai sen tarvikkeille asiakirjoissa sallitut jännitykset tai kuormitukset ylittyvät ja niihin syntyy pysyviä, haitallisia muodonmuutoksia tai muita vikoja. Tarvittaessa lämmöneristykseen päälle on tehtävä kantavaan rakenteeseen tuettu kulkusilta. (17, S.279.)

#### 4.6.2 SisäRYL 2013

SisäRYL eli talonrakennuksen sisätöiden yleiset laatuvaatimukset on rakennusalan yleisesti hyväksytyn hyvän rakennustavan kuvaus.

SisäRYL 1041.3.1 kohdan (18, S.275) mukaan kosteat läpäisemättömät tai vähän läpäisevät betonialustat on kosteusmittattava ennen päällystämistä. Alustan kosteus mitataan ohjekortin RT 14 -10984 mukaan ennen päällysteen asentamista ja mittauksista laaditaan mittauspöytäkirja. Betonialustasta on hiottu sementtiliima pois mekaanisesti. Betonialustan kosteus voidaan todeta (betonin) porareikämenetelmällä tai näytepalamenetelmällä mitatun suhteellisen kosteuden perusteella.

Taulukossa 1041:T4 kuva 12. Esitetään betonialustan suhteellisen kosteuden enimmäisarvoja eri pintamateriaaleille. Kosteusraja-arvot soveltuvat käytettäväksi vain uusissa rakenteissa. Tällöinkin edellytyksenä on, että rakenne pääsee kuivumaan tasapainokosteuteen. Tasoitteen kuivuminen varmistetaan noudattamalla valmistajan ohjeita. On hyvä ottaa huomioon, ettei kosteus pääse nousemaan muovi-, kumi- ja tekstiilimatoilla yli 85 RH % koko elinkaaren aikana.

**Taulukko 1041:T4.** Betonialustan suhteellisen kosteuden (RH %) enimmäisarvot (Lähde: Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet)

Päällystemateriaali	Betonin RH (%) arviointisyvyydellä (A)	Betonin ja/tai tasoitteen RH (%) pinnassa ja 1...3 cm:n syvyydellä (0,4 x A)
Muovimatot	85	
Linoleumi	85	
Kumimatot	85	
Korkkilaatat	85	75
Tekstiilimatot, jossa tiivis alusta (vinyyli, kumi, kumilateksisiveley)	85	
Luonnonmateriaalista tehdyt tekstiilimatot	85	
Flokatut matot ja laatat	85	
Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta	90	75
Muovi-, kumi- ja linoleumilaatat	90	

Kuva 12. Betonialustan suhteellisen kosteuden (RH %) enimmäisarvoja (18, S.276)

Menetelmät ja ohjeistukset on betonin kosteuden mittaamiseen esitetty yksityiskohtaisesti RT – 14 – 10984 kortin ohjeistuksissa.

#### 4.6.3 RT 14 – 10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus

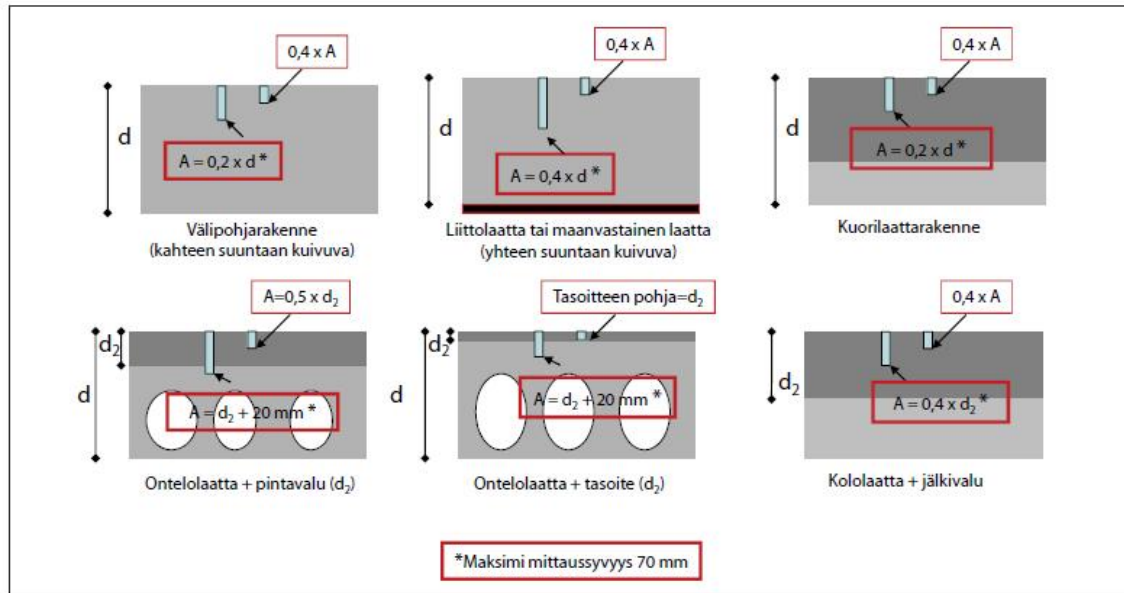
RT-ohjekortissa esitetyt mittausmenetelmät on tarkoitettu kiviaineisten lattia-, seinä- ja kattorakenteiden kosteuden mittaamiseen porareikä- tai näytepalamenetelmällä. Ohjekortissa määritellään periaatteet porareikämittauksen ja näytepalamittauksen hyvän ja tarkoituksenmukaisen mittaustarkkuuden varmistamiseksi. Lisäksi esitetään poikkeamismahdollisuuksia ns. suuntaa antavien suhteellisen kosteuspitoisuuden mittauksen tekemiselle.

RT-kortin ohjeistuksen mukaan (19, S.14) mittauksen tavoitteena on betonirakenteiden riittävän kuivumisen arvioiminen, jotta voidaan varmistua siitä, että päällyste ei joudu liian suureen kosteusrasitukseen ja jotta betonin kutistuminen ei muodostu haitallisen suureksi. Näin voidaan välttää kosteusherkkien päällysteiden mikrobivauriot ja kemiallinen vaurioituminen, päällysteiden haitalliset kosteusliikkeet ja alustaan kiinnitettävien materiaalien irtoaminen. Oikeilta syvyyksiltä tehtävillä mittauksilla arvioidaan, mikä kosteus korkeintaan tasapainottuu päällysteen alle.

Kriittisten rakenteiden tapauksessa tarvitaan usein lähtötasoja seurantamittauksia ennen varsinaisia päällystettävyyden määrittelyyn tähtääviä, yleensä näytepalamenetelmällä tehtäviä, tarkimman tarkkuustason mittauksia. Mittauskohtien valinnassa tulee ottaa huomioon valupäivät, olosuhde-erot sekä rakenteiden kastuminen. Mittauskohtien määrä valitaan tapauskohtaisesti, esimerkiksi 1 - 2 aluetta/kerros. Mittaukset tulee vähintäänkin tehdä oletetusta kosteimmasta ja kuivimmasta kohdasta. Tästä syystä mittajan on ensiarvoisen tärkeätä saada mahdollisimman hyvät tiedot mittauskohteen kosteushistoriasta kohteen parhaiten tuntevalta henkilöltä, kuten rakennustyömaan työnjohtajalta.

Betonirakenteen suhteellinen kosteus (RH) määritetään rakenteen paksuuden mukaan määräytyvältä arviointisyvyydeltä A, kuva 13. (19, S.24) Tiiviillä pintamateriaaleilla tällä syvyydellä vallitseva kosteuspitoisuus on lähellä päällysteen alle tasapainottuvaa kosteuspitoisuutta, jos betoni ei ole kosteampaa lähempänä pintaakaan. Tämä varmistetaan mittaamalla sekä rakenteen pinnan (0...5 mm) että pintaosien kosteus syvyydeltä  $0,4 \times A$ . Matalammalla mittaussyvyydellä varmistetaan, että betonin pintaosassa kosteuden siirtyminen on tarpeeksi hidasta ja että betonin pintaosat pystyvät vastaanottamaan tasoitteista ja liimoista tulevan kosteuden. Vesihöyryä hyvin läpäisevien päällysteiden alapuolelle tasapainottuvaan kosteuspitoisuuteen vaikuttaa eniten matalampien

mittaussyvyyksien kosteuspitoisuus. Tyypillisimpien rakenteiden päällystettävyyden määrittelysyvyudet on esitetty kuvassa 13. Usein on tarpeellista tehdä samasta kohdasta kaksi rinnakkaista mittausta päällystettävyyden arvioinninkannalta tärkeimmältä mittaussyvydeltä





Kuva 13. Mittaussyvyudet eri rakenneratkaisuilla rakennepaksuuksista riippuen (19, S.24)

Jos betonirakenteeseen on kuivumisen myötä syntynyt kosteusprofiili, jossa rakenne on pintaosiltaan kuiva, mutta syvemmältä vielä kostea, syvemmältä kohti kuivempaa pintaa siirtyvä kosteus voi kerääntyä päällystemateriaalin alle jos betonin pintaosien vesihöyrynläpäisevyys on suurempi kuin päällystemateriaalin. Jos kosteuden poistuminen päällysteen läpi on hitaampaa kuin syvemmältä pintaa kohti siirtyvän kosteuden siirtyminen, kosteus päällysteen alla voi nousta kriittisen korkeaksi. Jos taas pintarakennejärjestelmän vesihöyrynläpäisykyky on parempi kuin betonin pintaosien vesihöyrynläpäisevyys, päällysteen alapuolinen kosteuspitoisuus saattaa jäädä huomattavastikin mittaussyvyydellä  $A$  vallinnutta kosteuspitoisuutta alhaisemmaksi (19). Todellinen kriittinen kosteuspitoisuus riippuu siis betonin pintaosien ja pintarakennejärjestelmän vesihöyrynläpäisyominaisuuksista. Päällystämisen jälkeen tapahtuvaan kosteuden poistumiseen vaikuttaa erityisesti, miten hyvin päällystemateriaali läpäisee vesihöyryä sekä se miten hyvin rakenne pääsee kuivumaan esimerkiksi välipohjassa alaspäin. Tulosten tarkastelussa tulee ottaa huomioon mittausten tarkkuus ja tulevien päällysteiden ominaisuudet.

#### 4.7 Materiaalivalmistajien vaatimukset

Materiaalista riippuen, materiaalit tulisi ensisijaisesti suojata materiaalitoimittajan ohjeitten mukaisesti. Hankkeen alussa tai sen valmistelussa ei välttämättä ole tiedossa käytettäviä materiaalia, tuotetyypin tarkkuudella. Mittaviiva Oy:n on laatinut suuntaantavan ohjeistuksen koskien työmaan materiaalien välivarastointia. Varastoinnin periaatteena on jaotella materiaalityypit viiteen eri lokeroon.

Käyttötila	Lämmin tila	Sisätila	Suojainen tila	Ulkotila
				
Säilytys lämmitetyssä sisätilassa. Materiaalilla voi olla erityisiä olosuhdevaatimuksia, kuten lämpötila tai ilmankosteus.	Materiaali säilytetään lämmitetyssä sisätilassa.	Materiaali tulee säilyttää sisätilassa kastumiselta. Ei välttämättä lämpötilavaatimusta. Varastointipaikka esim. ulkorakennus tai varastokontti.	Materiaali voidaan säilyttää katetussa ulkotilassa. Esimerkiksi suojapeitteillä tai katoksella suojattu tila.	Materiaalilla ei ole erityistä suojaustarvetta.

Kuva 14. Välivarastoinnin kategoriat (20, S.37)

Materiaalin varastointitapaa suunniteltaessa on syytä selvittää materiaalin lopullinen käyttötarkoitus. Tätä sääntöä tulisi noudattaa myös materiaalin varastoinnissa. Materiaali itsessään saattaa kestää hyvin vettä tai kosteutta, mutta ollessaan kosketuksessa johonkin muuhun materiaalin, voi tästä johtua kosteutta, mikä saattaa olla haitallista toiselle materiaalille. Esimerkkinä betonirakenteet. Ne kestävät hyvin vettä ja lämpöä, mutta kosteana materiaalina voi olla haitallinen erinäiselle materiaaleille kuten puu, tasoitteet, matot jne. Betonirakenteen hitaan kuivumisen vuoksi, tulisi työmaan aikana välttää betonin liiallista kastumista. Betonin kuivuminen katsotaan alkavan siitä, kun betoni ei enää kastu.



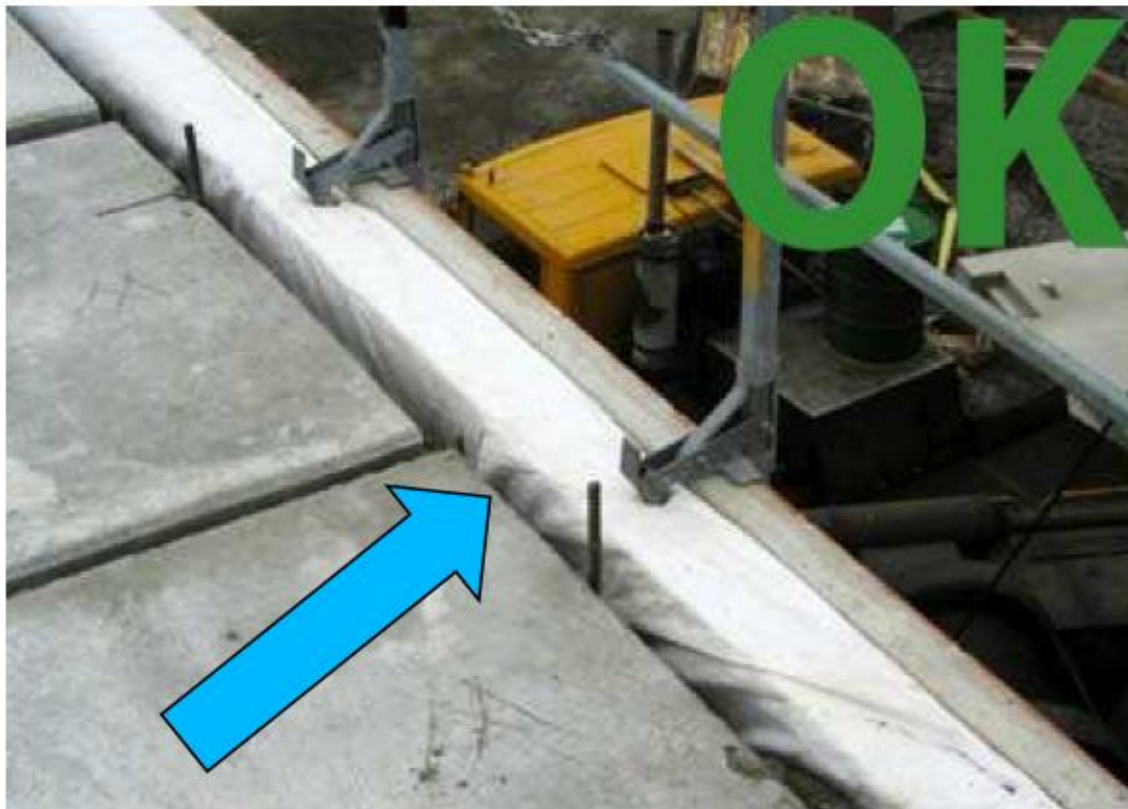
Lämmöneristeet kuten mineraalivillat voidaan varastoida ulos, kunhan ovat sateelta suojattuina. Tehtaan suojapakkausta ei voida pitää riittävänä suojana, vaan eristeet tulee olla irti maasta sekä varastoituna katoksen alle. Kivivillaeristeen valmistaja Paroc:in ohjeistuksen mukaan kivivillaeristeet voidaan säilyttää ulkona, mutta sateelta suojattuna. Mikäli varastoimenpiteistä huolimatta kivivillaeriste pääsee kastumaan, voidaan se kuivattaa ja käyttää normaalisti. Paroc -kivivilla kuivuu nopeasti eikä kastuminen vaikuta sen ominaisuuksiin pysyvästi (32).

Metallituotteet vahingoittuvat kosteudesta lähinnä ruostumalla tai muuten hapettumalla. Metallituotteet suojataan, jos niiden ulkonäölle tai rakenteelle aiheutuu vedestä tai kosteudesta haittaa. Suojaamalla estetään tuotteen pinnan vahingoittuminen ja sitä kautta kosteuden aiheuttamat vauriot. Väliaikaisessa varastoinnissa raudotteita, metallipaaluja ym. ulkotiloihin tulevia metallivarusteita ei ole tarvetta suojata sateelta.



Kuva 16. Ruosteen valumajälki mosaiikkiportaassa.

Betonielementit yleensä eivät tarvitse työnaikaista sääsuojasta. Betoni itsessään on jo hyvin kosteutta kestävä tuote, mutta lämmöneristettynä betonisandwich- elementtien yläpäätt tulisi suojata asennuksen aikana.

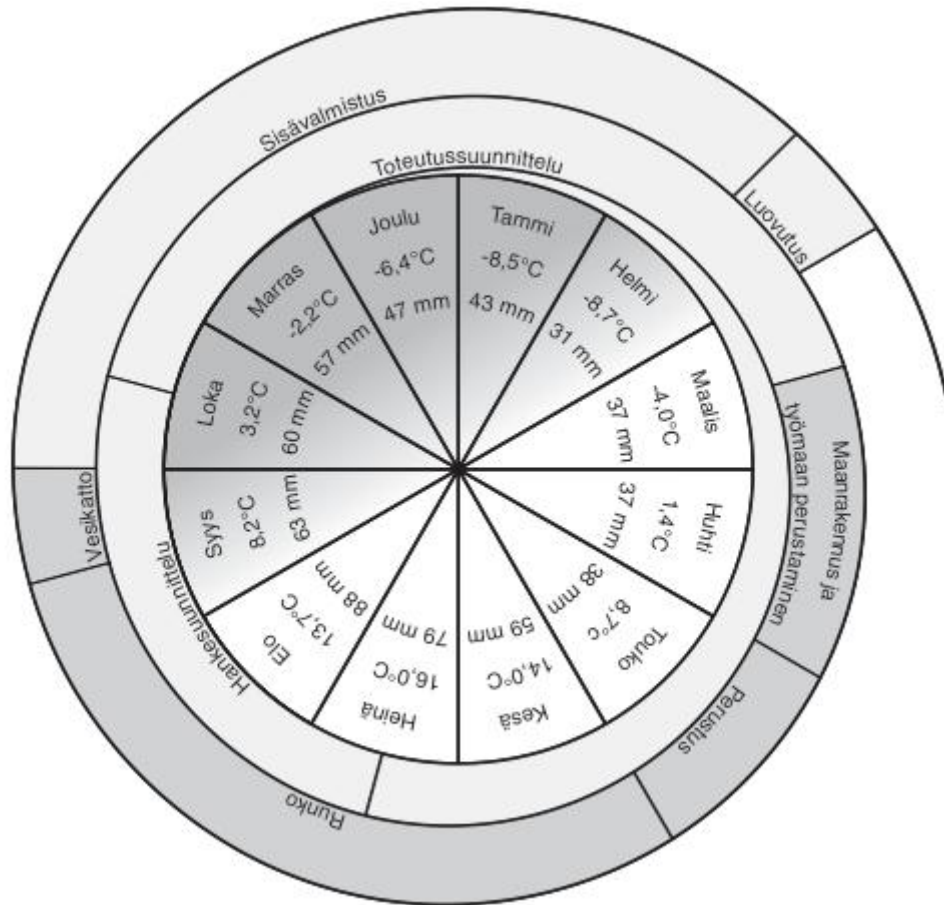


Kuva 17. Sandwich-elementin eristeen suojaus (20, S.21)

Materiaalin suojauksessa on hyvä pohtia, materiaalin ominaisuutta ja mihin materiaaleihin tuote on yhteydessä. Jos pitää varastoida ulkona työmaalle, tulee ne myös suojata vedeltä. On hyvä muistaa, että ylimääräinen vesi rakennettavaan rakennukseen vie myös ylimääräistä energiaa sen poistamiseen, mikä tarkoittaa enemmän kustannuksia.

#### 4.8 Kaupalliset asiakirjat

Rakennushankkeeseen ryhtyvä määrittää rakennustuotannon kosteudenhallinnan tason esimerkiksi suunnitteluohjeilla sekä kaupallisilla asiakirjoilla. Rakentamisen kosteudenhallinnan tasoon vaikuttavia tekijöitä ovat rakentamisen ajankohta, aikataulu, rakenneratkaisut, materiaalivalinnat ja sääsuojauksen toteutuksen edellyttäminen. Kuvassa 18 on esitetty tavanomaisen rakennushankkeen eri ajankohdat ja niiden kestot.



Kuva 18. Hankkeen ajankohta määrittelee kosteudelle alttiit rakennusvaiheet (21, S.127)

Vahanen Oy:n C2 Kosteusmääräysten toimivuuden arvioinnin loppuraportissa Rakennepäällikkö Kari Pajanne Espoon rakennusvalvonnasta oli sitä mieltä, että rakennushankkeeseen ryhtyvän on osoitettava, että rakenne kestää kastumisen, jos näin ei ole, on esitettävä suojaustoimenpiteet. Suojaustarve tulee käydä läpi aloituskokouksessa.

Espoon rakennusvalvonta on yhteistyössä muiden rakennusvalvontojen kanssa kehittänyt kolmijaottelun mukaista matriisia, sääsuojauksen periaatteesta (14, S.3).

#### Rakennuksen suojaus

- suojassa sateelta
- voi kastua
- kastuu.

#### Rakennuksen kuivuminen

- pitkä kuivumisaika
- normaali kuivumisaika
- lyhyt kuivumisaika.

Rakennus suojataan kokonaan, osittain tai jätetään suojaamatta rakennusaikana. Edellä mainittujen tekijöiden perusteella valitaan rakennukseen soveltuva suojausmenetelmä. Helsingin kaupungin kosteudenhallinnan menettelytapaohjeessa ohjeistetaan rakennushankkeeseen ryhtyvää sisällyttämään rakennusaikaiselle kosteudenhallinnalle asetettavat vaatimukset urakkamuotoisessa rakentamisessa.

Opinnäytetyön yhtenä tutkimusaiheena oli tutkia kaupallisissa asiakirjoissa tilaajan esittämiä vaatimuksia koskien työmaan kosteudenhallintaa sekä sääsuojausta.

Tutkimuksessa perehdyttiin 15 eri uudisrakennuksen laajennusurakan kaupallisten asiakirjojen sisältöön, erityisessä tarkastelussa oli sääsuojaus- ja kosteudenhallintavaatimukset. Tutkimuksessa käytiin eri luontoisten hankkeiden asiakirjoja. Kohteiksi valittiin vuonna 2011 jälkeen toteutuneet hankkeet sekä nykyhetkellä urakkalaskennassa olleet urakka-asiakirjat. Tulosten perusteella laadittiin yhteenveto sääsuojauksen ja kosteudenhallinnan vaatimustasosta.

