

Pekka Ahonen

Sisävalmistusvaiheen lämmitys ja kuivatus sekä energian kulutus talviaikana

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

21.11.2012

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Pekka Ahonen Sisävalmistusvaiheen lämmitys ja kuivatus sekä energian kulutus talviaikana 87 sivua + 5 liitettä 21.11.2012
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennusalan työjohto
Suuntautumisvaihtoehto	Talorakennustekniikka
Ohjaajat	Lehtori Timo Riikonen Työpäällikkö Jorma Tuononen
<p>Mestarityön aiheena oli sisävalmistusvaiheen lämmitys ja kuivatus sekä energian kulutus talviaikana. Mestarityön tavoitteena oli kehittää YIT Rakennus Oy:lle sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusohje sekä tuotannon työjohtajille työkalu lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien vertailuun.</p> <p>Mestarityön toimeksiantajana toimi YIT Rakennus Oy:n ARU-yksikkö. YIT:n Asuinrakennus Uusimaa yksikkö toimii Uudellamaalla rakentaen uudistuotantoa. ARU on erikoistunut pienrakennuskohteisiin kuten kerrostalo-, luhtitalo-, rivitalo- ja paritalokohteisiin.</p> <p>Työmaille suoritettujen haastattelujen tarkoituksena oli kerätä tietoa sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusjärjestelmistä sekä energian kulutuksesta talviaikana. Työmailta saatujen tietojen mukaan suoritettiin vertailua eri lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien välillä. Energian kulutuksesta haastateltiin myös YIT Kalusto Oy:n kalustopäällikköä.</p> <p>Sisävalmistusvaiheessa oikeiden kuivumisolosuhteiden luomisella on suuri merkitys rakenteiden kuivumiselle. Hyvien kuivumisolosuhteiden seurauksena voidaan rakenteet pinnoittaa tai päällystää aikataulussa. Kuivumisolosuhteiden laiminlyömisestä seurauksena voi rakenteiden kuivuminen hidastua merkittävästi ja pahimmassa tapauksessa syntyä kosteuden tiivistymistä rakenteen pinnalle tai sisälle rakenteeseen.</p> <p>Betoni on materiaali, joka pyrkii ympäröivän tilan kanssa tasapainokosteuteen. Tasapainokosteuteen päästäkseen tulee betonirakenteen luovuttaa haihtumiskykyistä kosteutta rakenteen pintaan kapillaarivoimien tai diffuusion avulla. Betonirakenteen kuivumisesta seurataan kosteusmittauksin.</p> <p>Puurakenteisen rakennuksen ulkopuolen ja sisäpuolen välillä vallitsevien paine-erojen vaikutuksesta kosteus pyrkii liikkumaan rakenteiden lävitse vesihöyrymuodossa. Vesihöyryn eteneminen rakenteiden lävitse tapahtuu ulkopuolen ja sisäpuolen vesihöyryn osapaine-erojen ja ilmanpaine-erojen vaikutuksesta.</p> <p>Sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusenergiamuotona käytetään tapauskohtaisesti kaukolämpöä, lämmitysöljyä tai sähköä. Nestekaasu ei sovellu sisävalmistusvaiheen lämmitysenergian muodoksi, koska käytön yhteydessä muodostuu kosteutta.</p>	
Avainsanat	lämmitys, kuivatus, energia, kuivumisolosuhteet

Author Title Number of Pages Date	Pekka Ahonen Heating and dehumidification in house interior construction period and energy consumption in winter time 87 pages + 5 appendices 21 November 2012
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Management
Specialisation option	Building Construction
Instructors	Timo Riikonen, Senior Lecture Jorma Tuononen, Project Manager
<p>The topic of this thesis is heating and dehumidification in house interior construction, and energy consumption in winter time. The main purpose of this bachelor's thesis was to develop instructions for heating and dehumidification in house interior construction and also create a tool for foremen of the production line. This tool helps to compare heating and dehumidification systems.</p> <p>The employer of this thesis was the ARU unit of YIT Rakennus Oy's. The ARU unit constructs new buildings in southern Finland. The ARU unit is specialized in small buildings such as block of flats, loft houses, row houses and semi-detached houses.</p> <p>The main purpose of the construction site interviews was to gather information about heating and dehumidification systems and energy consumption in winter time. According to the information gathered from construction sites, comparisons were performed between different heating and dehumidification systems. YIT Kalusto Oy's manager of equipment was also interviewed about energy consumption.</p> <p>Appropriate drying circumstances in house interior construction are in the key role in the drying of the structures. As a result of the appropriate drying circumstances, the structures can be lined or coated according to the time schedule. The failing of the appropriate drying circumstances may slow down the drying of the structures and cause humidity to condensate to the surface or the inside of the structure.</p> <p>Concrete is a material which strives to generate humidity balance with the surrounding space. To get to the humidity balance, a concrete structure has to release the humidity to the surface. This happens with the help of diffusion and capillary forces. Drying of the concrete structure is followed with a hygrometer.</p> <p>Wood structured buildings have differences between outside and inside pressures. Because of that, the humidity strives to move through the structure. Water vapor moves through the structure due to differences in outside and inside air pressures and part pressures of the gas phases of water.</p> <p>District heating, heating oil and electricity are the most commonly used energy forms for heating and dehumidification in interior construction. Liquefied petroleum gas is not a suitable form of energy for heating and dehumidification in interior construction. The use of liquefied petroleum gas generates extra humidity to the airspace.</p>	
Keywords	heating, dehumidification, energy, drying circumstances

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta ja lähtökohdat	1
1.2	Mestarityön rajaus	2
1.3	Mestarityön tulos	3
2	Yrityksen esittely	4
2.1	YIT Oyj	4
2.2	Asuintalot Uusimaa (ARU)	4
3	Rakennusaikainen lämmitys ja kuivatus sisävalmistusvaiheessa	5
3.1	Tavoitteet	5
3.2	Rakennuksen kuivattamisen periaatteet	5
3.2.1	Avoin järjestelmä	6
3.2.2	Suljettu järjestelmä	7
3.2.3	Pikakuivatus	8
3.3	Kuivumisolosuhteet sisävalmistusvaiheessa	8
3.4	Sisävalmistusvaiheen lämmityksen ja kuivatuksen suunnittelun vaiheet	9
3.5	Lämmityksen tehokkuuteen vaikuttavat tekijät	11
4	Betonirakentaminen	13
4.1	Betonin koostumus	13
4.2	Betonin kosteus	14
4.2.1	Rakennekosteus	14
4.2.2	Betonin suhteellinen kosteus	15
4.2.3	Betonin kastuminen	16
4.3	Betonirakenteen kuivuminen	18
4.3.1	Betonirakenteen kuivumiseen vaikuttavat tekijät	19
4.3.2	Betonirakenteen nopeampaan kuivumiseen vaikuttavat tekijät	22
4.4	Betonirakenteiden kosteusmittaus	24
4.4.1	Mittausmenetelmät ja -kalusto	24
4.4.2	Betonin suhteellisen kosteuden mittaus	24
4.4.3	Mittausten tarve ja laajuus	26
4.4.4	Mittauspisteet ja -syvytydet	28
4.4.5	Mittausten tarkastelu ja raportointi	30

5	Puurakentaminen	31
5.1	Kosteuden siirtyminen rakenteisiin vesihöyrymuodossa	31
5.1.1	Diffuusio	31
5.1.2	Konvektio	32
5.2	Kosteuden tiivistyminen	35
5.2.1	Kondensoituminen	35
5.2.2	Kastepiste	36
5.3	Kuivumisolosuhteiden vaikutus tosielämän puuelementtikohteessa	37
6	Rakennusaikaiset lämmitys- ja kuivatusjärjestelmät	42
6.1	Öljylämmitys	42
6.1.1	Lämpökontti	42
6.1.2	Öljykäyttöinen lämmitysyksikkö öljysäiliöllä	43
6.1.3	Öljykäyttöiset lämmittimet	45
6.2	Nestekaasujärjestelmä	45
6.2.1	Nestekaasupuhaltimet	48
6.2.2	Nestekaasusäteilijät	49
6.3	Sähkölämmitys	50
6.3.1	Sähkölämmittimet	50
6.3.2	Sähkökäyttöiset säteilijät	51
6.4	Kiertovedellä toimivat lämpöpuhaltimet	51
6.5	Öljy- sekä kaasukäyttöiset lämmittimet	53
6.6	Kosteudenerottimet	53
6.7	Rakennuspuhaltimet	55
6.8	Betonilattiarakenteen Tempo-kuivainlämmitin	55
7	Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmät esimerkkikohteissa	57
7.1	As Oy Nurmijärven Rajakivi	57
7.1.1	As Oy Nurmijärven Rajakivi: Kerrostalo	59
7.1.2	As Oy Nurmijärven Rajakivi: Luhtitalot	61
7.2	As Oy Espoon Rosetti	62
7.3	As Oy Helsingin Klyyssi	65
8	Lämmitys- ja kuivatusenergiakustannukset esimerkkikohteissa	69
8.1	As Oy Nurmijärven Rajakivi	70
8.2	As Oy Helsingin Klyyssi	71
8.3	Vertailulaskelmat vaihtoehtoisella lämmitysmuodolla	72
8.3.1	As Oy Nurmijärven Rajakivi	72
8.3.2	As Oy Helsingin Klyyssi	73

8.3.3	Yhteenveto vertailuista	74
9	Energian kulutus talvirakentamisessa	76
9.1	Lämmitys ja kuivatus	77
9.1.1	Kaukolämpö	77
9.1.2	Polttoöljy	77
9.1.3	Sähkö	78
9.1.4	Nestekaasu	78
9.2	Valaistus	78
9.3	Työmaan sosiaalityöt	79
9.4	Työmaan sähköistys	79
10	Johtopäätökset	80
10.1	Sisävalmistusvaiheen lämmitys ja kuivatus	80
10.2	Energian kulutus talviaikana	83
10.3	Työn arviointi	84
10.4	Mestarityön tuottama hyöty toimeksiantajalle	85
11	Pohdinta	86
	Lähteet	88
	Liitteet	
	Liite 1. Mestarihaastattelupohja	
	Liite 2. YIT Kalustokeskus Oy:n yhteyshenkilön haastattelupohja	
	Liite 3. Ilman ominaisuuksia normaalissa ilmakehän paineessa	
	Liite 4. Kohteen sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusohje talviaikana	
	Liite 5. Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien vertailutaulukko	

1 Johdanto

Tämän mestarityön aiheena on sisävalmistusvaiheen lämmitys ja kuivatus sekä energian kulutus talviaikana. Mestarityön toimeksiantajana toimii YIT Rakennus Oy (ARU) eli Asuinrakennus Uusimaa. ARU-yksikössä rakennetaan kerrostaloja, rivitaloja sekä luhtitaloja. Mestarityön keskeisiä tavoitteita ovat tutkia eri lämmitysjärjestelmien soveltuvuuksia asuinrakentamisessa, rakennusajankohdan vaikutusta kustannuksiin ja yleistä energiankulutusta rakennushankkeessa. Mestarityön lopputuloksena syntyy sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusohje sekä lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien vertailutaulukko ohjeineen. Lopputulosten tarkoituksena on tuoda sisävalmistusvaiheen lämmityksen ja kuivatuksen suunnitteluun ohje sekä lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän valintaa helpottava työkalu työnjohtajille.

Mestarityössä tarkastellaan rakennushankkeen kuivatusta ja lämmitystä sekä kuivumisolosuhteiden vaikutusta sisärakennusvaiheessa. Sisärakennusvaiheeseen on tarjolla erilaisia lämmitys- ja kuivatusjärjestelmiä, jotka vaikuttavat kuivumisolosuhteiden luomiseen kohteessa. Esimerkkikohteiden avulla lasketaan kohteen lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmän energian kulutusta sekä verrataan kohteen lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmää vaihtoehtoiseen lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmään.

Mestarityötä varten tullaan haastattelemaan vastaavia työnjohtajia viideltä eri ARU-yksikön työmaalta. Haastatteluilla pyritään kartoittamaan kohteen vastaavien työnjohtajien kokemuspohjaan ja tietoon perustuvaa tietoa sisävalmistusvaiheen lämmityksestä ja kuivattuksesta, kohteeseen valitusta lämmitys- ja kuivatusjärjestelmästä sekä energian kulutuksesta. Haastatteluiden päätarkoituksena on saada tietoa sisävalmistusvaiheen lämmityksestä ja kuivattuksesta.

1.1 Työn tausta ja lähtökohdat

ARU-yksikkö haluaa tutkia yksittäisen hankkeen rakennusvaiheen lämmitysjärjestelmän valintaa sekä energian kulutusta yleisesti hankkeen aikana. Vastaavat työnjohtajat ovat valinneet järkevän lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän sisävalmistusvaiheen lämmittämiseen ja kuivattukseen perustuen omiin mieltymyksiin, omakohtaisiin kokemuksiin sekä suunnitelmallisuuteen. Toimeksiantajan toiveena on vertailla eri lämmitys- ja kui-

vatusjärjestelmiä ja saada selville, mikä lämmitysjärjestelmä sopii parhaiten senhetkisen kohteen lämmittämiseen ja kuivatukseen ominaisuuksien ja kustannusten perusteella. Työmaakäyntien ja haastattelujen perusteella saadaan selville työnjohtajien tekemään valintaan vaikuttaneet asiat ja voidaan vertailla hankkeeseen valittua lämmitysjärjestelmää vaihtoehtoiseen lämmitysjärjestelmään.

Rakennusaikaisen lämmitysjärjestelmän energiakustannukset voivat olla rakennuskohteesta riippuen todella suuret syys- sekä talvikautena kuukaudessa. Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavat monet tekijät, ja väärällä järjestelmävalinnalla voidaan kustannuksia nostaa merkittävästi. Lämmitysmuotojen muuttuvien yksikköhintojen takia joku lämmitysmuoto voi olla kustannuksiltaan edullisempi tietyssä ajankohtana, mutta toisena ajankohtana taas kalliimpi kuin jokin toinen lämmitysmuoto. ARU-yksikkö haluaa tuoda työnjohdon käyttöön mallin, jolla voidaan vertailla sen hetkisillä yksikköhinoilla lämmitysjärjestelmiä ja sen pohjalta valita kustannuksiltaan parhain ja edullisin lämmitysjärjestelmä rakennuskohteen lämmittämiseen kunkin ajankohdan mukaan.

Energiankulutus työmaalla on todella suurta johtuen jatkuvasti päällä olevista sähkölaitteista, työmaavalaistuksesta, työmaatoimiston lämmityksestä talviaikana ja lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmästä. On todella vaikeata arvioida sen hetkistä energiankulutusta saati kustannusten suuruutta kuukauden päästä. Tulosta tavoitellessa tulee ajatelleeksi, voidaanko jostain säästää pidemmällä tähtäimellä. Energian kulutuksen seuraaminen ja energiaa säästävien laitteiden suosiminen on pidemmällä tähtäimellä kannattavaa. Asiaa voidaan tarkastella tekemällä seurantoja, joissa seurataan tietyn vaihtoehtoisen asian erilaista toteutumista, kuten esimerkiksi sisälämpötilan pudotusta 23 °C asteesta 20 °C asteeseen. Kun tehdään paljon järkeviä muutoksia, voidaan säästä energiakuluissa huomattavasti hankkeen aikana. Rakennushankkeen pitkän elinkaaren aikana olisi hyvä etukäteen suunnitella säästämisen kohteita ja tavoitteita energiankulutuksen näkökulmasta. Energian kulutusta pohtien tutkitaan samalla, millä tavalla rakennushankkeen ajankohdan muuttaminen vaikuttaa energiakustannuksiin.

1.2 Mestarityön rajaus

Uudisrakennuskohteen elinkaaren aikana voi olla erilaisia ajanjaksoja, jolloin tulee rakennuksen tiloja tai osia lämmittää tai kuivattaa erilaisten tekijöiden takia. Pidemmissä hankkeissa voi olla useampiakin lämmitys- ja kuivatusajanjaksoja. Suomessa vallitse-

vien vaihtelevien sääolosuhteiden takia tulee rakennuksen tilojen ja osien lämmittämistä ja kuivattamista suunnitella jokaisena vuodenaikana tapauskohtaisesti.

