

Kari Ahola

# Rakenteiden kuivumisen varmistaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

1.11.2014

Tekijä Otsikko	Kari Ahola Rakenteiden kuivumisen varmistaminen
Sivumäärä Aika	32 sivua 1.11.2014
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Talonrakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennusalan työnjohto
Ohjaaja(t)	Markus Immonen, lehtori
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena on rakenteiden kuivumisen varmistaminen. Työn tilaajana on Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kosteus- ja homeongelmia on pidetty pääsääntöisesti vanhempien rakennusten ongelmana. Vaikka rakennukset olisikin rakennettu senhetkisten määräysten ja parhaan tiedon mukaisesti, ovat tietyt rakenteet osoittautuneet rakennusfysikaalisesti toimimattomiksi. Myös tilojen käyttötarkoituksen muuttuminen on saattanut aiheuttaa ongelmia rakenteiden toimivuudessa.</p> <p>Viime vuosina erityyppisiä kosteus- ja sisäilmaongelmia on esiintynyt myös vain muutaman vuoden vanhoissa rakennuksissa. Vaikka rakentamisessa olisikin noudatettu hyvää rakennustapaa, on mahdollista, että esimerkiksi tiukka aikataulu, rakennusaikaiset vesivahingot tai radikaalisti muuttuneet olosuhteet ajavat urakoitsijan ottamaan tietoisia riskejä. Toisinaan myös huono ennakointi edesauttaa kiireen syntymisessä.</p> <p>Opinnäytetyön lähdeaineistona käytettiin viranomaismääräyksiä, aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja internetiä. Lisäksi haastateltiin muutamaa alan asiantuntijaa. Myös työn kirjoittajan kokemus työmaan olosuhdehallinnan parissa auttoi opinnäytetyön tekemisessä.</p> <p>Lopputuloksena on tiivis kooste sääsuojauksesta, eri lämmitysmuodoista, kuivausmenetelmistä ja rakenteiden pinnoitettavuuden mittauksista, jota työmaan olosuhde- ja kosteudenhallintaan liittyvistä asioista vastaava työnjohtaja voi käyttää työkalunaan.</p>	
Avainsanat	kosteus, lämmitys, kuivaus, kosteudenhallinta

Author(s) Title	Kari Ahola Assurance of Drying of Construction Parts.
Number of Pages Date	32 pages 1 November 2014
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	Building Construction
Instructor	Markus Immonen, Senior Lecturer
<p>Subject of this thesis is securing the drying of the structural parts of a building. The commissioner of the thesis is Metropolia University of Applied Sciences. Moisture and mold problems have mainly been considered a problem of older buildings. A number of structures have been proven inoperative from building physics point of view, even though the buildings were built in compliance with the regulations valid at the time and in accordance with the best information. Also, changes in the intended use of the premises may have caused problems with the functionality of the structures.</p> <p>In recent years, various types of humidity and indoor air quality problems have also occurred in buildings that are only a few years old. Although good building practice was followed during the construction, it is possible that, for example tight schedule, water damage during construction or radically changed circumstances drive the contractor to take risks knowingly. Sometimes, poor forecasting generates urgency.</p> <p>The official regulations, related literature and the Internet were used as the sources of information for this thesis. In addition, a few experts in the field were interviewed. Also, the author's experience in the field helped in compiling the thesis.</p> <p>The end result is a concise summary of weather protection, various forms of heating, drying processes and surfacing measurements of structures, which a foreman responsible for site conditions and moisture management can use as a tool.</p>	
Keywords	humidity, heating, drying, moisture management

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lait ja määräykset	2
3	Rakentamisolosuhteet Suomessa	3
4	Sääsuojaus	5
5	Rakennusaikainen lämmitys	6
5.1	Lämmitysmuodot	7
5.1.1	Nestekaasulämmitys	7
5.1.2	Polttoöljykäyttöinen lämmitys	12
5.1.3	Kiertovesilämmitys	13
5.1.4	Sähkölämmitys	16
6	Rakennusaikainen kuivaus	17
6.1	Kuivausmenetelmät	17
6.1.1	Tilakuivaus	17
6.1.2	Eristetilakuivaus	19
6.1.3	Ontelokuivaus	20
7	Betonilattian kuivuminen	24
8	Kosteusmittaus	25
8.1	Rakenteiden suhteellisen kosteuden mittaus	25
8.2	Sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus	29
9	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

**Käsitteitä:**

Absoluuttinen kosteus	Ilman sisältämän vesihöyryn massa tarkasteltavassa tilavuudessa, yksikkö yleensä g/m <sup>3</sup> .
Diffuusio	Vesihöyryn siirtyminen suuremmasta vesihöyrypitoisuudesta pienempään.
Hydratoituminen	Sementin reagointi veden kanssa, mikä johtaa sementin ja veden seoksen kemiallisiin ja fysikaalisiin muutoksiin.
Kapilaarisuus	Rakennusaineen tai maaperän kyky imeä ja siirtää vettä itseensä niiden ollessa kosketuksissa veden kanssa.
Kondenssi	Lämpimän ilman sisältämä vesihöyry tiivistyy kylmälle pinnalle.
Suhteellinen kosteus RH	Ilman sisältämän vesihöyryn määrä suhteessa suurimpaan mahdolliseen määrään, jonka ilma voi kyseisessä lämpötilassa sisältää.
Terminen talvi	Vuorokauden keskilämpötila pysyy alle 0 °C lämpötilan.
Vesihöyryn osapaine	Ilman vesihöyryn painetta tarkasteluhetkellä vallitsevassa lämpötilassa.
Vesi-sementtisuhte, v/s	Betonimassan sisältämän vesimäärän ja sementin painon suhte.

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on rakenteiden kuivumisen varmistaminen. Erityyppiset kosteusongelmat ovat varsin yleisiä nykyään jopa vain muutaman vuoden ikäisissä rakennuksissa. Työmaan olosuhteiden hallinnan tavoitteena on kosteusriskien pienentäminen ja rakenteiden kuivuminen pinnoituskelpoisiksi rakentamisaikataulun mukaisesti. Kosteudenhallinnan on oltava luonnollinen osa työmaan työsuunnittelua ja laadunhallintaa (1, s. 94). Työnjohdon on siis tiedettävä millaiset olosuhteet on luotava, että rakenteiden kuivuminen määrätysajassa on mahdollista. Lisäksi työnjohdolla on hyvä olla ainakin perustiedot rakennusaikaisista lämmitys- ja kuivausjärjestelmistä. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on helpottaa työmaan olosuhde- ja kosteudenhallintaan liittyvistä asioista vastaavan työnjohtajan päätöksentekoa esim. lämmitys- ja kuivauskaluston valinnassa.

Rakenteiden pinnoituskelpoisuus on osoitettava mittauksin. Kosteusmittausten oikea-aikainen aloittaminen ja suunnitellusti tehdyt seurantamittaukset ovat tärkeä osa seurattaessa rakenteiden kuivumista. Näistä kosteusmittauksista voidaan myös tulkita, kuinka hyvin työmaan kosteudenhallinta on onnistunut. Puutteellinen lämmitys, suojausten pettäminen tai muut kuivumista hidastavat seikat on yleensä suoraan luettavissa kosteusmittaustuloksista. Tässä opinnäytetyössä selvitetään kosteusmittauskohtien sijaintiin ja määrään vaikuttavia tekijöitä ja helpottaa siten kosteusmittaussuunnitelman laadintaa.

Tämän opinnäytetyön tekemistä auttoi kirjoittajan kokemus työmaan olosuhdehallinnasta. Lisäksi lähdeaineistona käytettiin viranomaismääräyksiä, alaan liittyvää kirjallisuutta ja internetiä.

## 2 Lait ja määräykset

Maankäyttö- ja rakennusasetuksissa todetaan, että rakennuksen osien tai sisäpintojen kosteus ei saa aiheuttaa haittaa terveydelle tai hygienialle. Lain 152 §:ssä määrätään, että rakenteet on suunniteltava ja rakennettava siten, että ne täyttävät säädetyt olennaiset tekniset vaatimukset. Vaikka maankäyttö- ja rakennuslaissa ei määritellä tarkasti jokaisen yksittäisen ratkaisun toteuttamistapaa, vaan se määrittelee käsitteellisellä tasolla rakentamiselle asetetut tavoitteet ja noudatettavat menettelyt, on sen tavoitteilla keskeinen merkitys kosteudenhallinnan kannalta. Tavoitteita täydennetään Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa, jossa lisäksi määritellään myös suunnittelijoiden ja työnjohdon kelpoisuusvaatimuksia. (2, s. 19–20.)

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa C2 kohdassa 1.3 todetaan rakennusaikaisen kosteudenhallinnan osalta seuraavasti:

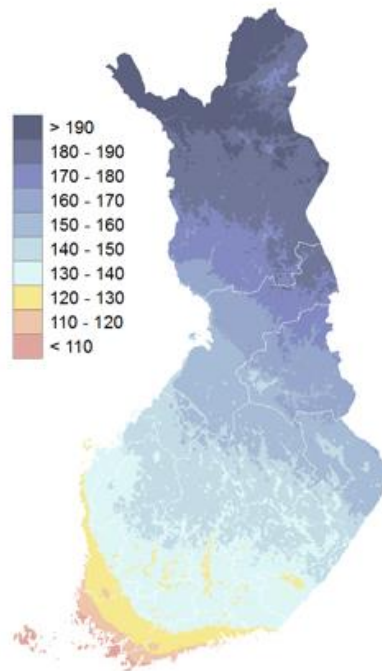
Rakennusaineet ja -tarvikkeet sekä rakennusosat on suojattava haitalliselta kastumiselta kuljetusten, varastoinnin ja rakentamisen aikana. Kosteiden rakenteiden ja rakennuskosteuden on annettava kuivua tai rakenteita on kuivatettava riittävästi, ennen kuin ne peitetään kuivumista hidastavalla ainekerroksella tai pinnoitteella.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma ei siis anna ohjearvoja esimerkiksi rakenteiden pinnoittamiskelpoisuuteen, vaan edellyttää rakennustyönjohdolta valveutuneisuutta eri materiaalien ja rakenteiden pinnoituskelpoisuusvaatimuksiin. Myös tuotevalmistajan ohjeistus on huomioitava. Hyvän rakentamistavan mukaiset tiedot saattavat muuttua ajan myötä ja vaativat näin ollen työnjohdoltakin jatkuvaa seurantaa ja ammattitaidon ylläpitämistä. (2, s. 20–21.)