Tutkittavista kohteista kaikki sijaitsivat Uudellamaalla. Kohteet ovat toteutuneet tai tulevat toteutumaan vuoden 2011 jälkeen. Kohteista 60 % oli julkisija rakennuksia, kuten kouluja, päiväkoteja ja toimitiloja. Rakennuttajana / tilaajana toimii julkinen taho kuten kaupunki tai kunta. Vähintään 77 % vaati asiakirjoissaan vesikattotöitä tehtäväksi sää-

suojan alla, kovimmat vaatimukset koskivat koko myös julkisivua. Yksityisellä sektorilla sääsuojasta vaadittiin vain joka viidennessä tapauksessa.

Työmaakohtaista kosteudenhallintasuunnitelmaa vaadittiin joka toisessa julkisen- ja yksityisen sektorin hankkeissa. Niissä hankkeissa missä ei vaadittu erityistä työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaa, oli vaatimuksena kuitenkin työmaan laatusuunnitelma, minkä yhtenä osana on kosteudenhallinta.

33 % oli asettanut työmaan kosteudenhallintasuunnitelman sisällölle erityisvaatimuksia, kuten:

- kosteusriskiarvio
- kuivumisaika-arvio
- kosteusmittaussuunnitelma
- olosuhdehallintasuunnitelma
- päällystämisperusteet
- dokumentointi.

Kaupallisten asiakirjojen perusteella rakennuttajat ovat yhä enemmän edellyttäneet työmaan aikaista sääsuojasta tai vähintäänkin osittaista suojausta. Osa syynä onkin maankäyttö- ja rakennuslakimuutos sekä eduskunnan kannanotto työmaan kosteuden hallintaan. Sitä myötä myös viranomaiset ovat tiukentaneet kosteudenhallinnan vaatimustasoa jo lupaprosessissa. Varsinkin julkisella puolella toimiva rakennettu ei halua ottaa riskiä antamalla lievennyksiä koskien työmaan kosteudenhallintaa taikka sääsuojasta.

## 5 Kosteudenhallinnan menetelmät

NCC Rakennus Oy:n talonrakentamisen yksikössä joka kohteelle laaditaan yksilöllinen työmaan kosteudenhallintasuunnitelma. Suunnitelman pohjana käytetään NCC:n Rakennus Oy:n valmista työmaan kosteudenhallintasuunnitelma-pohjaa. Kosteudenhallintasuunnitelma pistää tekijän miettimään työmaan tyypillisiä riskipaikkoja sekä laatimaan kuivumisaika-arviot eri rakenteille. Tärkeintä kosteudenhallintasuunnitelmassa on tunnistaa riskit ja kuivumisajat. Osa työmaan kosteudenhallinnan suunnittelua on myös tunnistaa millä toimenpiteillä riskit vältetään sekä miten tämä usein mainittu riittävä kuivumisaika saavutetaan.

Ylisuunnittelu ei johda riittävään lopputulokseen, mikäli ei ole huomioitu riittäviä resursseja. On osattava ottaa huomioon käytettävissä olevat resurssit ja niiden ”oikea-aikainen” käyttö. Ei ole johdon mukaista suunnitella sellaista mihin ei ole varauduttu tuotannon suunnittelussa.

Työmaan riittävä kosteudenhallinta voidaan jakaa kolmeen tekijään

- suojaus - olosuhteet
- kuivaus - rakennuskosteus
- mittaus – rakenteiden kuivaksi todentaminen.

Nämä edellä mainitut kolme tekijää ovat riittäviä tekijöitä työmaa-aikaiseen kosteudenhallintaan ja näitä kolmea tekijää ohjaa aikataulu. Mikään suunnitelma ei ole riittävän kustannustehokas, jos sitä ei toteuteta ajallaan ja suunnitellusti. Päätös suunnitelmasta sekä toteutuksesta tulee olla koko työmaan henkilöstön tiedossa, muutoin toteutus on työmaalla soveltamista eri olosuhteissa.

Eduskunnan linjaus, maankäyttö- ja rakennuslain muutos sekä rakennuttajan vaatimustaso muuttaa ennen työmaan kosteudenhallinnan ohjeistuksena käytettyjä toimenpiteitä velvoittaviksi toimenpiteiksi. Tämä tarkoittaa, että yhä nykyään rakentaminen tapahtuu sääsuojan alla. Kireä aikataulu vaatii rakentajilta yhä tarkempaa ja parempaa työmaa-aikaista sisäilman olosuhdehallintaa sekä riskien tunnistamis- ja arviointikykyä. Seuraavaksi paneudutaan eri työmaan kosteudenhallintamenetelmiin ja vaatimuksiin.

## 5.1 Suojaus

Työmaiden sääsuojaus on yksi nopeimmin kasvava osa-alue telinevuokrauksessa. Kasvu kiihtyi, kun siltojen vedeneristystyöt määrättiin tehtäväksi sääsuojan alla. Asunto- ja viestintäministeri (2013 – 2015) Pia Viitanen totesi vuoden 2014 sisäilmastoseminaarissa avauspuheenvuorossaan, että rakennustyömaiden kosteudenhallintaa säädel-  
lään jatkossa asetuksella. Kun rakennusmääräyksiä uusitaan, on ministeri linjannut, että jatkossa rakennustöissä edellytetään aina sääsuojasta.

Eduskunnan viesti on selvästi mennyt perille. Tilaajat yhä enemmissä määrin edellyttävät vesikattojen ja julkisivujen rakentamista sääsuojan alla, niin uudisrakentamisessa kuin korjausrakentamisessakin. Sääsuojat pitävät rakenteet kuivina, mutta jokaisessa kohteessa tulee arvioida huputetaanko rakennus vai suojaudutaanko vaihtoehtoisin menetelmin. Sääsuojaus ei ole aina olosuhteiden vuoksi mahdollista tai kustannustehokas vaihtoehto. Betoniteollisuus on linjannut ministeriön kannanoton puurakentamisen edistämiseksi. Betoniteollisuuden toimitusjohtaja Jussi Mattila vetoaa Rakennuslehden 28.3.2014 (22) jutussa tutkimuksiin, joiden mukaan paikallavaluholvi on yleensä riittävän vesitiivis estämään holville satanutta vettä tai lunta kastelemasta rakennuksen alempia kerroksia.

On tutkittu, että sääsuojauksen suurimmat hyödyt tulevat lyhentyneistä kuivumisajoista, erityisesti syksyllä. Betoni rakennusaineena on hygroskooppinen eli pystyy luovuttamaan ja vastaanottamaan kosteutta. Betonirakentamisen haasteena ovat pitkät kuivumisajat sekä kireä aikataulu. Betoni kuivuminen katsotaan alkaneen siitä, kun rakenne ei enää saa lisäkosteutta. Betoni kuivuu parhaiten, kun olosuhteet ovat + 20 °C ja ilman suhteellinen kosteus on RH 50 %. Betonin kuivattamiseen voidaan vaikuttaa sääsuojauksella, jolloin olosuhdehallinta on hallitumpaa.

### Suojausmenetelmän valintaan vaikuttavat

- Rakennuksen sijainti, koko ja muoto
- Rakennusratkaisu
- Rakennusmateriaalit
- Rakentamisajankohta
- Työjärjestys ja aikataulu
- Kustannukset.

Rakennus voidaan suojata kokonaan, osittain tai jättää suojaamatta. Joissain tapauksissa on edellytetty myös rakennusrungon rakentamista sääsuojan alla. Tämä vaihtoehto koskee yleensä puurakenteisia pientaloja tai kerrostaloja. Kustannustehokkuuden vuoksi yleisin vaihtoehto on suojata pelkästään vesikatto, heti runkotöiden valmistumisen jälkeen. Etuna on nopeampi rungon valmistuminen, jolloin sisätyöt voidaan aloittaa aikaisemmin.



Kuva 19. Jorvin sairaalan sääsuoja (24)

### 5.1.1 Koko rakennuksen sääsuojaus

Rakennushankkeeseen ryhtyvän asettaa vaatimustason rakentamisen kosteudenhallinnalle ja kuivanapidolle. Vaatimukset esitetään kaupallisissa asiakirjoissa kuten urakkaohjelmassa sen liiteasiakirjoissa.

Lämmitys-, suojaus- ja kuivatusratkaisut valitaan vuodenajan ja rakentamisen vaiheiden mukaan. Hankesuunnittelussa päätetään suojataanko rakennus kokonaan vai otetaanko hallittuja riskejä ja suojataan rakennuksen eri osia ja materiaaleja. Lisäksi päätetään suojataanko rakennus ennen runkotöitä vai rungon valmistumisen jälkeen. Suojauksen suunnittelussa tulee huomioida, että eri rakennusosat ja rakennetyypit vaativat omanlaisensa sääsuojausmenetelmän.

Rakennuksen kokonaan suojaukseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm.

- rakennuksen muoto
- rakennuksen tuoteosien esivalmistusaste
- rakennusmateriaalien kosteudensietokyky
- rakentamisen aikataulu
- kuivumisaika.

Rakennuksen sijainti vaikuttaa sääsuojauksen suunnitteluun. Mikäli rakennus sijaitsee tuulisella paikalla tai merenrannan äärellä, vaikuttaa tämä oleellisesti sääsuojauksen kiinnityksen määriin, mikä taas hankaloittaa mm. rakennuksen julkisivutöitä.

Suojausmenetelmät valitaan sen mukaan, miltä halutaan suojautua. Talviaikaan suojaudutaan tyypillisesti kylmältä, tuulelta sekä lumisateelta. Telineiden ja sääsuojan tuenta ja kiinnitys suunnitellaan valmistajan ohjeiden, sääolosuhteiden, vuodenajan ja työnaikaisen rasituksen mukaan.

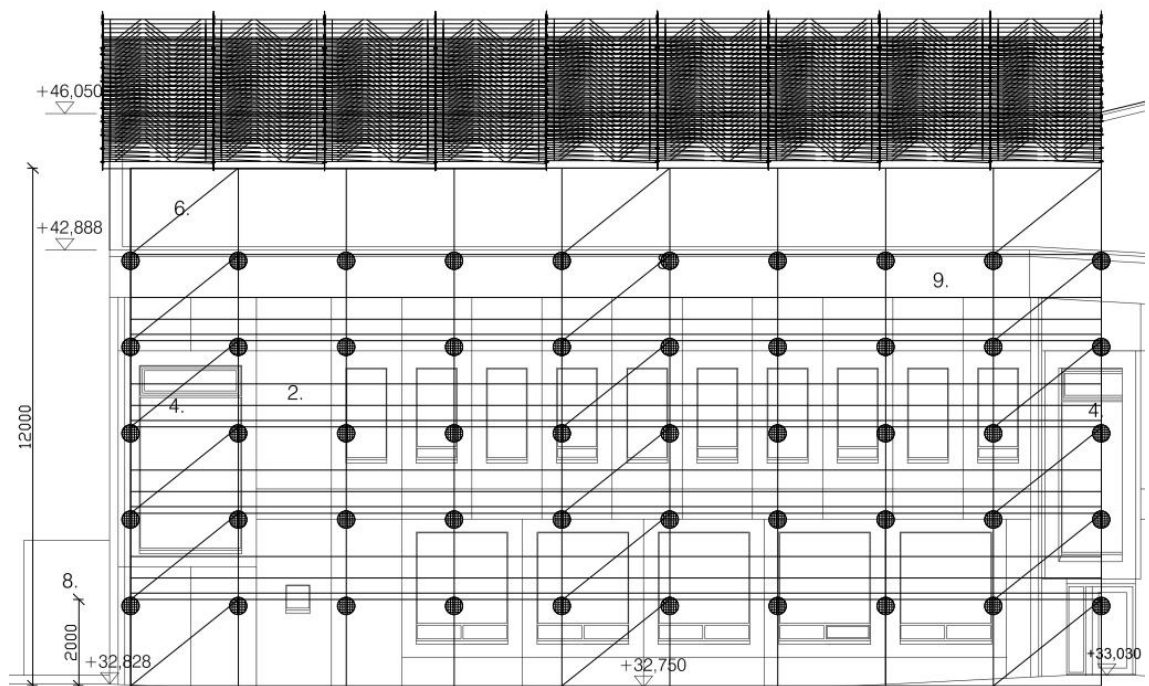
Betonirakenteisten talojen runkovaiheen työjärjestys suunnitellaan sellaiseksi, että runkotyöt saadaan tehtyä mahdollisimman nopeasti harjakorkeuteen minkä jälkeen suojataan rungon vaippa. Runkovaiheen työnaikana on kuitenkin erityisesti suojattava puurakenteet sekä eristetyt betonielementit.

Suojauskaluston työmaakierron suunnittelua voidaan verrata betonimuottikaluston työmaakierron suunnitteluun. Huolellisella etukäteissuunnittelulla voidaan minimoida kustannuksia, sääsuojan liikuttelua sekä suojauksen kestoa.

Sääsuojauksen suunnittelussa tulee huomioida seuraavat asiat:

- Sääsuojan alla suoritettavat tehtävälajit, vaatiiko paljon materiaalinostoja
- Sääsuojan ankkurointi → esteenä työn suorittamiselle → jälkityöt
- Materiaalin liikuteltavuus ja liikkuminen sääsuojan alla

Sääsuojauksen yksi merkittävästä lisätyön aiheista on materiaalinostoista johtuvat sääsuojan avaukset. Sääsuojauksen toimittaja suorittaa sääsuojan avaukset, jotta sääsuojan takaisin laitto tulee tehtyä oikeaoppisesti. Julkisivun sääsuojan kiinnitys vaikuttaa oleellisesti myös julkisivutöihin. Seinärakenteeseen joudutaan jättämään aukkoja kiinnikkeiden osalle, mitkä joudutaan jälkitöinä suorittamaan loppuun asti esim. nostimilta käsin.

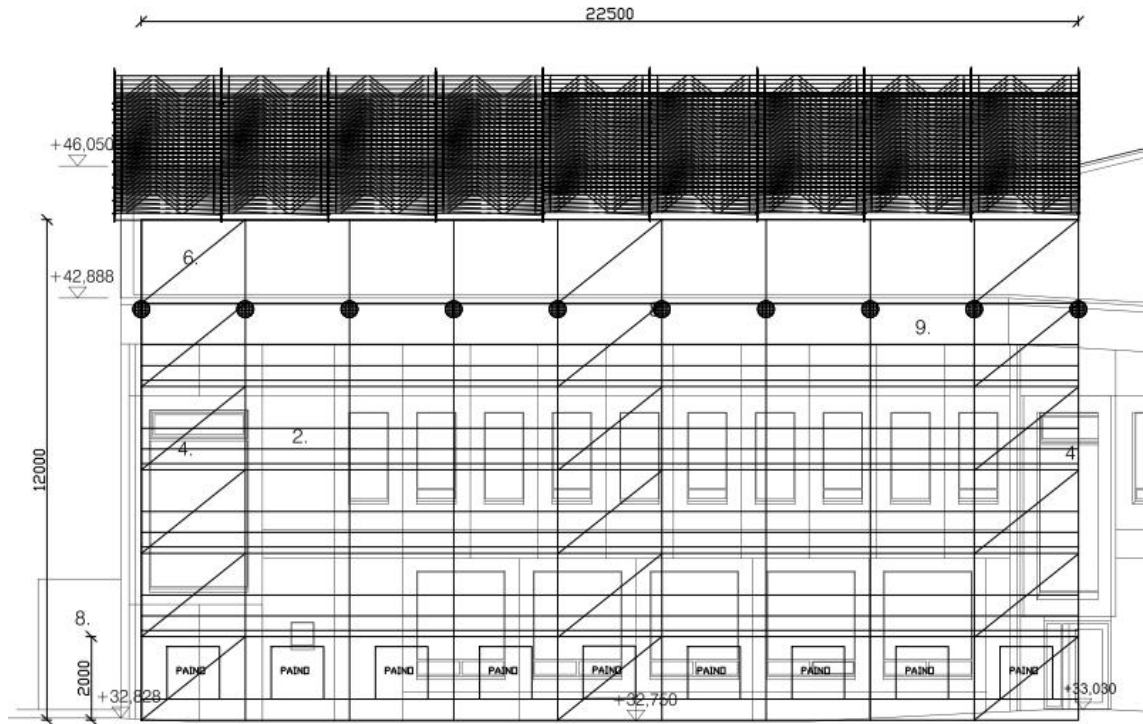


Kuva 20. Julkisivutelineen alustava suunnitelma

Seinäkiinnikkeiden määrä voidaan mahdollisuuksien rajoissa pienentää painojen avulla. Painojen tarkoituksena on ottaa julkisivukiinnikkeille suunnattu kuormitus vastaan.

Tämä tuenta- / jäykistysmenetelmä mahdollistaa julkisivutöiden kuten lämmöneristyksen asentamisen yhtenäisenä, mikä taas parantaa lämmöneristyksen tiiveyden laatua.

Telinesuunnittelija laatii laskelmat ja määrittelee kuormitusten perusteella kiinnityspisteiden määrät. Seinän yläpäässä täytyy telineet ankkuroida seinään tai holviin, sillä sääsuoja pyrkii työntämään telineen yläpäätä.



Kuva 21. Telinesuunnitelma seinärakenteen tarkastelun jälkeen



Kuva 22. Julkisivutelineen kiinnitys betonipainoihin.

Sääsuojan rungon suunnittelussa tulee käyttää vain sääsuojatoimittajan suunnittelijaa. Suojauksen kuormitustiedot ja kuormitustapa rakennukseen tulee hyväksyttää kohteen rakennesuunnittelijalla. Rakennuksen runkoa kuten vesikattoa kuormittavat sääsuojan tukikuormat kuuluvat myös rakennesuunnittelijan hyväksyttäväksi.

Puuelementtitalojen runkovaihe suositellaan tehtäväksi kokonaan sääsuojan alla. Puuelementtitalon esivalmistetut tuoteosat, kuten eristetyt välipohjat, seinät sisältävät materiaaleja, mitkä kastuessaan vaativat rakenteiden osittain purkamista sekä kuivattamista. Kosteus puussa voi aiheuttaa sinistystä ja altistaa homeutumiselle sekä lahoamiselle.

Puu rakennusmateriaalina kuten mineraalipohjaiset lämmöneristeetkin ovat hygrokoppisia materiaaleja, mitkä pyrkivät tasapainokosteuteen ympäröivän ilmankosteuden kanssa. Puutavara ja lämmöneristeet eivät kastuessaan suoranaisesti hajoa, kuten kipsilevyt, mutta pitkään kosteudelle alttiina, on homehtumisriski suuri.



Kuva 23. Vesikaton puutyöt sääsuojan alla

Kiristyvien energiamääräysten vuoksi rakennetaan yhä tiiviimpiä rakennuksia, jolloin on syytä varmistua siitä, että rakenteet ovat riittävän kuivia ennen peittämistä. Kostean puumateriaalin peittäminen höyrytiivillä materiaalilla voi johtaa puun homehtumiseen. Sääsuojauksen tarkoituksena on estää kosteuden siirtyminen materiaaleihin veden mukana.



Kuva 24. Rungon pystyttäminen sääsuojan alla.

Rungon pystyttäminen sääsuojan alla on haasteellista, mutta toteutettavissa. Sääsuoja voidaan pystyttää ns. Alimak-tyyppisten nostimien varaan, mitkä nostavat sääsuojaan ylöspäin runkotöiden edetessä. Rungon kevytrakenteisia elementtejä voidaan nostaa rakenteeseen asennetulla nostimella, jolloin perinteisiä nostureita ei tarvita työmaalla.



Kuva 25. Elementtirakentamista sääsuojan alla (25,S.1)

Kokonaan sääsuojauksen etuna on

- lyhentyneet kuivatusajat erityisesti syksyllä
- katkeamaton kuivaketju (runkovaihe myös sääsuojan alla)
- rakentajan imago
- parempi laatu, kun vähemmän jälkitöitä ja piileviä kosteusongelmia
- rakennusmateriaalien kuivana pysyminen
- sisävaiheen aikaisempi aloitus
- paremmat työskentelyolosuhteet ja sen myötä parempi tyotehokkuus
- vähemmän pakkaspäiviä ja töistä poissaoloja
- ei lumen ja jään sulatus-/ puhdistamistarvetta muoteista ja raudoituksista

- pienempi valujen suojaus- ja lisälämmitystarve sekä kuivatustarve
- sadepäivät eivät vaikuta vaakarakenteiden valu- tai pintatöihin
- pienempi materiaalihävikki.

#### Haittoja ja lisäkustannuksia

- erittäin kallis
- nostot ja elementtien asennukset hankaloituvat
- lisävalaistustarve
- tuuletettavuus → ilmankuivaimet
- sääsuojauksen repeytymisriski
- sääsuojan siirto ja avaaminen kallista
- rakennustontin ahtaus rajoittaa sääsuojauksen välivarastointia
- sääsuojahallien jännemittarajoitteet
- rakennuksen muoto voi hankaloittaa sääsuojasta.

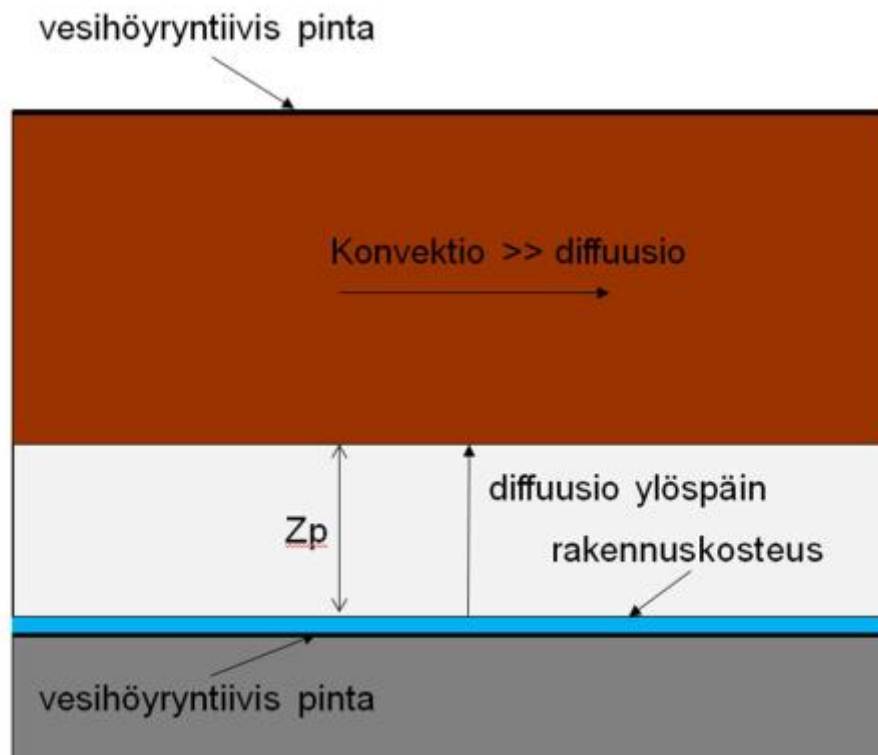
#### 5.1.2 Osittainen sääsuojaus

Urakoitsijan harkinnan mukaisesti rakennus voidaan suojata vain osittain, mikäli kaupallisissa asiakirjoissa ei ole edellytetty sääsuojausta. Tällöin on tutkittava kestäväkö rakenteet työaikana kastumista ja pääseekö rakenteet kuivumaan kastumisen jälkeen. Tällaisia rakenneratkaisuja on mm. sandwich elementtitalo, missä sääsuojaus tehdään vain vesikatto osuudelle. Vuoden ajasta, talon koosta sekä eristemateriaalista riippuen vesikaton sääsuojaus voidaan tehdä myös kevennetyllä ratkaisulla, kuten peittein. Tällöin on kuitenkin oltava varotoimenpiteet mahdollisten kastumisten vuoksi.