Mestarityön aihe rajautuu uudisrakennuskohteen sisävalmistusvaiheen lämmittämiseen ja kuivattamiseen talviaikana. Talviaikana rakennuksen sisävalmistusvaiheen lämmitys ja kuivatus vie paljon energiaa ja kustannuksia, jotta rakenteet saadaan pinnoitettua tai päällystettyä aikataulun mukaan. Pinnoitus- tai päällystystöiden viivästyminen johtuu yleisesti rakenteiden ympärille luoduista heikoista kuivumisolosuhteista. Ennakoivalla sisävalmistusvaiheen kuivumisolosuhteiden huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella päästään yleensä aikataulullisesti ja kustannusten näkökulmasta hyvään lopputulokseen.

1.3 Mestarityön tulos

Mestarityössä tutkitaan rakennushankkeen sisävalmistusvaiheen lämmitystä ja kuivattamista, rakennuksen sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusjärjestelmiä sekä työmaan energiankulutusta. Mestarityön tuloksena syntyy ohje rakennuksen sisävalmistusvaiheen lämmitykseen ja kuivatukseen. Sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusohje on suunnattu hankkeessa työnjohdon käyttöön. Ohjeesta tullaan tekemään kattava ja helppolukuinen. Ohje tulee antamaan neuvoja sisävalmistusvaiheen lämmitykseen ja kuivatukseen.

Toisena tuloksena syntyy taulukko, jolla voidaan arvioida sisävalmistusvaiheen lämmitykseen ja kuivatukseen valittavan lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän energian kulutusta ja kustannuksia. Taulukko on suunnattu sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusohjeen liitteeksi. Taulukolla voidaan vertailla eri lämmitys- ja kuivatusjärjestelmiä, ja vertailun perusteella voidaan valita työmaalle sopivin ja kustannuksiltaan edullisin lämmitys- ja kuivatusjärjestelmä. Taulukko on suunnattu työmaan työnjohdon lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän valintaa helpottavaksi. Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien vertailutaulukosta tullaan tekemään ohjeet kirjallisessa muodossa ja videona.

2 Yrityksen esittely

2.1 YIT Oyj

YIT eli Yleinen Insinööritoimisto aloitti toimintansa vuonna 1912. Alkuvaiheessa YIT oli ruotsalaisen Ab Allmänna Ingeniörsbyrån omistuksessa, mutta maailmansodan ja Suomen itsenäistymisen myötä ruotsalaisen yrityksen pyrkimykset päästä Suomen kautta Venäjän markkinoille vaikeutuivat ja toiminta loppui. Suomalaiset liikemiehet jatkoivat toimintaa vuonna 1920 ja perustivat YIT Oy:n. (YIT 2011a.)

Yrityksellä on kaksi tärkeää toimialaa: rakentaminen ja kiinteistötekniikka. Henkilöstöä yrityksellä on noin 26 000 ja yrityksen päämarkkina-alueet ovat Pohjoismaissa, Venäjällä, Baltian maissa ja Keski-Euroopassa. Yrityksen toimialojen liikevaihto oli 4 525 miljoonaa euroa vuonna 2011. (YIT 2011b.)

2.2 Asuintalot Uusimaa (ARU)

Asuintalot Uusimaa eli ARU toimii Uudenmaan alueella Etelä-Suomessa. Yksikkö on erikoistunut kerrostalo- ja pientalorakentamiseen.

3 Rakennusaikainen lämmitys ja kuivatus sisävalmistusvaiheessa

Sisävalmistusvaiheen lämmittämällä ja kuivattamisella on suuri vaikutus rakenteiden pinnoitukseen ja päällystettävyyteen. Jotta rakenteet pystyttäisiin pinnoittamaan tai päällystämään, tulee alustassa käytetyn pinnoitus- tai päällystemateriaalin vaatiman alustan olosuhteiden täyttää valmistajan määräämät raja-arvot. Valmistajan määräämiin alustan olosuhteisiin päästään kohteen huolellisella lämmitys- ja kuivatussuunnitelmalla, jonka merkittävänä osana on rakennukseen luodut kuivumisolosuhteet. Kuivumisolosuhteiden huolellisella suunnittelulla ja seurannalla voidaan rakenteet pinnoittaa tai päällystää aikataulussa.

3.1 Tavoitteet

Rakennusaikaisen lämmittämisen ja kuivattamisen tavoitteena on rakennuksen sisävalmistusvaiheen aloituksen aikaistaminen. Sisävalmistusvaiheen aikaistamisen edellytyksenä on luoda tilojen, rakenteiden ja työskentelyn kannalta suunnitelma-asiakirjojen mukaiset vaaditut olosuhteet. Lämmityksellä ja kuivattamisella pyritään näin ollen poistamaan rakennuksen runko- ja pintarakenteista sekä tilasta ylimääräinen haihtumiskykyinen kosteus, jonka seurauksena rakennusprosessi etenee aikataulussa ja suunnitelma-asiakirjoissa vaaditut rakenteiden ja pintojen määrätyt suhteelliset kosteudet saavutetaan. (Kone-Ratu 1996: 1.)

Varsinkin esim. maalaus, tasoite-, vedeneristys-, laatoitus-, tapetointi- ja erilaiset lattianpäällystystyöt asettavat alusrakenteelle erilaisia kosteusvaatimuksia. Myös rakennuksilla paljon käytettyjen betoni- ja kevytbetonirakenteiden sekä muurattujen rakenteiden valmistuksessa käytetään paljon vettä, mistä ylimääräinen kosteus on poistettava lujuutensa saavuttaneesta rakenteesta ennen pinnoitus- tai päällystystöitä. Rakennusaikana erilaiset olosuhdevaihtelut, sateet, vesivahingot ja sisällä tehtävät pesutyöt lisäävät rakenteiden kosteutta ja lämmitys- sekä kuivatustarvetta. (Kone-Ratu 1996: 1.)

3.2 Rakennuksen kuivattamisen periaatteet

Rakennuksen kuivattamisen periaatteena on rakennuksen oman tai suunnitellun lisälämmityksen tai ilmansiirtimien avulla pudottaa merkittävästi ilman suhteellista kosteutta. Ilman suhteellisen kosteuden pudotuksella (ilman kuivattamisella) pyritään saavut-

tamaan ympäröivät rakenteet tasapainotilaan vallitsevan ilmassan kanssa, mikä edesauttaa rakenteita luovuttamaan kosteutta ympäröivään kuivatettavaan tilaan. Rakennuksen kuivattamisella saatetaan rakenteet valmiiksi pinnoitus ja päällystys varten.

Rakennuksen kuivattamistapoja on kolme:

- avoin järjestelmä
- suljettu järjestelmä
- ja pikakuivatus. (Gles Oy 2012; Björkholtz 1990: 52.)

3.2.1 Avoin järjestelmä

Avoimessa järjestelmässä rakennuksen sisäilma tullaan lämmittämään, joko pelkäs- tään omalla lämmitysjärjestelmällä tai/sekä lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmällä, liitet- tynä tiedostettuun ilmanvaihtoon rakennuksessa. Periaatteena on lämpimän ilman si- toman kosteuden määrän siirtäminen hallitulla ilmanvaihdolla pois rakennuksesta, mikä samalla tuulettaa rakenteiden pintoja. Avoin järjestelmä sopii käytettäväksi talvisin, jolloin kylmä ilma on kuivempaa kuin lämmin sisäilma (liite 3). Näin ollen kylmän ilman kapasiteetti vastaanottaa ylimääräistä kosteutta on suurempi. Kylmää ja kuivaa ilmaa voi päästä sisälle esim. vuotokohtien ja rakennuksen säännöllisellä tuulettamisella. Lämmenneen kylmän ilman ulosjohtaminen voi tapahtua esimerkiksi alipaineistamalla tai ylipaineistamalla (Björkholtz 1990: 52–54; Kone-Ratu 07-3032 1996: 4.)

Rakennuksen ylipaineistamisella pyritään saamaan rakennukseen tila, jolloin raken- nuksen sisäpuolinen paine on suurempi kuin rakennusta ympäröivä paine. Kun ylipaine on saatu muodostettua rakennukseen, pyrkii se luovuttamaan ilmaa vuotavista aukois- ta pois rakennuksesta. Ylipaine saadaan ajettua rakennukseen puhaltamalla sinne enemmän ilmaa kuin sieltä vuotaa pois. (RT 80-10974 2009: 11.) Käytännössä raken- nusvaiheen ylipaineistaminen voi tapahtua esimerkiksi sijoittamalla rakennuksen ulko- puolelle suuritehoinen puhallinlämmitin (kuva 1), joka puhaltaa rakennuksen ulkopuo- lelta kylmää ja kuivaa lämmitettyä ilmaa rakennukseen.



Kuva 1. Talhu Termo 110, jonka ilmanpuhallusmäärä on 5500 m³/h (Talhu Oy 2012).

Rakennusten alipaineistamisella pyritään saamaan rakennukseen tila, jolloin rakennuksen sisäpuolinen paine on alhaisempi kuin rakennusta ympäröivä ulkopuolinen ilmanpaine. Rakennuksen ollessa alipaineistetussa tilassa pyrkii se vastaanottamaan ilmaa vuotavista aukoista sisälle rakennukseen. Rakennuksen alipaineistamisessa pyritään tiivistä rakennuksesta puhaltamaan ilmaa pois. (RT 80-10974 2009: 11.) Rakennusvaiheessa alipaineistettu tila saadaan sijoittamalla rakennuksen ulkovaippaan puhallin tai puhaltimia, jotka puhaltavat rakennuksen sisältä ilmaa pois koneellisesti. Alipaineistaminen sopii erityisesti puuelementtirakentamiseen talviaikana (Päkkilä 2012: 32–38).

3.2.2 Suljettu järjestelmä

Suljetussa järjestelmässä tullaan rakennus tiivistämään niin perusteellisesti, ettei rakennuksen sisätiloissa ilma vaihtuisi juuri lainkaan. Suljetussa järjestelmässä rakennuksen lämpötilan noston myötä tullaan käyttämään huoneistojen ilman kosteuden poistamiseen kosteuden poistajia. Kosteuden poistajat tulevat keräämään huoneilmaasta ylimääräistä rakenteista haihtunutta kosteutta, joka täytyy johtaa pois hallitusti esimerkiksi viemäriputkiston avulla tai astioilla. Suljettua järjestelmää voidaan käyttää

esimerkiksi kesällä tai syksyllä, jolloin rakennusta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on suuri ja samoin vesihöyryn määrä. Suljetulla järjestelmällä estetään ylimääräisen kosteuden pääseminen rakennukseen. (Björkholtz 1990: 52–54; Kone-Ratu 07-3032 1996: 4.)

3.2.3 Pikakuivatus

Pikakuivatuksessa lämmitysenergia pyritään siirtämään suoraan itse kuivatettavaan rakenteeseen, johon liittyy oleellisesti kuivatettavaa rakennetta ympäröivän tilan ilmanvaihto. Rakennetta voidaan kuivattaa esim. säteilijöillä tai kaatovalulattioiden sisälle asennettavilla lattialämmityspiuhilla. Itse rakenteen lämpötila nousee, joka kiihdyttää kuivumista (Björkholtz 1990: 52–54.)

3.3 Kuivumisolosuhteet sisävalmistusvaiheessa

Sisävalmistusvaiheessa ilman kosteudella ja lämpötilalla on suuri vaikutus rakenteiden rakennusaikaiseen kuivumiseen. Luomalla rakenteille hyvät kuivumisolosuhteet voidaan ennaltaehkäistä kosteusvaurioita ja rakenteiden hidasta kuivumista. Talvella kuivumisolosuhteiden luominen rakennuksen sisälle pelkästään rakennukseen johdetun ulkoilman kierrättämisellä on helppoa kylmän ulkolämpötilan johdosta. Esimerkiksi talvella 90 %:n suhteellisen kosteuden omaava -15 °C -asteinen ulkoilma sisältää noin $1,24\text{ g/m}^3$ vesihöyryn muodossa olevaa kosteutta. Kylmän ja kuivan ulkoilman ajautuessa sisälle, missä on suhteellinen kosteus 50 % ja lämpötila $+22\text{ °C}$, pystyy se sisäilmassa lämmitessään sitomaan itseensä runsaasti ylimääräistä vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta. Kun tämä kylmästä ulkolämpötilasta tullut kuiva ilma saadaan kierrätettyä sisällä rakennuksessa lämmittäen ja sitoen itseensä ylimääräistä sitoutumiskykyistä kosteutta, pitää se vain hallitusti johtaa ulos rakennuksesta esimerkiksi avoimen tai suljetun järjestelmän avulla. Sisäilman suhteellisen kosteuden ollessa 50 % ja lämpötilan $+22\text{ °C}$ sisältää ilma vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta $9,7\text{ g/m}^3$. Kylmän ilman kierrätys sisällä sitoen itseensä kosteutta on vain yksi tapa, jolla saadaan kuivumisolosuhteita paremmaksi. Seuraavassa kuvassa 2 on esitetty asioita, jotka täydentävät rakennuksen hyviä kuivumisolosuhteita. (Björkholtz 1990: 9.)



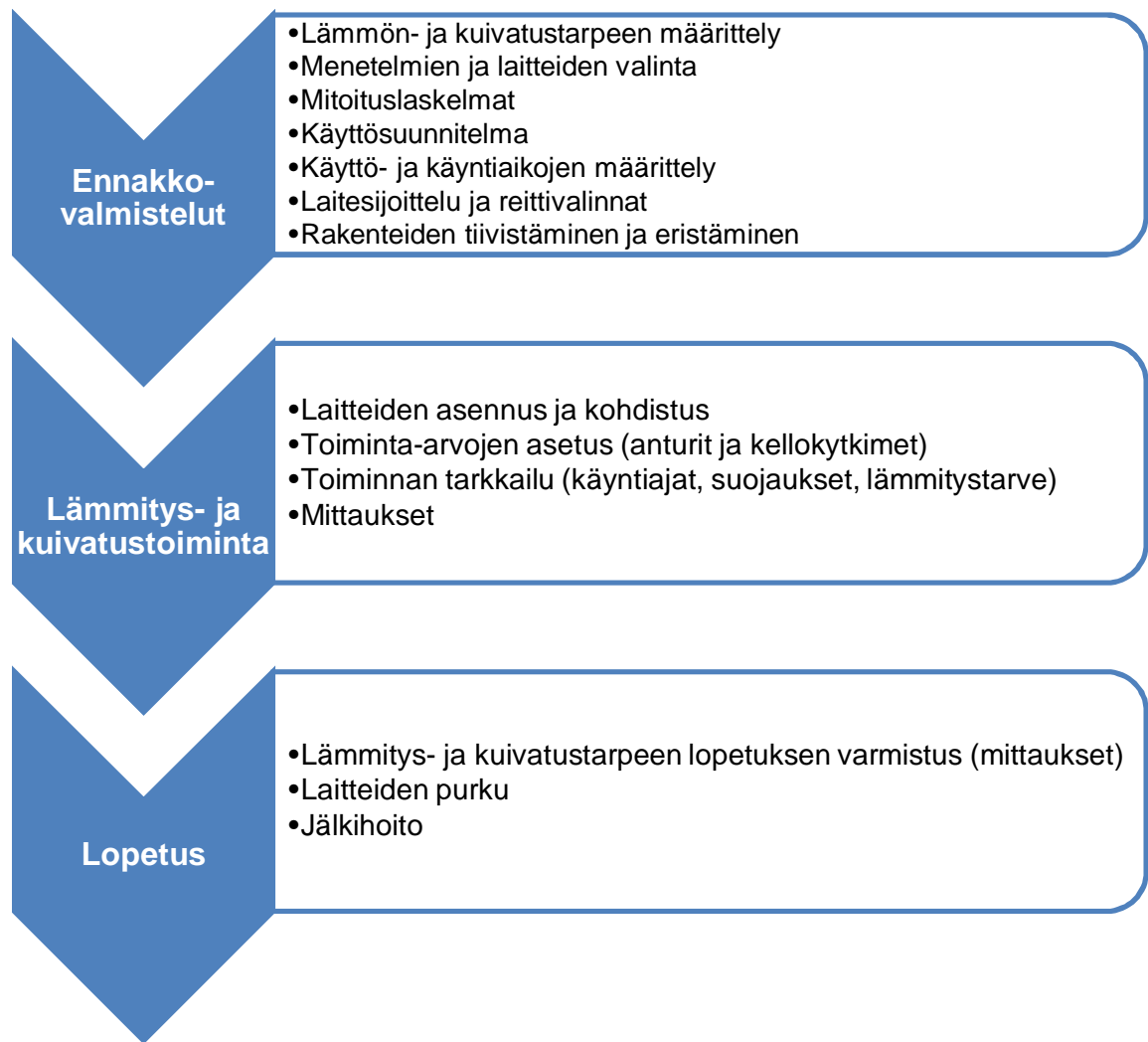
Kuva 2. Hyvien kuivumisolosuhteiden luominen rakennukseen (Merikallio 1998: 19)

3.4 Sisävalmistusvaiheen lämmityksen ja kuivatuksen suunnittelun vaiheet

Kohteen sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusvaiheen tuotannosuunnittelussa tulee ottaa huomioon ennen lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän valitsemista seuraavat seikat:

- Kuinka paljon on lämmitettävää tilaa (koko ja määrä)?
- Muodostuuko lämmitettävä ja kuivatettava kohde yhteisestä tilasta vai huoneistoista (tarvitaanko lämmön jakamiseen huoneistojen välillä apupuhaltimeja)?