Kaikki rakentamisprojektin kosteudenhallintaan liittyvät asiakirjat, kuten rakennusaikaiset kosteusmittaustulokset, kuivumisaika-arviot ja suoritettujen kosteudenhallintatoimenpiteet, on dokumentoitava. Myös eri rakennusvaiheiden aloitusajankohdat on kirjattava. Tämä on järkevää, koska mahdollisissa riitatapauksissa voidaan em. dokumenteilla todentaa esim. että rakenteet ovat olleet pinnoituskelpoisia päällysteitä asennettaessa ja mahdolliset jatkotutkimukset voidaan kohdentaa todennäköisempiin ongelmanaiheuttajiin. (2, s. 22)

### 3 Rakentamisolosuhteet Suomessa

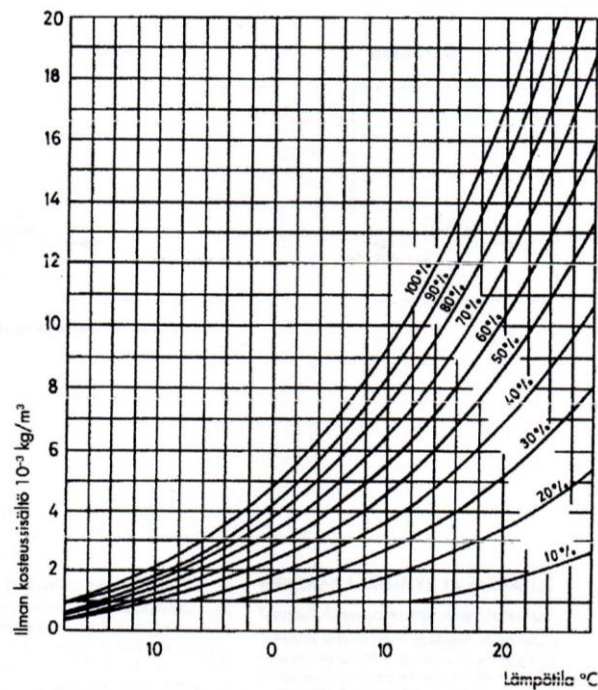
Suomen sääolosuhteet ovat rakentamista ajatellen hankalat. Etelä-Suomessakin, jossa olosuhteet ovat parhaat, joudutaan noin puolet vuotuisesta rakennusajasta suorittamaan olosuhteissa, joissa on huomioitava esim. lämpötilan, lumisateen tai sulamisvesien aiheuttavat toimenpiteet. Tässä tarkastelussa on otettu huomioon keskimääräisen termisen talven pituus (kuva 1) ja satunnaiset kylmät jaksot keväisin ja syksyisin.



Kuva 1. Suomen termisen talven pituus vuorokausina (3).

Talviolosuhteet tosin mahdollistavat hyvät kuivumisolosuhteet rakennuksen rungon valmistuttua, kunhan vain huolehditaan riittävästä lämmittämisestä järkevästi toteutetusta tuulettamisesta. Lämmin ja kostea ilma nousee ylöspäin, joten tuuletusaukkojen tulee myös sijaita kerrostalokohteissa ylimmässä kerroksessa. Tuuletusaukkojen mitoituksessa on oltava huolellinen, koska liiallinen tuulettaminen myös jäähyttää rakennusta ja lisää näin ollen myös energiakustannuksia tarpeettomasti. Lämpötilan nousun avulla rakenteiden kyky luovuttaa kosteutta kasvaa ja samalla sisäilman kyky vastaanottaa rakenteista poistuvaa kosteutta paranee. Ulkoilman suhteellinen kosteus RH ei muutu juurikaan eri vuodenaikoina, mutta ilman kosteussisältö vaihtelee merkittävästi. Esimerkiksi  $-20\text{ °C}$  lämpötilassa ilmassa voi olla vesihöyryä enintään  $0,89\text{ g/m}^3$ , kun taas vastaava luku  $+20\text{ °C}$  lämpötilassa on  $17,28$ . (4, s. 20.)





Kuva 2. Ilman kosteussisältö lämpötilan funktiona suhteellisen kosteuden eri arvoilla (5).

Kesä- ja syysaikaan, jolloin ulkoilman vesisisältö on korkea, rakenteiden kuivuminen hidastuu tai pysähtyy kokonaan. Tällöin kuivumista on edistettävä koneellisilla ilman-kuivaimilla ja puhaltimilla. Ihanteellisissa kuivumisolosuhteissa rakennuksen sisälämpötila on vähintään +20 °C ja ilman suhteellinen kosteus noin 50 % RH. Toisaalta rakenteiden kuivamisnopeus riippuu myös materiaalien kosteudensiirto-ominaisuuksista, joten sisäilman tarpeeton koneellinen kuivaaminen ei nopeuta oleellisesti esim. betoni-rakenteiden kuivumista.

Rakenteiden hyvien kuivumisolosuhteiden varmistaminen vaatii huolellista ennakkosuunnittelua. Tarvittavat lämmitys- ja kuivaussuunnitelmat on oltava tehtynä riittävän ajoissa, jotta viime hetken paniikkiratkaisuilta vältyttäisiin. Tämän kaltaisissa ratkaisuissa kustannukset yleensä ovat korkeammat kuin kohteessa, jossa ennakkovalmistelut on suoritettu ajallaan. Kustannuseroja voi syntyä esimerkiksi korkeampien kalustovuokrien muodossa. Myöskään kaluston saatavuus ei ole itsestäänselvyys sydäntalvella. Yleensä kannattaakin pyytää tarjoukset lämmitysjärjestelmistä kesällä tai viimeistään alkusyksystä varsinkin ison kohteen ollessa kyseessä.

## 4 Sääsuojaus

Työmaiden sääsuojaus on ollut viime aikoina eniten kasvanut osa-alue telinevuokrausliiketoiminnassa. Tätä kasvua varmastikin kiihdyttää entisestään aiheet määrätä sääsuojaus pakolliseksi. Betoniteollisuuden edustajien mukaan sääsuojausten määrääminen pakolliseksi on keino puurakentamisen edistämiseen samalla tavalla kuin yritys määrätä rakennusten sprinklaus pakolliseksi muuhunkin kuin puukerrostalorakennuksiin. Arviot sääsuojausten vaikutuksen rakentamisen kokonaiskustannuksiin vaihtelee kahden ja neljän prosenttiyksikön välillä riippuen kohteen koosta ja käytetystä sääsuojusta. Toisaalta sääsuojan käyttö saattaa vähentää kuivatusaikoja vuodenajasta riippuen, mutta suojausten merkitystä osana rakentamisen kuivaketjua ei voida vähätellä. (6.)

Taulukossa 1 on esitetty neljän eri kohteen sääsuojausten kustannusten jakautuminen. Todellisuudessa kohteiden sääsuojausten tarve vaihteli kahden ja kuuden kuukauden välillä, mutta vertailun helpottamiseksi kaikkiin kohteisiin laskettiin vuokratkustannukset kuuden kuukauden mukaan.

Taulukko 1. Rakennuksen sääsuojausten kustannusten muodostuminen.

	Kohde 1	Kohde 2	Kohde 3	Kohde 4
Vuokratkulut 6 kk	45 %	49 %	63 %	57 %
Asennus + purku	41 %	36 %	24 %	31 %
Nosturi	7 %	10 %	7 %	6 %
Peitteet + kiinnikkeet	1,3 %	1,7 %	0,6 %	1,6 %
Kuljetukset	5,7 %	3,3 %	5,4 %	4,4 %

Kahta täysin samanlaista sääsuojausta tuskin on olemassa. Taulukon kohteet poikkeavat toisistaan siten, että kohteiden 1 ja 4 sääsuojat on tuettu julkisivutelineiden päälle ja kohteiden 2 ja 3 suojat on tuettu vesikatolle. Kohteessa 1 on lisäksi siirtokiskot. Kustannusten muodostumista tarkastellessa voidaan havaita, että asennus- ja purkukustannusten osuus on merkittävä, kun vastaavasti sääsuojaiteiden ja kiinnikkeiden osuus on pieni.

Sääsuojan valintaan vaikuttaa mm. seuraavat seikat:

- suojattavan kohteen mitat, sijainti ja käyttöaika.
- suojataanko kohde kerralla vai osissa.
- sääsuojan siirron ja avauksen tarve.
- tuentamenetelmä.
- ankkurointitavat.

Edellä mainittujen asioiden lisäksi on kiinnitettävä huomiota nostokaluston sijoitukseen ja suojausmateriaalien varastointiin. Sääsuoja voi tukeutua suoraan maahan, rakennustelineisiin tai vesikaton päälle. Pohjan kantavuus on varmistettava jokaisessa tapauksessa. Sääsuojan on kestävä vähintään  $0,4 \text{ kN/m}^2$  tuulikuorma ja  $0,25 \text{ kN/m}^2$  lumi-kuorma. Suojan päälle kertynyt lumi ja jää on poistettava säännöllisesti. Sääsuojan ankkurointitarve on  $0,4 \text{ kN/m}^2$  ja suoritetaan siten, että se kestää Suomessa vallitsevat olosuhteet. (7, s. 11–13.)

Asennustyön jälkeen suoritetaan työmaalla käyttöönottotarkastus ja mahdolliset puutteet kirjataan käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan. Jos sääsuoja on joutunut poikkeuksellisen kuormituksen alaiseksi, on käyttöönottotarkastus uusittava. Poikkeuksellisen kuormituksen aiheuttaja voi olla esimerkiksi myrsky. Tarkastus on uusittava myös, jos suojaan on tehty merkittäviä muutoksia. Sääsuoja on tarkastettava viikoittain ankkuroinnin, päätyjen kiinnitysten ja vesipussien tai lumen poistamisen osalta. (7, s. 15.)

## 5 Rakennusaikainen lämmitys

Rakennusaikaiseen lämmitysmuodon valintaan vaikuttaa oleellisesti käynnissä oleva työvaihe. Yhtä lämmitysmuotoa ei yleensä ole järkevää käyttää koko rakennusprojektin ajan. Runkovaiheessa lämmitykset voidaan toteuttaa polttoöljy- tai nestekaasukäyttöisillä lämpöpuhaltimilla tai vaihtoehtoisesti nestekaasusäteilijöillä. Taulukossa 2 on esitetty eri energiamuotojen soveltuvuutta rakentamisen eri vaiheisiin.

Taulukko 2. Lämmitysmuotojen soveltuvuus eri työvaiheisiin.

<b>Energiamuoto</b> → <b>Työvaihe</b> ↓	Nestekaasu	Polttoöljy	Kiertovesi	Sähkö
Perustukset	X	X		
Runkovaihe	X	X		
Sisävalmistustyöt	(X)	X	X	X
Julkisivutyöt	X	X		
Saneeraukset	X	X	X	X

Kun rakennuksen vaippa on tiivis ja vesikatto on asennettu, pyritään talon oma lämmitysjärjestelmä kytkemään päälle mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Mikäli rakennuksen vaippa saadaan tiiviiksi vasta kaikkein kylmimpänä aikana, niin on todennäköistä, että talon oma lämmitysjärjestelmä tarvitsee tuekseen lisälämmitystä ainakin joksikin aikaa.