Toimi- ja kerrostalojen kattoratkaisuna käytetyin ratkaisu on tasakatto. Kehittyneiden höyrynsulku- ja pintakermien vuoksi kattourakoitsijat myöntävät vesikatoille 10 vuoden takuuajokoja. Eristeenä käytetään kevytsoraa ja nykyisten tiukentuneiden U-arvovaatimusten vuoksi polystyreeni-kevytsora-yhdistelmiä. Rakenteet eivät itsessään lahoa tai menetä eristävyysarvoa kastuessaan, mutta kastuneena saattavat johtaa kosteutta muihin rakenteisiin, mitkä eivät kestä kosteutta, kuten kattokaivojen puurakenteiset tuet. Työmaan aikana suojaamattoman vesikaton reunoilta saattaa sadevesi johtua

muihin rakenteisiin, kuten ontelolaattojen onteloihin taikka saumoihin, mitkä paljastuvat sisävalmistustöiden yhteydessä.

Vahanan Oy on tutkinut tasakattoisten kevytsora sekä polystyreeni – kevytsorakattojen rakennusfysikaalista toimintaa kastuneena. Tutkimuksen mukaan reunoilta avoin tuuletettava kevytsorakatto (1000 mm eristettä) pystyy kuivattamaan  $2 \text{ kg/m}^2$  rakennekosteuden n. 1,5 kuukauden aikana. EPS:llä lisäeristetty katto kuivuu noin. 2 – 2,5 vuodessa. Tutkimuksen mukaan lisäeristetty kevytsorakatto voi rakennusvaiheessa kastua ja kuivua haittaa aiheuttamatta vahinkoa, edellyttäen rakennekosteuden määrän ja katon kuivumiskyvyn tuntemista. Arvio kastumisen vaatimista toimenpiteistä on aina tehtävä tapauskohtaisesti.



Kuva 26. Lisäeristetyn kevytsorakaton kuivumista voidaan arvioida diffuusion nopeudella (26, S.15)

Vaikkakin tutkimuksin voidaan osoittaa kastuneen kattorakenteiden kuivuminen, ei se kuitenkaan pois sulje epävarmuutta katon toimivuudesta niin tilaajassa kuin urakoitsijassa. Kastunutta kattoa voisi verrata uuteen autoon, mikä on kolaroitu. Vaikkakin auto on korjattu uutta vastaavaksi jää silti merkintä, että auto on kolaroitu, mikä taas näkyy auton jälleenmyyntiarvossa. Kuten kohdassa 4.1.1 käytiin läpi rakennuksen suojauksen etuja, ei rakentaja imago parane siitä, että voi laskennallisesti osoittaa kastuneen kuivaksi.

### 5.1.3 Rakentaminen ilman sääsuojasta

Rakentaminen ilman sääsuojaa voidaan tehdä kosteuskestävillä materiaaleilla. Erimielisyyksien vuoksi on rakennuttajan, urakoitsijan sekä viranomaisen oltava yhtä mieltä siitä, että rakenteet saavat kastua työn aikana eikä kastumisella ole vaikutusta lopullisiin ominaisuuksiin. Esimerkiksi teräsrakenteinen varastorakennus ei tarvitse sääsuojaa materiaalien kosteuskestävyyden vuoksi. Teräs materiaalina ei homehdu eikä esivalmiusasteensa vuoksi tarvitse pinnoittaa työmaalla. Kivivillalla eristetyt Pelti – villa – peltielementit kestävät hyvin sääolosuhteita. Tiiviin rakenteensa vuoksi eristevilla ei vety vaan on kastuessaankin vain pintakostea, mikä taas haihtuu nopeasti ilmavirran mukana.

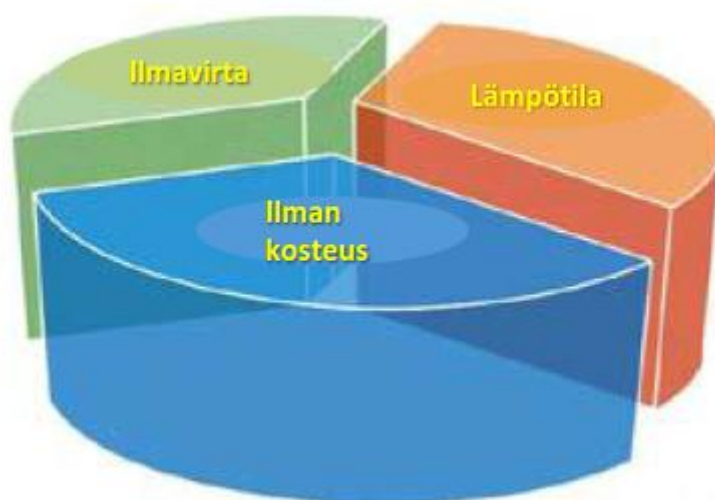
## 5.2 kuivaus

Rakennekosteuden kuivatukseen käytetään lämpöä ja ilmanvaihtoa. Ilma tulee kuivattaa olosuhteissa, missä ilmanvaihto ei enää tuota kuivaa ilmaa rakennukseen.

Kuivausprosessissa veden olotila muutetaan väljästä tai huokosiin imeytyneestä nesteestä (haihtuvaksi) vesihöyryksi. Tavoite on aikaansaada ja ylläpitää nopeaa haihtumista. Ilman liike toimii höyryn siirtojärjestelmänä. Kun vesi haihtuu, kostea ”ilmapatja” kertyy pinnan ylle muodostaen kostean rajapinnan. Ilman liikkeen hidastuessa myös haihtuminen hidastuu.

Kuivaukseen vaikuttaa kolme tekijää:-

- alhainen ilman kosteus
- sopiva lämpötila (ilman ja kuivatettavien materiaalien)
- ilmavirta.



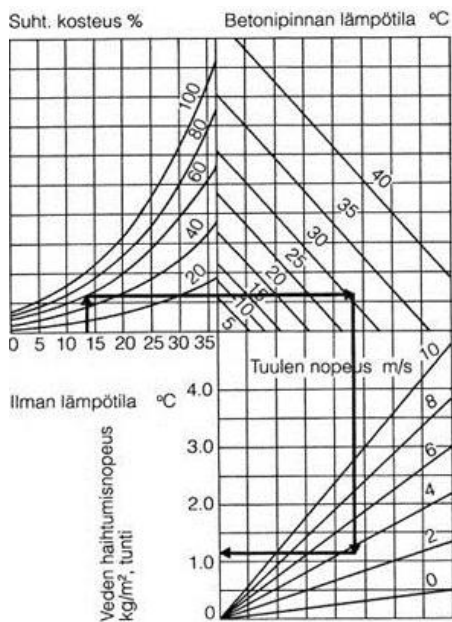
Kuva 27. Kuivauksen kolme tekijää (27, S.2)

Nämä kolme tekijää on oltava hallinnassa, kun halutaan edistää nopeaa haihtumista. Hieman vaativampi kuivausprosessin käsite on vesihöyryn osapaineen ero märkien materiaalien ja ilman välillä. Ilmavirran tärkeyttä vahvistaa tosiasia, että nesteen haihtumisen matemaattisessa mallinnuksessa ilmavirta toimii kertoimena. Ilmavirta siis moninkertaistaa muiden kuivausprosessissa käytettävien tekijöiden tehon (27, S.2).

Haihtuminen tapahtuu aluksi täysin vedellä kyllästyneissä materiaaleissa. Vesi siirtyy konvektiolla, johtumalla, diffuusiolla tai kapillaarisesti kohti pintaa. Nopean haihtumisen ensivaihe on nimeltään ”vakiokuivumisnopeuden jakso”, ”constant rate period.” Tässä jaksossa ilmavirta vaikuttaa haihtumisen kertoimena. Tällöin kaava on:

$$\text{Haihtuminen} = \text{ilmavirta} \times \text{höyryn osapaineen ero} \quad (27, S.4)$$

Kuvassa 28 on esitetty ilmavirran ja osapaine-eron vaikutusta betonin pinnalta tapahtuvaa vedenhaihtumiseen.



Kuva 28. Betonin pinnalta haihtuva vesimäärä voidaan arvioida haihtumisnopeuden avulla (28)

Pintaveden haihduttua, tullaan ”alenevan kuivumisnopeuden jaksoon”, ”falling rate period”, joka on huomattavasti hitaampi jakso. Ilmavirta ei enää toimi haihtumisen kertoimena. Tällöin kaava on:

$$\text{Haihtuminen} = \text{Höyryn osapaineen ero} \quad (27, S.4)$$

Betonista haihtuvan vedenmäärä voidaan arvioida, kun tunnetaan betonin sitoutumiseen kuluva aika, ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, betonin lämpötila sekä tuulen nopeus.

Suomessa vallitsevien ulkoilmaolosuhteiden vuoksi kuivatukseen yleensä riittää lämpö ja ulkoa otettava korvausilma. Talvella ulkoa otettava korvausilma sisältää vesihöyryä mikä huomattavasti vähemmän kuin loppukesästä. Esimerkiksi  $-2\text{ °C}$  asteen lämpötilassa kyllästysvesihöyrynpitoisuus on  $4,19\text{ g/m}^3$ , kun vastaavasti  $+20\text{ °C}$  asteen lämpötilassa on  $17,28\text{ g/m}^3$ . Kuivatuksen kannalta oleellista on huomioida rakennusai-  
kainen ilmavaihto. Vaikkakin talvipakkasella ulkoilma sisältää vähän vesihöyryä, ei energiaa kannata tuhjata ulkoilman lämmittämiseen.

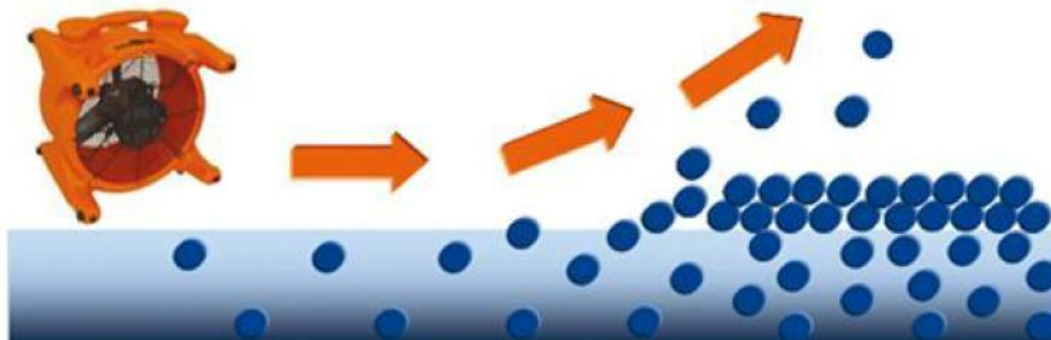
### 5.2.1 Ilmanvaihto

Rakennuksen kuivatusta tehostetaan ilmanvaihdolla. Rakennusaikana haasteellista ilmanvaihdon osalta on ilman liikkuvuus. Ilman lämmittämisen lisäksi kuivatukseen käytetään puhaltimia, joiden tarkoituksena on siirtää kuivaa ilmaa rakennuksen eri osiin keräten rakenteista haihtuvaa kosteutta mukaansa. Ilman liikuttamiseen käytetään tyy-  
pillisesti kanava- tai simpukkapuhaltimia näiden helppokäyttöisyyden ja tehon vuoksi.

Esimerkiksi simpukkapuhaltimet ovat erittäin tehokkaita ja yksinkertaisia puhallinlaittei-  
ta ilman liikuttamiseen nopeasti tasopinnoilla. Laitteita voidaan hyödyntää erilaisissa ilman siirtämiseen liittyvissä tarpeissa, sekä etenkin vesivahinkojen ja kosteusvaurioi-  
den koneellisen kuivaustyön tehostamiseen.

Tutkimuksissa on todettu, että kuivumisjakson alussa (vakiokuivumisnopeuden jakso) tarvittava ilmavirtausnopeus tulisi määrällä pinnalla olla  $3 - 3.5\text{ m/s}$  ( $11 - 13\text{ km/h}$ ). Alenevalla kuivumisnopeuden jakson aikana ilmavirtausnopeus tulisi olla  $0.5 - 1.5\text{ m/s}$  ( $2 - 5.5\text{ km/h}$ ).

Edelliseen perustuen, paras käytäntö on aloittaa kuivaustyöt asentamalla puhaltimet  $3 - 5$  metrin välein. Näin saavutetaan helposti yli  $3\text{ m/s}$  ilmavirtaus märkiä pintoja pitkin. On otettava huomioon, että puhallusaukon läheltä mitattuna ilmavirtaus on nopeampi, jopa  $10\text{ m/s}$ . Kun materiaaleissa ei enää ole pintakosteutta, ilman virtausta voidaan vähentää jopa yhteen puhaltimeen / huone. Pienehkö ilmavirta tarvitaan vielä kierrättämään ilmaa, jotta kosteus siirtyisi kosteuden poistajaa. (27, S.6).



Kuva 29. Ilmavirran vaikutus pinnan kosteuteen (27 S.9)

Puhallin on varsinainen kuivauskone ja kosteudenpoistajan tehtävänä on pitää ilman vesimäärän niin alhaisena, että kohteesta haihtuva vesi "mahtuu" siihen. Tämä periaate toimii hyvin kuivauksen alussa, mutta kuivauksen myöhemmässä vaiheessa puhaltimien rooli pienenee. Kun ilmavirran vaikutus ei enää riitä tulee lämpöä lisätä, jotta ilmalla on kapasiteettia vastaanottaa haihtuvaa kosteutta.

### 5.2.2 Lämmitys

Rakennusta voidaan lämmittää ilmalla, johtumalla tai säteilemällä. Runkovaiheessa on tyypillisesti käytetty polttoöljykäyttöisiä lämmityspuhaltimia. Talviolosuhteissa on tilapäisesti käytetty myös höyryttämistä, mutta tällöin tulee varmistaa, että vesi ei pääse jäätymään rakenteisiin, kuten raudoitteisiin.

Rakenteiden kuivatus aloitetaan heti, kun rakennuksen vaippa on tiivis. Rakennuksen kuivatuksessa pyritään ensisijaisesti hyödyntämään rakennuksen omaa lämmitysjärjestelmää. Yleisesti käytetty lämmitysmuoto on kaukolämpö. Runkovaiheessa tämä ei ole aina mahdollista, jolloin on yleisesti käytetty polttoöljykäyttöisiä lämpökotteja mm. valujen lämmittämiseen.

Kaukolämmön käyttöönotto edellyttää, että:

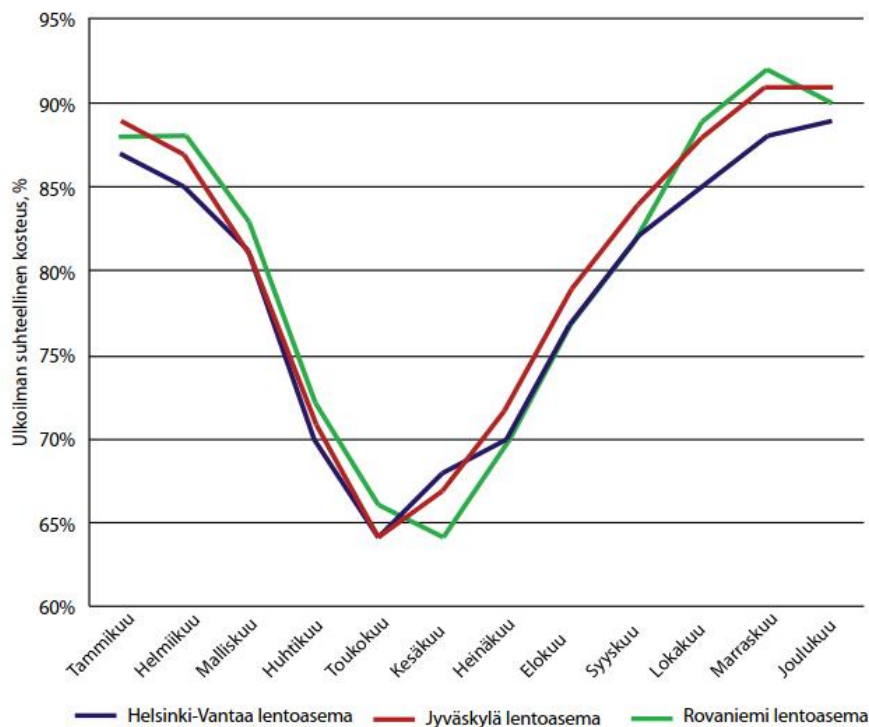
- kaukolämmön liittymissopimus on tehty. Kaupallisissa asiakirjoissa on määritetty kenen vastuulla liittymissopimuksen tilaaminen on.
- Maarakennustyöt on tehty kaukolämmön liittymistöitä varten
- rakennuksen lämmönjako huoneen seinät on rakennettu, jolloin liittymisen on mahdollista
- Aikataulusovittaminen → kaukolämpöpaketin asennus
- lämmönjakohuoneen pinnat ovat valmiit
- lämmönsiirrin asennettu
- työmaapalveluja tarjoavilta yrityksiltä saa palveluna lämmityksen suunnittelun ja asennuksen
- väliaikainen lämmönsiirrin (mikäli on tarvetta lämmittää ennen lämmönjakohuoneen valmistumista)
- vesikiertolämmittimien kytkeminen rakennuksen lämmitysverkkoon
- vesikiertolämmittimien vuokraus.

Kuivatuksen kannalta on oleellista, että lämmin ja kuiva ilma rakennuksen sisällä on liikkeessä. Kaukolämpöpuhaltimet puhaltavat kuivaa ja lämmintä ilmaa rakennukseen, jolloin kuiva ilma pystyy vastaanottamaan rakenteista haihtuvaa kosteaa ilmaa. Ilman liikkuvuutta tehostaa lisäämällä puhaltimia.

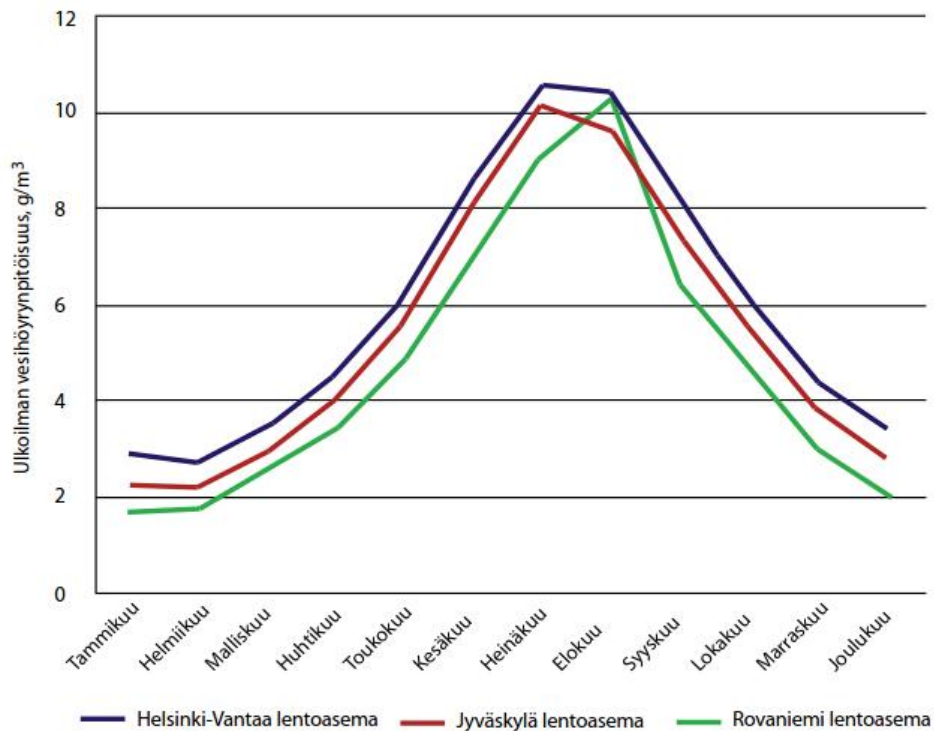
Kosteiden vuodenaikojen ongelmana on ulkoilman korkea vesihöyrynmäärä. Talvella ulkoa otettava korvausilma sisältää vähemmän vesihöyryä kuin loppukesällä ja syksyisin. Lämpötilan nostattamalla saadaan nostettua vesihöyrynosapaine-eroa, mutta tämä vaatii energiaa sekä nostattaa sisäilman lämpötilaa niin korkeaksi, että se vaikuttaa jopa työn tekoon.

### 5.2.3 Ilman kuivaus

Erityisesti loppukesä ja alkusyksy ovat vuodenaajoista kosteimmat. Tällöin ilmanlämpötila sekä suhteellinen kosteus ovat vielä melko korkeita, mikä tarkoittaa, että ilman vesihöyryn pitoisuus on korkea. Korvausilman ottaminen ulkoilmasta ei ole järkevää sillä se hidastuttaa rakenteiden kuivaamista. Ilman kuivausta täytyy tehostaa esim. ilman-kuivaimien avulla. Näistä monipuolisin on adsorptiokuivain, mikä pystyy kuivattamaan ilmaa sekä samalla kierrättämään kuivatun ilman takaisin kuivatettavaan tilaan. Kuivaimien tehokapasiteetti riippuu kuivatettavan tilan tilavuudesta ja ilman kosteudesta. Suuret tilat vaativat yleensä useamman kuivaimen hoitaakseen ilman kuivatuksen. Kuivaimiin turvaudutaankin yleensä kosteina vuodenaikoina kuten loppukesällä ja syksyllä.