- Lämmitystä ja kuivattamista tarvitsevan tilan valmiusaste (ennen lämmitystä ja kuivattamista on varmistuttava siitä, että lämpö on mahdollista pitää sisällä ja rakennukseen pääsevä lisäkosteus on estetty)?
- Voidaanko lämmitys- ja kuivatus aloittaa jo kohteen rakennusvaiheen aikana (osastointia/lohkotusta hyväksi käyttäen)?
- Miten lämmittimiä tai kuivattimia tullaan sijoittamaan rakennuskohteessa (vaihtelevatko laitteiden paikat tarpeen mukaan)?
- Ylimääräisen kosteuden poisto rakennuksesta (tullaanko rakennuksesta poistamaan ylimääräinen kosteus suljettua järjestelmää, avointa järjestelmää, yli-paineistusta, alipaineistusta vai erillisiä kosteudenpoistajia käyttämällä)?
- Lopullisen kohteen lämmitysjärjestelmän käyttö kohteen lämmityksessä ja kuivatuksessa (voidaanko kohteen omaa lämmitysjärjestelmää hyödyntää lämmitys- ja kuivatuskautena)?
- Energiamuotojen suunnitteluajankohdan hintataso ja saatavuus markkinoilla (energiamuotojen jälleenmyyjiltä saadaan tämänhetkiset vertailukelpoiset hinnat).
- Seuraavaa kuvaa 3, voidaan käyttää apuna lämmityksen ja kuivatuksen suunnittelussa. (Kone-Ratu 07-2 1989:3; Kone-Ratu 07-3032: 2-5; RT-Kortti 80-10974 2009: 11.)



Kuva 3. Rakennuksen lämmityksen ja kuivatukset toteutus (Kone-Ratu 07-2: 4–5).

3.5 Lämmityksen tehokkuuteen vaikuttavat tekijät

Rakennusaikaisen lämmittämisen tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä on muun muassa seuraavia.:

- Lämmittimestä saatu lämpö jakautuu tasaisesti huoneistojen välillä.
- Ensisijaisen tärkeää on ulkovaipan aukkojen tiivistäminen mahdollisimman hyvin esim. ulko-ovet ja ikkunat.
- Lämmöneristämättömät ulkovaipan rakenneosat lisäävät pintojen lämpötilaeroja sekä kasvattavat hukkaenergian määrä rakennuksessa.
- Rakennuksen kylmät sisäpinnat johtavat vesihöyryn kondenssiin.

- Lämpötilojen tasaamista kerrosten välillä auttaa lämmittimen sijoittamien siten, että nouseva lämmitysilmavirta saavuttaa mahdollisimman helposti porrasaukon.
- Lämmittimen taakse jää aina kylmempi alue. Jos ulkovaippa on huonosti tiivistetty, voi lämmittimen takana olevan alueen lämpötila laskea lähelle ulkolämpötilan tasoa.
- Lämmityslaitteen tehon vaikutusta kerroksissa voidaan parantaa apupuhaltimilla, jolloin saadaan jaettua lämmintä ilmaa tasaisesti huoneistojen välillä.
- Rakennuksen ylipaineistamisen avulla vältetään epätasaiset kuivumisolosuhteet. Rakennuksen ollessa ylipaineistetussa tilassa johdetaan lämmin ulkoilma sisälle rakennukseen, jolloin aiheutetaan ylipainetila, joka johdetaan pois hallitusti esim. vesikatolle johtavan luukun ja huoneistojen tuuletusikkunoiden kautta.
- Lämmittimen tehon ja ilmanvirran lisäksi on syytä huomioida laitteen käytössä heittopituuden ja suihkun suuntaaminen ylöspäin termisistä voimista johtuen. (Kone-Ratu 07-3032 1996: 5.)

4 Betonirakentaminen

Betonirakentaminen voi olla elementtirakentamista, paikallavalurakentamista tai betoniharkkorakentamista. Kaikkia yhdistää se, että rakennusaineena käytetään betonia. Myös kohteissa, jossa rakentaminen tapahtuu pääosin puutavaraa käyttäen, joudutaan betonia käyttämään yleisesti mm. paalutuksessa, anturassa, sokkelissa, pintavalussa ja kaatolattiassa.

Rakennuksen sisävalmistusvaiheessa betoni on jo kovettunut, mutta sisältää varsinkin kuivatuskauden alkuvaiheessa runsaasti kosteutta. Kuivatuskauden alkuvaiheesta rakenteen päällystämiseen tai pinnoittamiseen on varattu työmaan aikataulussa vain rajallinen määrä aikaa rakenteen kuivumiselle, jonka aikana ylimääräinen kosteus tulee saada johdettua pois ennen rakenteen pinnoitusta tai päällystämistä. Raja-arvot betonirakenteen kosteudelle tietyllä arviointisyvyydellä asettavat päällystystyössä käytettävät materiaalit ja niiden kriittiset kosteusraja-arvot. Kriittisiin kosteusraja-arvoihin pääsemisen edellytyksenä ovat rakenteiden säännölliset kosteusmittaukset ja rakenteiden kuivatus ja lämmitys. Betonirakenteiden huolellisella suunnittelulla ja kosteudenhallinnalla voidaan rakenteiden kuivattamiseen varattua aikaa mahdollisesti pienentää, mutta epäsuotuisissa olosuhteissa ja puutteellisella kosteudenhallinnalla voi rakenteen kuivuminen pidentyä merkittävästi. Tämä aikataulun pidentyminen vaikuttaa rakenteiden päällystettävyyteen ja sitä kautta se näkyy rakenteiden kuivattamiseen varattujen kustannusten merkittävänä kasvuna.

4.1 Betonin koostumus

Betoni koostuu vedestä, sementistä, runkoaineesta ja mahdollisista seos- ja lisäaineista. Sementin ja veden reagoidessa keskenään (hydrataatioreaktio), syntyy sementtiliima, joka sitoo runkoaineen yhteen. Betonissa käytettävien seos- ja lisäaineiden ansiosta, voidaan esimerkiksi tuoreen betonin työstettävyyttä lisätä tai kovettuneen betonin tiiviyyttä lujutta tai säilyvyysominaisuuksia parantaa. Betonin koostumuksen ja eri osaineiden suhteutuksen määrittämisellä on suuri merkitys betonin kaikkiin ominaisuuksiin. (Suomen Betoniyhdistys ry 2005: 31.)

4.2 Betonin kosteus

Betonissa on aina itsessään kosteutta, vaikka se olisi kovettunut ja saavuttanut loppulujuutensa. Kosteus on peräisin pääosin betonin valmistuksessa käytetystä vedestä ja usein myös rakennusaikana rakenteeseen kastumisen kautta päässeestä vedestä. Lisäksi on mahdollista, että betonirakenteeseen pääsee ulkopuolista kosteutta maaperästä tai vesivahingon seurauksena. Betonin ollessa huokoinen materiaali se pystyy myös sitomaan itseensä ilmasta vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta. (Komonen ym. 2007: 13.)

4.2.1 Rakennekosteus

Veden tehtävänä betonissa on muodostaa sementin kanssa sementtiliima, joka sitoo rakenneaineena käytettävän kiviaineksen yhteen muodostaen betonimassan. Vesi tuo betonimassaan elementin, joka tekee betonimassasta työstettävän betonointivaiheessa. Veden reagoidessa sementin kanssa osa vedestä sitoutuu kemiallisesti sementin kanssa ja osa fysikaalisesti betonin huokosrakenteeseen. Kemiaalisesti sitoutuneen veden määrä sementin kanssa on huomattavasti pienempi kuin fysikaalisesti huokosrakenteeseen sitoutuneen veden määrä betonissa. Kemiaalisesti sitoutuneen veden määrä on noin 20 painoprosenttia sementin massasta. Esimerkiksi, jos normaalin lattiatonin valmistamiseen käytetään 200 kg/m^3 vettä ja 250 kg/m^3 sementtiä, niin käytetystä vesimäärästä sitoutuu kemiallisesti vain 50 kg/m^3 vettä. Loput vedestä eli 150 kg/m^3 , sitoutuu fysikaalisesti betonin huokosrakenteeseen. Betonin pyrkivän ilmaston kanssa tasapainotilaan osa huokosrakenteeseen sitoutuneesta vedestä pyrkii haihtumaan ympäröivään ilmastoon muodostaen tasapainotilan betonin ja ympäröivän ilmaston kanssa. Betonissa fysikaalisesti sitoutunut vesi on näin ollen haihtumiskykyistä ja poistuu betonin kuivuessa. Kemiaalisesti sitoutunut vesi ei haihtu betonirakenteesta vaan on jo sitoutunut lopullisesti sementin kanssa. Huokosrakenteeseen sitoutunut vesi on kiinnittynyt löysästi huokosten pintaan, ja huokosten ilmatilaan on varastoitunut vesihöyryä. (Komonen ym. 2007: 13–14.)

Betonin kosteuden sitoutumiseen kemiallisesti ja fysikaalisesti vaikuttaa lähinnä vain vesisideainesuhde ja huokosrakenne. Jos kahta betonilaatua verrataan keskenään, ja näiden vesimäärä on sama, mutta sementtimäärässä on eroa, niin kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on suurempi siinä betonissa, jossa sementtimäärä on suurempi.

Tällöin myös haihdutettavan veden määrä huokosrakenteesta on pienempi. (Komonen ym. 2007: 13–14.)

Veden kemiallisesta sitoutumisesta tapahtuu valtaosa jo muutamassa päivässä. Vaikka kemiallisen sitoutumisen takia betoni on saavuttanut loppulujuutensa eli kovettunut, niin se voi olla hyvin kostea. Kun fysikaalisesti sitoutunutta vettä poistuu, eli haihtuu betonista, niin voidaan puhua betonin kuivumisesta. Betonin kuivuminen jatkuu niin kauan, kunnes betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on sama kuin betonin ympäröivän ilmaston suhteellinen kosteus. Tällöin betoni saavuttaa hygroskooppisen tasapainokosteuden ympäröivän ilmaston kanssa. Jos betonirakenteen ympäröivän huone-tilan ilmaston suhteellinen kosteus on 65 %, niin kosteasta betonista haihtuu kosteutta niin kauan, kunnes betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on yli 65 %. Kuiva betonirakenne voi taas imeä itseensä kosteutta kunnes saavuttaa tasapainotilan ympäröivän ilmaston kanssa. (Komonen ym. 2007: 13–14.)

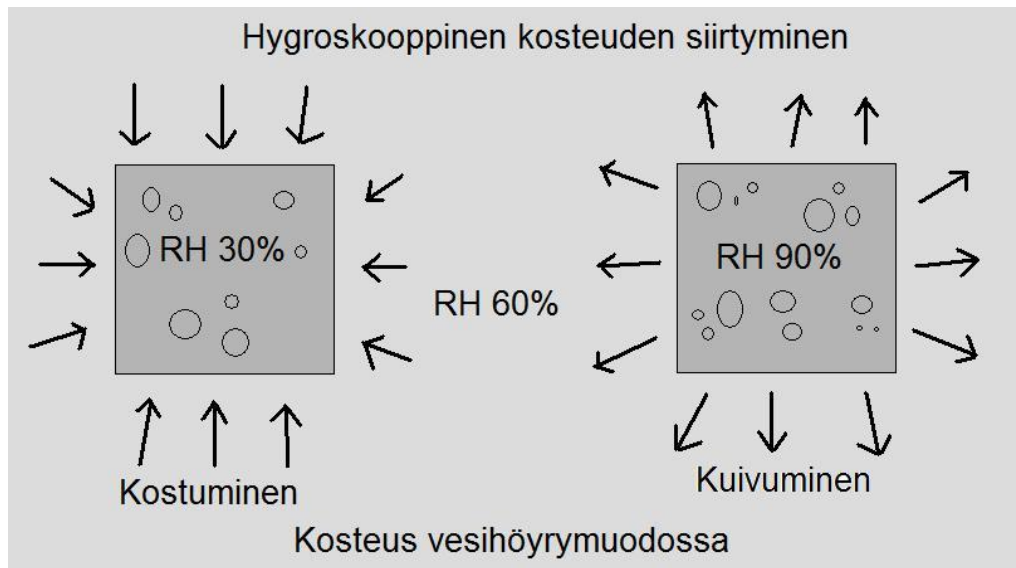
4.2.2 Betonin suhteellinen kosteus

Betonirakenteen huokosten ilmatilan kosteutta kutsutaan suhteelliseksi kosteudeksi (RH %). Suhteellinen kosteus ilmoittaa, paljonko betonirakenteen huokosten ilmatilassa on vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta. Lisäksi huokosten seinämiin on fysikaalisesti (van der Waalsin voimien vaikutuksesta) sitoutunut kosteutta eli adsorboitunut vesimolekyylejä. Huokosten seinämiin adsorptiovoimien vaikutuksesta sitoutuneen kosteuden määrä riippuu huokostilan ominaispinta-alasta. (Komonen ym. 2007: 15–17.)

Betonin kosteussisältö (kg/m^3) ja kosteuspitoisuus (kg/kg , painoprosentti p- %) voidaan mitata eri menetelmiä käyttäen, mutta suhteellisen kosteuden mittaaminen on betonin päällystettävyyden kannalta tärkein mittausarvo. Huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on materiaalien vaurioitumisen kannalta oleellisin. Tästä johtuen betonirakenteiden päällystettävyyuskosteusraja-arvot ilmoitetaan suhteellisena kosteutena ja raja-arvoihin pääsemisen kannalta suhteellinen kosteus määritetään menetelmällä, joka mittaa suoraan suhteellista kosteutta. Jos betonin kosteuspitoisuus tiedetään esimerkiksi painoprosentteina, niin lukuarvoa ei saa muuttaa millään taulukolla tai käyrästäöllä suhteelliseksi kosteudeksi tai päinvastoin. Mittaustuloksen virhe voi olla merkittävän suuri käännettäessä lukuarvoja taulukoiden tai käyrästöjen välillä. (Komonen ym. 2007: 15–17.)

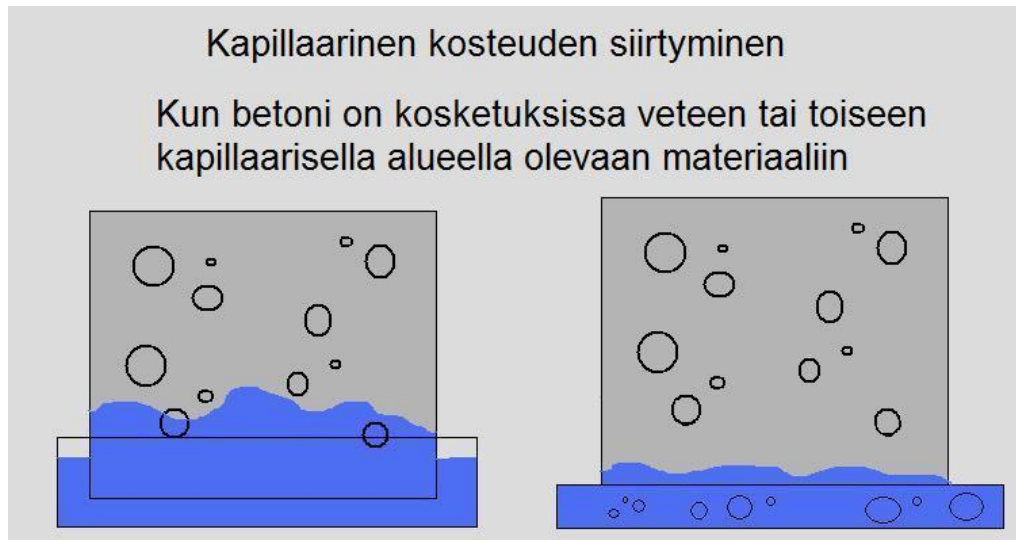
4.2.3 Betonin kastuminen

Betonissa tapahtuu hygroσκοoppista ja kapilaarista kosteuden siirtymistä. Hygroσκοoppista kosteuden siirtymistä betoniin kutsutaan kostumiseksi. Kostumisessa kuiva betonikappale imee itseensä huoneilmasta vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta, pyrkiesään saavuttamaan tasapainokosteuden vallitsevan huoneilman kanssa. Tällöin betonikappaleen huokosten ilmatilan kosteus pyrkii samaan suhteelliseen kosteuteen kuin ympäröivä huonetila. Kun betonikappaletta ympäröivä ilman suhteellinen kosteus laskee alhaisemmaksi kuin betonikappaleen huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus, niin tapahtuu betonissa kuivumista. Hygroσκοoppista kosteuden siirtymistä on kuvattu kuvassa 4. (Komonen ym. 2007: 17–19.)