Erityishuomiota vaativat esimerkiksi työmaan kulku- ja haalausaukot. Näiden aukkojen kohdalle on hyvä asentaa lämpöpuhaltimet ”puskuriksi” vähentämään kylmän ilman pääsyä sisälle. Energiamuotona näille puhaltimille voidaan käyttää polttoöljyä, nestekaasua, kaukolämpöä tai sähköä. Tosin työmaasähköjen riittämättömyys asettaa usein rajoituksia sähkölämmittimien käytölle. Rakennuksen sisätilojen lämmittäminen on tärkeää, koska lämmön nostaminen mahdollistaa rakenteiden kuivatuksen aloittamisen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

## 5.1 Lämmitysmuodot

### 5.1.1 Nestekaasulämmitys

Nestekaasu on oikein käytettynä tehokas ja turvallinen energianlähde rakennusaikaiseen lämmittämiseen. Nestekaasun polttaminen kuluttaa happea ilmasta, ja prosessi tuottaa puolestaan vesihöyryä ja hiilidioksidia, joten riittävästä ilmanvaihdosta on siis huolehdittava. Kaikki nykyaikaiset nestekaasulämmittimet on varustettu liekintunnistimien, joka sulkee kaasun tulon heti, jos laitteen liekki sammuu.

Nestekaasu soveltuu erityisesti rakennuksen runkovaiheen lämmittämiseen. Sen etuina voidaan pitää suhteellisen helppoa asennettavuutta ja helppokäyttöisyyttä. Varsinkin silloin, kun kohteeseen tarvitaan nopeasti paikallista lämpöä, nousevat nestekaasulämmityksen edut esille. Pienitehoisimmat n. 12 kW tuottavat lämpöpuhaltimet ovat

pienikokoisia ja kevyitä, joten tarvittaessa niiden kuljettaminen onnistuu vaikka henkilöautolla.

Lämmittimiä on olemassa useita erityyppisiä. Kuvassa 3 on esitetty eri toimintaperiaatteella toimivia lämpöpuhaltimia. Suorapolttotyyppisessä lämmittimessä palokaasuja ei pysty johtamaan ulos lämmitettävästä tilasta. Tällöin on huomioitava, että kilo neste-kaasua muodostaa palaessaan noin 1,6 litraa vettä. Runkovaiheessa asialla ei ole merkitystä, koska rakenteet ovat muutenkin märkiä, mutta siirryttäessä rakenteiden kuivatusvaiheeseen on asia huomioitava. Lämmönvaihtimella varustetuista lämmittimistä voidaan palokaasut johtaa ulos, jolloin lämmittämisestä ei aiheudu ylimääräistä kosteusrasitusta.



Kuva 3. Vasemmalla suorapolttoiset kaasupuhaltimet, oikealla vaihtimella varustetut puhaltimet.

Lämmitin voidaan myös sijoittaa lämmitettävän tilan ulkopuolelle. Tällöin lämmittimen puhallusaukkoon kiinnitetään letku, jonka kautta lämmin ilma johdetaan tilaan. Tällä menetelmällä saadaan lämmitettävä tila ylipaineiseksi, jolloin sen tilan ei tarvitse olla täysin tiivis. Menetelmän tuoma etu korostuu esimerkiksi huputettuja julkisivuja lämmitettäessä. Useaan lämmönvaihtimella varustettuun laitteeseen on mahdollista kytkeä ulkoinen termostaatti, joka sijoitetaan lämmitettävään tilaan. Termostaatilla voidaan säätää tilan lämpötila oikeaksi, jolloin laite sammuu saavutettaessa haluttu lämpötila.

Mikäli työmaalla joudutaan tekemään esimerkiksi holvibetonointeja talviolosuhteissa, voidaan valettavan holvin alapuoli lämmittää infrapunasäteilijöillä. Säteilijät eivät tarvitse sähköä toimiakseen, joten ne ovat erittäin varmatoimisia laitteita. Työmaan sähköjärjestelmä on varsinkin talviaikaan alttiina sulamisveden ja muun kosteuden aiheuttamille häiriöille. Säteilijöiden etuna on lisäksi se, että ne lämmittävät materiaaleja, kuten valumuotit, seinät ja lattiat. Ympäröivä ilma ei vastaanota lainkaan lämpösäteilyenergiaa, joten lämmitysjärjestelmä ei ole niin tarkka tilan tiiveydestä kuin käytettäessä lämpöpuhaltimia. Järjestelmää mitoitettaessa voidaan pitää nyrkkisääntönä, että yksi 11

kW:n säteilijä riittää lämmittämään noin 16 m<sup>2</sup>:n alueen. Kun säteilijät ripustetaan lämmitettävästä muottipinnasta noin 1,8 metrin etäisyydelle, sen lämmitysteho on 0,8 kW/m<sup>2</sup>. Tämä lämmitysteho on yleensä riittävä. Kuvassa 4 säteilijät on asennettu lämmittämään ontelolaatan pintaa ennen pintavalun suorittamista. (8.)



Kuva 4. 11 kW säteilijä ripustettuna katosta.

Tällöin lämmittäminen aloitetaan riittävän ajoissa valualustan optimaalisen lämmön varmistamiseksi. Myös julkisivusaneerauksissa säteilijät ovat vaihtoehtoinen lämmitysmuoto, jos esim. tilahtauden vuoksi ei ole mahdollista käyttää lämpöpuhaltimia.

Rakennustyömailla kaasu on yleisimmin 33 kg:n pulloissa tai isommissa 184–210 kg:n, ns. maksipulloissa. 33 kg:n pullot toimitetaan työmaalle yleensä 4 tai 9 pullon kehikoissa. Pullokehikot on suunniteltu siten, että kaasupullot pysyvät tukevasti pystyssä, jolloin niiden kaatuminen on oikeinkäytettynä epätodennäköistä. Kehikossa pullot kytketään toisiinsa yhdistäjällä, jolloin kapasiteettiä saadaan lisättyä. Nestekaasupulloissa kaasu on nestemäisenä, ja se on näin ollen höyrystettävä ennen järjestelmään syöttämistä. Höyrystymisnopeuteen vaikuttaa ympäröivän ilman lämpötila, käyttöpaine, kaasupullojen koko sekä jäljellä olevan kaasun määrä.



Kuva 5. 184 kilon maksipullot ja 33 kilon kaasupullot.

Maksipullossa on erilliset liitännät nesteelle ja kaasulle. Käytettäessä nestekaasua nestemäisessä muodossa mahdollistetaan suurempi energiantuotto. Kytettäessä höyrystin nestelähtöliitäntään on nestekaasun tuotto riippuvainen ainoastaan höyrystimen kapasiteetista. Riippumatta ilman lämpötilasta tai pulloissa olevan nestekaasun määrästä kaasua voidaan syöttää tasaisesti höyrystimen avulla. Myös hyötysuhde paranee, koska nestekaasupullot voidaan käyttää täysin tyhjiksi.

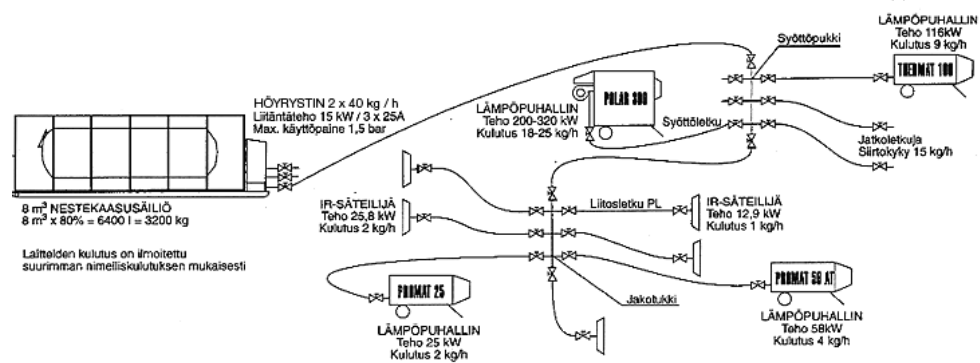
Jos rakennustyömaa on iso ja tiedetään että kaasulämmitystä on työmaalla paljon, voidaan tontille asentaa myös kaasusäiliö (kuva 6). 8m<sup>3</sup>:n säiliöön mahtuu kerralla noin 3200 kg kaasua, joten kaasupullojen tiheästä vaihtovälistä aiheutuvat kuljetuskustannukset jäävät pois. Säiliöt on varustettu yleisesti kahdella kiinteällä höyrystimellä.



Kuva 6. 3200 kilon kaasusäiliö lukittavassa kehikossa.

Mikäli säiliö joudutaan sijoittamaan siten, että säiliön ja lämmitettävän kohteen välissä on esim. työmaaliikenteelle tarkoitettu tiealue, voidaan kaasuletkut asentaa tien alle kaivettuihin suojaputkiin. Jos höyrystimien sähkösyöttö tuodaan myös työmaan puolelta, on se asennettava omaan suojaputkeensa.

Yhtenä merkittävänä etuna kaasulämmityksellä verrattuna muihin lämmitysmuotoihin on järjestelmän nopea asennettavuus. Järjestelmä rakennetaan siten, että kaasupakkaukselta johdetaan 3/4" runkoletku jakotukille, josta vietään 3/8" jakeletku jokaiselle lämmittimelle. Jakotukilta linjaa voidaan tarvittaessa jatkaa edelleen seuraavalle jakotukille (kuva 7). Useamman lämmittimen kokonaisuuteen kahdella asentajalla ei kulu kuin muutama tunti.



Kuva 7. Periaatekuva nestekaasulämmitysjärjestelmästä.

Nestekaasulämmitysjärjestelmää voidaan vaihtaa työmaan edetessä. Holvivalujen valmistuttua alemmissa kerroksissa voidaan valujen lämmittämisessä käytetyt säteilijät siirtää ylempiin kerroksiin ja asentaa tilalle lämpöpuhaltimet (kuva 8). Samat syöttöletkut käyvät kumpaankin lämmitintyyppiin. Järjestelmän vaihtaminen on järkevää, koska valutöiden valmistuttua kohteessa riittää peruslämpö. Myös syöttöletkujen määrä pienenee huomattavasti, jolloin saadaan kustannussäästöjä vuokratukustannuksissa. Säteilylämmityksen vaatimat letkumäärät voivat toisaalta myös olla seuraavien työvaiheiden edessä.