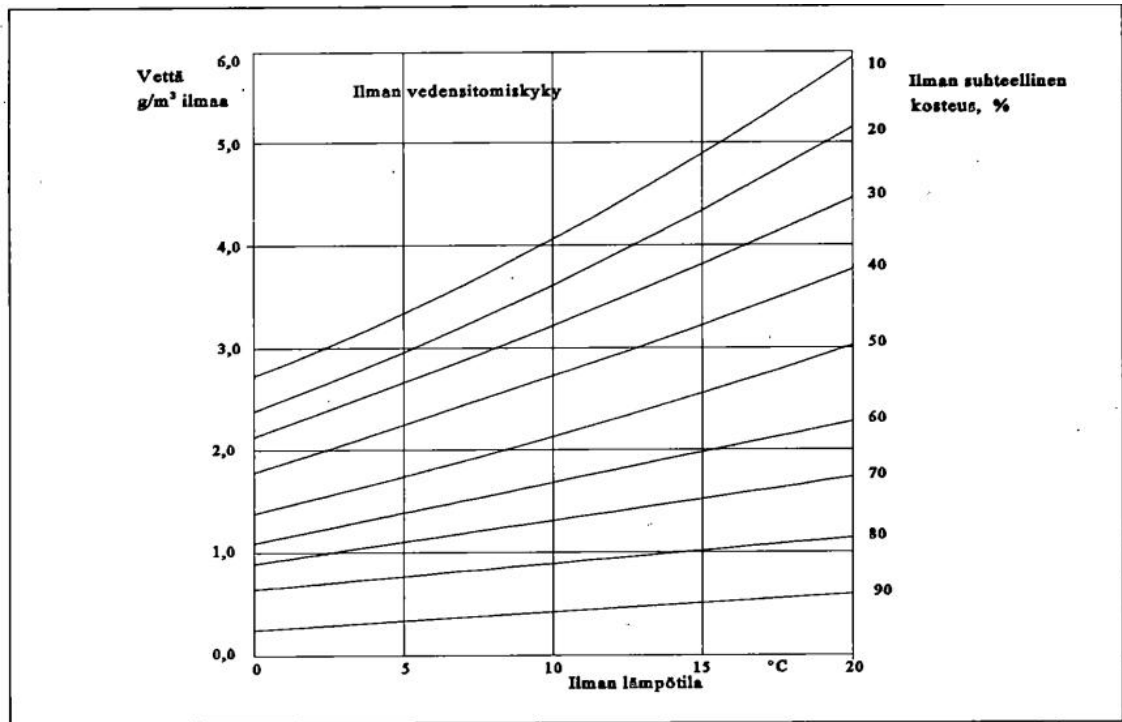


Kuva 30. Ulkoilman suhteellisen kosteuden (%) vaihtelu kuukausittain eri havaintoasemilla (25, S.4)



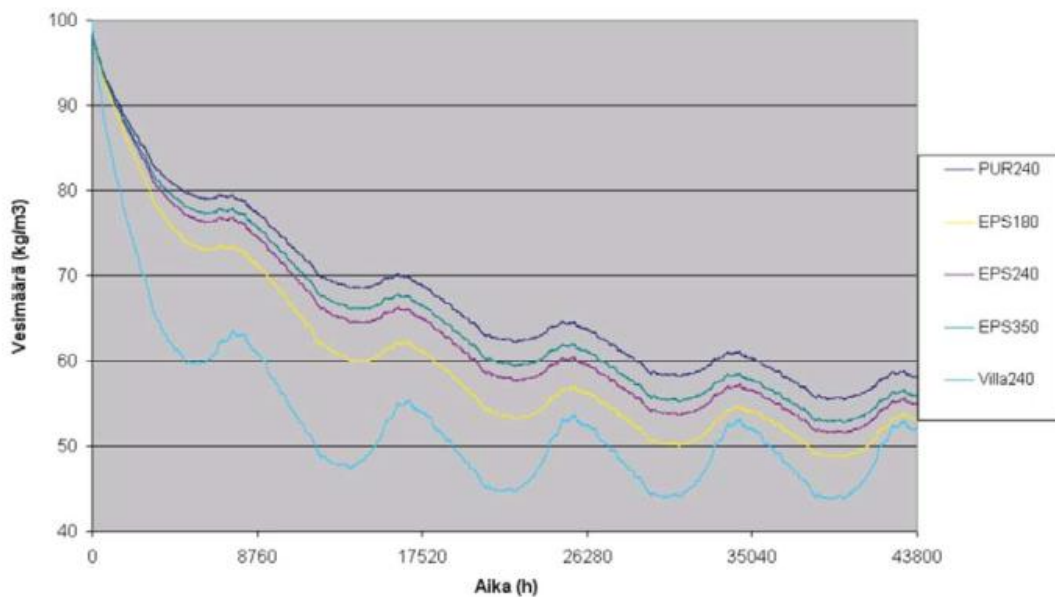
Kuva 31. Ohjeellinen esitys ulkoilman sisältämästä keskimääräisestä vesimäärästä (g/m<sup>3</sup>) eri kuukausina (25,S.4).

Kuivatusolosuhteita ja siihen käytettävää energiaa voidaan arvioida Mollierin diagrammin avulla. Mollierin kaaviossa on erilaisia asteikkoja ja käyriä, jotka kuvaavat ilman käyttäytymistä. Esimerkiksi Mollierin diagrammin avulla voidaan arvioida lisälämmön vaikutus kuivausilman vedenpidätyskykyyn. Kun ilmaa lämmitetään, sen absoluuttinen kosteus pysyy vakiona, mutta suhteellinen kosteus laskee. Tällöin ilman vedensitomiskyky kasvaa. Ilman kuivauskyky lasketaan vähentämällä tuloilman absoluuttisesta kosteudesta poistoilman absoluuttinen kosteus.



Kuva 32. Ilman potentiaalinen vedensitomiskyky sen lämpötilan ja suhteellisen kosteuden muuttuessa (34, S.18)

Energiamääräysten kiristyessä rakenteiden eristepaksuudet kasvavat sekä eristeiden laatu muuttuu. Rakennuksen lämmöneristeissä on alettu yhä enemmissä määrin suosia solumuovieristeitä niiden kosteuskestävyyden ja lämmöneristävyiden vuoksi. Mineraalivillojen korvaaminen diffuusiotiiviillä solumuovieristeellä muuttaa rakennuksen kosteuskäyttämistä siten, että rakenteet kuivuvat sisäänpäin. Rakennusaikaisen kosteuden poistuminen on tällöin rakenteista hidasta. Rakennusvaiheessa rakennusta lämmitetään ja kuivatetaan lämpöpuhaltimin, jolloin rakennus on ylipaineinen. Mineraalivillapohjaisilla seinäeristeillä rakenteet kuivuvat molempiin suuntiin, kun taas solumuovieristeillä sisäänpäin. Ilmanvaihdon merkitys korostuu oleellisesti solumuovieristeisillä seinäraketeilla.



Kuva 33. laskennallinen esimerkki betonielementin sisäkuoren kuivumisesta erilaisilla lämmöneristeillä ja eristepaksuuksilla. (29, S.13)

Rakenteiden kuivumiselle tulee antaa riittävästi aikaa. Rakenteita tulee pyrkiä tekemään mahdollisimman "kuivina", jotta kuivatustarve olisi pieni. Tämä edellyttää mm. hyviä suojauksia. Rakenteita voidaan myös kuivata aktiivisesti erillisillä kuivaajilla, jotka tosin lisäävät rakennustyön energiankulutusta sekä rakennuskustannuksia. Mm. näiden seikkojen huomioon ottaminen lisää jonkin verran rakentamisen kokonaisaikaa ja kustannuksia, jotka tosin on mahdollista saada ainakin osittain takaisin vähentyneenä taakuorjaustarpeena. (29, S.13.)

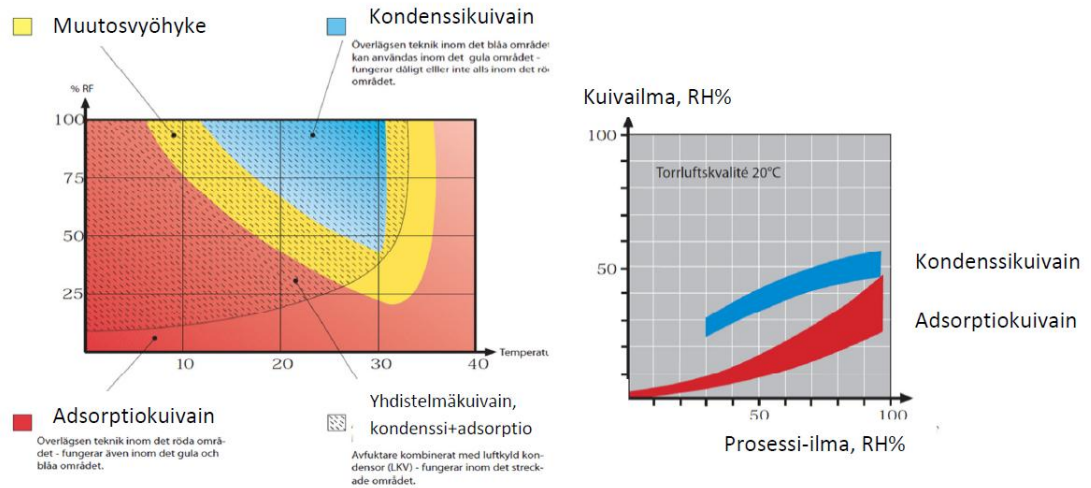
Rakentamista tehdään kaikkina vuoden aikoina, jolloin kuivatusolosuhteet eivät aina täyty pelkällä lämmityksellä ja ilmanvaihdoilla. Tällöin kuivatuksen apuna voidaan käyttää ilmankuivaimia. Vaihtoehtoina ovat kondenssikuivain tai adsorptiokuivain.

### *Kondenssikuivain*

Kondenssikuivain on kuivain, jonka toiminta perustuu kosteuden erotteluun ilmasta. Kuivainlaitteen toiminta lyhyesti perustuu laitepuhaltimeen, laitekompressoriin, kylmäaineputkiin sekä kylmäaineeseen ja sulatusjärjestelmään. Kuivain on erittäin tehokas huomattavan kosteissa tiloissa, joissa lämpötila on n. +20 – +30 C välissä. Toisin sanoen niin sanotut ”sademetsämäiset” olosuhteet ovat kuivaimelle otollisimmat. (35) Erittäin kosteissa ja lämpimissä olosuhteissa kondenssikuivain on erottelukyvyltään tehokkaampi kuin adsorptiokuivain. Kuivain tiivistää kosteuden aina irtovedeksi, joka voidaan poistaa laitteesta painovoimaisesti letkulla, tai monissa laitteissa myös pumpata laitepumpun avulla kauemmas viemäriin tai muuhun sopivaan veden poistopaikkaan. Kuivain soveltuu erityisen hyvin putkirikkojen jälkeiseen ensikuivaukseen, palokohteiden ensikuivaukseen, tasoitetyötilojen kuivaukseen etenkin kesän lämpiminä kosteina ajanjaksoina, uudisbetonivalujen kuivaukseen sekä muihin runsaasti kosteutta ja lämpöä sisältäviin kuivaustöihin (35). Kuivain on lämpötilaeroista johtuvan kondensoitumisen johdosta kuitenkin hyvin altis etenkin lämpötilan muutoksille, ja olosuhteiden viileessä laitetekniikan kosteudenerottelu heikkenee radikaalisti, ja loppuu jossain vaiheessa kokonaan. Kun kuivain ei enää erottele vettä, sitä ei saa pitää merkinä, että rakenteet ovat kuivat, sillä usein kysymyksessä on olosuhdemuutokset, joiden johdosta laitetekniikka ei välttämättä enää kykene erottelemaan kyseisestä tilasta kosteutta.

### *Adsorptiokuivain*

Adsorptiokuivaintekniikan vaatimukset kuivattavien tilojen lämpötiloille eivät ole yhtä vaativat kuin kondenssikuivaustekniikkaa käytettäessä, ja adsorptiotekniikka toimiikin jopa pakkasrajan alapuolella. Adsorptiokuivain tuottaa kuivattavaan tilaan myös kuivempaa ilmaa, eli laitteen sisään menevän ja ulostulevan ilman suhteellisenkosteuden ero on suurempi kuin kondenssikuivaimessa. Laitetta voidaan käyttää tehokkaasti niin tilakuivauksessa, erilaisissa rakenteissa yhdessä puhaltimien ja turbiinien kanssa, kuin kuivailman tuottajana imu- ja puhallusturbiinikuivauksissa muun muassa eristetila-kuivauksissa.



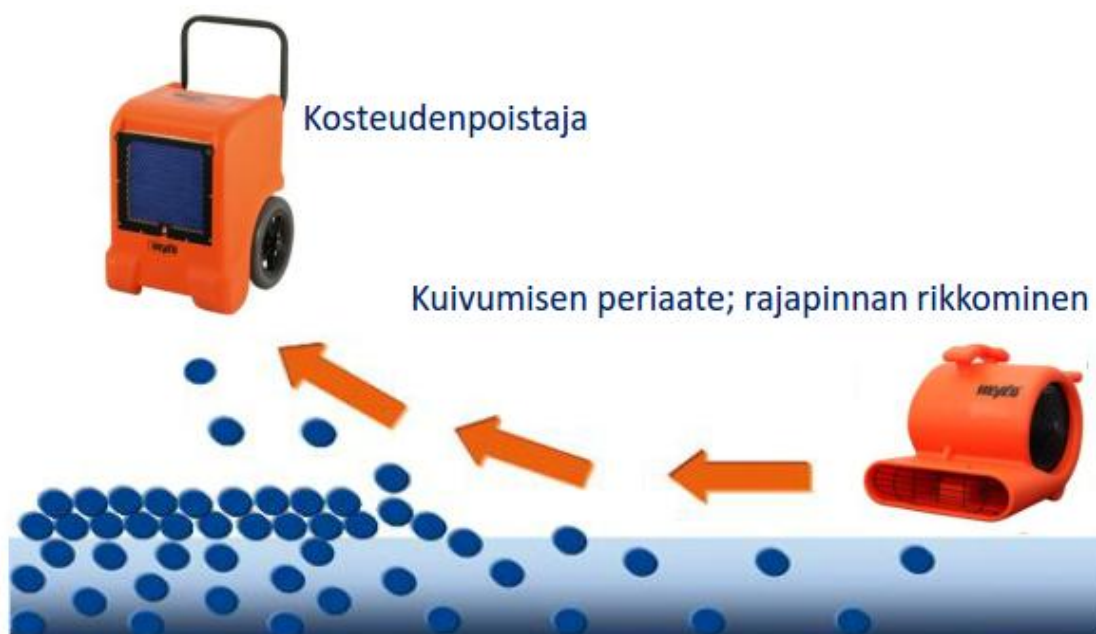
Kondenssikuivainta käytetään yllä olevan diagrammin mukaisesti, erittäin lämpimissä ja erittäin kosteissa olosuhteissa joissa on tilakuivauksen tarve.

Kuva 34. Adsorptiokuivaimen ja kondenssikuivaimen vyöhykkeet (35)

Adsorptiotekniikka perustuu jatkuvaan regenerointiprosessiin. Laitteisto ei ole riippuvainen lämpötilasta, ja adsorptiotekniikalla voidaan kuivata tehokkaasti myös jäätympisteiden alapuolella. Laitteistoissa käytettävä kiinteä kuivausaine on silikageelia, jonka ominaisuuksien johdosta se voi regeneroitua lähes rajattoman kertamäärän. Silikageeli on kideaine joka voi sitoa suuren määrän kosteutta, noin 40 % sen omapainosta. Silikageeliä on olemassa erityyppisiä erilaisiin käyttötarkoituksiin. Kiteen sisällä on suuri määrä mikroskooppisen pieniä huokosia, ja niiden ansiosta kiteen sisäosan seinämien pinta-ala on erittäin suuri. Yksi (1) gramma silikageeliä sisältää noin 500 - 700 m<sup>2</sup> kosteutta tehokkaasti sitovaa pinta-alaa (35). Roottorissa on akselin suuntaisia ilmakekanavia jotka koostuvat erittäin aktiivisesta kuivausaineesta yhdessä keraamisen rakenteen kanssa. Aktiivinen kuivausaine ei ole vesiliukoista, jonka johdosta se ei liukene pois tai myöskään irtoa esimerkiksi ilmanpaineen vaikutuksesta. Akselin suuntaiset ilmakekanavat mahdollistavat roottorille erittäin alhaisen painehäviön laminaarivirtauksessa (35).

Adsorptiokuivainlaite tuottaa suuren määrän kuivailmaa, jonka johdosta on riittävä, että ilma vaihtuu laitteen läpi yhdestä kahteen kertaan tunnissa, kun vastaavasti kondenssikuivaimella riittävä ilman kierto saavutetaan, kun huonetilan ilmamäärä kulkee laitteen läpi kolmesta neljään kertaa tunnissa. Adsorptiokuivain, jonka prosessi-ilman määrä on noin 300 m<sup>3</sup>/h, soveltuu erinomaisesti huonetilaan, jonka pinta-ala on noin 50 - 60m<sup>2</sup> normaalin huonekorkeuden ollessa noin 2,5 metriä.

Kuten kaikessa tilakuivauksessa, tulee varmistaa, että kuivattava tila on mahdollisimman tiivis, jotta kuivausprosessi tapahtuu mahdollisimman nopeasti ja energiatehokkaasti. Ulos- tai ulkopuoliseen tilaan johtavat ovet ja ikkunat tulee olla suljettuina, jolloin tarvittaessa ne muovitetaan umpeen kuivausprosessin ajaksi.



Kuva 35. Kuivautuksen periaate (27, s.8)

Ontelolaatoissa ja ontelotiloissa voidaan kuivainlaitetta hyödyntää yhdessä esimerkiksi korkeapainepuhaltimen kanssa. Näin puhaltimen antaman lisäkapasiteetin avulla ilmaa ohjataan tehokkaasti ilmaviin rakenteisiin. Kuivainlaitetta ei liitetä suoraan korkeapainepuhaltimeen, vaan kuivailma ohjataan letkulla puhaltimen vierelle, jotta kuivaimen ilmanläpivirtausta ei kasvateta, joka heikentäisi kosteudenerottelukykä, näin myös kasvattaisi energiankulutusta. Puhallin ottaa vapaasti huonetilasta käyttöilmansa johon adsorptiokuivain tuottaa jatkuvasti kuivaa ilmaa, minkä puhallin ohjaa rakenteisiin.



Kuva 36. Ontelon kuivaus työmaalla



Kuva 37. Ilmavirran kierrättäminen (27, S.11)

Kuten aikaisemmin on todettu, märkien materiaalien yllä ja lävitse kulkeva ilmavirta lisää haihtumisnopeutta. Kun muut kuivaukseen vaikuttavat tekijät pysyvät muuttumattomina, niin, mitä suurempi ja voimakkaampi ilman virtausnopeus on, sitä parempi on kuivumisnopeus. Kuivauspuhallinta määrä ja niiden sijoittelu riippuu monista seikoista. Hyvin usein jokaiseen huoneeseen asennetaan yksi kuivauspuhallin ja suurempiin huoneisiin yksi kuivauspuhallin/20 m<sup>2</sup>. On muistettava, että mitä useampia kuivauspuhallimia on käytössä, sitä nopeammin myös ilmassa olevan kosteuden määrä lisääntyy, jolloin tarvitaan taas lisää kosteudenpoistajia.

### 5.3 Kosteusmittauksen menetelmät

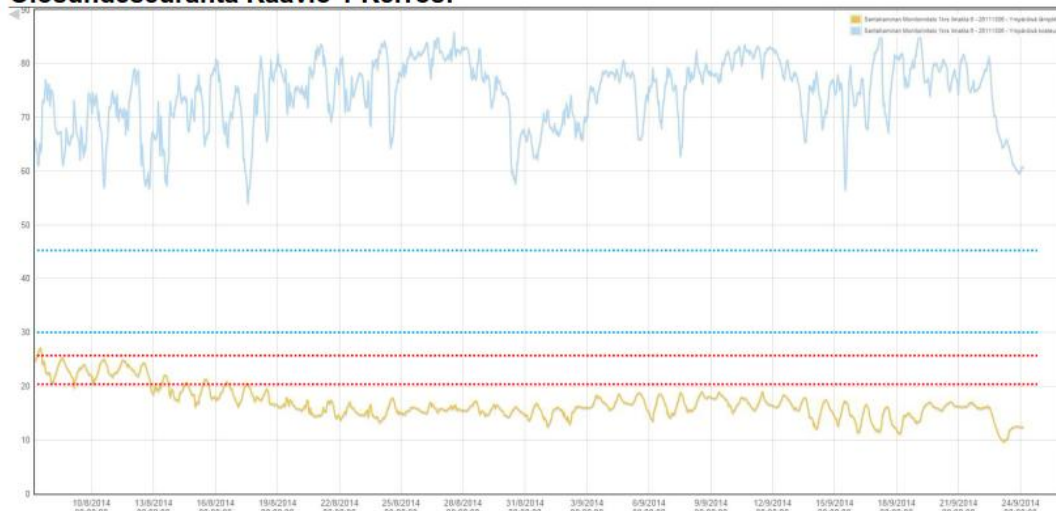
Rakennusaikaisella kosteusmittauksella seurataan rakenteiden kuivumista sekä varmistetaan rakenteiden riittävä kuivuminen. Erityisesti kosteusmittauksia tehdään niistä rakenteista, jotka päällystetään kosteusherkillä materiaaleilla. Ennen päällystämistä on alusmateriaalin suhteellisen kosteuden arvo alitettava päällystysmateriaalin edellyttämä raja-arvo. Esimerkiksi betonin kuivuminen tahdistaa oleellisesti työmaan sisävalmistusvaihetta, joten kosteusmittauksiin tulee ryhtyä hyvissä ajoin. Mittaustuloksilla voidaan arvioida, kuivuuko rakenne suunnitellun aikataulun mukaisesti ja tuleeko kuivatusta tehostaa. Rakenteiden riittävä työmaa-aikainen kuivuminen edellyttää hyviä kuivumisolosuhteita.