Kuva 4. Hygroσκοoppisena materiaalina betoni pyrkii tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa, joko luovuttaen tai sitoen itseensä kosteutta (Komonen ym. 2007: 17).

Kapilaarista kosteuden siirtymistä betoniin kutsutaan kastumiseksi. Tällöin betonikappaleen ollessa kosketuksissa vapaana olevaan veteen tai märkään (kapilaarisella alueella olevaan) materiaaliin, alkaa betoni imeä itseensä kapilaaristen voimien vaikutuksesta nestemäistä kosteutta eli vettä. Kapilaarisessa kosteuden siirtymisessä betoniin, tarkoitetaan betonin kykyä kuljettaa vettä vapaan veden pinnasta huokosrakenteeseen kapilaaristen voimien vaikutuksesta. Kapilaarista kosteuden siirtymistä on kuvattu kuvassa 5. (Komonen ym. 2007: 17–19.)



Kuva 5. Kosketuksissa veteen tai toisena märkänä olevaan materiaaliin, pystyy betoni imemään itseensä kosteutta. Tällöin betoni kastuu kapillaarisen kosteuden siirtymisen seurauksena (Komonen ym. 2007: 17).

Betonin valmistukseen käytetään yleensä enemmän vettä kuin sen kovettumisreaktio vaatisi. Veden lisäyksellä saadaan betoni valuvaiheessa paremmin työstettäväksi, mutta ylimääräinen vesi synnyttää kapillaarihuokosia betoniin. Kapillaarihuokosia on sitä enemmän, mitä suurempi betonin vesi-sementtisuhte (v/s) on ja mitä nuoremasta betonista on kyse. Vesi-sementtisuhteen ollessa alle 0,4 ja hydrataatioasteen lähentyessä 100 % kapillaarihuokokset häviävät melkein kokonaan. Kun betonin valmistukseen käytetään yli 0,7 vesi-sementtisuhdetta on betonissa jatkuvasti avoin kapillaariverkosto. (Komonen ym. 2007: 17–19.)

Betonirakenteen kuivumisen kannalta on tärkeää, että se ei pääse kastumaan rakennusvaiheessa. Kuivattamisen kannalta betonirakenteen aikainen kastuminen ei ole niin haitallista kuin myöhäisessä vaiheessa, jolloin betonin kapillaariverkosto ja hydrataatio ovat jo melkein edenneet loppuun asti. Tuoremmassa betonissa sen huokosrakenne on niin täynnä vettä, ettei sinne juurikaan mahdu enempää. Rakennusvaiheen tavallisia ulkopuolisia kosteuslähteitä, jotka kastelevat betonirakenteita ovat sade- ja pintavedet, maaperän kosteus sekä erilaiset kosteusvahingot. (Komonen ym. 2007: 17–19.)

4.3 Betonirakenteen kuivuminen

Tuoreen betonin suhteellinen kosteus on noin 100 %. Betonin kovettumisreaktiossa (hydrataatioreaktio) vesi reagoi sementin kanssa muodostaen sementtiliiman, joka sitoo runkoaineen yhteen betonin kovettuessa (Manonen & Petrow 2005: 87). Kovettumisreaktion myötä suhteellinen kosteus laskee betonin huokosrakenteessa yleensä 90–98 % betonilaadusta riippuen. Kovettumisen jälkeen betoniin jää vielä ylimääräistä kosteutta, joka ajan myötä haihtuu betonin saavuttaessa tasapainokosteuden (esim. 50–60 %) ympäröivän ympäristön kanssa. Rakennusvaiheen aikana betonin ei tarvitse saavuttaa tasapainokosteutta ympäristön kanssa. Rakennuskohteessa käytettävät päällyste- ja pintamateriaalit määräävät betonin tavoitekosteuden päällystämisen ja pinnoituksen alkaessa. Useimmat päällyste- ja pintamateriaalit vaativat betonin suhteellisen kosteuden RH olevan enintään 80–90 % ennen päällystämistä. (Komonen ym. 2007: 20–23.)

Betonissa tapahtuu kahdenlaista kuivumista: sitoutumiskuivumista ja haihtumiskuivumista. Betonin ominaisuuksilla pystytään vaikuttamaan merkittävästi, kuinka suuret osuudet eri kuivumismuodoilla on. Sitoutumiskuivumiseen vaikuttaa betonissa käytettävä sementin määrä. Mitä enemmän käytetään sementtiä, sitä enemmän tapahtuu sitoutumiskuivumista. Suuren sementtimäärän aiheuttamaa sitoutumiskuivumista käytetään hyväksi erikoisbetonien nopeassa kuivumisessa. Erikoisbetonien nopeaa kuivumista kutsutaan myös usein ”itsestään kuivumiseksi”. (Komonen ym. 2007: 20–23.) Esimerkiksi normaalin lattiabetonin vesisementtisuhde on noin 0,6..0,8. Lattiabetonin valmistusvaiheessa se sisältää noin 180..200 l/m³ vettä. Betonin valmistusvaiheessa se sisältää noin 180..200 l/m³ vettä. Betonin valmistusvaiheessa se sisältää noin 180..200 l/m³ vettä. Tästä vesimäärän kemiallista vähenemistä kutustaan sitoutumiskuivumiseksi (Mannonen & Petrow 2005: 87.)

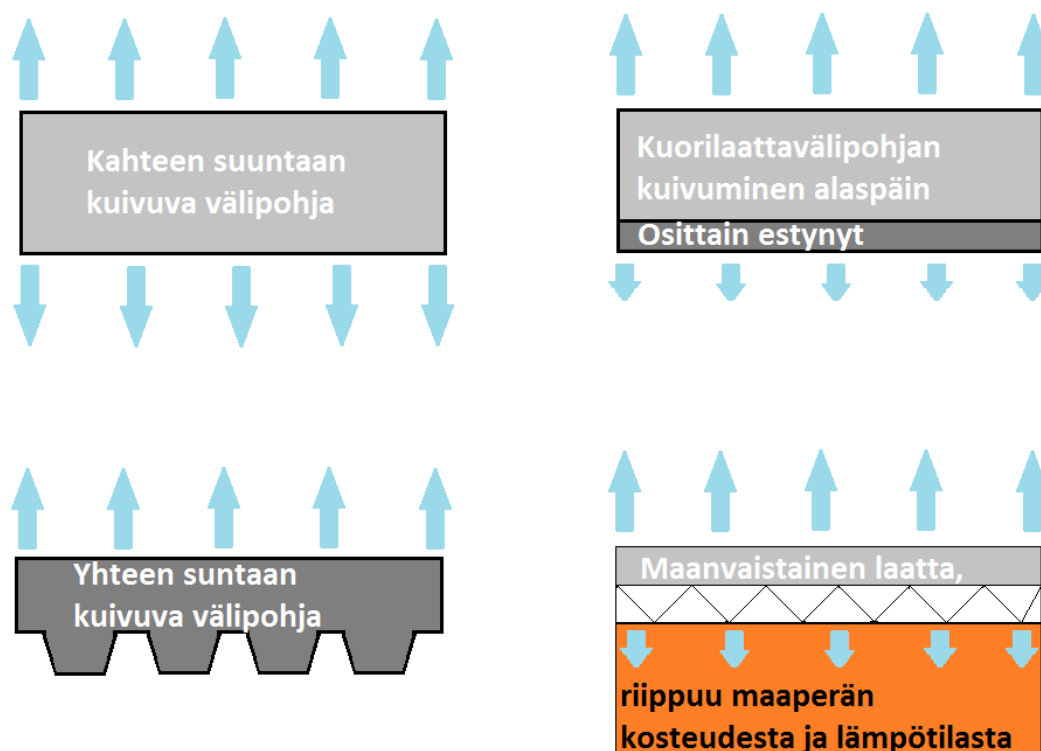
Haihtumiskuivumiseen vaikuttavat merkittävästi betonin koostumus, rakenteen paksuus ja olosuhteet (lämpötila ja ympäristön kosteus). Haihtumiskuivumisessa kosteus liikkuu rakenteen sisäosista kohti betonirakenteen pintaa, mistä se haihtuu ympäröivään ilmaan. Betonin suhteellisen kosteuden ollessa alkuvaiheessa yli 97 % kosteutta siirtyy pääosin kapillaarisesti, jossa betonin sisäosista kosteutta siirtyy nesteinä kohti pintaa, mistä sitä haihtuu ympäröivään ilmaan. Kapilaarinen nesteen siirtyminen pintaosissa estyy kuitenkin suhteellisen nopeasti betonirakenteen pinnan kuivumisen johdosta, jonka jälkeen ainoaksi kosteuden siirtymismuodoksi jää diffuusio. Diffuusiossa kosteu-

den siirtyminen tapahtuu vesihöyrymuodossa rakenteen sisäosista kohti pintaa. Kosteuden siirtyminen diffuusion avulla verrattuna kapilaariseen kosteuden siirtymiseen on erittäin hidasta. Kuivuminen hidastuu haihtumisrintaman siirtyessä syvemmälle rakenteeseen. Betonirakenteen ja ympäristön välillä tapahtuu niin kauan kuivumista, kuin rakenteen ja ympäristön välillä vallitsee kosteuspiitoisuusero (suhteellisena kosteuteena). (Komonen ym. 2007: 20–23.)

4.3.1 Betonirakenteen kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Betonirakenteen kuivumiseen vaikuttavat betonin ominaisuudet, rakenneratkaisut ja ympäristöolosuhteet. Näillä on merkittävä vaikutus siihen, miten betoni kuivuu ja saavuttaa sille asetetun tavoitekosteuden. Nopeimmat betonit kuivuvat hyvissä olosuhteissa jopa viikossa, mutta epäedullisissa olosuhteissa betonin kuivuminen saattaa kestää jopa vuoden. (Manonen & Petrow 2005: 89–90.)

Rakenneratkaisulla voidaan vaikuttaa matkaan, jonka kosteus joutuu siirtymään haihtumiskykyiseen pintaan. Mitä paksummasta rakenteesta on kyse, niin sitä pidemmän siirtymismatkan kosteus joutuu siirtymään haihtumiskykyiseen pintaan ja kuivuminen on sitä hitaampaa. Rakenteen mahdollistaessa kuivumisen kahteen suuntaan (esim. välipohjalaatta) on siirtymiskuivuminen nopeampaa. Liittolevyrakenteissa tai tiiviin eristeen päälle valettaessa siirtymiskuivuminen hidastuu huomattavasti. Seuraava kuva 6 havainnollistaa kosteuden siirtymisnopeutta eri rakenneratkaisuilla. (Manonen & Petrow 2005: 89–90.)



Kuva 6. Rakenteen paksuus, kerroksellisuus ja kuivumissuunnat vaikuttavat siihen, miten nopeasti betonissa oleva kosteus pääsee pintaan ja sitä kautta haihtumaan ympäröivään tilaan. Sitä hitaampaa on kuivuminen, mitä pidemmän matkan joutuu kosteus siirtymään (Komonen ym. 2007: 23).

Betonirakenteen ympärillä vaikuttavat olosuhteet näyttelevät suurta osaa rakenteen kuivumisen kannalta. Ympäristön lämpötila, suhteellinen kosteus ja ilmavirrat vaikuttavat, kuinka nopeasti rakenteen sisällä oleva kosteus siirtyy pintaan ja siihen, kuinka nopeasti kosteus haihtuu pinnasta ympäröivään ilmaan. Sitoutumiskuivumisen kannalta betonimassan lämpötila ja kosteus nopeuttavat sementin hydrataatiota. Mitä korkeampi lämpötila ja kosteus ovat, sitä nopeammin ja täydellisemmin sementti hydratoituu ja betonin kuivuminen nopeutuu. (Manonen & Petrow 2005: 89–90.)

Normaaleilla betoneilla sitoutumiskuivuminen ei ole niin merkittävää kuin siirtymiskuivuminen (haihtumiskuivuminen). Ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden merkitys on päinvastainen sitoutumiskuivumisessa kuin siirtymiskuivumisessa. Mitä alhaisempi betonirakenteen ympäröivän ilman suhteellinen kosteus (RH) on, sitä merkittävämpi suhteellisen kosteuden ero on rakenteen sisäosan ja pinnan välillä ja siten kosteutta siirtävät voimat. Betonirakenteessa suhteellisen kosteuden laskiessa betonin vesi-

höyrynläpäisevyys pienenee, mikä hidastaa kosteuden siirtymistä pintarakenteissa. Betonirakenteen kuivumisen kannalta optimaalisena ympäristön suhteellisena kosteutenä pidetään noin 50 %. (Manonen & Petrow 2005: 89–90.)

Betonin kuivumisen kannalta merkittävää on sen lämpötila. Betonin huokosrakenteessa vesihöyryn osapaine kasvaa lämpötilan noston myötä ja kosteutta siirtävät voimat kasvavat. Eli mitä korkeampi on betonin lämpötila, sitä voimakkaampaa ja nopeampaa on kosteuden siirtyminen kohti pintaa. Riittävän nopean kuivumisen edellytyksenä on, että betonin lämpötila pidettävä vähintään +20 °C. Betonin lämpötilan ollessa +25..30 °C sen kuivuminen nopeutuu merkittävästi. Tätä suurempia lämpötiloja pidetään yllä vain vesivauriokohteiden pikakuivatuksessa. Nuoressa betonissa liian korkea lämpötila voi aiheuttaa ongelmia, kuten halkeilua. (Manonen & Petrow 2005: 89–90.)

Ympäröivän ilman lämmittämisestä on myös hyötyä betonirakenteen kuivattamisessa. Ilman lämpötilan noston myötä sen suhteellinen kosteus laskee ja kyky vastaanottaa betonirakenteesta haihtuvaa kosteutta kasvaa. Hyvällä tuuletuksella tämä betonirakenteesta haihtuva kosteus saadaan johdettua ulos rakennuksesta. (Manonen & Petrow 2005: 89–90.)

Betonirakenteen tulisi päästä mahdollisimman nopeasti suotuisiin olosuhteisiin, jotta kuivumisprosessi saataisiin käynnistettyä. Epäsuotuisissa olosuhteissa, kuten kylmässä ja kosteassa ympäristössä tai vesisateessa, ei haihtumiskuivumista tapahdu. Rakenteeseen päässyt lisävesi, kuten kastelu tai sadevesi, voivat hidastaa rakenteen kuivumista huomattavasti. Mitä myöhäisemmässä vaiheessa lisävedelle altistuminen tapahtuu, sitä hitaammin se poistuu. Rakenteen nopea suojaaminen sateelta edesauttaa betonirakenteen kuivumista nopeammin. Käytännössä kun vesikatto, ikkunat ja ovet asennettu ja lämmitys aloitettu rakennuksessa, voidaan vasta olettaa, että kuivuminen on alkanut. Tällöin lisäkosteuden pääsy on estetty rakenteeseen ja rakennetta ympäröivä suhteellinen kosteus on riittävän alhainen. (Manonen & Petrow 2005: 89–90.)