Kuva 8. 30 kW:n kaasukäyttöinen lämpöpuhallin.

Nestekaasupakkausten sijoittamiselle ja sallituille varastointimäärille on asetettu tiukat määräykset. Paloviranomaisille tulee tehdä ilmoitus, mikäli nestekaasun määrä ylittää 200 kiloa. Mikäli työmaalle asennetaan säiliö, jonka kaasumäärä ylittää 2000 kiloa, on säiliön sijoittamiselle haettava lupa. Säiliön sijoituspaikka kannattaa suunnitella huolellisesti, koska sijaintipaikan vaihtuessa joudutaan käymään lupaprosessi uudestaan.

#### 5.1.2 Polttoöljykäyttöinen lämmitys

Kevyen polttoöljyn lämpöarvo on 10,02 kWh/litra ja vastaavasti nestekaasun lämpöarvo on 12,83 kWh/litra, joten polttoöljyn käyttäminen lämmityksen energiamuotona on hie-man kalliimpaa kuin nestekaasun käyttö (9). Polttoöljylämmittimet ovat hyvin samantyyppisiä, kuin nestekaasulämmittimet. Suurimpana erona voidaan pitää sitä, että polttoöljykäyttöisten säteilylämmittimien käyttö on rakennustöissä vähäistä. Toisaalta esim. rakennettaessa suurta teollisuushallia, jolloin tarvittavat tehomäärät ovat isoja, löytyy suuritehoisia polttoöljykäyttöisiä lämmittimiä laajempi valikoima kuin nestekaasukäyttöisiä. Suuritehoisten lämmittimien ilmamäärät ovat valtavia. Esim. kuvan 9 lämmittimen ilmamäärä on yli 37 000 m<sup>3</sup>:ta tunnissa. Myös kohteissa, joihin kaasupakkauksia ei voida määräysten mukaisesti sijoittaa, on öljylämmitys usein ainoa vaihtoehto.

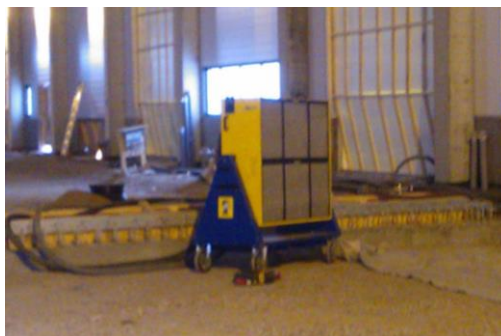


Kuva 9. 620 kW:n öljykäyttöinen lämpöpuhallin.

Työturvallisuuden kannalta öljykäyttöisten lämmittimien asennuksessa tärkeimpiä huomioitavia seikkoja on se, että polttoöljy muodostaa palaessaan myrkyllisiä kaasuja, kuten rikkidioksidia, häkää ja typen oksideja. Asia on huomioitava, jos lämmitin asennetaan sisätiloihin. Laitteen palokaasut on tällöin johdettava ulos. Myös öljypolttimen vaatima palamisilman saanti on varmistettava. (10.)

### 5.1.3 Kiertovesilämmitys

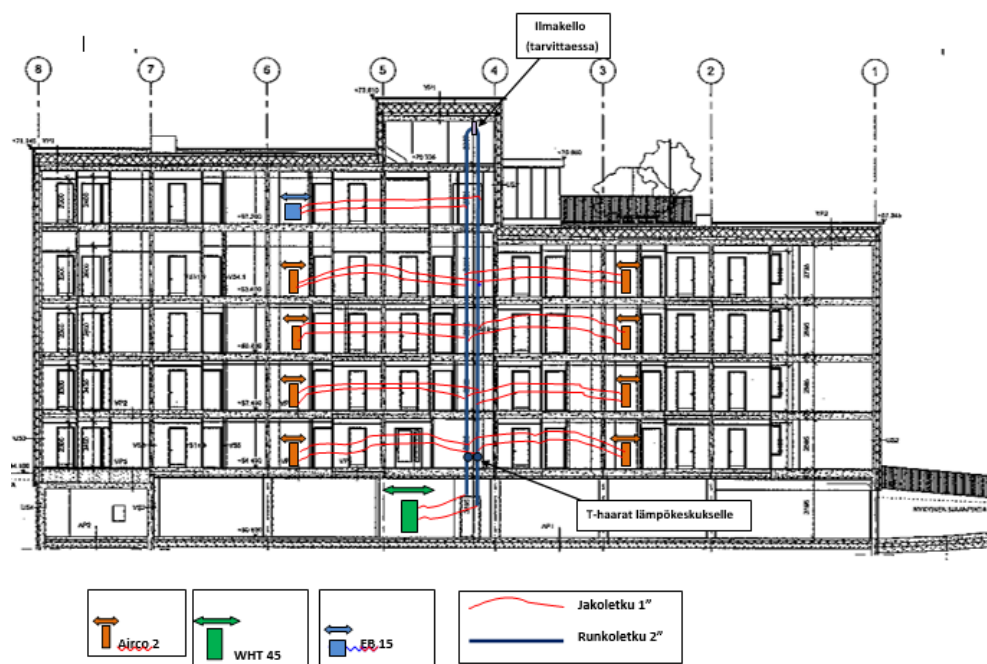
Kun rakennus on edennyt siihen vaiheeseen, että vesikatto on asennettu ja vaippa on tiivis, voidaan tilapäislämmitys toteuttaa kiertovesilämmittimillä. Kiertovesilämmittimiä on laaja valikoima erityyppisiin kohteisiin. Kerrostalokohteissa käytännöllisimpiä ovat päältä puhaltavat lämmittimet, joiden puhallusilma voidaan suunnata vapaasti. Puhallusaukkoihin voidaan myös kiinnittää letkut, joiden kautta lämmitysilma voidaan johtaa haluttuun tilaan. Lämmittimen puhallusteho tosin pienenee letkuja käytettäessä. Suurissa hallikohteissa voidaan lämmittiminä käyttää kuvan 10 kaltaisia suuritehoisia sivustapuhaltavia laitteita. Lämmitystehoa näissä laitteissa on yli 200 kilowattia ja ilmamäärä 20 000 m<sup>3</sup> tunnissa.



Kuva 10. 250 kW:n kiertovesilämmitin.

Lämmittimen toimintaperiaate on yksinkertainen. Huonetilan ilma imetään puhaltimen avulla kennon läpi, jossa kiertää kuuma vesi. Kennon edessä on suodatin, joka estää pölyn leviämistä. Lämmittimen kenno saattaa rikkoutua, jos veden kierto pysähtyy, koska tehokkaan puhaltimen imiessä ilmaa kylmän kennoston läpi on vaarana, että kenno jäätyy. Tällöin järjestelmässä oleva vesi vuotaa ulos rikkoutuneen kennon läpi aiheuttaen useimmiten jonkinasteisen vesivahingon. Kiertovesipumpun keskeytymättömästä toiminnasta on siis huolehdittava.

Energiamuotona järjestelmässä voidaan käyttää kaukolämpöä. Järjestelmässä kiinteistön lämmönsiirtimen toisiopuolelle asennetaan nokkavipuliittimet, joihin kytketään runkolinjoina toimivat höyryletkut. Asuinkerrostalokohteissa runkolinjat viedään lämmönjakohuoneesta ylöspäin useimmiten porraskäytävässä tai hissikuilussa. Hissikuilu on useimmiten huonompi vaihtoehto reittiä valittaessa, koska hissiasennukset alkavat usein tilapäislämmityksen ollessa vielä käytössä ja letkut ovat näin ollen asennuksien tiellä. Pystylinjat on myös mahdollista asentaa kerrostasanteisiin porattuja läpivientejä hyväksikäyttäen. Rakennusaikaisia läpivientejä porataan myös keskuspölynimurijärjestelmän ja työmaasähköjen linjojen asennuksiin, joten reikien poraamista suunniteltaessa on hyvä ottaa myös tilapäisen lämmitysjärjestelmän vaatimukset. Runkoletkuihin asennetaan jokaiseen kerrokseen T-haarat, joihin kytketään lämmittimien syöttöletkut. Syöttöletkut asennetaan siten, että letkuihin ei pääse muodostumaan veden kiertoa haittaavia ilmapusseja.



Kuva 11. Kiertovesilämmitysjärjestelmän periaatepiirros.

Rakennuksen omaa kiinteää lämmitysputkistoa voidaan hyödyntää myös tilapäisessä lämmityksessä. Runkolinjastoon asennetaan tällöin ylimääräiset palloventtiilit, joihin lämmittimien letkut kytketään. Tämän järjestelmän etuna on, että letkumäärät ovat pienempiä ja järjestelmä on siten kalustovuokria ajatellen kustannustehokkaampi. Lisäksi runkoletkuille ei tarvitse erikseen varata kulkureittejä. Koska järjestelmässä käytetään kiinteitä putkilinjoja, saattaa se toisaalta häiritä kohteen varsinaisia lämpöverkoston asennustöitä, koska runkoputkissa on oltava kiertovesi kytkettynä.

Mikäli rakennukseen ei ole kytketty vielä kiinteistön omaa kiinteää lämmönsiirintä, mutta kaukolämmön ensiöpuolen putket on tuotu valmiina, voidaan näihin putkiin asentaa tilapäinen lämmönsiirrin. Tilapäissiirtimen käyttö tulee kyseeseen myös silloin, kun kiinteistön oma siirrin on niin pientehoinen, että sen käyttäminen rakentamisaikaiseen lämmittämiseen ei riitä. Tilapäisen lämmönsiirtimen ensiöpiirin kytkentä vaatii urakoitsijalta kaukolämpöluvut samalla tavalla kuin kiinteää siirintä kytkettäessä. Siirrin täytyy myös tarkastuttaa energiayhtiöllä ennen käyttöönottoa.

Mikäli kohde sijaitsee alueella, jossa ei ole kaukolämpöverkkoa tai jos verkon ensiöpuolen putkiasennukset jostain syystä viivästyvät, voidaan vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän energialähteenä käyttää polttoöljykäyttöistä siirrettävää lämpökeskusta.



Kuva 12. Merikonttiin rakennettu lämpökeskus.

Lämpökeskuksessa on samanlaiset nokkavipuliittimet kuin asennettaessa lämmitysjärjestelmä kaukolämpösiirtimeen. Lämpökontti kannattaa sijoittaa siten, että ulos asennettavien runkoletkujen määrä jää mahdollisimman pieneksi lämpöhukan minimoimiseksi. Ulos jäävät letkut voidaan eristää esim. solumuovieristeellä. Lämpökeskus voidaan myös kytkeä kiinteään patteriverkoston ja siten hyödyntää kiinteistön omaa

lämmitysjärjestelmää rakennusaikaiseen lämmittämiseen. Menetelmä soveltuu myös saneerauskohteisiin, joissa uusitaan lämmönjakohuoneen tekniikka.