Ilman lämpötila- ja kosteusmittauksilla varmistetaan kuivatuksen teho. Mittaustulosten perusteella voidaan arvioida kuivatuksen tehoa. Betonin kuivuminen hidastuu, kun ilman suhteellinen kosteus on yli 50 %. Ilmanvaihtoa lisäämällä tai ilmaa kuivattamalla saadaan alennettua ilman suhteellista kosteutta. Ilman suhteellisen kosteuden ollessa 20 – 30 % ei rakenteiden kuivumien merkittävästi nopeudu (7). Tällöin ilmanvaihtoa voidaan pienentää tai kuivaimien käyttöä vähentää, jolloin energia kulutus pienenee ja kuivaimien vuokramenoja saadaan pienennettyä.

Betonin kuivumisen kannalta on tärkeää järjestää kuivatukselle otolliset olosuhteet. Ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta seurataan paikan päällä luettavavilla tai etäluettavilla mittalaitteilla. Tärkeintä on kuitenkin, että työmaan olosuhdetta seurataan ja olosuhteisiin vaikutetaan kuivatusolosuhteiden mahdollistamiseksi.

Työmaalla on hyvä olla useampi ilman lämpötilaa ja kosteutta mittaavaa mittalaitetta, jotta saadaan kokonaiskuva vallitsevasta olosuhteesta. Tulosten perusteella tehdään päätöksiä lämpötilan ja ilman liikkuvuuden lisäämiseksi tai vähentämiseksi. Markkinoilla on myös etäluettavia mittalaitteita, mitkä antavat reaaliaikaisen tuloksen olosuhteista esimerkiksi pilvipalveluun, mistä työnjohto voi käydä seuraamassa ilman kosteutta ja lämpötilaa.

### Olosuhdeseuranta Kaavio 1 Kerros:



Sisäilman Olosuhdeseuranta 1 kerros 7.8-26.9.2014:

Lämpötila: 10,8 – 27,15 °C

Kosteus (Rh%): 54,1 – 87,7 Rh%

Abs. kosteus (g / m<sup>3</sup>): 6,7-15.8 g/m<sup>3</sup>

..... = Kuivumisen kannalta optimaalinen suhteellisen kosteus %

..... = Kuivumisen kannalta optimaalinen lämpötila °C

#### Tulkinta:

Kohteen sisäilmankosteus 1 kerroksessa on seurantajakson alkuvaiheessa ollut ajoittain hyvin korkealla tasolla. Seurantajakson loppuvaiheessa sisäilman kosteuspitoisuus on hieman laskenut, johtuen enimmäkseen lämpötilan laskusta. Rakenteiden kuivumiselle tärkeä lämpötila on seurantajakson loppupuolella liian matalalla tasolla (+12°C).

Kuva 38. Esimerkkikohteen Polygon Oy:n raportti työmaan sisäilman olosuhde seurannasta

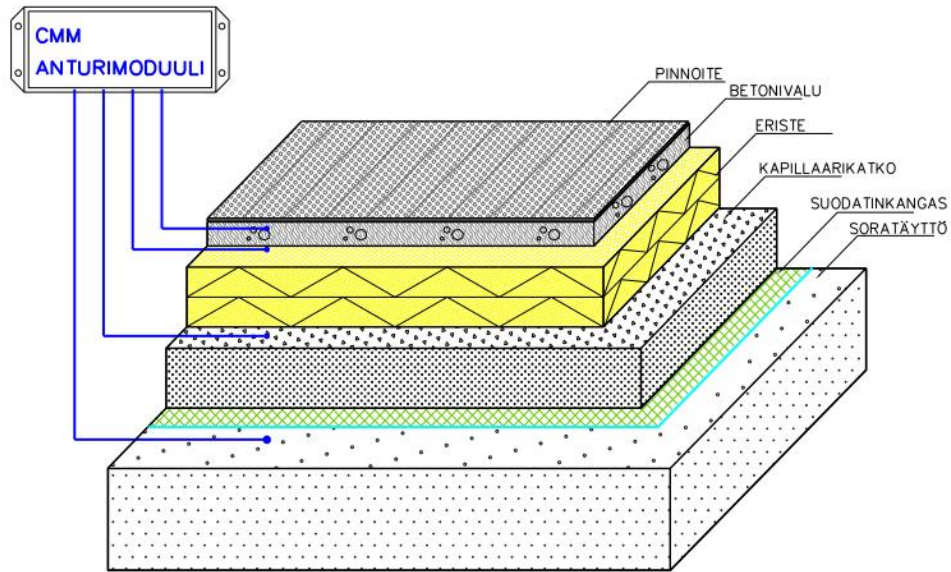
### 5.3.1 Rakenteisiin asennettavat anturit

Markkinoilla on nykyään rakenteisiin kuten betonivaluun yhteyteen asennettavia automaattisia rakennekosteuden seurantajärjestelmiä. Vuoden 2014 FinnBuild messujen parhaaksi uudeksi innovaatioksi valittu RfSensIT CMM systems on rakenteisiin sijoitettava jatkuva kosteutta seuraava laite (36). CMM- järjestelmän anturit voidaan asentaa betonirakenteen sisään, jolloin järjestelmällä voidaan seurata rakennusaikana jatkuvasti rakennusmateriaalien ja rakenteiden kosteustilannetta. Jatkuva seuranta on helppo ja varma tapa estää ongelmarakenteiden ja -olosuhteiden aiheuttamat kosteusvauriot ja minimoida niistä aiheutuvat korjauskustannukset. Seuranta on helppo tehdä mistä tahansa internetin kautta. Mittaustuloksista voidaan tulostaa raportteja halutulta aikaväliltä koko seuranta-ajalta. Eri sidosryhmät voivat seurata mittaustuloksia parhaan lopputuloksen saamiseksi.

Betonivalun kuivumista on tyypillisesti seurattu poranreikämenetelmällä tehtävillä kosteusmittauksilla. Nämä perinteiset menetelmät ovat alttiita mittaajan tahattomille tai tahallille virheille johtuen mittausmenetelmien variaatioista, valvonnan ja ohjeiden puutteista ja tiukoista aikatauluista. Porareikämenetelmän yhtenä heikkoutena on myös mitattavan kohteen kuivuminen reiän kautta. RF SensIT CMM:n mittaamista lämpötilatiedoista voidaan seurata betonin optimaalista lujittumista ja kosteustiedoista määritellä pinnoituksen oikea ajankohta myöhemmin ilmenevien ongelmien välttämiseksi. CMM:n etuna porareikämittauksiin nähden on myös mahdollisuus jatkaa kosteuden seuraamista pinnoituksen jälkeen, jolloin haihtumisen lakattua kosteustaso tyypillisesti nousee pinnoitteen alla.

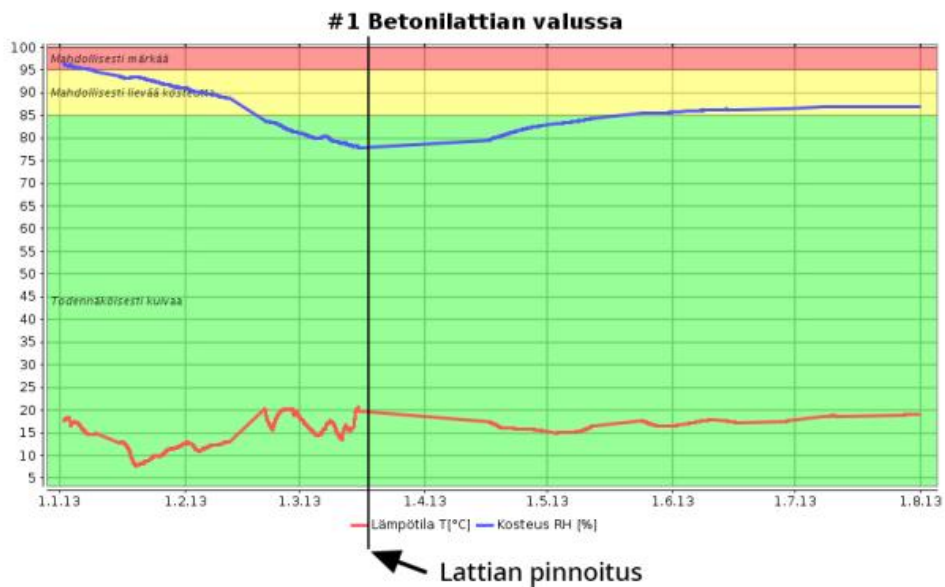


Kuva 39. Kuva työmaalle asennetusta kosteusmittausanturista



Kuva 40. CMM anturimoduulin sijoitus rakenteisiin (36)

Anturimoduulin sijoituksen jälkeen voidaan seurata betonirakenteessa tapahtuvaa kuivumisen kehittymistä.



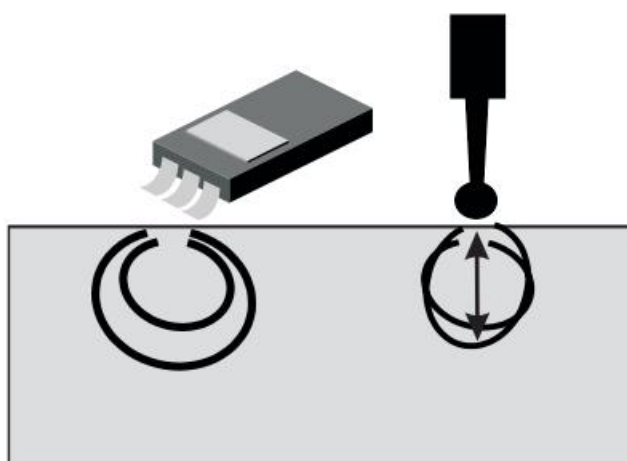
Kuva 41. Lattiarakenteen kuivuminen (36)

### 5.3.2 Pintakosteusmittaus

Pintakosteudenosoittimet eli pintakosteusmittarit ovat ainetta rikkomattomia rakenteiden kosteustilan selvittämiseen tarkoitettuja laitteita. Laitteiden toiminta perustuu mitattavan materiaalin sähköisten ominaisuuksien (sähkövastus, sähkönjohtavuus, kapasitanssi, dielektrisyys) muutoksiin. Valmistaja on yleensä asettanut mittalaitteisiin valmiiksi joidenkin materiaalien tiettyjä sähköisiä ominaisuuksia vastaavan kosteuspiitoisuuden painoprosentteina. Mittalaitteiden toimintaperiaatteista sekä rakennusmateriaalien ominaisuuksien vaihtelun vuoksi mittaustuloksia voidaan pitää lähinnä suunta-antavina.

Pintakosteudenosoittimet soveltuvat tilanteeseen, jossa rakenteista haetaan mahdollisia kosteampia kohtia. Niillä voidaan esimerkiksi paikallistaa kylpyhuoneiden muovimaton tai tapetin alla mahdollisesti oleva normaalia suurempi kosteus.

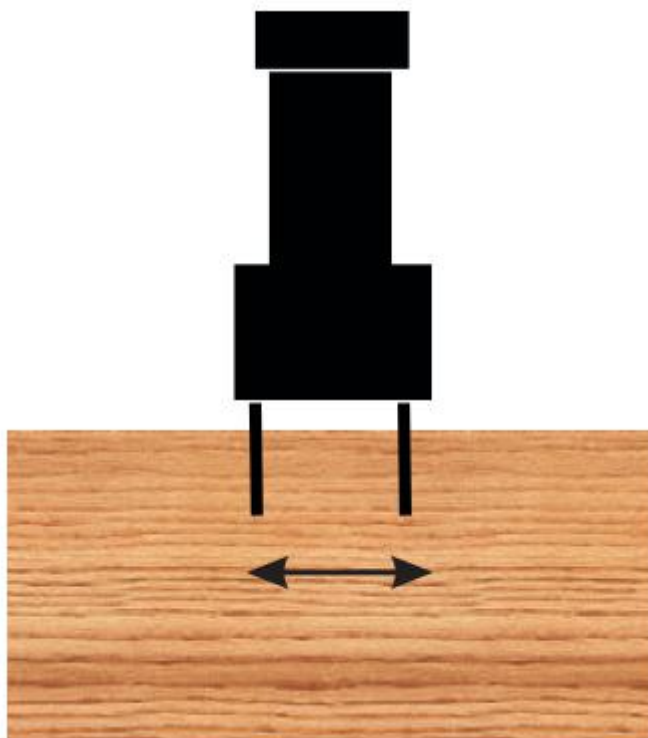
Pintakosteudenosoittimella ei voi määrittää todellisia kosteuspiitoisuusarvoja, vaan epäilyttävissä tapauksissa tulee käyttää tarkempia tutkimusmenetelmiä tai avata rakenteita mahdollisen vaurion selvittämiseksi. Pintakosteudenosoittimella tehtyjen määritysten perusteella ei tehdä purku- tai päällystämispäätöksiä eikä seurata betonirakenteiden kuivumista.



Kuva 42. Pintakosteudenosoitin (19)

### 5.3.3 Piikkimittari

Puun kosteusmittauksissa käytetään yleisesti, jossa kosteusmittaus perustuu kahden puuhun lyötävän metallielektrodin välisen konduktanssin mittaamiseen. Mittalaitteet antavat tuloksen yleensä painoprosentteina. Menetelmää voidaan pitää suhteellisen luotettavana mitattaessa rakentamisessa yleisesti käytettäviä puulajeja.



Kuva 43. Puun kosteudenmittaus piikkimittarilla (19)

#### 5.3.4 Porareikämittaus

Porareikämittaus on tarkimmillaan +15...+25 °C lämpötilassa. Olosuhteiden on oltava riittävän lähellä rakennuksen normaalia käyttölämpötilaa ja porareikämittauksen suosituslämpötiloja. Yläpuolisen, yleensä betonirakenteen pinnalla olevan, ilman ja rakenteessa olevan mittapään lämpötilanäyttämien ero ei saa olla yli 2 °C. Jos mittauksilta vaaditaan hyvää mittaustarkkuutta ja lämpötila poikkeaa käyttölämpötilasta yli 5 °C tai betonin tai ilman lämpötila on alle 15 °C tai yli 25 °C, kosteusmittaus tulee tehdä näytepalamenetelmällä. Olosuhteiden mittauspisteen ympärillä ja ympäristössä porauksesta lukemienottoon eli mittauksen aikana on pysyttävä riittävän vakaina. Mitattaessa lattialämmityksen vaikutusalueella, lattialämmitys katkaistaan viimeistään viikkoa ennen mittaushetkeä, sillä betonin ja yläpuolisen ilman välinen lämpötilaero ja lämmityksen aikaansaama kosteuden tehostettu siirtyminen mittausputkeen saattaa aiheuttaa erittäin suurta mittauserätarkkuutta. Muussa tapauksessa luotettava tulos saadaan vain näytepalamenetelmällä samoin kuin silloin, jos betonia on esimerkiksi tehokuivatettu ennen mittaushetkeä nostamalla huomattavasti betonin lämpötilaa. Mittaussyvyys porareikämenetelmällä on vähintään 10 mm.



Kuva 44. Porareikämittaus (19)

Poraaminen betoniin muuttaa merkittävästi betonissa vallitsevaa kosteuspitoisuutta, koska reiän ympäristöön työntyy kosteutta poraamalla poistetusta materiaalista. Tästä syystä ensimmäisinä tunteina porauksen jälkeen RH reiässä/mittausputkessa on aina korkeimmillaan ja todellista poraussyvyydellä vallitsevaa kosteuspitoisuutta korkeampi. Porauksen vaikutus ja sen poistumisnopeus riippuu useista tekijöistä, joten ei voida antaa tarkkoja korjauskertoimia eri ajanhetkille porauksesta tehtäville mittauksille. 3 vrk on yleensä riittävä aika porauksen vaikutuksen poistumiselle.

Vallitsevien mittausolosuhteiden dokumentointi on edellytys mittaustarkkuuden arviointia varten. Kuvassa 41 on esitetty mittauspöytäkirjamalli.

Mittauksesta kirjataan:

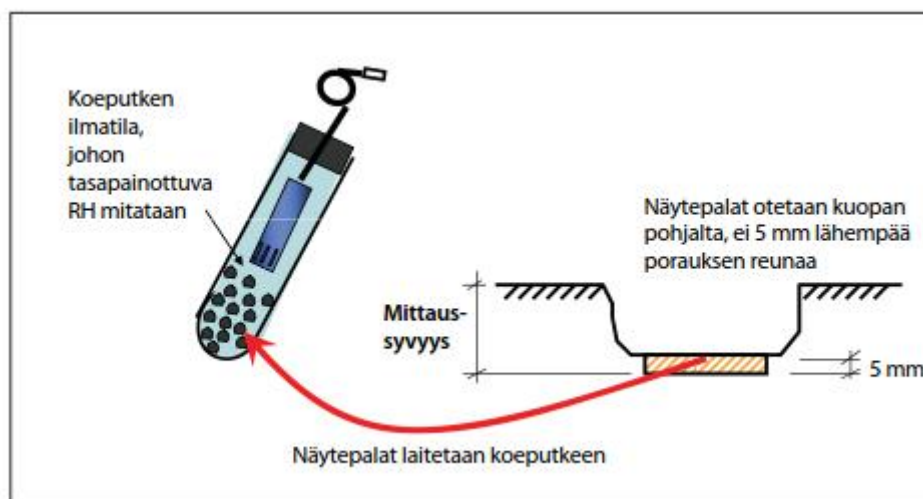
- mittapään numero
- mittauspisteen sijainti
- mittaussyvyys
- huoneilman lämpötila
- huoneilman suhteellinen kosteus
- suhteellinen kosteus mittausputkessa (jos mittapäätä ei ole säädetty kalibroinnissa näyttämään oikein, suhteellisen kosteuspitoisuuden arvo tulee korjata kosteusanturin yksilöllisillä kalibrointikorjauskertoimilla)
- lämpötila mittausputkessa.

mittauskohta	mittaus- syvyys	mitta- pään nro	T (°C)	RH (%)	Abs (g/m <sup>3</sup> )
1	sisäilma	7	22,6	27	5,4
1	15 mm	3	22,3	56	11,1
1	30 mm	12	21,8	75	14,4
1	70 mm	2	21,2	87	16,1

Kuva 45. esimerkki tulosten esitysmuodosta (19)

### 5.3.5 Näytepalamittaus

Mittaus voidaan aina tehdä näytepalamenetelmällä, ellei mittaustuloksia tarvita todella syvältä betonista. Näytepalamittausmenetelmällä tulos saadaan nopeammin kuin pora-  
reikämenetelmällä. Menetelmää voidaan käyttää  $-20... +80$  °C lämpötiloissa tai kun  
vallitsevat lämpötilaolosuhteet ovat epävakaat, tulos tarvitaan nopeasti tai muuten pyri-  
tään mahdollisimman hyvään mittaustarkkuuteen. Näytepalamittauksessa mittausolo-  
suhteiden lämpötila ja mitattavan rakenteen lämpötila eivät vaikuta saatavan kosteuspi-  
toisuusarvon luotettavuuteen. Mittaussyvyys näytepalamenetelmällä on vähintään 2  
mm.



Kuva 46. Näytteenotto (19)

## 6 Tulokset ja niiden tarkastelut

### 6.1 NCC Rakennus Oy:n kosteudenhallintasuunnitelma

NCC Rakennus Oy:n Talonrakentamisyksiköllä on käytössään kaksi versiota työmaan kosteudenhallintasuunnitelmasta. Käytävissä on ns. lyhyt versio ja pitkäversio. Lyhyessä versiossa on kaikki oleellinen tieto koottu taulukkomuotoon, kun pitkässä versiossa on kosteudenhallinta esitetty sanallisessa muodossa.

Lyhyt versio sisältää tarvittavat toimenpiteet koskien työmaan kosteudenhallintaa, kuten kosteusriskien arviointi, kuivumisaika-arvion sekä olosuhdehallintaa liittyvät toimenpiteet. Pitkässä versiossa samat asiat on esitetty projektisuunnitelman tasolla, mikä on enemmänkin ohjeistus laadittavista suunnitelmista. NCC Rakennus Oy on arvioitanut nykyisen työmaan kosteudenhallintasuunnitelman (lyhyt versio) Inspecta Oy:llä ja saanut hyvää palautetta kosteudenhallintasuunnitelman selkeästä ja ytimekkästä sisällöstä. Pitkän version ongelmana, kuten muidenkin sanallisten suunnitelmien, on oleellisen tiedon löytäminen. Oleellinen tieto ei ole nopeasti poimittavista vaan vaatii lukijalta tulkintoja.

NCC:llä on käytössään BY 1021 Betonilattioiden kuivumisaika-arviointiin suunniteltu Excel – työkalu. Ohjelmaa käytetään apuna kuivumisaika-arviota laadittaessa. Ohjelma antaa suuntaa-antavan arvion betonilattian kuivumisesta tietyissä olosuhteissa. Betonirakenteiden kuivumisen kannalta on oleellista hallita työmaan olosuhteita. Sääsuojauksella estetään ylimääräisen veden valumista alemmille holville, jolloin betonilattioiden kuivuminen alkaa. Sateelta suojaamisen lisäksi tulee huomioida muuttavat ulkoilman olosuhteet kuten lämpö ja ilmankosteus.

Työmaan kosteudenhallintasuunnitelma ei niinkään ota kantaa tuleeko sääsuojaus tehdä taikka tarvitaanko kohteessa erillistä kuivatusta. Kosteudenhallintasuunnitelma asettaa enemmänkin toimenpiteille tavoitteet, kuinka ja missä olosuhteissa suunnitelman tavoitteet saavutetaan. Kohdassa 6.2 ja 6.3 tutkitaan miten eri kosteudenhallintamenetelmät vaikuttavat rahallisesti.

## 6.2 Suojaus

Rakennusurakoinnin näkökulmasta tilaajan sääsuojausvaatimus – tai taso esitetään kaupallisissa asiakirjoissa. Mikäli rakennushankkeeseen ryhtyvä ei ole asiakirjoissaan määritellyt sääsuojausta tai sen tasoa, on urakoitsijan ”päättävissä” kuinka sääsuojaus hankkeessa toteutetaan. Epäselvät vaatimukset johtavat kilpailu-urakoinnissa väistämättä erilaisiin tulkintoihin. Urakoitsijalla on oikeus laskea toteutustapa halvimmalla mahdollisella tavalla. Kuitenkaan sääsuojauksen toteuttaminen pienimmällä mahdollisella suojauksella ei välttämättä ole aina kustannustehokkain ratkaisu. Laskentavaiheessa on syytä arvioida myös hankkeen kokonaisuutta, kuten mitä hyötyjä sääsuojauksella saavutettaisiin, tuoko sääsuojaus mm. säästöä lämmityskustannuksiin.

Vertailemalla eri kohteiden toteutuneita kustannuksia on saatu keskimääräinen kustannustieto sääsuojauksesta.. Sääsuojan kustannusvertailussa käytettiin referenssinä Helsingissä toteutetun uudishankkeen sääsuojauksen kustannuksia sekä meneillään olevien hankkeiden sääsuojatarjouksien yksikköhintoja. Case – kohteessa sääsuojaus tehtiin osittain. Ilmanvaihtokonehuoneen vesikatolle tehtiin sääsuoja, mikä tuettiin konehuoneen rungon päältä.