Tietyn kosteustilan saavuttamiseen betonissa ja nopeaan veden haihtumiseen rakenteesta vaikuttavat betonissa käytetyt ominaisuudet. Haihtumisnopeuteen vaikuttaa lähinnä betonin huokosrakenne. Haihtumiskuivuminen (siirtymiskuivuminen) on merkittävinä betonin kuivumisen alkuvaiheessa, jolloin kapillaarihuokokset muodostavat yhteisen kapillaariverkoston. Sementin ja veden hydrataation edetessä, huokosrakenne muuttuu. Kapillaarihuokosten tilavuus pienenee ja betonista tulee tiiviimpää, jolloin ve-

den siirtyminen sisärakenteesta pintaan hidastuu. Nopeampaan kapillaariverkoston katkeamiseen vaikuttaa pieni vesisideainesuhde ja tällöin haihtumiskuivumisen osuus pienenee. Hitaampaan kosteuden haihtumiseen betonista vaikuttaa siis periaatteessa alhaisempi vesisideainesuhde. Alhaisen vesisideainesuhteen käytön tarkoituksena on käyttää joko huomattavasti korkeampaa sementtimäärä tai pienempää seosvesimäärää, jolloin haihdutettavaksi jäävän vapaan veden määrä jää hyvin pieneksi. Alhaisen vesisideainesuhteen käytön tuloksena betonin sitoutumiskuivumisen osuus on niin suuri, että ilman veden haihtumista saadaan betonin suhteellinen kosteus laskettua 90 %:iin. (Manonen & Petrow 2005: 89–90.)

Alhaisen vesisideainesuhteen omaavat betonit kuivuvat nopeasti 90 %:iin, mutta vesisideainesuhteen alentaminen ei ole aina riittävä betonitekninen toimenpide kuivumisaian lyhentämiseksi. Betonissa tapahtuvan sementin hydrataation seurauksena sitoutumiskuivuminen on nopeampaa alhaisen vesisideainesuhteen sisältävillä betoneilla, mutta alhaisemman kuin 90 %:n suhteellisen kosteuden nopeampi saavuttaminen edellyttää usein erilaisten lisäaineiden käyttöä. Betonin kuivumista edistäviä lisäaineita ovat muun muassa notkistimet ja huokostimet. Kuivumisolosuhteet ja rakenteen paksuus eivät vaikuta niin merkittävästi kuivumisnopeuteen käytettäessä alhaisen vesisideainesuhteen omaavia betoneja kuin tavanomaisessa betonissa. (Manonen & Petrow 2005: 89–90.)

4.3.2 Betonirakenteen nopeampaan kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Betonirakenteen kuivattamista voidaan nopeuttaa erilaisilla toimenpiteillä, jotka voivat olla suunniteltuja toimenpiteitä jo rakenteen suunnitteluvaiheessa tai rakennusvaiheessa hitaan kuivumisen seurauksena tiedostetuilla nopeammilla kuivatustoimenpiteillä. Rakennusvaiheessa huomattu päällyste- ja pinnoitustöiden viivästyminen betonin hitaan kuivumisen johdosta tuottaa yleensä huomattavia lisäkustannuksia rakenteen kuivaksi saamiseksi. Betonirakenteiden lämmityksestä ja kuivatuksesta aiheutuneet lisäkustannukset voivat kasvaa merkittävästi tehostuneen kuivatuksen seurauksena, kun betoni ei kuivu aikataulussa. Aikataulussa pysymisen seurauksena joudutaan yleensä tehostamaan lämmitystä ja kuivatusta, jotka lisäävät kustannuksia. Betonirakenteen nopeampaan kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä on muun muassa seuraavanlaisia:

- Betonin valmistuksessa tulisi käyttää mahdollisimman suuriraekokoista ja jäykkää massaa. Mitä pienempi betonimassan runkoaineen maksimiraekoko on, si-

tä suurempi massan alkuperäinen vesimäärä on ja sitä hitaampaa on myös kuivuminen.

- Käyttämällä nopeammin kuivuvia betonilaatuja saadaan nopeutettua kuivumista. Kun käytetään nopeammin kuivuvia betonilaatuja, pitää betonoinnissa ja jälkihoidossa noudattaa valmistajan antamia ohjeita. Nopeammin kuivuivissa betonilaaduissa käytetään hyväksi pienempää vesisideainesuhdetta sekä massan huokoistamista tai notkistamista.
- Betonirakenteen nopeammalla suojaamisella saadaan nopeutettua kuivumista. Estetään betonirakenteeseen pääsemästä lisävettä tai lunta. Betonirakenteeseen päässyt lisävesi tai lumi tulisi poistaa mahdollisimman nopeasti harjalla, lastalla, vesi-imurilla tai muulla keinolla. Mitä myöhäisemmässä vaiheessa betonirakenne pääsee kastumaan, sitä enemmän siihen imeytyy vettä ja kuivuminen viivästyy.
- Betonirakenteen ympärille luoduilla hyvillä kuivumisolosuhteilla pystytään nopeuttamaan betonirakenteiden kuivumista. Betonirakenteen kuivumisen edellytyksenä tulisi ympäristön lämpötilan olla vähintään +20 °C ja suhteellisen kosteuden noin 50 %. Betonirakenteen lämpötilan noston myötä pystytään tehokkaimmin kuivattamaan betonirakennetta.
- Kuivattamista voidaan nopeuttaa pitämällä betonipinnat puhtaina ja paljaina. Hiotaan betonipinnat ja poistetaan ylimääräinen pöly, tavarat ja vältetään haihtumista estävien tavaroiden varastointia betonipinnoilla. (Manonen & Petrow 2005: 90.)
- Imubetonoinnilla pystytään nopeuttamaan betonirakenteen kuivumista. Imubetonoinnissa helposti työstettävästä suuren vesisementtisuhteen sisältävästä notkeasta betonimassasta imetään ylimääräinen vesi, jolloin kovettuvalle betonille saadaan alhainen vesisementtisuhte. Betoni, joka sisältää alhaisen vesisementtisuhteen, on vaikeaa työstää ja tiivistää, joten on kehitelty erillinen koneisto, jolla pystytään imemään notkeasta korkean vesisementtisuhteen sisältävästä betonista ylimääräinen vesi pois. Betonivalun jälkeen ennen sitoutumisen vaikutusta, imetään betonista ylimääräinen vesi pois alipaineen avulla, jolloin saadaan pudotettua vesisementtisuhdetta ja kuivuminen nopeutuu. Imube-

tonointia käytetään lattiabetonoinnissa. (Manonen & Petrow 2005: 90; Suomen Betoniyhdistys r.y 2005: 423.)

4.4 Betonirakenteiden kosteusmittaus

Ennen päällystämistä ja pinnoittamista voidaan betonirakenteen riittävä kuivuminen määrittää vain mittaamalla rakenteen kosteus. Päällystemateriaalien kriittinen kosteus ilmoitetaan suhteellisena kosteutena RH (%), joten betonirakenteesta täytyy mitata nimenomaan suhteellinen kosteus. Betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus kertoo betonissa vallitsevan suhteellisen kosteuden mitatulta syvyydeltä. Betonirakenteen suhteellista kosteutta voidaan mitata rakenteeseen poratun reiän avulla tai rakenteesta otetun näytepalan avulla. (Komonen ym. 2007: 81.)

4.4.1 Mittausmenetelmät ja -kalusto

Betonirakenteen suhteellista kosteutta tulee mitata siihen tarkoitukseen kuuluvalla mittauslaitteistolla. Suhteellisen kosteuden mittarilla saadaan betonirakenteesta luotettavin arvo betonin huokosten ilmatilan suhteellisesta kosteudesta (RH %). Suhteellisen kosteuden mittaamismenetelmiä ovat porareistä ja näytepalasta mittaaminen. (Komonen ym. 2007: 81.)

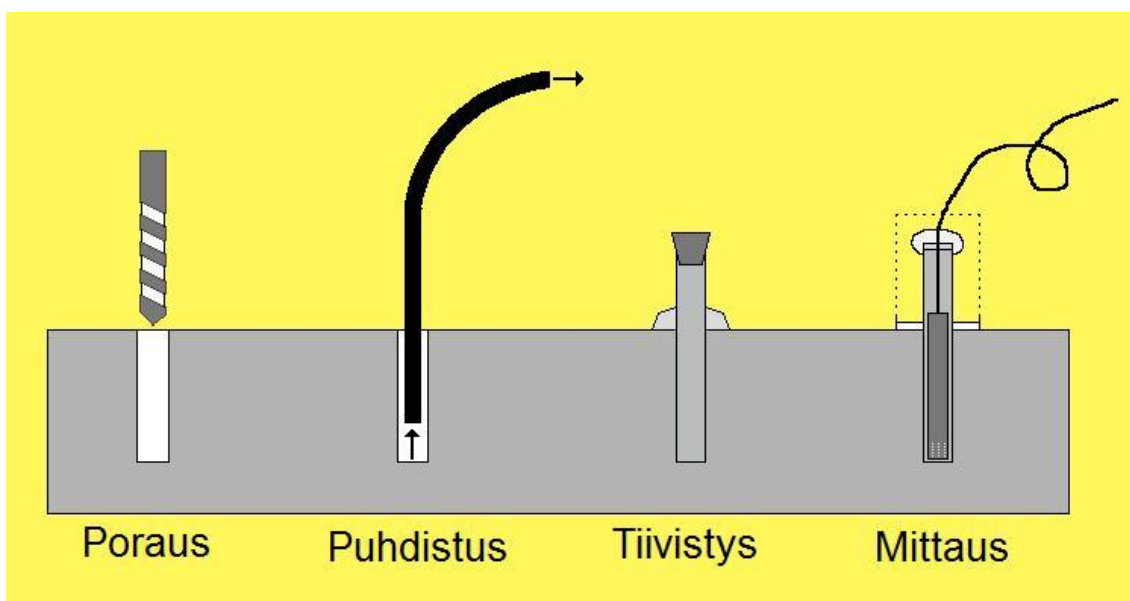
Betonirakenteen kosteuden mittaamista karbidimittareilla, pintakosteudenosoittimilla ja erilaisilla vastusmittareilla tulee välttää. Näissä edellä mainituissa mittausmenetelmissä saadaan kosteus painoprosentteina, joka muutetaan taulukoiden avulla suhteellisen kosteuden arvoksi. Taulukoiden avulla kosteuden painoprosenttiarvon muuttaminen suhteelliseksi kosteudeksi johtaa helposti virheisiin eikä anna luotettavaa kuvaa betonin kosteudesta. (Komonen ym. 2007: 81.)

4.4.2 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus

Betonin suhteellista kosteutta (RH) mitataan luotettavimmin kahdella eri menetelmällä: porareikä- ja näytepalamenetelmällä. Molempia menetelmiä tehtäessä on edellytettävä mittaajalta ammattitaitoa ja huolellisuutta. On suositeltavaa teetättää rakenteiden kosteusmittaus alan ammattilaiselta, jolta löytyy alalta kokemus ja tarvittavat pätevyydet (esimerkiksi sertifioitu kosteudenmittaaja). (Komonen ym. 2007: 82–85; Merikallio 2002: 13–17.)

Porareikämenetelmässä betonirakenteesta saadaan huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus yleensä poratuista reiästä. Reiässä kosteus tasaantuu tietyn ajan kuluessa ympäröivän materiaalin kanssa. Mittausreiän paikka ja syvyys määritellään tapauskohtaisesti, mutta on suositeltavaa mitata eri kohdista rakennetta ja eri syvyydeltä. Porareikämenetelmää käytettäessä on tiedostettava monet epävarmuustekijät mittauksia tehdessä ja tuloksia tulkittaessa. Mittausten tulosten luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa

- porareian syvyys, puhdistus, tiivistys ja tasaantuminen
- mittalaitteen kalibrointi ja muu kunto
- mittapäiden asentaminen
- mittalaitteen tasaantumisaika porareissä
- ympäröivän ilman lämpötila ja sen vaihtelut mittauksen aikana
- betonin lämpötila ja sen vaihtelut mittauksen aikana
- mittaustulosten lukeminen.
- porareikämittauksen eri vaiheet näkyvät kuvassa 7. (Komonen ym. 2007. 82–85; Merikallio 2002: 13–17.)

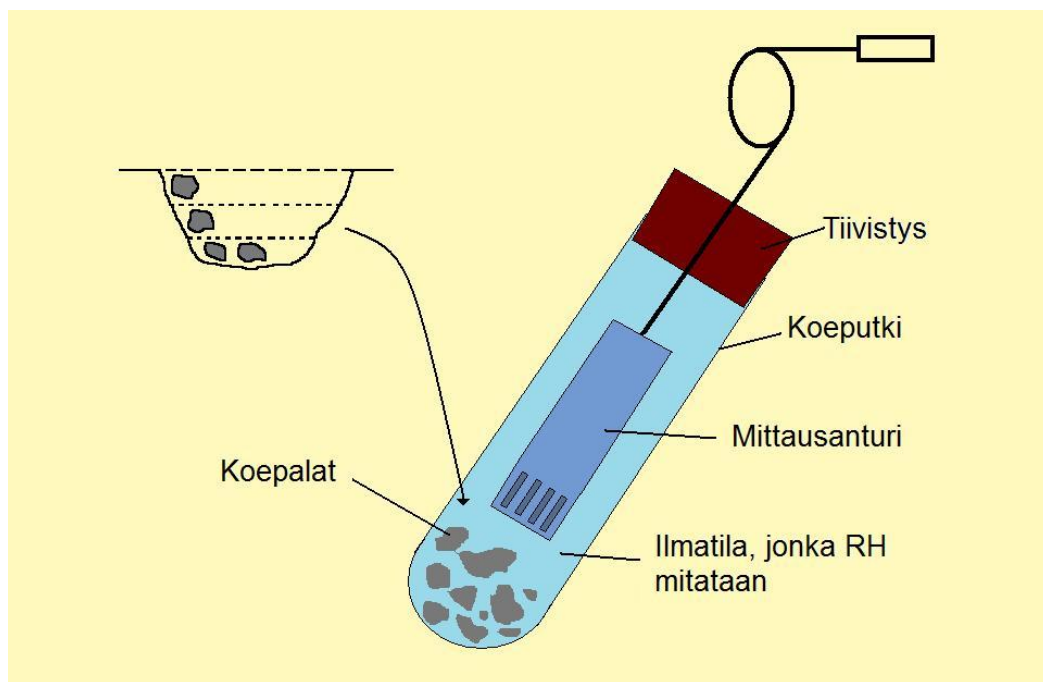


Kuva 7. Suhteellisen kosteuden mittaaminen porareistä (Komonen ym. 2007: 83).

Näytepalamenetelmä on porareikämenetelmään verrattuna nopeampi ja luotettavampi tapa saada betonirakenteesta suhteellinen kosteus (RH). Porareikämenetelmä on silti kuitenkin yleisimmin käytössä. Näytepalamenetelmää käytetään lähinnä silloin kuin

betonin tai ilman lämpötila on epäsuotuisa porareikämittaukselle, mittaus halutaan suorittaa nopeasti tai olosuhteet on mittauskohdassa epävakait. (Komonen ym. 2007. 82–85; Merikallio 2002: 13–17.)

Näytepalamenetelmässä (kuva 8) betonirakenteesta otetaan halutulta mittaussyvyydeltä betonipaloja (murusia), jotka laitetaan yhdessä suhteellisen kosteuden mittapään kanssa tiiviiseen koeputkeen. Koeputkessa betonipalat ja ilma saavuttavat tasapainokosteuden. Koeputkessa betonipalojen kosteussisältö (kg/betoni-m^3) on suurempi kuin koeputken ilman kosteussisältö (kg/ilma-m^3), joten koeputken suhteellinen kosteus asettuu samaan arvoon kuin betonipalojen huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus. Betonipalat voidaan ottaa niin lämpöisestä kuin kylmästäkin betonista. Koeputken lämpötilan annettua tasaantua vakiolämpötilaan, esim. $+20\text{ °C}$, saadaan betonin koeputkessa olevien betonipalojen suhteellinen kosteus kyseisessä lämpötilassa. (Komonen ym. 2007. 82–85; Merikallio 2002: 13–17.)



Kuva 8. Suhteellisen kosteuden mittaus näytepalamenetelmällä (Komonen ym. 2007: 85).