#### 5.1.4 Sähkölämmitys

Rakennustyömailla käytettävät sähkölämmittimet ovat yleensä puhallintyyppisiä, eikä sähkökäyttöisiä säteilijöitä lämmitystarkoituksessa juurikaan käytetä. Sähkölämmityksen käyttö suuremmilla työmailla ei ole yleensä mahdollista, koska työmaa-aikaista sähköjärjestelmää ei ole mitoitettu sähkölämmitysjärjestelmää vastaavaksi. Niiden käyttö rajoittuu isoissa kohteissa pienempiin tiloihin, joihin on hankala asentaa muuta energiamuotoa käyttäviä lämmittimiä. Myös pienemmissä saneerauskohteissa ja pientalotuotannossa lämmittimien käyttö on yleistä.



Kuva 13. sähkökäyttöisiä lämmittimiä (11).

Markkinoilla on perinteisten sivustapuhaltavien lisäksi olemassa lämmittimiä, joissa ilma ohjataan lämmittimen päällä olevien suolakkeiden kautta eri suuntiin, jolloin lämmön jakautuminen on tehokkaampaa. Näitä lämmittimiä on ainakin 9, 18 ja 36 kilowatin teholuokissa (11).

## 6 Rakennusaikainen kuivaus

Lähes jokaisessa rakennusprojektissa on jossain vaiheessa tarvetta koneelliseen kuivaamiseen. Kuivaustarvetta voi olla tavallisen tilakuivauksen lisäksi mm. ontelolaatoissa ja eristetiloissa. Mahdollisten kuivauksien aiheuttamat kustannukset olisikin huomiotava urakkalaskentavaiheessa. Myös eri syistä johtuvat vesivahingot aiheuttavat yleisesti tarvetta koneelliseen kuivaamiseen. Näiden vesivahinkojen ehkäisyssä on tärkeää, että myös pieniin vesivuotoihin puututaan heti, kun ne havaitaan. Yleisimpiä vuotokohtia ovat työnaikaisen vesijärjestelmän vuodot, mutta myös puutteelliset sääsuojaukset aiheuttavat toisinaan jonkinasteisen vesivahingon. Irtoveden nopea poisto on ensiarvoisen tärkeää. Tästä syystä työmaalla on oltava aina vesi-imuri saatavilla.

### 6.1 Kuivausmenetelmät

#### 6.1.1 Tilakuivaus

Varsinkin syksyllä voi sisäilman kosteus nousta niin korkeaksi, että rakenteiden kuivuminen hidastuu merkittävästi. Tällöin voidaan kuivumisolosuhteita parantaa erilaisilla tilakuivaimilla. Tilakuivaimia on erityyppisiä, ja ne voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään: Adsorptiokuivaimiin ja kondenssikuivaimiin. Adsorptiokuivaimissa kuivaajan erottelema kostea ilma johdetaan letkulla ulos kuivattavasta tilasta höyrymäisessä muodossa. Kondenssikuivain puolestaan tiivistää kosteuden irtovedeksi, joka poistuu laitteessa olevaan säiliöön tai letkua pitkin painovoimaisesti esim. viemärijärjestelmään. Kondenssikuivaimen tekninen toiminta perustuu laitetuulettimeen, kylmäainekompressoriin ja kylmäkiertoputkiin. Toimiessaan laitteen kylmäaineputkiston ja vallitsevan ilmatilan lämpötilaero muodostaa kastepisteen, jolloin korkea ilmankosteus tiivistyy kylmäaineputkien pintaan (kondenssi) ja laitteiden sulatusjärjestelmä sulattaa tiivistymän irtovedeksi tietyin aikajaksoin. Markkinoilla on myös laitteita, joissa on oma poistopumppu, jolla irtovesi voidaan siirtää kauempana sijaitsevaan viemäriin. Tilakuivaimien kokoluokat vaihtelevat muutaman kymmenen ilmakuution tunnissa käsittelevästä laitteesta aina useamman tuhannen kuution laitteisiin (kuva 14).

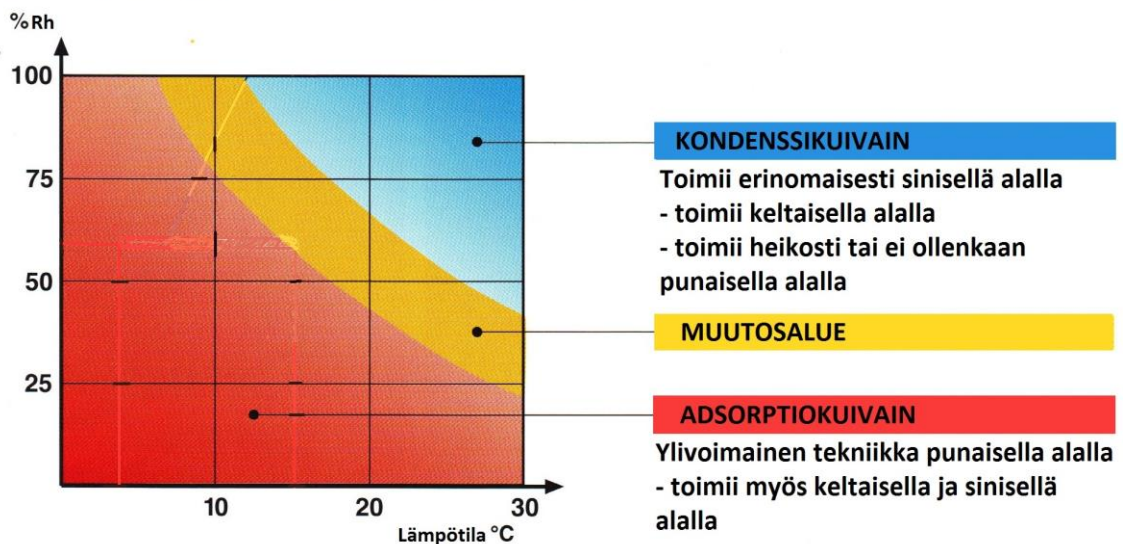




Kuva 14. Erikokoisia ilmankuivaajia (12).

Ilmankuivaajatyypin valitsemiseen vaikuttaa oleellisesti vallitsevat olosuhteet. Kondenssikuvain on tehokkaimmillaan + 20...+ 30 °C lämpötilassa ja suhteellisen kosteuden RH ollessa 60–100 % välillä. Mikäli lämpötila on + 10 °C – + 14 °C, on lisälämmittimien käyttö laitteen toiminnan kannalta lähes välttämätöntä. Toisaalta laite ei myöskään toimi yli + 32 °C lämpötilassa. (12.)

Kuivaustekniikan valinta - kondenssikuvain vai adsorptiokuvain?



Kuva 15. Eri kuivaaintyypien toiminta-alueet (12).

Adsorptiokuvain toimii vastaavasti parhaiten -10...+32 °C lämpötilassa ja suhteellisen kosteuden RH ollessa 5–100 %. Laite toimii siis lähes kaikissa olosuhteissa ja soveltuukin kokonaisvaltaiseen kuivaustyöhön.

Nyrkkisääntönä tyypin valintaan voidaan sanoa, että adsorptio on ensisijainen valinta lämmitämättömien tilojen kuivaukseen tai kun on kuivattava materiaalia. Adsorptiokuivain tuottaa kuivempaa ilmaa, vähentää enemmän ilman vesimäärää grammoina kiloa kohti ja luo näin suuremman vesihöyryn paine-eron, joka on suoraan verrannollinen kuivausnopeuteen. (13.)

Tilakuivaimien rinnalle kannattaa yleensä asentaa erillisiä simpukka- tai aksiaalipuhaltimia ilman kierron tehostamiseksi (kuva 16). Puhaltimilla voidaan myös siirtää ilmaa katvealueille, joihin ilma ei muuten kulkeutuisi. Lattiapintoja kuivattaessa tehokkain puhallintyyppi on ns. simpukkapuhallin, koska ilmavirta kulkee lattian pintaa pitkin tehostaen betonin luovuttaman kosteuden haihduttamista. Lattiapintojen onkin oltava huolellisesti imuroituja pölyn leviämisen minimoimiseksi.



Kuva 16. Simpukkapuhaltimia.

Kumpaakin puhallintyyppiä voidaan käyttää myös tilapäisen lämmitysjärjestelmän tukena. Puhaltimilla voidaan siirtää rakennuksen yläosiin pakkautunut lämmin ilma takaisin alas, jolloin myös lämpimän ilman kuivaava vaikutus tehostuu. Julkisivuhuputusten lämmittämisessä menetelmää käytetään varsin yleisesti.

### 6.1.2 Eristetilakuivaus

Uudisrakennustyömaalla eristetilakuivauksen tarve on useimmiten vähäistä. Mittavimmat kuivaukset johtuvat yleensä sääsuojauksen pettämisestä, jolloin vesi pääsee valumaan ulkoseinien lämmöneristeisiin. Toisinaan myös väestösuojan päälle puhallettu kevytsorakerros joudutaan kuivaamaan. Kuivaus voidaan suorittaa käyttämällä kevyt-



sorakerrokseen asennettuja salaojaputkia ilman liikuttamiseen. Salaojaputkien sijoittelu kannattaa suunnitella siten, että putkisto kattaa koko alueen. Näin voidaan varmistua siitä, että koko kevytsorakerros voidaan kuivata tasaisesti. Kuivausjärjestelmässä suu-ritehoisen keskipakoispuhaltimen (kuva 17) imuaukko kytketään salaojaputken päähän.



Kuva 17. Kevytsorakerroksen kuivaamiseen käytettävä puhallin.

Ilma liikkuu koko eristetilan läpi saaden korvausilmansa pintabetonilaataan porattujen reikien kautta. Kuivaus kannattaa suorittaa imukuivauksena, koska eristetilassa oleva mahdollinen irtovesi on rakenteen pohjalla, eikä sen puhaltaminen koko eristeen läpi ole järkevää. Tiloihin, joihin on porattu järjestelmän vaatimat korvausilmareiät, on tarvittaessa asennettava tilakuivaus, mikäli huoneilman suhteellinen kosteus RH on liian korkea. Kevytsorakerroksen kuivaaminen tällä menetelmällä tehostaa myös kevytsorakerroksen päälle valetun betonilaatan kuivumista merkittävästi.