Sääsuojan kustannustietoja vertailtiin case-kohteen pinta-alojen mukaan eri variaatoin, kuten kokonaan suojaus, osittainen sääsuojaus, sääsuojaus rakennuksen runkoa hyödyntäen. Näiden vaihtoehtojen väliltä haetaan edullinen vaihtoehto sääsuojaukselle.

## Lähtötiedot

**Taulukko 1. Esimerkkikohteen lähtötiedot**

Rakennus	uudisrakennus, toimitila
Rakennusaika	1/2014 - 2/2015
Runko	betonielementtirakenteinen
AP:	Eristetty maanvarainen elementti
US:	Betonisandwich-elementti
VP:	pilari palkki, ontelolaatta
YP:	Tasakatto, EPS + kevytsora + katelaatta
Koko	
bruttoneliöt, brm <sup>2</sup>	6620
tilavuus, rm <sup>3</sup>	29460
kerrosala, m <sup>2</sup>	6391
kerroksia, kpl	3
lohkoja, kpl	2
kerros-lohkoala, m <sup>2</sup>	1065
harjakorkeus, m	16,5
räystäskorkeus, m	13,2
pituus m	98,66
leveys m	21,68
Jaettu liikuntasaumoin	
A-lohko, rm <sup>3</sup>	14730
B-lohko, rm <sup>3</sup>	14730
Lämmitys	
kaukolämpö	







Sääsuojauksen kustannustehokkuutta arvioidessa on syytä ottaa huomioon ne tekijät mitkä normaalisti joudutaan suorittamaan, mikäli rakennetaan ilman sääsuojaa, kuten:

- Sadevesien imurointi holvilta
- Lumen luonti
- työvaiheiden keskeytyminen
- kuivattaminen.

Case-kohteessa ilmanvaihtokonehuoneen sääsuojaus maksoi yhteensä 17 488 € alv. 0 %. Vesikaton sääsuojaukseen oli laskennallisesti varattu rahaa 24 728 € alv. 0 %. Säästöä tuli 7240 € alv.0 % verrattuna laskentaa. Tulo-menojäämä ei vielä sellaiseenaan kerro todellisuutta sääsuojauksen kustannustehokkuudesta. Urakkalaskennassa varattu raha kattoi 1100 m<sup>2</sup> alueen sääsuojauksen 56 vuorokauden ajaksi. Toteutunut sääsuojaus tehtiin 370 m<sup>2</sup> alueelle ja toteutunut vuokra-aika oli 107 vuorokautta.

Case-kohteessa oli alun perin suunniteltu 2138 m<sup>2</sup> vesikatto tehtäväksi osittain sääsuojan alla. Tässä tapauksessa osittaisella sääsuojauksella tarkoitetaan, että puolet talon vesikatosta tehdään sääsuojan alla ja puolet ilman sääsuoja, väliaikaisia suojaustoimenpiteitä pois lukematta. Rakennettavan toimitilan runko on liikuntasaumalla jaettu kahteen lohkokon (A ja B), jolloin taloa ei tarvitse nostaa ylös kerroskerrallaan vaan voidaan rakentaa lohkoittain. Varsinaisen vesikaton keskellä on ilmastointikonehuone, mikä on pinta-alaltaan n. 370 m<sup>2</sup>. Tapauksessa tehtiin hallittu riskinotto sillä talon elementtiasennustöiden aloitus oli suunniteltu tammikuun loppuun ja ensimmäisen lohkon vesikaton töihin päästäisiin jo maaliskuussa. Sadetilastojen perusteella maaliskuu - huhtikuussa sataa vähän Helsingin alueella, eikä silloinkaan sade tule välttämättä vetenä, jolloin pakkaslumi on helposti poistettavissa esim. lehtipuhaltimella. Myös sääsuojan kannatus oli ajateltu rakennuksen rungon päältä, sillä sandwich – elementtirunkoisen talossa ei ollut julkisivutöitä vesipeltien ja saumauksia lukuun ottamatta.

Case-kohteen vesikaton työt päästiin suunnitellusti aloittamaan maaliskuussa, mutta toisen lohkon viivästymisen vuoksi jouduttiin sääsuojauksen aloitusta viivästyttämään. Lisäksi päätettiin tehdä sääsuojaus pelkästään IV-konehuoneen katolle eikä koko lohkolle, niin kuin alun perin oli suunniteltu.



Kuva 47. IV-konehuoneen sääsuojaus

Loppuosa vesikatosta päästin jatkamaan heinäkuussa alussa, jolloin sääsuojan pystyttäminen voitiin aloittaa toisen lohkon ilmastointikonehuoneen osalta. Sääsuojan pystyttämiseen meni kolmelta telinmieheltä yhteensä 96 tuntia eli 4 vuorokautta. Vesikattotyöt valmistuivat 45 vuorokauden kuluessa jolloin sääsuoja purettiin.

Tarkastellaan tilannetta aputöiden näkökulmasta. Runko valmistui lopullisesti heinäkuun ensimmäisen viikon aikana ja sääsuoja heinäkuun toisen viikon loppuun mennessä. Vesikattotyöt valmistuivat sääsuojan valmistumisesta 45 vuorokauden kuluessa. Toisen lohkon alempi vesikatto tehtiin ilman sääsuojaa, sillä eristeenä käytettiin EPS – eristelevyä sekä kevytsoraa, mitkä molemmat ovat säänkestäviä. Alemman katon vesikattotyöt voitiin aloittaa heti rungon valmistumisen jälkeen heinäkuun ensimmäisellä viikolla ja valmistuivat viikolla 35. Alemman katon vesikattotöitä tehtiin ilman sääsuojaa yhteensä 55 vuorokautta. Työt valmistuivat 1 vuorokautta aikaisemmin, mitä alun perin sääsuojaukseen oli varattu aikaa.

Tarkastellaan sadepäiviä sekä sadeveden määrä ajalta 4.7.2014 – 28.8.2014. [WWW.sadepalvelu.fi](http://WWW.sadepalvelu.fi) nettisivuston mukaan Helsingissä on kyseisellä ajanjaksolla ollut sadepäiviä 22 kpl ja sadekertymä ollut 163,2 mm. Heinäkuun aikana sadepäiviä kertyi vain 4 päivää ja sademäärä ollut 7,2 mm, kun Elokuussa kertyi jopa 18 sadepäivää ja

sadekertymä ollut 156 mm. Työt ovat siis heinäkuussa päässeet lähes keskeytyksettä etenemään, jolloin suurin osa vesikattotöistäkin on valmistunut.

Oletuksena, että 1/3 vesikattotöistä on jäänyt elokuulle jolloin pinta-alaksi saadaan:

- Vesikaton kokonaispinta-ala 2138 m<sup>2</sup>
- IV-konehuoneen pinta-ala 370 m<sup>2</sup>
- A - lohkon vesikaton pinta-ala =  $(2138\text{m}^2/2) - 370\text{ m}^2 = 699\text{ m}^2$
- B – lohkon loppuosa  $1/3 * 699\text{ m}^2 = 233\text{ m}^2$

Elokuun sadekertymä 156 mm jolloin vettä 233 m<sup>2</sup> alueelle on ko. aikana satanut vettä yhteensä  $156\text{ mm} \times 233\text{ m}^2 = 36\,348$  litraa vettä.

Elokuun 2014 sadekuurot ovat olleet hetkittäisiä, mutta erittäin voimakkaita. Jokainen sadekuuro keskeyttää vesikattotyöt siksi aikaan, kun vesi on haihtunut tai poistettu katoilta. Tällaiselle työlle on laskettava hinta.

Jaetaan sadeveden määrä / kattopinta-ala sadepäivien määrille:

- $36\,438\text{ l}/18\text{ vrk} = 2019\text{ l/vrk}$

Vesikattotöiden eteenpäin viemiseksi tarvittaisiin työntekijä poistamaan joka päivä katoilta yli 2000 litraa vettä. Esimerkiksi työmaalla yleisesti käytettyjen teollisuusvesi-imureiden imukapasiteetti on n. 100 – 200 l/min ja säiliökoot ovat n. 50 – 70 l. Jos vesi imuroitaisiin yhdellä kertaa, aikaa menisi vain 20 minuuttia ilman tyhjennyksiä. Tällainen tilanne ei kuitenkaan ole realistinen vaan vesi-imurointia voisi rinnastaa siivoustyöhön / lumenluontiin,

Talvilisätyön kustannuksia on mm. tutkittu ja niistä on laadittu RATU-ohjekortti (37). Muutetaan satanut vesimäärä lumeksi jolloin voidaan tutkia lisätöiden vaikutusta talvela.

- $2019\text{ l vettä} \rightarrow 2019\text{ l} / 233\text{ m}^2 = 8,68\text{ l/m}^2 \rightarrow 8,86\text{ cm lunta/ m}^2$

RATU-kortiston (37) mukaan yli 50 mm lumikerroksen lumen luontiin kuluu aikaa 0,010 tth/m<sup>2</sup>. Lasketaan lumenluomiseen kuluva aika

- $8,86 \text{ cm lunta /m}^2 * 0,010 \text{ tth/m}^2 * 223 \text{ m}^2 = 19,75 \text{ tth}$
- $19,75 \text{ tth} * 18 \text{ vuorokautta} = 355,5 \text{ tth}$

Lasketaan hinta lumen luomiselle. Käytetään apumiehen hintana 28 €/h alv. 0 %.

- $355,5 \text{ h} * 28 \text{ €/h} = 9954 \text{ € alv.0 \%}$

Sääsuojan pienentäminen on tullut 7240 € halvemmaksi, mutta aputöiden lisääntyessä tulee vesikattotöiden tekeminen kalliimmaksi. Edellisessä esimerkissä ei ole otettu huomioon muita aputöitä kuten suojaaminen ja rakenteiden kuivattaminen.

Betonin kastuminen hidastaa kuivumista merkittävästi. Mitä myöhemmin betoniin pääsee ylimääräistä kosteutta, sitä hitaammin tämä kosteus betonista poistuu. Tämä selittyy sillä, että valuvaiheessa ja pian sen jälkeen betonin huokokset ovat jo täynnä eivätkä siis voi vastaanottaa enempää vettä. Veden ja betonin sisältämien mineraalien reagoiessa betonin huokokset supistuvat. Huokosten supistumisen seurauksena kosteuden poistuminen rakenteesta hidastuu. Huokokset eivät kuitenkaan supistu niin pieniksi, ettei vettä pääsisi imeytymään betoniin. Tästä aiheutuu, että esimerkiksi neljän viikon saderasitus voi pidentää paksun betonielementtisen välipohjan kuivumisaikaa jopa kahdellakymmenellä viikolla. Siksi on erityisen tärkeää minimoida ylimääräisen veden pääseminen rakenteisiin.

### 6.3 Kuivaus

Betonirakenteen kuivuminen on suhteellisen hidasta ja riippuu monista eri tekijöistä. Kuivumiseen vaikuttaa betonin ominaisuudet (vesi-sementtisuhde), rakenneratkaisu (kuivumissuunta), kuivumisolosuhteet (ilman suhteellinen kosteus).

Sisätiloissa betonirakenteen yleensä päällystetään tai pinnoitetaan jollakin materiaalilla, kuten muovimatolla, laatalla, parketilla, maalilla jne. Betonirakenteen päällystettävyyden arvioinnissa on noudatettava päällystemateriaalin kosteusraja-arvoja. Märälle betonille päällystäminen voi aiheuttaa sisäilmaongelmia sekä päällysteen / pinnoitteen irtoamista.

Yleisemmille betonirakenteille voidaan määrittää kuivumisaika-arviot, kun rakenneratkaisu ja tavoitekosteus sekä kuivatusolosuhteet ovat tiedossa. Betonirakenteiden kuivuminen tasapainokosteuteen rakenneratkaisusta riippuen voi kestää jopa vuosia. Rakennusaikana betonirakenteen ei vielä tarvitse saavuttaa tasapainokosteutta. Kuivumisvaatimukset ovat sellaisille rakenteille, jotka päällystetään kosteusherkillä materiaaleilla, kuten muovimatoilla.

Betonilattioiden kuivumista voidaan arvioida kahdella tavalla. Vanhan koulukunnan rakentajat muistavat hyvin periaatteen, että betoni kuivuu viikko / senttimetri nopeudella. Tällainen arvio on hyvin suuntaa-antava, mutta myös laskettavissa. Periaatteessa viikko / senttimetri "pätee" 4 cm paksuille laatoille, tämän jälkeen kuivuminen hidastuu kaksinkertaisesti / lisäsenttimetri. Vastaavasti yli 6 cm syvyydellä kuivumisaika nelinkertaistuu.

Esim. 80 mm paksu pintabetonilaatan kuivuminen viikko / sentti periaatteella.

$(4 \text{ cm} \times 1 \text{ viikko}) + (2 \text{ cm} \times 2 \text{ viikkoa}) + (2 \text{ cm} \times 4 \text{ viikkoa}) = 16 \text{ viikkoa}$ .

Betoniyhdistys on yhdessä Tekniikan Tohtori Tarja Merikallion kanssa laatinut betonilattioiden kuivumisen arvioimiseen Excel -työkalun. Laskentaohjelmassa otetaan huomioon betonin vesisementtisuhde ja olosuhteet. Tarkastellaan edellistä esimerkkiä laskentaohjelman avulla.

# Betonirakenteiden kuivuminen

"Tarja Merikallio. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Betonikeskus 2002."

Kohde: **esimerkki 1**

## Ontelolaatta + pintabetonivalu

Kun olet ensin valinnut haluamasi rakennetyypin sivun alareunan taulukoista, syötä sitten arvot tavoitekosteudelle, vesi-sideainesuhteelle ja pintabetonin paksuudelle. Valitse lisäksi ontelolaatan kosteus, kastumisaika sekä kuivumisolosuhteista kosteus ja lämpötila. Kuivumisaika ilmoitetaan viikkoina. Kuivumisajan lasketaan alkavan siitä kun rakenne ei enää saa lisäkosteutta. Jos jälkihoito tehdään kastelemalla, lasketaan aika kastelun lopettamisen jälkeen. Jos jälkihoito tehdään peittämällä, lasketaan aika valusta.

	Syöttöarvot	Raja-arvo	Peruskuivumisaika
Tavoitekosteus	85,0 %	"80-100"	15,0
Vesi-sideainesuhde:	0,70	"0,5-0,7"	Kerroin 1,00
Pintabetonin paksuus	80,0 mm	"30-80"	Kerroin 1,30

BY1021

Ontelolaatan kosteus

< 90 %

90 - 95 %

> 95 %

Kastumisaika

Kuivassa

Kosteassa yli 2 viikkoa

Kastunut yli 2 viikkoa

### Kuivumisolosuhteet

Kosteus

35 %

50 %

60 %

70 %

80 %

Lämpötila

10 C

15 C

20 C

25 C

30 C

Kuivumisaika viikkoina:

**18,3**

Kuva 48. Pintabetonilattian kuivumisaika-arvio 0,70 vesi - sementtisuhteella

Laskentaohjelma antaa hieman pidemmän kuivumisaika-arvion kuin viikko / sentti - laskentamalli. Betonin vesi-sementtisuhteella on merkittävä vaikutus betonin kuivumisaikaan. Suuri vesi-sementtisuhte pitää kapillaariverkoston yhtenäisenä pidemmän aikaa, joten kapillaarinen imu siirtää kosteutta pidempään. Sementin hydratoituessa betonin huokosrakenne tiivistyy ja veden siirtyminen hidastuu.

Pintabetonilattioissa työn suorituksessa ei niinkään haeta lujuutta vaan betonin työstettävyyttä sekä tasaista pintaa. Veden lisääminen parantaa betonin työstettävyyttä. Pieni vesi-sementtisuhte takaa betonille hyvän lujuuden sekä hyvän tiiveyden. Tiivis betoni on kestävä ja säilyy hyvin. On tärkeää selvittää ennen lattioiden valua, mitä ominaisuuksia lattialta haetaan.

Tarkastellaan vesi-sementtisuhteen pienentämisen vaikutusta betonini kuivumiseen.

# Betonirakenteiden kuivuminen

"Tarja Merikallio. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Betonikeskus 2002."

Kohde: **esimerkki 1**

## Ontelolaatta + pintabetonivalu

Kun olet ensin valinnut haluamasi rakennetyypin sivun alareunan taulukoista, syötä sitten arvot tavoitekosteudelle, vesi-sideainesuhteelle ja pintabetonin paksuudelle. Valitse lisäksi ontelolaatan kosteus, kastumisaika sekä kuivumisolosuhteista kosteus ja lämpötila. Kuivumisaika ilmoitetaan viikkoina. Kuivumisajan lasketaan alkavan siitä kun rakenne ei enää saa lisäkosteutta. Jos jälkihoito tehdään kastelemalla, lasketaan aika kastelun lopettamisen jälkeen. Jos jälkihoito tehdään peittämällä,

	Syöttöarvot	Raja-arvo	Peruskuivumisaika
Tavoitekosteus	85,0 %	"80-100"	15,0
Vesi-sideainesuhde:	0,50	"0,5-0,7"	Kerroin 0,60
Pintabetonin paksuus	80,0 mm	"30-80"	Kerroin 1,30

BY1021

< 90 %

90 - 95 %

> 95 %

Kastumisaika

Kuivassa

Kosteassa yli 2 viikkoa

Kastunut yli 2 viikkoa

### Kuivumisolosuhteet

Kosteus

35 %

50 %

60 %

70 %

80 %

Lämpötila

10 C

15 C

20 C

25 C

30 C

Kuivumisaika viikkoina:

**11,0**

Kuva 49. Pintabetonilattian kuivumisaika-arvio 0,50 vesi - sementtisuhteella

Betonin vesi-sementtisuhteen pienentämisellä on selkeästi merkitystä betonin kuivumisaikaan.

Betonin lämpötilan nostattaminen on myös yksi tehokkaimmista keinoista nopeuttaa rakenteiden kuivumista. Betonin lämpötila noustessa absorboituneet vesimolekyylit huokosten pinnassa höyrystävät betonin huokostilaan. Huokosten ilmatilan kosteussäily (g/m<sup>3</sup>) nousee, kuten huokosilman suhteellinen kosteus. Suhteellisen kosteuden kasvun myös betonin huokosilman ja ympäröivän ilman välinen vesihöyryn paine-ero kasvaa ja kosteus siirtyy huokostilasta ympäröivään ilmaan.

# Betonirakenteiden kuivuminen

"Taru Merikallio. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Betonikeskus 2002."

Kohde: **esimerkki 1**

## Ontelolaatta + pintabetonivalu

Kun olet ensin valinnut haluamasi rakennetyypin sivun alareunan taulukoista, syötä sitten arvot tavoitekosteudelle, vesi-sideainesuhteelle ja kastumisaika sekä kuivumisolosuhteista kosteus ja lämpötila. Kuivumisaika ilmoitetaan viikkoina. Kuivumisajan lasketaan alkavan siitä kun rakenne ei enää saa lisäkosteutta. Jos jälkihoito tehdään kastelemalla, lasketaan aika kastelun lopettamisen jälkeen. Jos jälkihoito tehdään peittämällä, lasketaan aika valusta.

	Syöttöarvot	Raja-arvo	Peruskuivumisaika
Tavoitekosteus	85,0 %	"80-100"	15,0
Vesi-sideainesuhde:	0,70	"0,5-0,7"	Kerroin 1,00
Pintabetonin paksuus	80,0 mm	"30-80"	Kerroin 1,30

BY1021

< 90 %  
 90 - 95 %  
 > 95 %

Kastumisaika

Kuivassa  
 Kosteassa yli 2 viikkoa  
 Kastunut yli 2 viikkoa

### Kuivumisolosuhteet

Kosteus

35 %  
 50 %  
 60 %  
 70 %  
 80 %

Lämpötila

10 C  
 15 C  
 20 C  
 25 C  
 30 C

**Kuivumisaika viikkoina:**

**15,6**

Kuva 50. Pintabetonilattian kuivumisaika-arvio 0,70 vesisementtisuhteella ja 25 °C asteen lämpötilassa

Helpoiten veden poistaminen betonirakenteista onnistuu veden höyrystämällä. Lämpötila rakennustyömailla on huomattavasti alle veden kiehumispisteen (normaalipaineessa), jolloin höyrystyminen tapahtuu haihtumalla nesteen ja kaasun rajapinnalla. Tietyn ainemäärän höyrystämiseen tarvittavaa energiaa voidaan ilmaista aineen ominaishöyrystyslämmön avulla. Ominaishöyrystyslämpö on energiamäärä, joka tarvitaan höyrystämään yksi kilogramma ainetta normaalipaineessa. Lyhenteenä ominaishöyrystyslämmölle käytetään usein kirjainta  $r$  ja sen yksiköksi annetaan joko kJ/kg tai MJ/kg.

Veden ominaishöyrystyslämpö lämpötilassa 20 °C on 2.454 MJ/kg, joka vastaa viisi kertaa sitä energiamäärää, joka tarvitaan lämmittämään vesi lämpötilasta 0 °C lämpötilaan 100 °C.