4.4.3 Mittausten tarve ja laajuus

Betonirakenteiden kosteusmittaukset voidaan jakaa lähtötasomittauksiin, seurantamittauksiin ja päällysteiden asennettavuusmittauksiin. Varsinkin lähtötasomittauksen ja

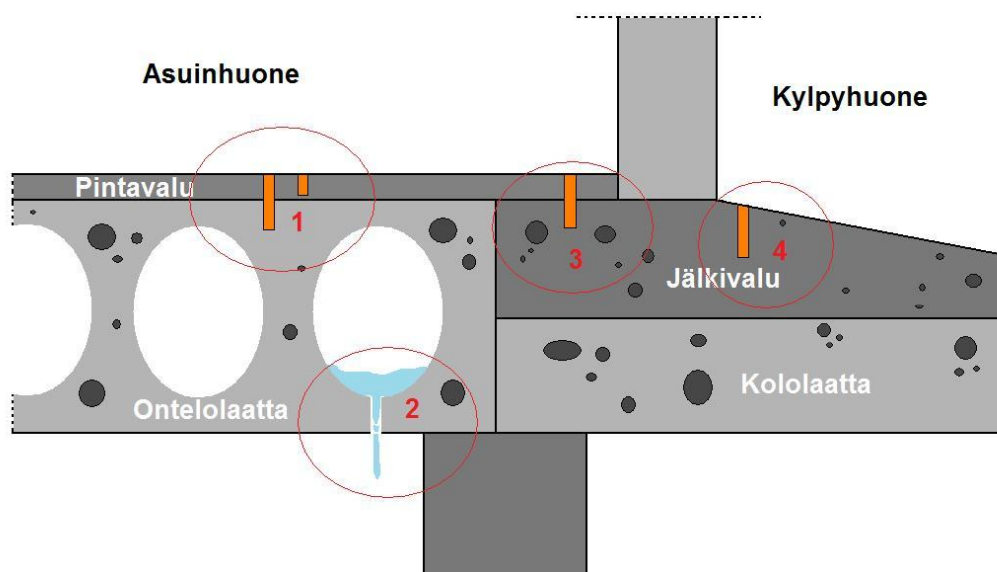
seurantamittausten yhteydessä olisi hyvä tehdä myös sisäilman kosteusmittauksia, jotta voidaan varmistua siitä, että olosuhteet ovat suotuisat rakenteiden kuivumisen edistymiselle. (Komonen ym. 2007: 85–86.)

Lähtötasomittausten edellytyksenä on se, että tarkasteltava rakenne ei enää kastu ja voidaan olettaa, että kuivumisprosessi on alkanut rakenteessa. Käytännössä lähtötasomittaukset suoritetaan silloin, kun vesikatto on valmis ja kohteen lämmitys ja/tai tilapäinen lämmitysjärjestelmä on ollut käytössä jo jonkin aikaa. (Komonen ym. 2007: 85–86.)

Seurantamittaukset suoritetaan 2–4 viikon välein. Rakenteesta saatujen mittaustulosten perusteella varmennutaan siitä, että rakenteen kuivuminen edistyy suunnitellulla nopeudella ja työmaa pysyy aikataulussa. Seurantamittausten jälkeisiä jatkotoimenpiteitä voisivat olla rakenteen kuivumisolosuhteiden parantaminen, kuivumisen nopeuttaminen, vaihtoehtoisten ratkaisujen haku ja päällystyksen aloittaminen. (Komonen ym. 2007: 85–86.)

Ennen rakenteen päällystämistä suoritetaan päällystettävyyssmittaukset. Tämän mittauksen tuloksilla varmistutaan siitä, että voidaan aloittaa rakenteiden päällystys. Mittaukset suoritetaan yleensä 0–2 viikkoa ennen rakenteiden aiottua päällystystä. (Komonen ym. 2007: 85–86.)

Rakennuksessa suoritettavien mittausten laajuutta määritettäessä on otettava huomioon se, että suhteellisen kosteuden mittaus on rakennetta rikkovaa ja aikaa vievää. Kohteesta on valittava tarkoituksenmukainen määrä mittaushaaroja ja kriittisistä rakenteista on suotavaa tehdä sekä lähtö- että seurantamittaukset. Ennen mittaushaarojen valitsemista on hyvä muistella ja huomioida valupäivät, olosuhde-erot sekä rakenteiden kastuminen. Mittauksia tulisi tehdä niin paikallavali- kuin elementtirakenteista. Kuvassa 9 näkyy mittaushaarojen esimerkkipaikkoja. (Komonen ym. 2007: 85–86.)



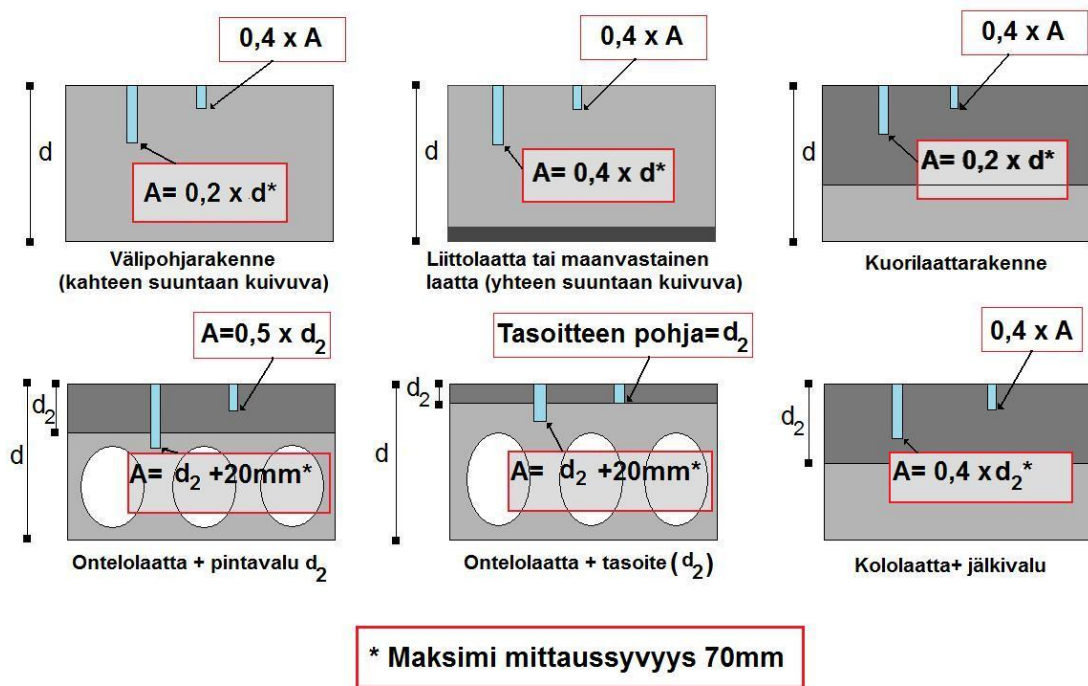
Kuva 9. Ontelolatta-välipohjassa kosteusmittaus suoritetaan ontelojen välisen kannaksen kohdalta syvemmältä rakenteesta sekä mahdollisesta pintavalurakenteesta (1). Onteloihin kerääntynyt liikavesi tulee poistaa rakennusaikana (2). Useassa tapauksessa kylpyhuoneiden kaatolattiat saattavat jatkua asuinhuoneiden puolella, joten on hyvä muistaa, että tämä osa saattaa kuivua muuta osaa hitaammin (3). Kylpyhuoneiden kaatolattioiden valu voi olla monessa kohtaa todella paksu, joten tämä tulee ottaa huomioon rakenteen kuivumisaikaa arvioitaessa (4). (Komonen ym. 2007: 28.)

4.4.4 Mittauspisteet ja -syvyydet

Kosteusmittauksia tehdessä on tärkeää, että samassa mittauspisteessä on enemmän kuin yksi mittausreikä. Samassa mittauspisteessä tulisi olla vähintään kaksi vierekkäistä mittausreikää samalla arviointisyvyydellä A. Näiden rinnakkaisten mittausreikien etäisyys toisistaan on noin 10 cm. Rinnakkaisten kosteusmittausreikien saadut arvot eivät saa poiketa toisistaan yli 3 prosenttiyksikköä. Mittaukset on uusittava, jos vierekkäisten arviointisyvyydellä A olevien mittauspisteiden keskinäinen ero on yli 3 prosenttiyksikköä, eikä syytä löydetä mittausten suuren eroon. (Komonen ym. 2007: 86–88.)

Rakennerratkaisujen perusteella, voidaan laskea mittauspisteen reiän tarvittava arviointisyvyys A, jossa kosteusraja-arvo on alitettava ennen kuin päällystystyöhön voidaan ryhtyä. Arviointisyvyys A määräytyy pääosin rakennepaksuuden mukaan. Arviointisyvyys A perustuu pääosin aikaisempiin mittaustesteihin ja olettamuksiin, että päällystämisen jälkeen kosteus nousisi tiiviin päällysteen alle enimmillään siihen kosteusarvoon, mikä ennen päällystetyötä vallitsi kyseisellä arviointisyvyydellä rakenteen lämpötilan ollessa vakiona. (Komonen ym. 2007: 86–88.)

Mitatun arviointisyvyyden lisäksi tulee kosteus mitata myös rakenteen pintakerroksista syvyydeltä $0,4 \times A$. Kosteusmittauspisteessä suoritettavien mittausten laajan otannan perusteella voidaan olla varmempia siitä, että epävarmuustekijöihin puututaan ja saadaan todentuntuisemmat lukemat rakenteesta. Pintakerrosta ja arviointisyvyyttä syvemmältä on suositeltavaa myös mitata, jotta mittauksista saatujen tulosten tulkinta olisi helpompaa. Erilaisille laattarakenteille voidaan määrittää kosteusmittausvyvyksiä kuvan 10 mukaan. (Komonen ym. 2007: 86–88.)



Kuva 10. Kosteusmittausvyvyksien määrittäminen eri betonilattiarakenteille. Arviointisyvyys A on rakenneratkaisusta ja rakenteen paksuudesta riippuvainen mittaussyvyys, jossa päällystemateriaalin edellyttämä kriittinen suhteellinen kosteuden arvo (RH %) on alitettava. Betonirakenteissa suoritettavien maksimi mittaussyvyys on 70 mm. Mikäli esim. kahteen suuntaan kuivuvan väliohjarakenteen arviointisyvyys ($A=0,2 \times d$) on suurempi kuin 70 mm, kosteusmittaus suoritetaan syvyydeltä 70 mm. Lisäksi suhteellisen kosteuden mittaukset tulee suorittaa pintakerroksista 10–30 mm:n syvyydeltä $0,4 \times A$. Pintakerroksissa suhteellisen kosteuden tulee olla alle 75 % RH, jos arviointisyvyydellä A :n arvo on alle päällysteen vaativan kriittisen arvon. (Komonen ym. 2007: 88.)

4.4.5 Mittausten tarkastelu ja raportointi

Mittaustuloksia tarkasteltaessa tulee huomioida, että kaikkiin mittauksiin liittyy virhemahdollisuuksia. Mittauksista saatujen tulosten tarkasteluun tulisi näin ollen käyttää aikaa mahdollisten epävarmuustekijöiden havainnoimiseen. Ammattitaitoinen mittaaja osaa käsitellä saatuja tuloksia ja sitä kautta dokumentoida mittauksiin vaikuttaneet mahdolliset epävarmuustekijät. (Komonen ym. 2007: 88–89.)

Mahdollisia epävarmuustekijöitä betonin suhteellisen kosteuden mittaamisessa voisivat olla muun muassa mittalaitteen ominaisuudet, mittausmenetelmät, ympäristö sekä itse mittaaja. Nämä kaikki pitää ottaa huomioon tulosten tarkastelussa ja raportoinnissa. Mittauspöytäkirjassa tai -raportissa tulee aina ottaa huomioon mittauksiin vaikuttaneet epävarmuustekijät tulosta ilmoittaessa (esim. 88 ± 3 RH %). (Komonen ym. 2007: 88–89.)

5 Puurakentaminen

Betonirakenteen pyrkiessä tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa luovuttaa se niin kauan rakenteen sisältä kosteutta kapillaarisesti tai diffuusion avulla, kunnes rakenne on saavuttanut tasapainokosteuden rakennetta ympäröivän ympäristön kanssa (Komonen ym. 2007: 20–23). Puurakentamisessa tämä ehto toteutuu puurakennuksessa käytettyjen betonirakenteiden osin (esimerkiksi lattiavalut ja kaatolattiat), mutta puurakenteiden (esimerkiksi puurunkoinen seinä, puurakenteinen tuulettuva-alapohja ja puurakenteinen yläpohja) kyky siirtää rakenteiden läpi kosteutta paine-erojen (ilmanpaine ja vesihöyryn osapaine) vaikutuksesta on se erottava tekijä betonirakenteisiin nähden. Paine-erojen vaikutus tulee konkreettisimmin näkyviin talvella, jolloin sisä- ja ulkopuolen lämpötilaero on suuri. Paine-eroista johtuvaa kosteuden siirtymistä tapahtuu diffuusion ja konvektion vaikutuksesta. Kosteuden siirtymisen seurauksena voi kosteutta tiivistyä rakenteiden pintoihin kondensoitumisen tai rakenteen sisälle muodostuvan kastepisteen johdosta (Päkkilä 2012: 32–38; Lausmaa 2012: 17–21.)

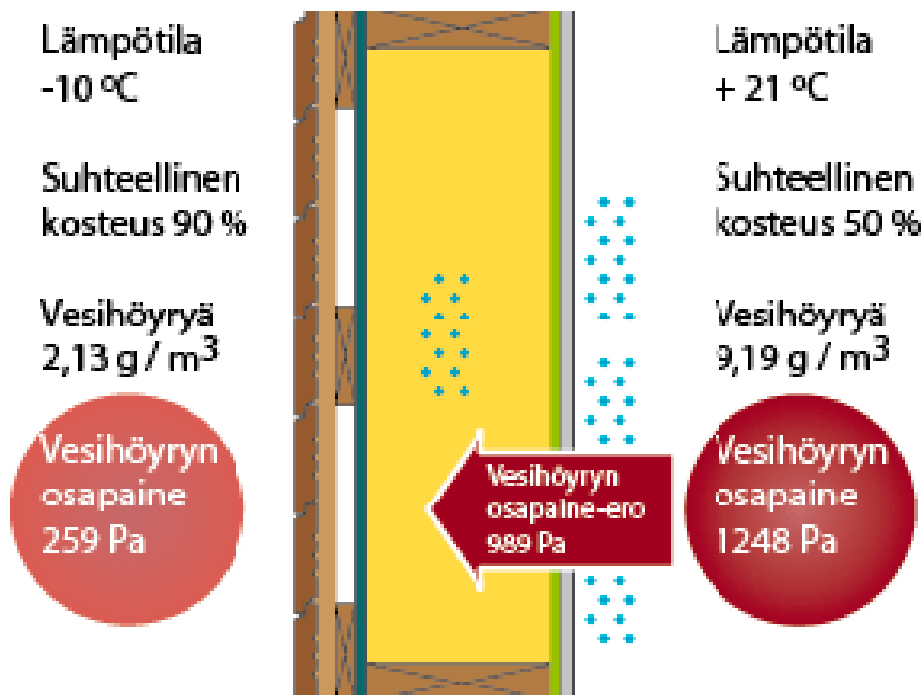
5.1 Kosteuden siirtyminen rakenteisiin vesihöyrymuodossa

Vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta voi siirtyä rakenteisiin diffuusion tai konvektion muodossa. Diffuusiossa sisä- ja ulkopuolen vesihöyryn osapaine-erojen vaikutuksesta pyrkii vesihöyrymuodossa oleva kosteus siirtymään suuremmasta paineesta kohti pienempään. Konvektiossa ilmanpaine-erojen vaikutuksesta pyrkivät ilmavirtaukset kuljettamaan vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta rakenteiden sisällä tiheyserojen vaikutuksesta ja rakenteiden läpi reikien ja rakojen kautta. (Siikanen 1996: 55.)

5.1.1 Diffuusio

Diffuusiolla tarkoitetaan vesihöyryn osapaine-erojen tasaantumista rakenteen sisä- ja ulkopuolen välillä. Sisä- ja ulkopuolen vesihöyryn osapaine-erojen vaikutuksesta kosteus pyrkii liikkumaan vesihöyrynä rakenteen läpi. Syys- sekä talvilämmityskauden aikana voi sisä- ja ulkopuolinen välinen vesihöyryn osapaine-ero olla suuri, minkä vaikutuksesta diffuusiiovirta pyrkii etenemään suuremman vesihöyryn osapaineesta pienempään (kuva 11). Yleisimmin diffuusiovirran suunta on lämpimästä tilasta kylmempään päin. (Siikanen 1996: 56.)