### 6.1.3 Ontelokuivaus

Ontelolaattarakenteisiin jäävä rakennusaikainen kosteus ja irtovesi ovat yleinen ongelma uudisrakennuskohteissa. Vesi voi päästä onteloihin valmistus-, varastointi- tai kuljetusvaiheessa, mutta suurimmassa osassa tapauksista veden pääsy onteloihin tapahtuu elementtien ollessa asennettuna. Vaikka elementtien valmistajalle kuuluu vesireikien poraus valmistusvaiheessa ja reikien avaaminen työmaalla, ei se silti takaa sitä, että kaikki irtovesi on saatu pois onteloista.



Kuva 18. Kastuneet ontelolaatat.

Ongelmallisimpia kohtia ovat useimmiten ulkoseinien viereiset ontelot. Näihin reunimmaisiin onteloihin valetaan kiinni erilaisia kiinnitysteräksiä. Kahden valettavan aukon välinen tila täyttyy vain harvoin kokonaan betonilla. Todennäköisempi tilanne on, että aukkojen puoliväliin jää ontelon yläreunaan tyhjä tila, joka täyttyy vedellä jo valuvaiheessa. Tätä riskiä voi ainakin pienentää poraamalla reikä valuaukkojen puoliväliin ontelon täyttymisen varmistamiseksi. Myös sulamis- tai sadevesi saattaa täyttää onkalon myöhemmin.



Kuva 19. Elementtien saumavalu.

Näiden vesitaskujen paikallistaminen on hankala ja aikaa vievä projekti. Yleisimmin vesitaskuja etsitään poraamalla onteloita auki alapuolelta. Ennen poraustyön aloittamista on selvitettävä mahdollisimman tarkasti valuaukkojen paikat rakennepiirustuksista. Vaikka valuaukkojen sijainti olisikin tarkasti tiedossa, niin usein käy kuitenkin niin, että reikiä ei porata riittävän syväälle. Koska vesitasku sijaitsee yleisimmin aivan ontelon yläpinnassa, joudutaan reiät poraamaan normaalissa kerrostalokohteessa helposti 300 mm:n syvyyteen.

Myös lämpökameraa ja radioluotainta voidaan käyttää ontelovesien paikallistamiseen. Näiden menetelmien käyttöön ei tässä opinnäytetyössä perehdytä.

Ontelolaattojen koneelliset kuivaukset suoritetaan yleensä turbiinipuhaltimilla ja ilman-kuivaajilla. Markkinoilla on myös kuvan 20 mukaisia laitteita, joissa nämä laitteet on yhdistetty. Kuten kaikessa rakenteiden kuivaamisessa, on myös ontelokuivaamisessa ilman kierto ensiarvoisen tärkeää. Kuivausta asennettaessa onkin varmistuttava siitä, että kuivausilma pääsee liikkumaan ontelossa.



Kuva 20. Onteloiden koneellinen kuivaus.

Yhdellä ontelokuivaimella voidaan kuivata vain rajallinen määrä onteloita samanaikaisesti. Ontelomäärien lisääntyessä myös laitteen puhallusteho heikkenee samassa suhteessa. Kokemuksen mukaan yhdellä Corroventa CTR K150 XT -kuivaimella voidaan kuivata 5–15 onteloputkea samanaikaisesti riippuen siitä, kuinka märkiä ontelot ovat. Ontelolaattojen kuivumista voidaan tehostaa lämmittämällä niiden pintaa esimerkiksi levykuivaimilla.

Mikäli kohteen kylpyhuoneet ovat elementtivalmisteiset, voidaan näiden elementtien alle jäävä asennustila (kuva 21) kuivata samanlaisella kalustolla, jota käytetään onteloiden kuivaamiseen.



Kuva 21. Kylpyhuone-elementtien alle jäävä asennustila.

Kylpyhuone-elementin alle jäävän asennustilan reuna-alueille on hyvä porata reikiä ennen elementin asennusta. Näiden reikien kautta asennustilaan mahdollisesti päässyt sade- tai sulamisvesi pääsee poistumaan tilasta. Reikiin kannattaa asentaa esimerkiksi taivutettu sähköputki, jolloin vesi ei purkautu alemman kerroksen kylpyhuone-elementin päälle. Jos vettä tulee paljon, niin näihin putkiin voidaan liittää letku, jota pitkin vesi voidaan ohjata ulos rakennuksesta. Näitä samoja putkia voidaan hyödyntää, mikäli asennustilaa joudutaan koneellisesti kuivaamaan myöhemmin. Näiden reikien poraaminen jälkikäteen alakautta on huomattavasti työläämpi toimenpide, kuin että ne olisi porattu jo runkovaiheessa. Lisäksi asennustilassa oleva vesi purkautuu hallitsemattomasti ja saattaa kastella alemman kerroksen kylpyhuone-elementtiä.



Kuva 22. Asennustilaan poratusta reiästä purkautuu kymmeniä litroja vettä.

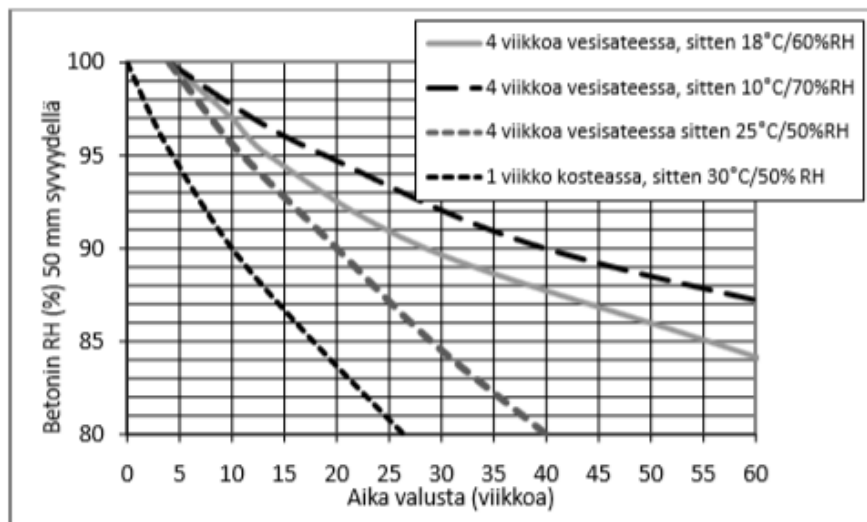
Asennustilassa saattaa olla helposti yli 100 litraa vettä, joten veden ohjaus on suoritettava ripeästi. Kuvan 22 kohteessa porauksen jälkeen reikiin asennettiin kuivausletkusto. Kuivausilman ulostuloreikiä ei porattu, koska ilma pääsee purkaantumaan kylpyhuone-elementin ja betoniseinien väliseen tilaan.

## 7 Betonilattian kuivuminen

Tuoreen betonin suhteellinen kosteus RH on lähtötilanteessa noin 100 %. Kun betoni kovettuu, niin osa valmistusvaiheessa käytetystä vedestä sitoutuu sementin hydratointireaktiossa. Tämän reaktion vaikutuksesta betonissa tapahtuu kuivumista. Tähän ns. kemialliseen kuivumiseen vaikuttaa oleellisesti betonin vesi-sementtisuhde. Kemiallisen kuivumien osuus on suurempi betoneilla, joiden vesi-sementtisuhde on alhaisempi. Normaali betonilla valettu rakenne vaatii myös haihtumiskuivumista, koska kemiallisen kuivumisen vaikutuksesta betonin suhteellinen kosteus RH laskee vain noin 98 %:iin. Toisaalta kemiallisen kuivumisen seurauksena alhaisen vesi-sementtisuhteen omaavilla betoneilla suhteellinen kosteus RH saattaa laskea jopa 90 %:iin. Tällaisia betonilaatuja nimitetään mm. itsestään kuivuviksi betoneiksi. Betonin suhteellinen kosteus saattaa olla kemiallisesta sitoutumisesta huolimatta pitkäänkin noin 100 % betonin jälkihoidosta tai vesisateen aiheuttamasta kastumisesta johtuen. Haihtumiskykyinen eli fysikaalinen vesi pyrkii siirtymään betonista kohti ympäröivää tilaa, kun ilman vesihöyryn osapaine on alhaisempi kuin betonin sisältämien huokosten vesihöyryn osapaine. Betonirakenteen pinnan ollessa vielä märkä haihtumista tapahtuu nopeasti. Kosteus siirtyy kuivumisen alkuvaiheessa kapilaarisesti kohti pintaa, josta se haihtuu. Pinnan kuivuttua kapilaarinen kosteuden siirtyminen estyy ja kosteuden ainoaksi siirtymismuodoksi jää diffuusio. Diffuusion vaikutuksesta tapahtuva kuivuminen on merkittävästi hitaampaa kuin kapilaarisesti tapahtuva kuivuminen. Koska haihdutettava kosteusrintama siirtyy koko ajan syvemmälle, hidastuu myös kuivuminen. Rakennepaksuuden kasvattaminen hidastaa kuivumista, koska kosteus joutuu siirtymään pidemmän matkan rakenteen pintaan, josta haihtuminen tapahtuu. Olosuhteista riippuen kuivumisaika voi jopa nelinkertaistua, mikäli rakennepaksuus kaksinkertaistetaan tai kuivuminen toiseen suuntaan estetään. (14, s. 21– 24.)

Muutaman viikon ikäisen betonivalun kastelemisella saattaa olla merkittävä vaikutus betonin suunniteltuun kuivumisaikaan (kuva 23). Sadevesien imeytyminen betoniin tapahtuu pääosin kapilaarisesti. Kosteuden poistuminen tapahtuu puolestaan diffuusion

vaikutuksesta, joten kosteuden poistuminen tapahtuu huomattavasti hitaammin kuin imeytyminen. Tästä syystä nopeasti tehty veden poisto rakenteen pinnalta on tärkeää. (14, s. 24.)



Kuva 23. 250 mm paksun välipohjan arvioitu kuivumisnopeus erilaisissa kuivumisolosuhteissa (14).

Pitempiaikaisessa, noin neljän viikon pituisessa kastumisjaksossa saattaa massiivisen välipohjan kuivumisaika pidentyä jopa kahdellakymmenellä viikolla. Vesivahinkotapauksissa on huomioitavaa, että vanhan betonin kuivumisaika saattaa olla moninkertainen uuteen betoniin verrattuna. (11, s. 24.)