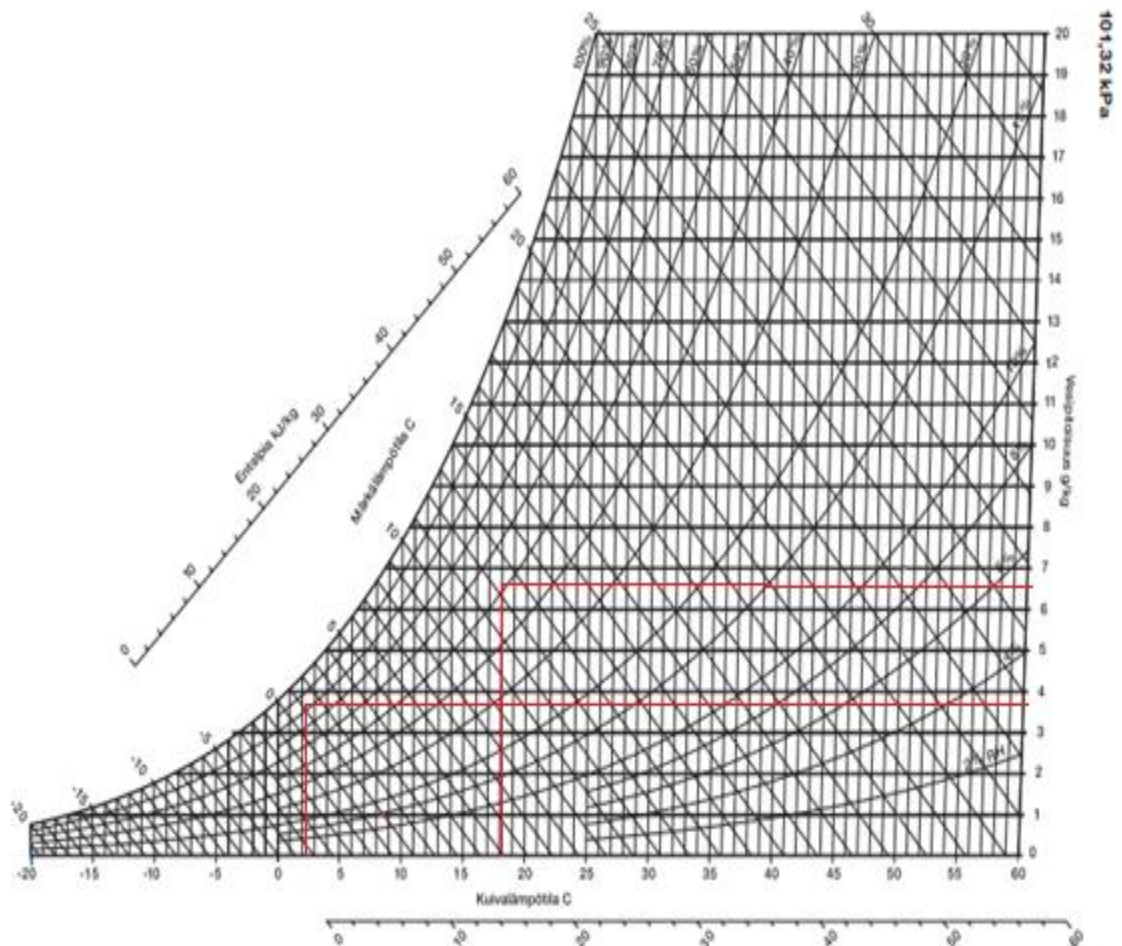
Betonin valmistamisen yhteydessä käytetään vettä. Fysikaalisesti sitoutunutta vettä on betonilaadusta riippuen 90 – 140 kg/m<sup>3</sup> ja kemiallisesti n. 40 – 70 kg/m<sup>3</sup>. Fysikaalisesta kosteudesta on betonilaadusta riippuen poistettava 70 – 120 kg/m<sup>3</sup> vettä. Alla on esitetty eri materiaalien rakennuskosteuksia.

Materiaali	Rakennusvaiheen kosteus, kg/m <sup>3</sup>	Kemiallisesti sidottu kosteus, kg/m <sup>3</sup>	Tasapaino kosteus, kg/m <sup>3</sup>	Rakennuskosteus, kg/m <sup>3</sup>
Betoni K 15	180	40	25	115
Betoni K 25	180	60	30	90
Betoni K 40	180	70	40	70
Kevytbetoni	100 – 200		20	80 – 180
Kalkkisementti laasti	300	20	30	250
Tiili	10		10	0
Tiilimuuri	80		10	70
Puu	60		40	20

Kuva 51. eri materiaalien rakennuskosteuksia.

Betonelementit sisältävät sitoutumatonta eli kuivatettavissa olevaa vettä noin 80kg betonikuutiota kohden. Elementtien sisältämän veden poistamiseen tarvitaan siis runsaasti energiaa. Lämmin ilma pystyy sitomaan itseensä enemmän vettä kuin kylmä ilma. Kuten jo kappaleessa 4.2 kuivaus mainittiin, että kuivamiseen tarvitaan lämpöä, oikea suhteellinen kosteus, sekä ilmanvaihto. Ilman tulee vaihtua riittävän usein ja sen tulee olla kuivaa, muutoin kuivatettava ilma kyllästyy eli ilman suhteellinen kosteus nousee.

Tarkastellaan mollierin – diagrammin avulla ilmanvaihdon merkitystä kuivatukseen. Työmaan kosteudenhallintasuunnitelmassa on asetettu sisäolosuhteiden tavoitteiksi 18 °C asteen lämpötila ja 50 % suhteellinen kosteus. Esimerkkinä 10 000 m<sup>3</sup> kuution rakennus, missä ilma vaihdetaan kerran tunnissa. Ulkolämpötila on + 2 °C astetta ja RH 80 %.



Kuva 52. Psykrometrinen diagrammi

+ 10 °C asteen ulkolämpötila ja RH 80 %, sisältää vettä n.3,8 grammaa/kg.

+ 18 °C asteen ulkolämpötila ja RH 50 %, sisältää vettä n.6,8 grammaa/kg.

10 000 m<sup>3</sup> rakennuksen ilmanvaihto kerran tunnissa

- ilmanvaihtoluku  $n = 1 / h$

lasketaan sisä- ja ulkoilman kosteuslisä

- $V_u$  (ulkoilma) –  $V_s$  (sisäilma) =  $6,8 \text{ g/m}^3 - 3,8 \text{ g/m}^3 = 3 \text{ g/m}^3$

Rakennuksesta poistuu vettä kerran tunnissa

- $10\,000 \text{ m}^3 * 1/h * 3 \text{ g/m}^3 = 30\,000 \text{ g/h} = 30 \text{ litraa vettä}$

Betonista haihtuu noin 70 litraa vettä betonikuutiota kohden. Se tarkoittaa täyselementtitalossa n. 8 – 9 litraa vettä rakennuskuutiota kohden.

- $10\,000 \text{ m}^3 * 8l = 80\,000l$  poistettavaa vettä

Ilmanvaihdon avulla rakennus kuivuu

- $80\,000l / 30 \text{ l/h} = 2666,7 \text{ h} \rightarrow 111 \text{ vuorokautta}$

Esimerkki on yksinkertainen malli laskea rakennukseen kuivatukseen tarvittava aika. Rakennusaikana on muitakin kosteusrasituksia kuin pelkästään betoni. Tasoitus- ja muuraustyöt ovat yksi suurimpia kosteustuottoja rakennusaikana. Siksi tasoitus- ja muuraustöiden aikana tulee tuuletusta lisätä.

Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan tutkimus- ja kehitystoiminnan tuotantotiimi on teettänyt kandidaatin tutkinnon: Rakentamisen aikainen betonirakenteiden tehokas kuivattaminen. Kandidatutkinnossa on tutkittu ilmanvaihdon merkitystä betonirakenteiden kuivattamiseen. Kustannustehokkaassa kuivatuksessa on huomioitava energian käyttö rakennuksen kuivatuksessa. Kandidaatintyössä tutkittiin erikokoisten rakojen tilavuusvirtoja.

mittauspaikka	Aukon koko (m <sup>2</sup> )	Virtausnopeus (m/s)	tilavuusvirta (m <sup>3</sup> /h)	RH (%)	Lämpötila (°C)
Tilapäisen parvekkeen oven alareuna	0,0160	0,67	38,6	-	-
Parvekeovi raollaan	0,0450	0,7	113,4	63	13,2
Aukko ikkunan muovituksessa	0,0050	0,3	5,4	63	13,2
Aukko päätyoven muovituksessa	0,1500	1	540,0	52	12,2
Läpimeno varaston seinässä	0,0201	0,7	50,7	56	12
Savusulun ovipielen aukko	0,2400	1,4	1209,6	55	11,7
Savusulku, rako oven yläreunassa	0,0575	0,6	124,2	63	7,5
Savusulku, rako oven alareunassa	0,0575	0,6	124,2	63	7,5
Läpimeno pesuhuoneen seinässä	0,0201	0,5	36,2	61	12,8
Parvekeovi raollaan, alareuna	0,0160	0,7	40,3	61	12,8
Parvekeovi raollaan, alareuna	0,0160	0,75	43,2	61	12,8
ikkuna, aukko muovituksessa	0,0300	0,7	75,6	50	15
<b>Yhteensä ulkoilmaa 1. kerrokseen (m<sup>3</sup>/h):</b>			<b>2401,4</b>		

Kuva 53. Ilmavirtauksien kulkemista rakojen kautta (30, S.16)

mittauspaikka	Aukon koko (m <sup>2</sup> )	Virtausnopeus (m/s)	tilavuusvirta (m <sup>3</sup> /h)	RH (%)	Lämpötila (°C)
Avonainen ovi 1. asuinikerroksessa	1,8900	1,0	6804	48	10
Käytävän pää 1. asuinikerroksessa	0,1250	1,9	855	42	12
Porraskiikku kerrosten 2 ja 3 välillä	3,3600	0,6	7258	39	14
Avonainen ikkuna-aukko, 3. kerros	1,6800	0,5	3024	-	-

Kuva 54. Avonaisten ikkuna-aukkojen läpivirtaava ilma (30, S.18)

Välttämättä ei tarvita isoja aukkoja rakennuksen ilmanvaihtoon. Liiallisella tuulettamisella tuhlaetaan energiaa, taikka pahimmassa tapauksessa tuodaan sisäilmaan lisää kosteutta, jolloin rakenteiden kuivaaminen pysähtyy.

Tampereen Teknillinen Yliopisto on laatinut täyselementtitalon kuivatukseen kustannus- ja aikataulusuunnitteluun pohjautuvan Excel-laskentaohjelman. Ohjelma on ilmainen ja saatavilla internetistä (33). Ohjelman käyttäjä voi lähtötietoina syöttää rakennuksen tilavuuden halutun sisälämpötilan sekä ilman kosteuden. Ilmanvaihtokertoimella säädetään kuivumisaikaa. Kuivumisajan nopeuttamisen vaikutus näkyy myös kustannuksena, minkä laskentaohjelma ilmoittaa.

Ohjelman avulla päätettiin selvittää, miten eri vuoden ajat vaikuttavat kuivatukseen sekä missä olosuhteissa kuivatusta tulisi tehdä kustannustehokkaasti.

Laskennan esimerkkikohteena käytetään vastaavaa Case-kohdetta kuin sääsuojauksessa. Helsingissä 2014 rakennettu toimitila on täyselementtitalo, mikä soveltuu hyvin laskentaohjelman vertailukohteeksi.

**Taulukko 5. Lähtötiedot**

Rakennus	uudisrakennus, toimitila
Rakennusaika	1/2014 - 2/2015
Runko	betonielementtirakenteinen
AP:	Eristetty maanvarainen elementti
US:	Betonisandwich-elementti
VP:	pilari palkki, ontelolaatta
YP:	Tasakatto, EPS + kevytsora + katelaatta
Koko	
bruttoneliöt, brm <sup>2</sup>	6620
tilavuus, rm <sup>3</sup>	29460
kerrosala, m <sup>2</sup>	6391
kerroksia, kpl	3
lohkoja, kpl	2
kerros-lohkoala, m <sup>2</sup>	1065
harjakorkeus, m	16,5
räystäskorkeus, m	13,2
pituus m	98,66
leveys m	21,68
Jaettu liikuntasauvain	
A-lohko, rm <sup>3</sup>	14730
B-lohko, rm <sup>3</sup>	14730
Lämmitys	
kaukolämpö	

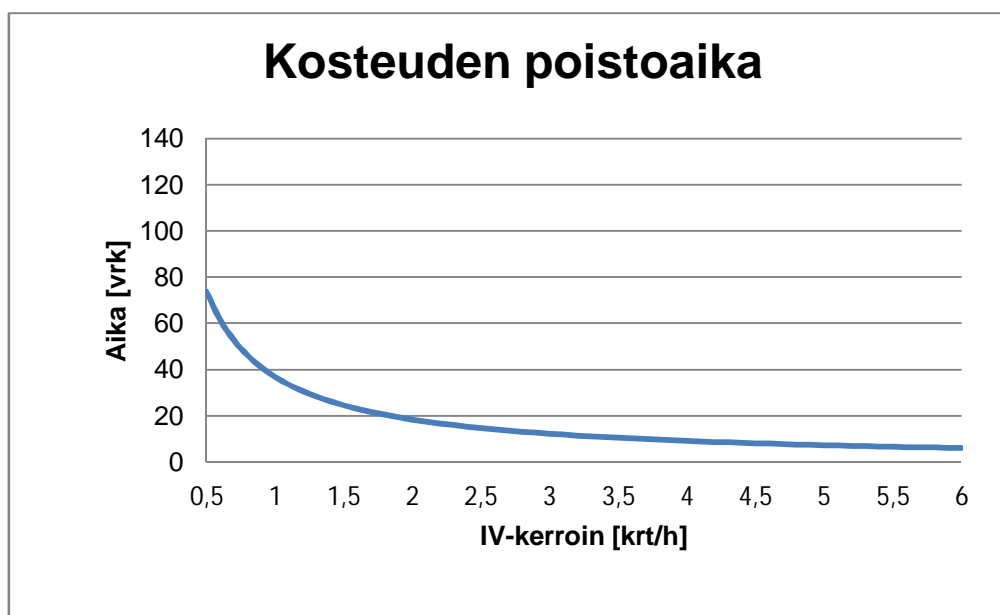
Ohjelma sisältää valmiiksi kuukausittaiset keskilämpötilat sekä ilman kosteudet. Tutkitaan rakennuksen kuivattamista helmikuussa, jolloin ulkoilman vesihöyryn määrä on pieni. Betonin kuivumisen kannalta suotuisat kuivausolosuhteet on + 22 °C ja RH 55 %. Syötetään lähtötiedot ohjelmaan.

Taulukko 6. Rakennuksen kuivaaminen ulkoilmalla helmikuussa

### Laskelman lähtötiedot

Rakennuksen tilavuus	29460	m <sup>3</sup>
Poistettava vesimäärä	206220	litraa
Ulkoilman lämpötila	-4,9	°C
Ulkoilman suhteellinen kosteus	83	Rh %
Sisäilman lämpötila	22	°C
Sisäilman suhteellinen kosteus	55	Rh %
Ilmanvaihtokerroin	0,5	krt/h
Energian hinta	9	snt/kWh
Ilman vaihto	14730	m <sup>3</sup> /h
	4,1	m <sup>3</sup> /s
	5,012	kg/s
Vaipan W/K/RM3	0,082	
Ilman ominaislämpökapasiteetti	1,012	kJ/kgK
Ilman tiheys	1,225	kg/m <sup>3</sup>
Veden ominaishöyrystymislämpö	2,54	MJ/kg

Ilmanvaihtokertoimella säädetään rakennuksen kosteudenpoistoaikaa.



Kuva 55. Ilmanvaihtokertoimen vaikutus kuivumisaikaan

Diagrammista valitaan ilmanvaihtokerroin, kun tiedossa on rakennuksen kuivatukseen käytettävä aika. Ohjelma laskee tämän jälkeen teoreettisen kuivatusajan sekä kuivaukseen käytetyn energiakustannuksen.

## Yksittäisellä IV-kertoimen arvolla laskettu kosteudenpoisto aika

	Lämpötila (°C)	Max absoluuttinen kosteus vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )	absoluuttinen kosteus Rh %	absoluuttinen kosteus vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )
Tuleva ilma	-4,9	3,36	83	2,79
Lähtevä ilma	22	19,40	55	10,67
erotus (°C)	26,9		erotus (g/m <sup>3</sup> ):	7,88
Kosteuden poisto aika, teoreettinen (h)		1776,50	=	<b>74</b> vrk
Kosteuden poisto aika (h)		672		
Lämmitysteho, IV (kW):		136,45		
Lämmitysteho, haihdutus [kW]		81,90		
Lämmitysteho, vaippa		64,98		
Lämmitysteho (kW):		283,33		
Lämmitysenergia (MWh):		190,40	=	<b>17136</b> euroa

Kuva 56. Kosteudenpoisto aika ja energian kulutus helmikuussa

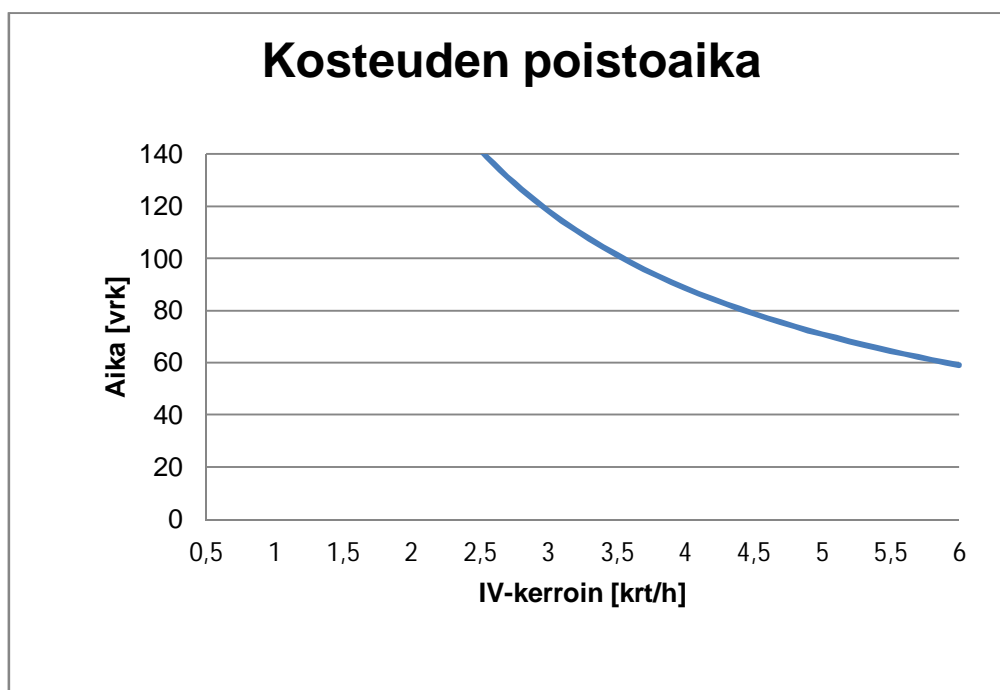
Laskelmassa on jouduttu tekemään pelkistys- ja yksinkertaistuksia. Esimerkiksi betonin kykyä kosteuden luovutukseen ei ole huomioitu. Käytännössä betonin kyky kosteuden luovutukseen on hitaampaa kuin ilmanvaihdon kyky poistaa kosteutta.

Kuten esimerkistä ilmenee, ulkoa otettava ilma on korkeasta suhteellisesta kosteudesta hyvin kuivaa. Tarkastellaan tilannetta, missä tuleva ilma on hyvin kostea. Tällainen tilanne on hyvin tyypillistä elokuussa. Pidetään haluttu sisäilman olosuhde vastaavana sekä ilman vaihtokerroin samana jotta saadaan vertailukelpoinen tulos.

Taulukko 7. Rakennuksen kuivaaminen ulkoilmalla elokuussa

### Laskelman lähtötiedot

Rakennuksen tilavuus	29460	m <sup>3</sup>
Poistettava vesimäärä	206220	litraa
Ulkoilman lämpötila	15,8	°C
Ulkoilman suhteellinen kosteus	73	Rh %
Sisäilman lämpötila	22	°C
Sisäilman suhteellinen kosteus	55	Rh %
Ilmanvaihtokerroin	0,5	krt/h
Energian hinta	9	snt/kWh
Ilman vaihto	14730	m <sup>3</sup> /h
	4,1	m <sup>3</sup> /s
	5,012	kg/s
Vaipan W/K/RM3	0,082	
Ilman ominaislämpökapasiteetti	1,012	kJ/kgK
Ilman tiheys	1,225	kg/m <sup>3</sup>
Veden ominaishöyrystymislämpö	2,54	MJ/kg



Kuva 57. Ilmanvaihtokertoimen vaikutus kuivumisaikaan

On havaittavissa, että ulkoilma ei enää kuivata rakennusta.

## Yksittäisellä IV-kertoimen arvolla laskettu kosteudenpoisto-aika

	Lämpötila (°C)	Max absoluuttinen kosteus		absoluuttinen kosteus	
		vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )	Rh %	vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )	
Tuleva ilma	15,8	13,49	73	9,85	
Lähtevä ilma	22	19,40	55	10,67	
erotus (°C)	6,2		erotus (g/m <sup>3</sup> ):	0,82	
Kosteuden poisto-aika, teoreettinen (h)		17043,45	=	710	vrk
Kosteuden poisto-aika (h)		744			
Lämmitysteho, IV (kW):		31,45			
Lämmitysteho, haihdutus [kW]		8,54			
Lämmitysteho, vaippa		14,98			
Lämmitysteho (kW):		54,96			
Lämmitysenergia (MWh):		40,89	=	3680	euroa

Kuva 58. Kosteudenpoisto-aika ja energian kulutus elokuussa

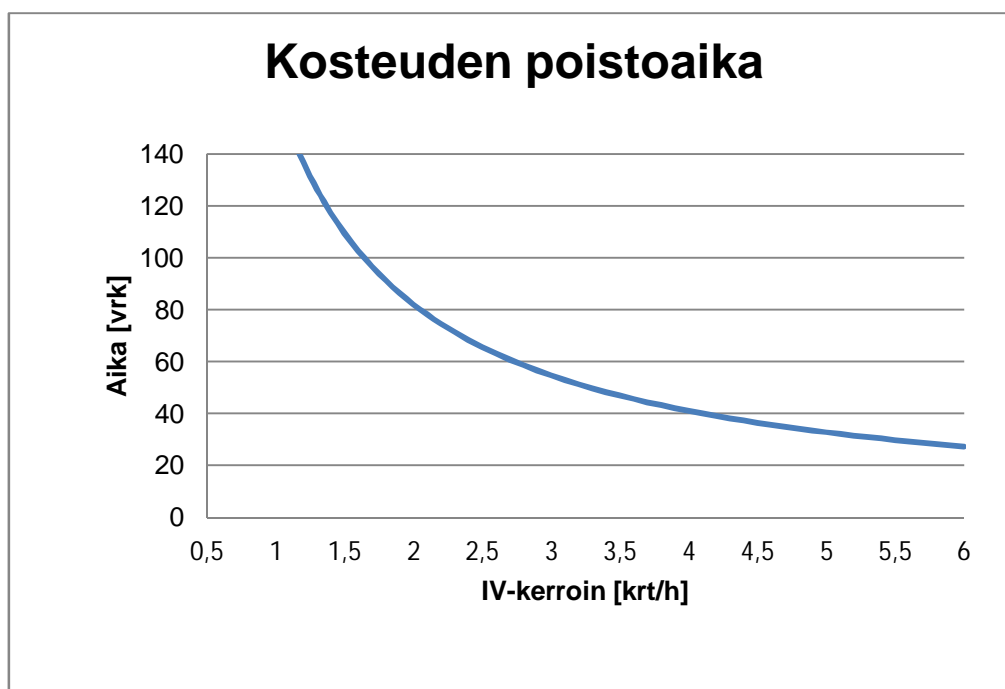
Ulkoilman ja sisäilman välisen vesihöyrynpitoisuuden ero hyvin pieni. Vesihöyryn osapaine-erot aiheuttavat luonnonilmiön diffuusion, mikä tarkoittaa vesihöyryn eri pitoisuuksien pyrkimystä tasaantua. Vesihöyry siirtyy diffuusiolla suuremmasta vesihöyrypitoisuudesta pienempää, eli suuremmasta vesihöyryn osapaineesta pienempään. Rakennuksissa diffuusion suunta on useimmiten sisältä ulospäin, sillä sisäilmassa on enemmän kosteutta kuin ulkoilmassa. Lämpötilaero ei kuitenkaan määrää diffuusion suuntaan.