Rakenteen vesihöyryn läpäisevyyden pienentämiseksi käytetään rakenteen sisäpinnan läheisyydessä höyrynsulkua. Höyrynsulkuna käytetään yleisesti höyrynsulkumuovia, jonka vesihöyrynläpäisevyys on pieni ja siten vesihöyryn vastus on suuri. Höyrynsululla pienennetään myös kondensoitumisen riskiä rakenteessa. Rakenteiden rakennekerrosten harventamisella ulospäin pienennetään myös kondenssin riskiä. (Päkkilä 2012: 33.) Höyrynsulussa olevat pienet reiät eivät sanottavasti lisää diffuusiota, mutta sen sijaan konvektion ilmanpaine-erojen vaikutuksesta voi reikien ja rakojen kautta sisältä ulos liikkuvan kosteuden määrä olla moninkertainen verrattuna diffuusioon (Siikanen 1996: 56).



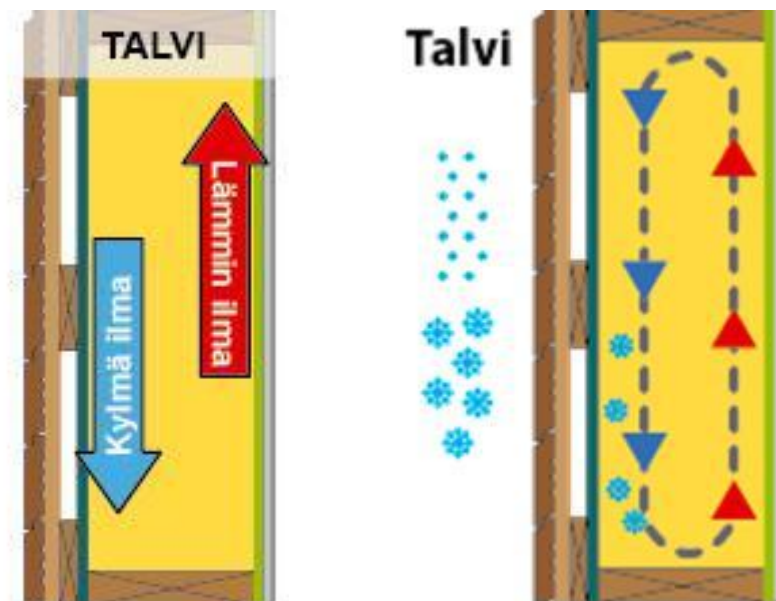
Kuva 11. Diffuusiovirran suunta on rakenteen suuremman vesihöyryn osapaineen puolelta kohti pienempään. Kuvassa kyseisten olosuhteiden johdosta suuntana on sisältä ulospäin (Tiivistalo 2012a).

5.1.2 Konvektio

Rakennuksessa ilmanpainevaihteluiden johdosta ilman kiertoliikkeet ja ilmavirtaukset vaikuttavat oleellisesti rakennuksen kosteus- ja lämpötekniseen toimintaan. Kosteus- ja lämpötekniseen toimintaan vaikuttavilla rakennuksen ilmanpainesuhteilla on erityisesti merkitystä vuoden kylmänä ajankohtana, jolloin ulko- ja sisäpuolen väliset ilman lämpö- ja kosteuspitoisuuserot ovat suuret. Rakennuksessa voi tapahtua ilmanpaine-erojen vaikutuksesta luonnollista ja pakotettua konvektiota. (Siikanen 1996: 31.)

Luonnollisessa konvektiossa ilman tiheyseroista johtuvia ilmanpaineen vaihteluita ja ilman kiertoliikettä ilmenee muun muassa ulkoseinien huokoisessa lämmöneristeessä ja ikkunaraoissa. Lämmöneristeessä tai ikkunaraossa oleva ilma lämpenee sisäpinnan läheisyydessä, jolloin sen tiheys pienenee ja se pyrkii nousemaan ylöspäin, kun sen sijaan kylmän ulkopinnan ilma jäähtyy ja laskeutuu alaspäin. Tämän yhtälön toteutuksessa muodostuu luonnollinen ilmakierto, joka liikuttaa lämpöä sekä kosteutta (kuva 12). (Siikanen 1996: 31.)

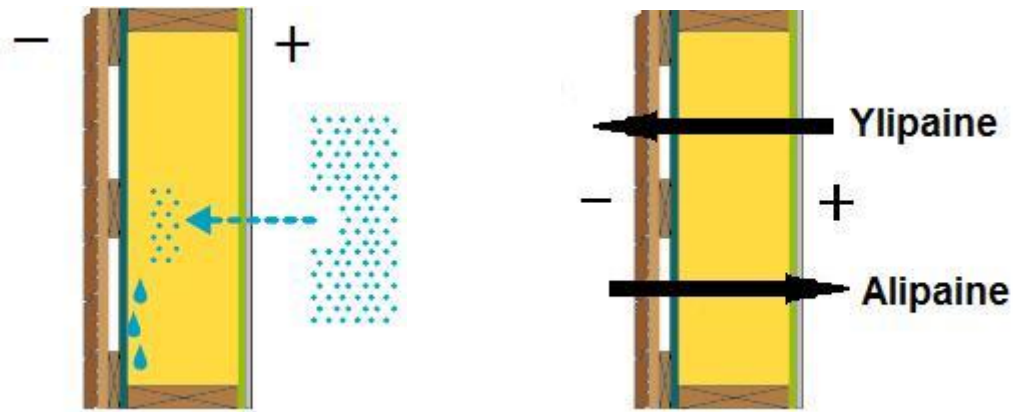
Seinärakenteen luonnollisessa konvektiossa lämpimän ilman mukana ylöspäin virtaa mukana kosteutta rakenteesta, joka aiheuttaa kosteuspainetta seinärakenteen suljettuun yläosaan. Alaspäin virtaava jäähtynyt kylmä ilma sen sijaan jäädyttää seinärakenteen alaosaa, joka lisää kondenssiriskin vaaraa (vesihöyryn tiivistymistä vedeksi kutsutaan kondensoitumiseksi) (Siikanen 1996: 57). Konvektion ilmankierron voimakkuuteen vaikuttaa ilmaraon tai lämmöneristeiden syvyyden ja korkeuden lisääminen. Seinärakenteen konvektiota voidaan vähentää lämmöneristeiden tiiviyttä kasvattamalla. (Siikanen 1996: 31.)



Kuva 12. Sisältä rakenteeseen pääsyt lämmin kostea ilma nousee sisäpuolista rakennetta ylöspäin. Suljetun rakenteen yläosassa lämmin kostea ilma ei pääse liikkumaan enää, jolloin se alkaa ulkopuolen kylmän lämpötilan johdosta viilentyä ja siitä tulee raskaampaa. Tällöin raskas kylmä ilma laskeutuu rakenteen ulkopintaa alaspäin ja jos rakenteen tuuletuksesta ei ole huolehdittu riittävästi, voi se kastepistelämpötilan saavutettuaan tiivistyä ulkopuolisiin rakenneseisiin. (Tiivistalo 2012b.)

Pakotetussa konvektiossa talviaikana, jolloin ulko- ja sisäpuolen välinen lämpötilaero on suuri, voi rakenteiden läpi ulko- ja sisäpuolisten ilmanpaine-erojen vaikutuksesta liikkua suuria määriä kosteutta. Rakenteiden tiedostetulla yli- tai alipaineistamisella voidaan hallita ilmavirtojen mukana kosteuden liikkumista rakenteiden läpi, joko sisältä ulospäin tai ulkoa sisäänpäin. Ilmavirtojen hallitulla liikkumisella sisältä ulospäin voidaan rakennus säätää hieman ylipaineiseksi ulkoilmanpaineeseen nähden. Sen sijaan rakennuksen hallitulla alipaineistamisella saadaan ilmavirrat liikkumaan ulkoa sisäänpäin. Ilmanpaine-erojen vaikutuksesta pyrkivät ilmavirrat liikkumaan rakenteissa olevista rei'istä, raoista ja epäjatkuvuuskohdista. (Siikanen 1996: 32–35.) Mahdollista kosteuskonvektion riskiä voidaan ennaltaehkäistä parantamalla rakennuksen ilmanpitävyyttä, ajamalla sisäpuolella tiedostettu alipaineistettu tila ulkopuolen ilmanpaineeseen nähden ja pienentämällä sisäpuolen kosteuspitoisuutta (Päkkilä 2012: 35–36).

Rakennuksen sisäpuolelle ajetun ylipaineen takia voi kylmänä aikana rakenteessa olevista pienistäkin rei'istä, halkeamista, raoista, yms. siirtyä sisältä ulospäin moninkertaisia kosteusmääriä diffuusioon verrattuna (kuva 13). Sisävalmistusvaiheessa lämmitettyyn ilmaan voi sitoutua suuria määriä rakennekosteutta, joka ylipaineen ansiosta voi kulkeutua rakenteisiin, missä se epäedullisissa olosuhteissa voi tiivistyä vedeksi (kondensoituminen tai kastepiste). Vastaavasti jos rakennuksessa vallitsee alipaine, pyrkii rakennus imemään korvausilmaa ulkoa sisäänpäin. Sisävalmistusvaiheen lämmityskaudella alipaineen ansiosta virtaa rakenteiden läpi vähän kosteutta sisältävää kylmää ilmaa, joka matkalla lämpenee rakenteissa. Kylmän ilman lämmitessä sen suhteellinen kosteus pienenee, joten sisään virratessaan pystyy se sitomaan itseensä kosteutta rakenteista ja siten kuivattamaan niitä. (Siikanen 1996: 34–35, 56.)



Kuva 13. Ylipaineisessa rakennuksessa ilmavirtausten mukana liikkuva kosteus vaipan reikien ja rakojen kautta sisältä ulos voi aiheuttaa vuotoilman lämpötilan laskiessa kastepisteen muodostumisen rakenteen sisälle lähellä ulkopintaa (Tiivistalo 2012b; Siikanen 1996: 32).

5.2 Kosteuden tiivistyminen

Rakennusten lämmöneristyskyky on vuosien mittaan parantunut. Lämmöneristävyuden parannuttua on kosteuden tiivistyminen rakennuksen sisäpinnalle vähentynyt. Rakennuksen sisäpinnalle muodostuvan kosteuden tiivistymisen ratkaisevina tekijöinä ovat rakenteen lämmön vastus, sisäpinnan lämmönvastus, sisäilman kosteuspitoisuus ja ulkoilman lämpötila. Kolmeen ensimmäiseen tekijään voidaan vaikuttaa teknisin toimenpitein, mutta ulkolämpötilan muuttamiseen ei lainkaan. Tiivistymisen ollessa lyhytaikaista ei siitä yleensä ole mitään haitta. Jotta pinnalle ei tiivistyisi kosteutta, tulee

$$t_p > t_{kp}$$

$$t_p = \text{pintalämpötila}$$

$$t_{kp} = \text{ymäröivän ilman kastepistelämpötila. (Björkholtz 1997: 64.)}$$

5.2.1 Kondensoituminen

Vesihöyryn tiivistymistä vedeksi kutsutaan kondensoitumiseksi. Vesihöyryn kondensoituessa vedeksi rakenteen sisällä tai sen pinnassa ilman suhteellinen kosteus on 100 % (Siikanen 1996: 57).

Rakenteissa vesihöyry tiivistyy aina ympäröivää ilmaa kylmemmälle, kovalle pinnalle, jos vesihöyryn kyllästymiskosteus (kastepiste) ylittyy (Siikanen 1996: 57).

Rakenteisiin ja rakenteiden pinnoille tiivistyvää kosteutta aiheuttaa tavallisimmin

- rakenteen lämpöiseen tilaan rajoittuva, jokin liian kylmä sisäpinta (esimerkiksi kylmä ikkunalasi)
- kylmäsillat (rakenteet, joiden lämmönjohtavuus on suurempi kuin niitä ympäröivän lämpöä eristävän rakenteen lämmönjohtavuus esimerkiksi lämmöneristeen läpäisevät terässiteet tai betoni)
- rakennuksesta puuttuva höyrynsulku tai sen puutteellinen sijainti/asennus
- konvektiovirtauksien mahdollistava ylipaine rakenteen sisältä ulospäin, jolloin reiät, raot ja epäjatkuvuuskohdat liikuttavat ilmavirtauksia höyrynsulun lävitse. (Siikanen 1996: 37, 57.)

Rakenteisiin tiivistyvän kosteuden estämiseksi on rakenne suunniteltava sisäpuolelta riittävän vesihöyryntiiviiksi ja rakennekerrokset on suunniteltava harveneviksi ulospäin mentäessä, jolloin vesihöyrynvastus pienenee lämpimältä puolelta kylmempään puoleen mentäessä. Vesihöyryntiiveyden ja rakenteiden harvetessa ulospäin voidaan ennaltaehkäistä diffuusion aiheuttamia kosteuden tiivistymiä rakenteisiin. Diffuusion estämiseksi on rakenteiden sisäpinnan läheisyydessä käytettävä höyrynsulkua (höyrynsulkumuovia), joka tiiviisti asennettuna samalla ehkäisee mahdollisten ilmanvuotokohdien aiheuttamien konvektiovirtausten kondenssivaurioita. Rakenteisiin kohdistuvaa vesihöyrynpainetta ja kondensoitumisen vaaraa voidaan myös pienentää alipaineistamalla rakennus. (Siikanen 1996: 57.)

5.2.2 Kastepiste

Kastepisteen muodostumisen ehtona on lämpötila, jolloin ilmassa oleva vesihöyry muuttuu vedeksi eli kondensoituu. Kastepisteessä ilman tietyn lämpötilan kosteus saavuttaa kyllästyskosteuden (Siikanen 1996: 55).

Tietyn lämpöinen ilma pystyy sisältämään enimmillään tietyn määrän vesihöyryä. Tilaa, jossa ilma sisältää maksimimäärän vesihöyryä (suhteellinen kosteus 100 %), kutsutaan vesihöyryn kyllästyskosteudeksi. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se voi sisältää kosteutta. (Siikanen 1996: 55.)

Tietyn ilman lämpötilan saavuttaessa kyllästykosteuden on sen sisältämän vesihöyryn suhteellinen kosteus 100 %. Mitä suurempi on ilman lämpötila, sitä enemmän se voi

sisältää kosteutta. (Siikanen 1996: 55.) Kastepisteen ja kondensoitumisen muodostumista voidaan selvittää seuraavilla laskuilla (Björkholtz 1997: 44–45).

Esimerkki 1

Kuinka alhainen saa olla sisävalmistusvaiheessa höyrynsulkumuovin sisäpinta, jotta kosteutta ei tiivistyisi? Liitteestä 3 voidaan hakea kyseisen huonetilan kosteuspitoisuus lämpötilassa + 22 °C, jonka avulla saadaan laskettua ilman kosteuspitoisuus suhteellisen kosteuden ollessa 50 %.