## 8 Kosteusmittaus

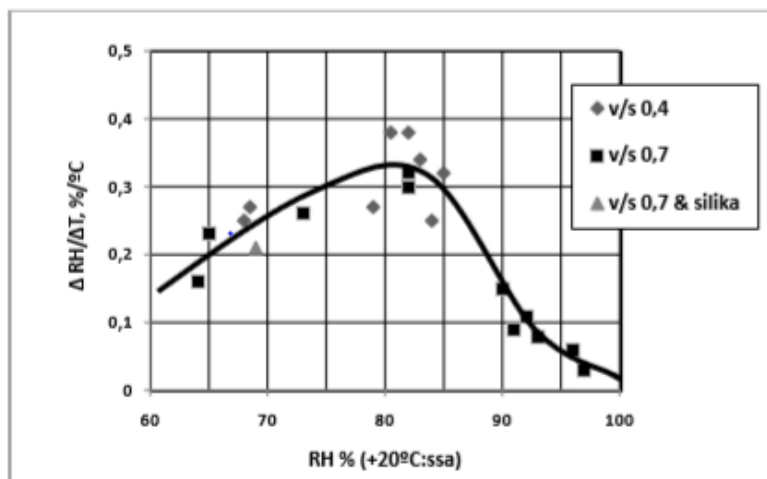
### 8.1 Rakenteiden suhteellisen kosteuden mittaus

Rakenteiden pinnoituskelpoisuus on aina osoitettava mittauksin. Kosteusmittaukset aloitetaan aina riittävän ajoissa, koska näillä seurantamittauksilla pystytään toteamaan, ovatko rakenteet kuivuneet suunnitellusti. Mittausten alkamisajankohdat, mittauspisteiden määrät ja sijainnit on kirjattu kosteusmittaussuunnitelmaan, joka on puolestaan osa työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaa. Kosteusmittauskohtien määrää ja sijaintia suunniteltaessa on huomioitava, että hyväksytyt mittausmenetelmät ovat rakennetta rikkovia. Mittauskohdat on aina paikattava, joten kohteeseen kannattaa valita tarkoituk-

senmukainen määrä mittauspisteitä. Mittauskohtien valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat valujankohta, erilaiset olosuhteet ja betonirakenteiden kastuminen. Mittaukset on suoritettava vähintään oletetuista kuivimmasta ja kosteimmasta paikasta. Mittauspaikkojen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat lisäksi erilaiset lattiarakenteet ja tiloihin asennettavien lattiapinnoitteiden vaatimat erilaiset alustan kosteusvaatimukset. (15, s. 86.)

Betonirakenteiden pinnoitettavuutta voidaan mitata porareikämenetelmällä ja näytepalamittauksilla. Porareikämittaus on yleisempi menetelmä ja mittauskelteisissä olosuhteissa huolellisesti tehtynä yhtä luotettava, kuin näytepalamittaus. Menetelmä vaatii tekijältään huolellisuutta porareikien syvyyden määrittämisessä, puhdistamisessa ja tiivistämisessä. Lisäksi porauksen aiheuttama lämpötilan nousu on huomioitava riittäväällä tasaantumisajalla (3 vuorokautta). Mittauksen tarkkuuteen vaikuttaa myös ympäröivän ilman ja betonin lämpötila ja niiden vaihtelu mittauksista suoritettaessa. Porareikämittauksessa rakenteen lämpötilan on oltava mahdollisimman lähellä tulevaa käyttölämpötilaa, yleensä +20 °C:ta. Jos lämpötila edellä mainitussa tilanteessa on alle +15 °C tai yli +25 °C, mittaus tulee suorittaa näytepalamenetelmällä. Näytepalamittaus voidaan tehdä lähes minkä lämpöisestä betonista tahansa. Menetelmässä porataan 50–100 mm:n monttu arvioitaville syvyyksille. Monttujen pohjalta irrotetaan näytepaloja koeputkeen yhdessä mittausanturin kanssa. Putken suun tiivistämisen jälkeen koeputket siirretään +20 °C:een lämpötilaan mittausanturin vaatimaksi tasaantumisajaksi. Menetelmän haittapuolina voidaan pitää jälkipaikkauksien määrää verrattuna porareikämittauksiin menetelmän työläyttä. Menetelmän etuna on aiemmin mainitun lämpötilariippumattomuuden lisäksi se, että mittauksien tulokset ovat luettavissa yleensä nopeammin kuin porareikämittauksella. (15, s. 81 – 86.)

Lämpötilamuutoksen vaikutuksesta betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen tehtiin vuonna 1987 tutkimus kolmella eri betonilaadulla. Tutkimustulosten perusteella laadittiin muunnoskäyrä, jota käytettiin +20 °C:sta poikkeavassa lämpötilassa mitattujen tulosten korjaamiseen (kuva 24).

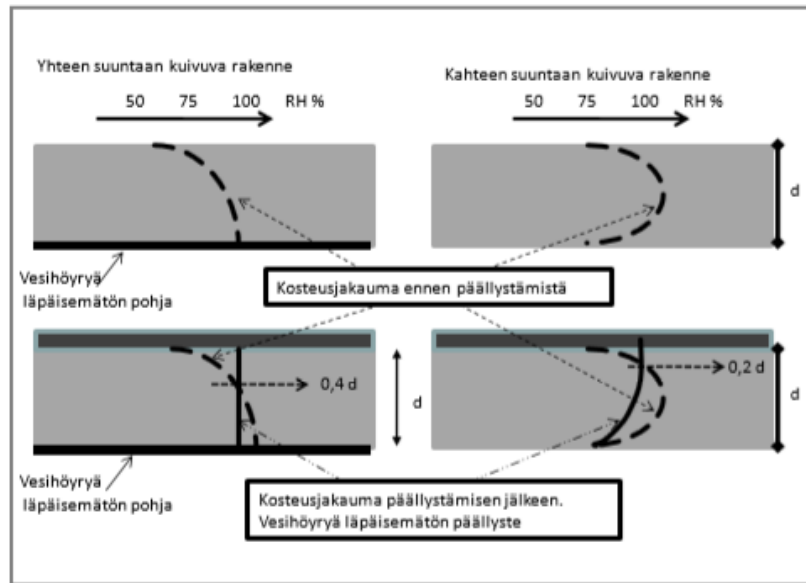


Kuva 24. Betonin lämpötilan vaikutus huokosilman RH -arvoon, kun betonin lämpötila pysyy vakiona (14).

Myöhemmin tehdyt tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet käyrän epätarkaksi ja puutteelliseksi. Betonin huokosrakenteen, hydratoitumisasteen, v/s-suhteen, betonin iän ja kosteuden havaittiin vaikuttavan betonin suhteellisen kosteuden arvoon lämpötilan muuttumisen myötä. Myös eri mittalaitteilla saadut tulokset eroavat toisistaan poikkeuksellisessa lämpötilassa suoritetuissa mittauksissa. Näiden kaikkien epävarmuustekijöiden summana voidaankin todeta, että muunnoskäyrää ei tulisi käyttää mitattaessa betonin suhteellista kosteutta. (14, s. 95–95.)

Betonilattioiden suhteellisen kosteuden mittaussyvyudet määritetään sen perusteella, onko rakenne yhteen vai kahteen suuntaan kuivuva. Arviointisyvyys A on yhteen suuntaan kuivuvissa rakenteissa 40 % ja kahteen suuntaan kuivuvissa rakenteissa 20 % koko rakenteen paksuudesta. Arviointisyvyydeltä A mitatun suhteellisen kosteuden arvon tulee olla alempi, kuin päällysteelle määrätyn kriittisen arvon. Edellä mainitut porausyvyudet perustuvat siihen olettamukseen, että päällystämisen jälkeen suhteellisen kosteuden arvo nousee maksimissaan sille tasolle, joka mitattiin ennen rakenteen päällystämistä arviointisyvyydeltä A. (15, s. 87–88.)

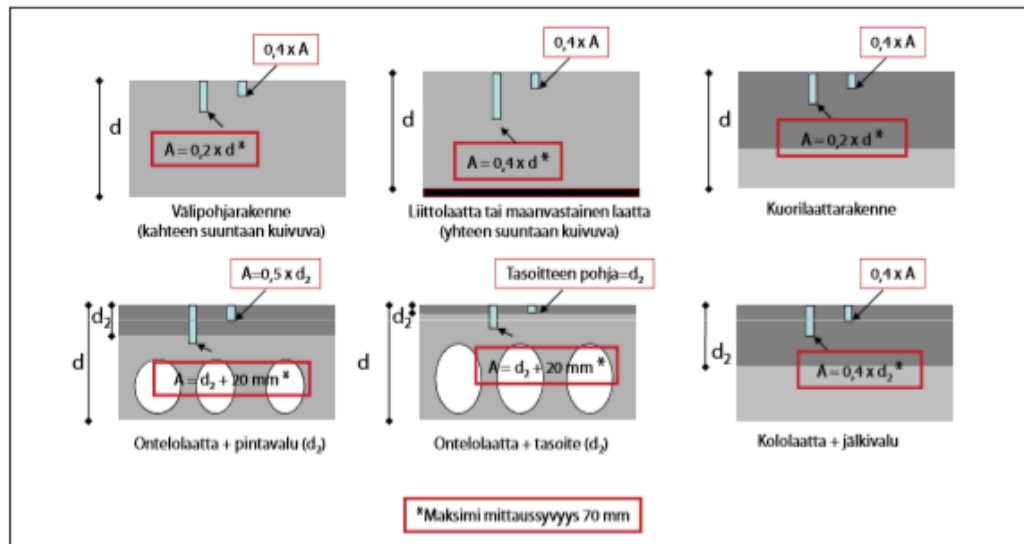




Kuva 25. Periaatepiirros arviointisyvyyden A määräytymisestä (14).

Maksimi mittaussyvyytenä voidaan pitää 70 millimetriä, mikäli rakenteen kummallakin puolella vallitsevat normaalit olosuhteet. Tämän maksimisyvyyden käyttöä rajoittavat maanvaraisen laatan alla oleva huono lämmöneristys ja alapuolisen tilan korkea lämpötila. Tällöin päällysteen hyvä toiminta riippuu sen höyrynläpäisykyvystä. Koska maanvaraisen lattiarakenteen kosteusvirta voi olla myöhemmässä vaiheessa olla maaperästä huonetilaa kohti, saattaa kosteus nousta päällysteen toimivuuden kannalta kriittiselle tasolle käytettäessä vesihöyryä huonosti läpäiseviä pinnoitusmateriaaleja. Rakennetta voidaan siis pitää kosteusteknisenä riskinä. (15, s. 49, 87.)

Varsinaisen poraussyvyyden A lisäksi on mitattava suhteellisen kosteuden arvo syvyydeltä  $0,4 \times A$ , jossa arvon tulee alittaa 75 % RH. Näitä edellä mainittuja mittaussyvyyksiä voidaan soveltaa mitattaessa maanvaraista betonilaattaa, liittolaattarakennetta, paikallavalettua holvia tai muuta tämän tyyppistä rakennetta. Kerroksellisissa rakenteissa mittaukset suoritetaan useammalta syvyydeltä. Rakenteessa, jossa ontelolaatan päälle on valettu pintalaatta, tulee päällysteelle asetettu raja-arvo alittaa pintavalun puolivälissä ( $A = 0,5 \times$  pintavalun paksuus) sekä 20 mm pintalaatan alapuolelta ontelolaatan kannaksesta. Jos pintavalun paksuus on yli 60 mm, tulee kosteus mitata lisäksi rakenteen pinnasta syvyydeltä  $0,4 \times A$  (16, s. 14).