Kuten esimerkistä huomataan, diffuusion suunta on vielä sisältä ulospäin, mutta tuleva ilma ei ole riittävän kuivaa vastaanottamaan ympäröivää kosteutta, mikä näkyy pitkänä kuivausaikana. Tällaisissa tilanteissa tulee sisäilman lämpötilaa nostaa tai ilmaa kuivattaa. Vertaillaan kuivatusaikaa ja kustannuksien vaikutusta, kun sisäilman lämpötilaa nostetaan 1,5 °C:lla, mutta pidetään ilmanvaihtokerroin sekä sisäilman suhteellinen kosteus vastaavina.

Taulukko 8. Rakennuksen kuivaaminen sisälämpötilaa nostattamalla

## Laskelman lähtötiedot

Rakennuksen tilavuus	29460	m <sup>3</sup>
Poistettava vesimäärä	206220	litraa
Ulkoilman lämpötila	15,8	°C
Ulkoilman suhteellinen kosteus	73	Rh %
Sisäilman lämpötila	23,5	°C
Sisäilman suhteellinen kosteus	55	Rh %
Ilmanvaihtokerroin	0,5	krt/h
Energian hinta	9	snt/kWh
Ilman vaihto	14730	m <sup>3</sup> /h
	4,1	m <sup>3</sup> /s
	5,012	kg/s
Vaipan W/K/RM3	0,082	
Ilman ominaislämpökapasiteetti	1,012	kJ/kgK
Ilman tiheys	1,225	kg/m <sup>3</sup>
Veden ominaishöyrystymislämpö	2,54	MJ/kg



Kuva 59. Ilmanvaihtokertoimen vaikutus kuivumisaikaan

## Yksittäisellä IV-kertoimen arvolla laskettu kosteudenpoisto-aika

	Lämpötila (°C)	Max absoluuttinen kosteus		absoluuttinen kosteus	
		vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )	Rh %	vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )	
Tuleva ilma	15,8	13,49	73	9,85	
Lähtevä ilma	23,5	21,13	55	11,62	
erotus (°C)	7,7		erotus (g/m <sup>3</sup> ):	1,77	
Kosteuden poisto-aika, teoreettinen (h)		7890,86	=	329	vrk
Kosteuden poisto-aika (h)		744			
Lämmitysteho, IV (kW):		39,06			
Lämmitysteho, haihdutus [kW]		18,44			
Lämmitysteho, vaippa		18,60			
Lämmitysteho (kW):		76,10			
Lämmitysenergia (MWh):		56,62	=	5096	euroa

Kuva 61. Kosteudenpoisto-aika ja energian kulutus lämpötilaa nostamalla

Kuivumisaika lyheni lähes kaksinkertaisesti. Ilman vaihdon ollessa 0,5 <sup>1</sup>/h poistuu rakennuksesta ilmaa 14 730 m<sup>3</sup>/h. Rakennuksesta poistuu kosteutta tällöin 26 l/h. Kuten kuivumisajasta näkee, on yli 300 vuorokauden kuivumisaika liian pitkä rakentamisen aikana. Tämä esimerkki koskeekin vain yksittäistä olosuhdetta, mutta antaa hyvän kuvan olosuhteiden merkityksestä kuivaukseen. Lisätään ilmanvaihtoluku 1,2:een, mutta pidetään lämpötila samassa lähtötiedossa.

## Yksittäisellä IV-kertoimen arvolla laskettu kosteudenpoisto-aika

	Lämpötila (°C)	Max absoluuttinen kosteus		absoluuttinen kosteus	
		vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )	Rh %	vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )	
Tuleva ilma	15,8	13,49	73	9,85	
Lähtevä ilma	22	19,40	55	10,67	
erotus (°C)	6,2		erotus (g/m <sup>3</sup> ):	0,82	
Kosteuden poisto-aika, teoreettinen (h)		7101,44	=	296	vrk
Kosteuden poisto-aika (h)		744			
Lämmitysteho, IV (kW):		75,48			
Lämmitysteho, haihdutus [kW]		20,49			
Lämmitysteho, vaippa		14,98			
Lämmitysteho (kW):		110,94			
Lämmitysenergia (MWh):		82,54	=	7429	euroa

Kuva 62. Ilmanvaihdon vaikutus kuivumisaikaan on suurempi kuin lämpötilan vaikutus

Nostetaan sisälämpötila 23,5 °C asteeseen ja pidetään ilmanvaihtoluku 1,2:ssa.

## Yksittäisellä IV-kertoimen arvolla laskettu kosteudenpoisto-aika

	Lämpötila (°C)	Max absoluuttinen kosteus		absoluuttinen kosteus	
		vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )	Rh %	vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )	
Tuleva ilma	15,8	13,49	73	9,85	
Lähtevä ilma	23,5	21,13	55	11,62	
erotus (°C)	7,7		erotus (g/m <sup>3</sup> ):	1,77	
Kosteuden poisto-aika, teoreettinen (h)		3287,86	=	137	vrk
Kosteuden poisto-aika (h)		744			
Lämmitysteho, IV (kW):		93,74			
Lämmitysteho, haihdutus [kW]		44,25			
Lämmitysteho, vaippa		18,60			
Lämmitysteho (kW):		156,59			
Lämmitysenergia (MWh):		116,51	=	10485	euroa

Kuva 63. Kosteudenpoisto-aika ja energian kulutus lämpötilaa nostamalla ja ilmanvaihtoa lisäämällä

Kuivausaika saatiin kohtuulliseksi pienellä lisäyksellä, mutta haluttu muutos näkyy kustannuksissa. Kustannus on kuitenkin kohtuullinen, sillä rakentamiseen käytettävällä ajalla on suuri merkitys kustannuksiin.

Rakennuksen kuivatusta voidaan tehostaa ilman kuivaimilla. Kappaleessa 4.2.3 käsiteltiin adsorptiokuivaimen toimintaperiaatetta sekä toimintavyöhykettä. Vertaillaan kuivausaikaa ilman kuivaimen avulla. Adsorptiokuivauksessa on oleellista, että rakennus on mahdollisimman tiivis, joten laskennassa ei oteta huomioon rakennuksen ilmanvuotoa. Ilmanvaihtokertoimena käytetään laitetoimittajan ilmoittamaa ilmanvaihtokapasiteettia m<sup>3</sup>/h.

Eri kuivainvalmistajia haastatteleamalla saatiin selville, että kuivatettava prosessi-ilma palautuu kuivatettavaan tilaan RH 5 – 10 %:na, ja lämpötila on lähellä kuivatettavan tilan lämpötilaa. Laskentamallin yksinkertaistuksen vuoksi käytetään ilmankuivaimen tuloilman suhteellisenä kosteutta RH 10 % ja lämpötilaa sisäilmaa vastaavana. Lisäksi otetaan laskennassa huomioon kuivainlaitteen sähkönkulutus energiakustannusten vertailua varten. Laitetoimittajan ohjeistuksessa ilmoitetaan, että laitekapasiteettia laskettaessa jaetaan ilmoitettu ilmamäärä (m<sup>3</sup>/h) kahdella, jolloin saadaan kuutiomäärä (m<sup>3</sup>), johon laitekapasiteetti riittää tehokkaasti.

#### **Adsorptiokuivaimen ominaistehot ja kapasiteetti + 20 °C lämpötilassa ja RH 60 %**

- Vedenerottelukyky 4600 g/h
- Kuivailmanmäärä 1000 m<sup>3</sup>/h
- Märkäilman määrä 250 m<sup>3</sup>/h
- Sähkön kulutus 6,4 kW

Taulukko 9. Rakennuksen kuivaaminen adsorptiokuivaimella

## Laskelman lähtötiedot

Rakennuksen tilavuus	29460	m <sup>3</sup>
Poistettava vesimäärä	206220	litraa
kuivausilman lämpötilä	22,0	°C
kuivausilman suhteellinen kosteus	10	Rh %
Sisäilman lämpötilä	22	°C
Sisäilman suhteellinen kosteus	55	Rh %
Ilmanvaihtokerroin	0,5	krt/h
Energian hinta	9	snt/kWh
Ilman vaihto	14730	m <sup>3</sup> /h
	4,1	m <sup>3</sup> /s
	5,012	kg/s
adsorptiokuivurin prosessi-ilma	1000	m <sup>3</sup> /h
laitekapasiteetti (ilmanvaihto/2)	500	m <sup>3</sup> /h
vaadittava kuivureiden määrä	29	kpl
Vaipan lämpöhäviö	0,082	W/K/Rm <sup>3</sup>
ilman ominaislämpökapasiteetti	1,012	kJ/KgK
kuivauksen käyttöteho	6,400	kWh
Ilman tiheys	1,225	kg/m <sup>3</sup>
Veden ominaishöyrystyslämpö	2,54	MJ/kg

Adsorptiokuivauksella laskettu kosteudenpoisto-aika				
	Max absoluuttinen kosteus			absoluuttinen kosteus
	Lämpötila (°C)	vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )	Rh %	vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )
Tuleva ilma	22	19,40	10	1,94
Lähtevä ilma	22	19,40	55	10,67
erotus (°C)	0		erotus (g/m <sup>3</sup> ):	8,73
Kosteuden poisto-aika, teoreettinen (h)		1603,79	=	<input type="text" value="67"/> vrk
Kosteuden poisto-aika (h)		744		
Lämmitysteho, IV (kW):		0,00		
kuivausteho, kuivain (kW):		188,54		
Lämmitysteho, haihdutus [kW]		90,72		
Lämmitysteho, vaippa		0,00		
vaipan lämpöhäviö ?? Tarkasta		2,42		
Lämmitysteho (kW):		281,68		
Lämmitysenergia (MWh):		209,57	=	<input type="text" value="18861"/> euroa

Kuva 64. Rakennuksen kosteuden poisto-aika ja energian kulutus adsorptiokuivaimella

Kuivatusaika lyheni huomattavasti, mutta energian kulutus kasvoi vastaisuudessa. Nyt laitemäärä on ylimitoitettu tilaan nähden, lisäksi betonin ei pysty luovuttamaan kosteutta niin nopeasti kuin ilmaa kuivatettaisiin. Tarkastellaan tilannetta puolet pienemmällä laitemäärällä.

Adsorptiokuivauksella laskettu kosteudenpoisto aika				
	Max absoluuttinen kosteus			absoluuttinen kosteus
	Lämpötila (°C)	vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )	Rh %	vesimäärä (g/m <sup>3</sup> )
Tuleva ilma	22	19,40	10	1,94
Lähtevä ilma	22	19,40	55	10,67
erotus (°C)	0		erotus (g/m <sup>3</sup> ):	8,73
Kosteuden poisto aika, teoreettinen (h)		3207,59	=	134
Kosteuden poisto aika (h)		744		
Lämmitysteho, IV (kW):		0,00		
kuivausteho, kuivain (kW):		94,27		
Lämmitysteho, haihdutus [kW]		45,36		
Lämmitysteho, vaippa		0,00		
vaipan lämpöhäviö ?? Tarkasta		2,42		
Lämmitysteho (kW):		142,05		
Lämmitysenergia (MWh):		105,68	=	9512
				euroa

Kuva 65. Rakennuksen kosteuden poisto aika ja energian kulutus kuivaimien kappalemäärää pienentämällä

Kuivumisaika on realistinen ja kuivumiseen käytetty energiakustannus kohtuullinen.

## 7 Johtopäätökset

Rakentamisen kosteudenhallinnan vaatimukset eivät ole viime vuosina kiristyneet, samat fysiikan lait pätevät edelleenkin. Rakennuksesta ei saa olla haittaa käyttäjän terveydelle. Kosteudenhallinnan menetelmät ovat sen sijaan kiristymässä, ts. kosteudenhallintamenetelmien laatutasoa tullaan tulevaisuudessa korostamaan. Ympäristöministeriön kuin Eduskunnan linjauksessa halutaan selkeitä toimenpiteitä rakentamisen kosteudenhallintaan. Toimenpiteitä ovat mm. sääsuojauksen velvoittaminen, kosteudenhallinnasta vastaavan henkilön nimeäminen projektille sekä rakennusfysikaaliseen suunnitteluun panostaminen.

Tutkimustyössä haettiin kustannustehokkaita menetelmiä työmaan kosteudenhallintaan. Betoni rakennusaineena on hyvä ja kestävä, mutta kuivuu hitaasti. Betonin kuivumista ei ole vielä kemiallisesti pystytty nopeuttamaan riittävästi, joten kuivattaminen tapahtuu edelleen työmaalla fysikaalisesti. Kustannustehokkaita kosteudenhallintamenetelmiä ovat

betonin kuivumisajan tunnistaminen

betonin kastumisen estäminen

betonin kuivumisolosuhteiden järjestäminen

Betonin kuivumisaika on tänä päivänä suhteellisen helposti arvioitavissa ja tietoakin on helposti saatavilla. Työmaan aikataulua laadittaessa on hyvä käyttää apuna betonin – kuivumisaika-arvion laskelmia. Näin vältetään laatuvirheitä, kun betonin kuivumiselle on varattu riittävästi aikaa ja eri työvaiheet on sovitettu sen mukaisesti.

Sadepäivät viivästyttävät rakentamista sekä aiheuttaa ylimääräistä suojaamista. Sääsuojauksella estetään niin materiaalien kastuminen kuin työvaiheiden keskeytyminen. Sääsuojaus voidaan tehdä kustannustehokkaasti, kun tiedostetaan miten sääsuoja voidaan pystyttää. Erittäin oleellista on tunnistaa kaikki työlajit mitkä tehdään sääsuojan alla. Sääsuoja ei saa olla esteenä työn suorittamiselle. Kustannustehokasta suojaamista on se, että työt voidaan suorittaa sääsuojan alla yhtäjaksoisesti ja esteettömästi,

tällöin säästetään vuokratukustannuksissa. Rakennuksen koosta ja muodosta riippuen sääsuojaa ei aina voida rakentaa niin, että se olisi kaikin puolin esteetön työn suorittamiselle. Jälkitöiden määrän minimoimiseksi tulee osata tunnistaa ne työvaiheet mitkä tulee tehdä sääsuojan jälkeen ja suunnitella työvaiheiden toteutus tehtäväksi kertaluontoisesti.

Kuivausolosuhteissa tyydytään valitettavan usein vallitseviin olosuhteisiin. Olosuhteita ei niinkään hallita vaan olosuhteet, yleensä ulkoilma hallitsee rakentamista. Oleellista on tunnistaa rakennuksen sisävalmistusvaiheessa vallitsevat olosuhteet ja reagoida niihin. Sisäilman olosuhteita voidaan hallita seuraavin menetelmin

- Rakennuksen tiivistäminen
- Lämmön nostaminen
- ilmanvaihto
- ilman kuivaaminen.

Eri olosuhteissa käytetään eri menetelmiä. Kun on kylmä ja veto käy, lisätään rakennuksen tiivistystä ja nostetaan lämpöä. Yleensä väliaikaisten suojauksien ja oviaukkojen parantaminen parantaa lämpöhäviötä huomattavasti. Kesällä yleensä tuntuu, että ilma ei liiku ja ilma on raskas. Tällöin tulee ilmanvaihtoa tehostaa puhaltimin sekä mahdollisesti ottaa avuksi ilmankuivaimia.

Kaikkea edellä mainittua hallitsee aikataulu. Kun työt etenevät aikataulussa eivät kustannukset karkaa, kun aikataulusta viivästyään vaikuttaa se rakennuksen loppulähtöön. Kuivumisen kannalta aikataulua on vaikea nopeuttaa. Oikeastaan kuivumiseen voidaan vaikuttaa betonin vesi-sementtisuhteella sekä olosuhteiden hallinnalla. Näissäkin tulee rajansa vastaan.

Ympäristöministeriön hometalkoot projektilla sekä eduskunnan kannanotolla halutaankin enemmän nostaa kosteudenhallinnan tärkeyttä ja merkitystä rakentamisessa. Ennen ohjeistuksena olleet kosteudenhallintamenetelmät muuttuvat velvoittaviksi. Toisaalta tämä yhtenäistää rakennusurakoinnin kilpailua eikä halvimmän tarjouksen jättäjä ole enää se, joka ei laskenut rakennukselle sääsuojasta.

## Lähteet

- 1 Siikanen, Unto. 2015 Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto
- 2 RT 05 -10710. 1999. Ohjetiedosto. Kosteusrakenteissa. Rakennustieto Oy
- 3 Verkkodokumentti. < <http://ilmatieteenlaitos.fi/syyskuu> >. Luettu 1.5.2015
- 4 RT 83 -11032. 2001. Ohjetiedosto. Vedenpaineeneristys. Rakennustieto Oy
- 5 Rafnet – oppimateriaalin teorian osio K (kosteus). 2004. Rakennusfysiikka rakennusinsinööreille, Kosteus. Rafnet-ryhmä
- 6 Vinha, Juha. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta Suomen ilmastossa, 2008, Tampereen teknillinen yliopisto
- 7 Merikallio Tarja, Niemi Sami, Komonen Juha. 2008. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Suomen Betonitieto Oy
- 8 Maankäyttö- ja rakennuslaki. 1999
- 9 Verkkodokumentti <[http://ec.europa.eu/atwork/applying-eu-law/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/atwork/applying-eu-law/index_en.htm)>. Luettu 1.3.2015
- 10 Maankäyttö- ja rakennusasetus. 1999, 216/215
- 11 Verkkodokumentti  
<[http://www.ym.fi/fi/maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakennustuotteita\\_koskeva\\_lainsaadanto](http://www.ym.fi/fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennustuotteita_koskeva_lainsaadanto)>. Luettu 1.2.2015
- 12 Verkkodokumentti <<http://www.edilex.fi/rakentamismaaraykset>>. Luettu 1.2.2015
- 13 Verkkodokumentti <<http://www.eduskunta.fi>> . Luettu 1.2.2015
- 14 C2 Kosteusmääräysten toimivuuden arviointi (RakMK C2 toimivuus). Loppuraportti, Vahanen Oy. Verkkodokumentti.  
<<http://www.ym.fi/download/noname/%7B6EB2A5F6-6FB4-4FA8-B2FD-FFE0DE5E3E06%7D/106636>> . Luettu 1.3.2015
- 15 Pirinen, J. 1999. Hyvän rakennustavan mukainen pientalojen kosteuden hallinta eri vuosikymmeninä. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto.

- 16 MaaRYL 2010, RT 14–11005, Rakennussäätiö RTS, Rakennustieto Oy
- 17 RunkoRYL 2010, RT 14–11016, Rakennussäätiö RTS, Rakennustieto Oy
- 18 SisäRYL 2013, RT 14–11104, Rakennussäätiö RTS, Rakennustieto Oy
- 19 RT 14 – 10984, 2010. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen, Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy
- 20 Opetusmateriaali ammattikäyttöön, isot työmaat. Kuivanapito suojaamalla, 2013. Mittaviiva Oy, Rakennusteollisuus, kosteus- ja hometalkoot
- 21 Rakentajan kalenteri, 2012. Rakennussäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry
- 22 Mölsä, Seppo, Lähtilä Hannu. 2014. Pakollisella sääsuojauksella edistetään puukerrostalorakentamista, Rakennuslehti 28.3.2014, Sanoma Tekniikkajulkaisut Oy
- 23 Merikallio Tarja, 2011 Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi, Betonikeskus ry, Suomen rakennusmedia Oy
- 24 Ramirent, 2015. Referenssikortti. Verkkodokumentti <[http://www.ramirent.fi/files/attachments/ramirent\\_fi/referenssit/jorvin\\_sairaala.pdf](http://www.ramirent.fi/files/attachments/ramirent_fi/referenssit/jorvin_sairaala.pdf)>. Luettu 1.4.2015
- 25 S-1232, 2013. Rakennustyömaan sääsuojaus, RATU suunnitteluohje. Rakennustieto Oy, Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2013
- 26 Laine Sami, Viljanen Klaus, Kettunen Ari-Veikko. 2012. Tutkimusraportti, LECA kevytsorakatot, raportti B, kastuneen kevytsorakaton rakennusfysikaalinen toiminta, Sain-Gobain Weber Oy Ab
- 27 Kosteudenhallinnan käsikirja, kuivatuksen teoriaa ja parhaita käytäntöjä. ASTQ Supply House Oy
- 28 Verkkodokumentti. <<http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/kosteudenhallinta>>. Luettu 1.11.2014
- 29 Lahdensivu Jukka, Suonketo Jommi, Vinha Juha, Lindberg Ralf, Manelius Elina, Kuhno Vesa, Saastamoinen Kari, Salminen Kati, Lahdesmäki Kimmo. 2012. Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu- ja toteutusohjeita. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos
- 30 Lassila, Ari-Pekka, Kandidaatintyö, Rakentamisen aikainen betonirakenteiden tehokastyö, Tampereen teknillinen yliopisto

- 31 Merikallio, Tarja. 2009. Betonilattian ”riittävän kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa. TKK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitoksen väitöskirja. TKK-R-VK4
- 32 Verkkodokumentti.< <http://www.paroc.fi/ratkaisut-tuotteet/asennus/yleiset-kasittelyohjeet>>. Luettu 1.6.2015
- 33 Verkkodokumentti. <<http://www.tut.fi/fi/tietoa-yliopistosta/laitokset/rakennustekniikka/tutkimus/rakennustuotanto-ja--talous/rakentamisen-prosessit/rakennustuotanto/site/index.htm>>. Luettu 1.6.2015
- 34 Ahokas, Jukka, Koivisto, Kimmo. 1983. Energiansäästö viljankuivatuksessa, Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos
- 35 Verkkodokumentti <[http://www.gles.fi/pdf/GLES\\_kuivausohje.pdf](http://www.gles.fi/pdf/GLES_kuivausohje.pdf)>. Luettu 15.5.2015
- 36 Verkkodokumentti <<http://rfsensit.fi/rakennusaikainen-seuranta>>. Luettu. 16.10.2014
- 37 Palomäki, Jenni. 2010. Talvityö ja –kustannukset. Ratu C8-0377. Rakennusteollisuus ry ja Rakennussäätiö. Mittaviiva Oy