Kuva 26. Mittaussyvytydet eri rakenteissa (16).

Jos kahden eri betonikerroksen väliin asennetaan eristekerros, esimerkiksi askelääneriste, on runkolaatan suhteellinen kosteus mitattava noin 50 mm:n syvyydeltä ennen eristekerroksen asentamista ja pintalaatan valamista. Suositeltava kosteus edellä mainitussa syvyydessä on alle 90 % RH. Pintalaatan arviointisyvyys määräytyy normaalin yhteen suuntaan kuivuvan rakenteen mukaisesti. Lisäksi eristetilan kosteus on mitattava ennen päällystystyöhön ryhtymistä. (15, s. 87–88.)

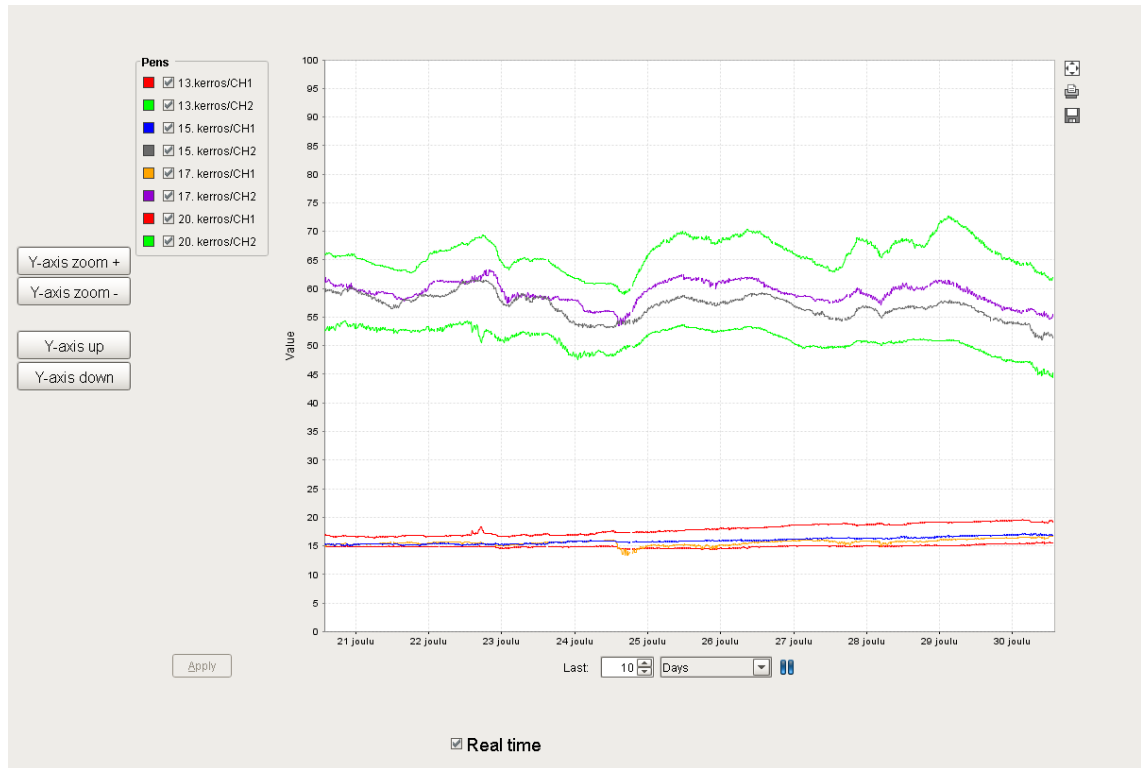
Betonilattioiden kosteusmittausten taloudellinen vaikutus voi olla huomattava. Virheellisesti suoritettu mittaus tai mittaustulosten virheellinen tulkinta saattaa johtaa lattiapinnoitustöiden aloituksen viivästymiseen. Toisaalta virheelliset mittaukset saattavat johtaa liian kostean betonin pinnoittamiseen ja sitä kautta syntyvään kosteusvaurioon (14, s. 3).

Betonilattioiden suhteellisen kosteuden mittaamisen lisäksi kohteessa saattaa olla tarkoituksenmukaista mittauksin varmistaa myös muiden rakenteiden tai rakennusosien riittävä kuivuminen. Nämä mittaukset määritetään kohdekohtaisesti ja kirjataan osaksi kosteusmittaussuunnitelmaa.

## 8.2 Sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus

Sisäilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauksilla pystytään toteamaan, ovatko kuivumisolosuhteet riittävän hyvät. Seuranta voi suorittaa eri puolille kohdetta sijoi-

tetuista mittareista, joiden lukemat kirjataan esimerkiksi kaksi kertaa päivässä. Nykyaikaisempi menetelmä on asentaa kohteeseen langattomia mittaustureita, jotka seuraavat sisäilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta ympäri vuorokauden. Osassa näistä laitteistoista voidaan mittaustureita seurata internet-selaimelta.



Kuva 27. Esimerkki langattoman sisäilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden seurantajärjestelmän piirtämästä grafiikasta.

Kuvan 27 kaltaisen grafiikan perusteella pystytään tekemään kuivumisolosuhteiden parantamiseen liittyviä päätöksiä, kuten lämmityksen lisääminen tai koneellisen kuivaamisen aloittaminen. Esimerkkikuvan Simap -järjestelmässä on myös mahdollisuus tallentaa tiedot kuivumisolosuhteista koko rakentamisajalta. Näillä tallenteilla pystytään osoittamaan jälkikäteen, että olosuhteiden muutoksiin on reagoitu. Järjestelmä soveltuu myös sisäilman seurantaan saneerattavissa suojelukohteissa, joissa sisäilman hallinnalla on huolehdittava, että olosuhteet pysyvät suotuisina vanhoille pysyville rakenteille. Esimerkiksi vanhat puurakenteet saattavat vaurioitua sisäilman kosteusvaihtelun seurauksena. Vauriot voivat ilmentyä rakoiluna, halkeiluna tai turpoamisena. Lämpötilaseurannan merkitys korostuu puolestaan talviaikaan tehtävissä julkisivujen pinnoitus-

töissä. Grafiikasta voidaan varmistaa, että muuraukset tai rappaukset eivät ole päässeet jäätymään missään vaiheessa.

## 9 Yhteenveto

Huolellisesti laadittu kosteudenhallintasuunnitelma ja sen noudattaminen on hyvä perusta pyrittäessä varmistamaan rakenteiden kuivumisesta aikataulun mukaisesti. Hyvien kuivumisolosuhteiden luominen koko rakentamisaikana on usean yksittäisen osa-alueen summa, josta yhdenkään merkitystä ei voida väheksyä. Lopputulos riippuu myös työnjohdon valvonnasta, ennakkoinnista ja reagoimisesta muuttuviin olosuhteisiin.

Tässä opinnäytetyössä käsitellyistä rakennusaikaisen kosteudenhallinnan osa-alueista sääsuojaus ja siihen liittyvät vaatimukset ovat lähitulevaisuudessa todennäköisesti eniten muuttuva osa-alue. Lämmitysjärjestelmiin tuskin suuria muutoksia on tulossa lähiaikoina, joskin keskustelua on käyty pelletin käytöstä rakennusaikaisen lämmityksen energiamuotona. Kuivausmenetelmistä ontelokuivaus lisääntyy jatkuvasti johtuen uusissa taloissa ilmenneistä ongelmista ja asian saamasta julkisuudesta. Myös onteloveisien paikantamiseen on etsitty ratkaisua. Betonirakenteiden pinnoitettavuuden määrittämisestä on tehty paljon tutkimuksia, ja niiden perusteella tehdyt ohjeet antavat hyvät puitteet luotettavien mittauksien suorittamiseen.

Rakennusaikaisesta kosteudenhallinnasta on saatavana paljon kirjallisuutta ja muuta aineistoa. Kaikkien tavoitteena on rakentaa kuivia taloja kustannustehokkaasti ilman muutaman vuoden päästä paljastuvia homeongelmia. Tavoitteeseen päästäksemme on pysyttävä ajan hermolla kosteudenhallintaan liittyvissä asioissa.

## Lähteet

- 1 RIL 250-2011. 2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 2 Niemelä, Tero. 2014. Kosteusvaurioiden ehkäiseminen rakennustuotannossa. Suomen Rakennusmedia Oy.
- 3 Ilmatieteenlaitos. Verkkodokumentti. <http://ilmatieteenlaitos.fi/talvitilastot>. Luettu 15.9.2014.
- 4 Seppälä, Pekka. 2013. Rakentamisprosessin kosteudenhallinta. Verkkodokumentti. [www.rescaoulu.fi](http://www.rescaoulu.fi). Luettu 18.9.2014.
- 5 Koskenvesa, Anssi. 1996. Kone-Ratu 07-3032. Rakennustieto Oy.
- 6 Lättilä, Hannu; Mölsä, Seppo. 2014. Pakollisella sääsuojalla edistetään puukerrostalorakentamista. Rakennuslehti 11/2014, s. 6.
- 7 Ramirent Finland. Sääsuojauksen ohjekirja.
- 8 Aga. Verkkodokumentti. [www.aga.fi](http://www.aga.fi). Luettu 18.9.2014.
- 9 Motiva. Verkkodokumentti. [www.motiva.fi](http://www.motiva.fi). Luettu 12.9.2014.
- 10 Harju, Pentti. 2004. Lämmitystekniikan oppikirja. Verkkodokumentti. [www.penantiet-opus.fi](http://www.penantiet-opus.fi). Luettu 12.9.2014.
- 11 El-Björn Oy, Verkkodokumentti. [www.elbjorn.com](http://www.elbjorn.com) Luettu 10.9.2014.
- 12 Strong Finland Oy. Verkkodokumentti. [www.strong.fi](http://www.strong.fi) Luettu 10.9.2014.
- 13 Arpomaa, Tommi. Strong Finland Oy. Keskustelu 16.9.2014.
- 14 Merikallio, Tarja. 2009. Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa. Teknillinen Korkeakoulu. TKK Rakenne- rakennustuotantotekniikan väitöskirja.
- 15 Komonen, Juha; Merikallio, Tarja & Niemi, Sami. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Suomen Betonitieto Oy.
- 16 RT 14–10984. 2010. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. Rakennustieto Oy.