Sisäilman ehdot:

Suhteellinen kosteus 50 %

Ilman lämpötila + 22 °C

$$v = 0,5 * 19,4 \text{ g/m}^3 = 9,7 \text{ g/m}^3$$

0,5 = suhteellinen kosteus

19,4 = lämpötilan + 22 °C, kosteuspitoisuus (g/m³), (liite 3)

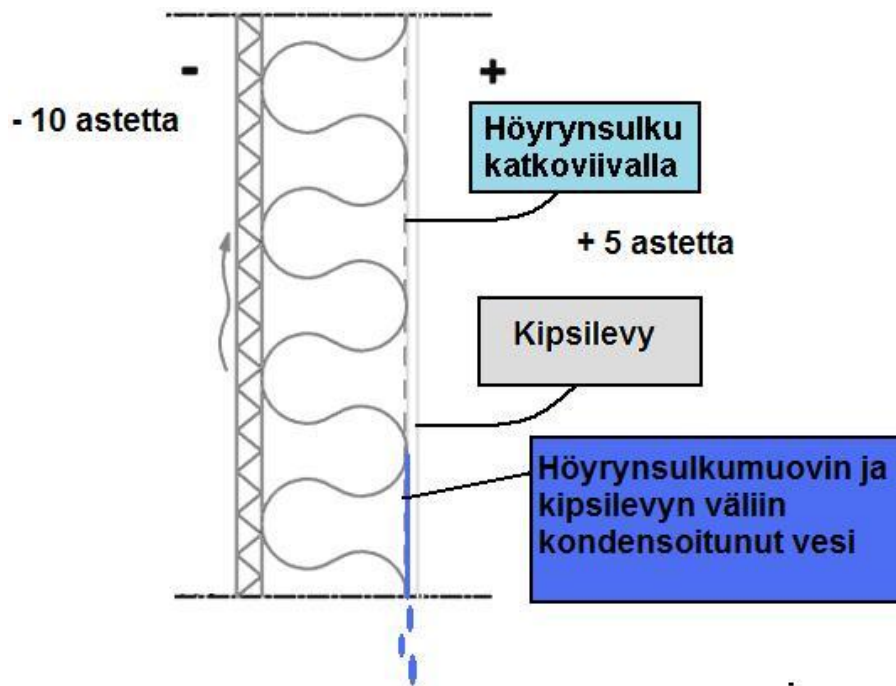
Nyt haetaan 9,7 g/m³ arvoa vastaava lämpötila liitteestä 3, joka on noin 10,5 °C. Eli höyrynsulkumuovin sisäpinnan lämpötilan t_{sp} täytyy olla suurempi kuin kastelämpötilan 10,5 °C. Seuraavan yhtälön on toteuduttava kyseisissä olosuhteissa, jotta vesihöyryn kondensoitumista ei tapahtuisi.

$$t_{sp} \geq 10,5 \text{ °C kun } RH = 50 \%. \text{ (Björkholtz 1997: 44–45.)}$$

5.3 Kuivumisolosuhteiden vaikutus tosielämän puuelementtikohteessa

Mestarityötä varten päästiin haastattelemaan henkilöä, jolla oli kokemus huonosti toteutettujen kuivumisolosuhteiden vaikutuksesta puuelementtikohteesta. Monien tapahtumien ja päätösten summana oli, että paritalokohteessa sattumalta märkätilakipsilevyn takaa poistetun ylimääräisen höyrynsulkumuovin yhteydessä oli huomattu höyrynsulkumuovin pinnalle kondensoituneen vettä. Kondensoitumisen oli aiheuttanut huoneistossa vallinneet epäedulliset kuivumisolosuhteet. Huoneistossa tehdyn laajemman tutkimuksen mukaan oli kondensoitumista tapahtunut myös muiden huoneistossa olleiden

tilojen höyrynsulkumuovin pinnalle paikka paikoin. Sisäilman lämmityksen ja kuivatuksen laiminlyönnin seurauksena höyrynsulkumuovin pinnalle kondensoitunut vesi oli valunut painovoiman vaikutuksesta ja kastellut kipsilevyjen alareunan (kuva 14). Tämän olisi voinut välttää luomalla oikeanlaiset olosuhteet huonetilaan sisävalmistusvaiheessa. Havainnollistetaan tapaukseen johtaneita syitä ja mitä olisi pitänyt tehdä toisin, jotta olisi välttytty märkien kipsilevyjen vaihtamiselta. (Olkkonen 2012.)



Kuva 14. Puuelementteihin sisävalmistusvaiheessa, jolloin kondensoituminen tapahtui. Julkisivun tiilimuurausta ei ollut vielä suoritettu (Olkkonen 2012).

Sisävalmistusvaiheen olosuhteisiin ei ollut kiinnitetty tarpeeksi huomiota tai oli kuviteltu, että ne olisivat olleet riittävät. Sähköpuhaltimilla saatiin pidettyä 120 m² huoneiston lämpötilan vain vaivoin + 5 °C asteessa, vaikka 4 kW:n puhaltimia oli ollut huoneistossa 2–3 kpl. Yläpuolisen puhallusvillan puuttuessa ja työnaikaisen vanerioven kautta pääsi lämmintä ilmaa karkaamaan huoneistosta, kun ulkolämpötila kyseisenä ajankohta talvella oli -10 °C. (Olkkonen 2012.)

Aiemman esimerkkilaskun 1 mukaan voidaan tehdä tarkastelua rakenteelle ja arvioida, missä kastepistelämpötilassa kosteutta tiivistyy höyrynsulkumuovin pinnalle rakenteessa. Suhteellisen kosteuden arvoa ei tiedetä, joten huonetilan suhteellista kosteutta joudutaan arvioimaan.

Sisäilman lämpötila = $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kyseisessä lämpötilassa vesihöyryn osapaine = 878 Pa
 Ulkoilman lämpötila = $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kyseisessä lämpötilassa vesihöyryn osapaine = 266 Pa
 Suhteellisen kosteuden arvoina huonetilassa käytämme 30, 50 ja 80 RH %

+ $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteen lämpötilassa on vesihöyrypitoisuus liitteestä 3. katsottuna kyseisessä lämpötilassa $v_k = 6,84\text{ g/m}^3$

Lausekkeen $v = RH\ \% * v_k$ avulla voidaan laskea sisäilman kosteuspitoisuus tietyssä sisäilman suhteellisessa kosteudessa.

$$v = 0,3 * 6,84 = 2,1\text{ g/m}^3, \text{ kun suhteellinen kosteus } RH = 30\%$$

$$v = 0,5 * 6,84 = 3,42\text{ g/m}^3, \text{ kun suhteellinen kosteus } RH = 50\%$$

$$v = 0,8 * 6,84 = 5,5\text{ g/m}^3, \text{ kun suhteellinen kosteus } RH = 80\%$$

Nyt haetaan liitteestä 3 näitä kosteusmääriä v vastaavat lämpötilat eli kastepistelämpötilat. Tiivistymistä ei tapahdu, jos höyrynsulkumuovin sisäpinnan t_{sp} lämpötila on korkeampi kuin kastepistelämpötila eli

$$t_{sp} \geq -10,5\text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ kun } RH = 30\%$$

$$t_{sp} \geq -4,5\text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ kun } RH = 50\%$$

$$t_{sp} \geq 1,9\text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ kun } RH = 80\%$$

Tarkastelun mukaan voidaan olettaa, että kipsilevyn lävitse on diffuusion vaikutuksesta kulkeutunut vesihöyrymuodossa kosteutta, joka korkeamman vesihöyryn osapaineesta on siirtynyt kohti ulkotilan pienemmän lämpötilan vesihöyryn osapainetta, jolloin vesihöyry on diffuusion vaikutuksesta liikkunut sisältä ulospäin. Sisältä ulospäin liikkuva vesihöyry on kohdannut tiiviin höyrynsulkumuovin, jolloin höyrynsulkumuovin pintalämpötila on ollut alle $+1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, jonka seurauksena vesihöyrymuodossa oleva kosteus on kondensoitunut höyrynsulkumuovin pintaan ja kastellut kipsilevyt rakenteen sisältä. Sähköpuhaltimilla luotu ylipaine on voinut myös rakenteessa olevien vuotokohtien kautta puhaltaa ilmavirtausten mukana sisäilman vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta, mikä on voinut reikien, rakojen ja epäjatkuvuuskohtien ansiosta tiivistyä kylmän höyrynsulkumuovin pinnalle. Tiiviin höyrynsulkumuovin ulkopuolelle rakennekerrokseen ei ollut päässyt tiivistymään vettä vaipan tiiveyden ja höyrynsulkumuovin ulkopuolisten rakenteiden tuulettavuuden takia.

Kipsilevyjen vaihdon olisi voinut välttää luomalla oikeanlaiset olosuhteet sisävalmistusvaiheeseen. Lämpötila olisi pitänyt saada nostettua $+ 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteeseen, jonka edellytyksenä olisi pitänyt yläpohjaan puhaltaa puhallusvilla ja kiinnittää huomioita väliaikaisten ovien tiivistämiseen tai rakentaa tuulikaappi, jotta lämmön karkausta väliaikaisten ovien kautta olisi voitu hallinnoida paremmin. Puurunkoisessa talossa ylipaineen sijaan alipaineella saataisiin huoneilmasta johdettua vesihöyrymuodossa oleva kosteus hallitummin ulos rakennuksesta. Rakennukseen ajatun ylipaineen riskinä on rakenteen lävitse kulkeutuvan vesihöyryn tiivistyminen rakenteisiin epäedullisissa olosuhteissa. Suhteellinen kosteus tulisi saada pidettyä 50 %:ssa ja ilman lämpötilan $+ 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, jotta luotaisiin rakenteille optimaaliset kuivumisolosuhteet.

$$v = 0,5 * 17,28 = 8,64 \text{ g/m}^3, \text{ kun suhteellinen kosteus } RH = 50\%$$

$$t_{sp} \geq 8,5\text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ kun } RH = 50\%$$

Jos huoneistossa olisi saatu pidettyä lämpötila $+ 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja suhteellinen kosteus $RH = 50\%$, niin t_{sp} :n pitäisi olla höyrynsulkumuovin pinnalla alle $+ 8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, jotta kondensoitumista tapahtuisi. Näiden olosuhteiden luomisella huoneistoon ei höyrynsulkumuovin pinnalle muodostu vesihöyryn kondensoitumista ja lisäksi alipaineistamisella saadaan johdettua sisäilmasta ylimääräistä kosteutta hallitusti pois rakennuksesta. Kuvassa 15 on esitetty puurakenteisen ulkoseinän kosteuscondenssin muodostumista höyrynsulkumuovin pinnalle sisätilan suhteellisen kosteuden eri arvoilla työmaaolosuhteissa.

PIENTALOJEN RISKIRAKENTEET 09C HÖYRYSULKU ERISTEEN SISÄSSÄ

Nykyajan suunnitelma
Höyrösulun kondenssi

Kosteuskondenssia työmaaolosuhteissa.



KONDENSITARKASTELUT KO. RAKENTEELLA

Sisäilma 60%RH T20°C } Ei kondenssia
Ulkoilma 95%RH T-15°C }

Sisäilma 65%RH T20°C } Kondenssi 6g/m²/vrk
Ulkoilma 95%RH T-15°C }

Sisäilma 70%RH T20°C } Kondenssi 16g/m²/vrk
Ulkoilma 95%RH T-15°C }

Jos ulkoseinärakenne on ilman sisäpuolista levyä edellä esitetyissä olosuhteissa on kondenssi 30g/m²/vrk.

Sisäilman suhteellinen kosteus työmaaolosuhteissa on oltava alle 60%RH.

Kuva 15. Puurakenteisen ulkoseinän kosteuskondenssin muodostumista höyrönsulku muovin pinnalle sisätilan suhteellisen kosteuden eri arvoilla työmaaolosuhteissa (Heikkinen 2012: 41).

6 Rakennusaikaiset lämmitys- ja kuivatusjärjestelmät

Rakennusaikaisia lämmitys- ja kuivatusjärjestelmiä löytyy markkinoilta monenlaisia ja tehoisia. Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien lämmön- ja kuivatuksen energian lähteenä on käytettävänä erityyppisistä järjestelmistä riippuen joko sähkö, öljy, vesikierteinen kaukolämpö, nestekaasu tai maakaasu. Järjestelmiä, joiden energian lähteenä on nestekaasu, on vältettävä käyttämästä sisävalmistusvaiheessa nestekaasun käytön yhteydessä muodostuvan vesihöyryn takia (Björkholtz 1990). Nestekaasun käyttö on sen sijaan yleistä talviaikana betonirunkoisen rakennuksen runkovaiheen rakenteiden lämmityksessä, jolloin käytön yhteydessä muodostunut vesihöyry ei aseta rajoitteita rakenteiden lämmitykselle ja kuivatukselle (esimerkiksi ontelo- ja saumavalujen yhteydessä). Rakennusten sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän valinta on aina kohteesta riippuvien reunaehtojen johdosta tapauskohtaista, ja siihen tulee varata aikaa kohteen lämmityksen ja kuivatuksen suunnittelussa. (Kone-Ratu 1989; Talhu Oy 2012a.)

6.1 Öljylämmitys

Öljykäyttöisiä rakennuslämmittimiä on tarjolla niin pieniä puhaltimia kuin suurempia lämpökontteja, tarpeesta riippuen. Kaikissa yksiköissä ei ole mukana öljysäiliötä, joten säiliön joutuu toisinaan vuokraamaan erikseen. Öljylämmitintä hankittaessa kannattaa varmistua siitä, tuleeko lämmitinyksikön mukana erikseen säilötä. Suuret lämmitinyksiköt kuluttavat suhteellisen paljon öljyä, minkä takia ei kannata vuokrata liian pientä säilötä, ettei tarvitse tilata usein öljyautoa työmaalle. Öljykäyttöiset rakennuslämmittimet tarvitsevat lisäksi sähköä toimiakseen. Sähkön avulla saadaan lämmitimissä oleva puhallin toimimaan, joten lämmitimet kuluttavat myös sähköä. Sähkölämmittimiin verrattuna sähkönkulutus on kuitenkin suhteellisen pientä. (Kone-Ratu 1989; Talhu Oy 2012a.)

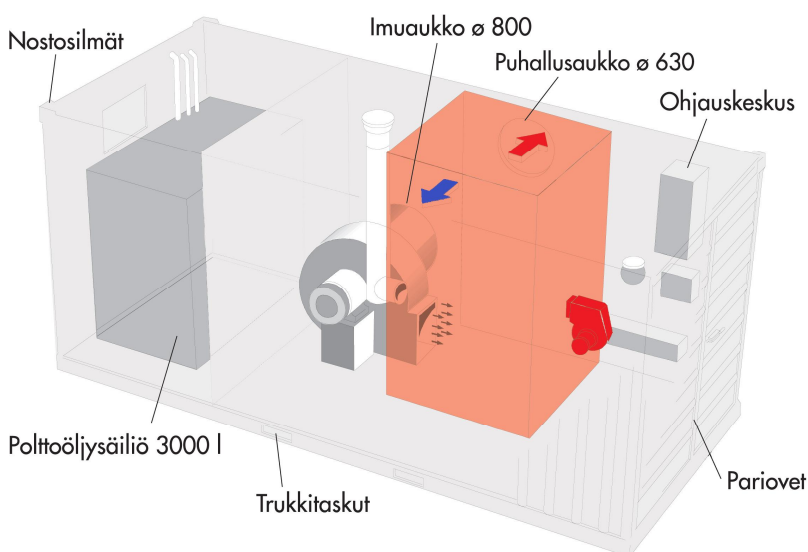
6.1.1 Lämpökontti

Lämpökontit ovat suuren mittakaavan lämmityskeskuksia. Käytettyyn ja kunnostettuun laivauskonttiin on sijoitettu suuritehoinen lämmitysyksikkö, jota voidaan tarpeen tullen huoltaa ja korjata. Laivakontin lukitseminen mahdollistaa lämmitysyksikön asianmukai-

sen käytön ja ennaltaehkäisee ilkivaltaa. Lämpökontteja käytetään suuren lämmitystehonsa ansiosta suurilla rakennustyömailla, varastoissa ja halleissa, joissa lämmitystarve on suuri. Laitteesta riippuen lämmitysteho nousee yli 300 kW:iin ja laitteesta tuleva ilmamäärä yli 15 000 m³/h. (Polartherm Oy 2012a; Hrk Oy 2012a.)

Lämpökontin suuren koon ja painon takia tulee kontin sijoituspaikka suunnitella huolella ja sijoituspaikan pohjatyöt on tehtävä huolellisesti. Lämpökontti Polar HC372 painaa noin 4 800 kg ja fyysiset mitat ovat 6 100 * 2 435 * 2 730 mm. Suurten lämmitystehojen ansiosta on lämpökonteilla myös suuri polttoainekulutus, keskimäärin noin 30–36 kg/h laitteesta riippuen. (Polartherm Oy 2012a; Hrk Oy 2012a.)

Lämpökontti koostuu ilmanlämmittimestä, keskipakoispuhaltimesta, polttoainesäiliöstä, sekä öljyn esilämmittimestä ja ohjausautomaatiikasta (kuva 16). Lämpökonttiin sijoitettu lämmitysyksikkö on helppo nostaa ja siirtää kontissa olevilla nostosilmukoilla ja trukkitaskuilla. (Polartherm Oy 2012a; Hrk Oy 2012a.)



Kuva 16. Polar HC372 -lämpökontti (Polartherm 2012a).

6.1.2 Öljykäyttöinen lämmitysyksikkö öljysäiliöllä

Jos öljykäyttöinen lämpökontti on liian suuri työmaan tarpeisiin, voidaan suunnitella käytettäväksi pienempää öljykäyttöistä lämmitysyksikköä. Öljysäiliöllä varustettu lämmitysyksikkö on todella tehokas tilapäiseen ja pitempiaikaiseen lämmittämiseen. Läm-

tysyksikköä voidaan käyttää uudiskohteissa, korjausrakennuskohteissa, varastoissa ja halleissa. (Polartherm Oy 2012b; Hkr Oy 2012a.)

Polarin tarjoaman Heatmobile HTL 250 –lämmitysyksikön (kuva 17) kapasiteetti riittää noin 7 000 m³ tilan lämmittämiseen. Lämmitystehoa kone tuottaa 195 kW ja laitteen tuottama ilmamäärä on 13 350 m³/h maksimiteholla. Polttoainetta kuluu maksimissaan 18 kg/h. Lämmitysyksikkö on helposti siirrettävissä pienemmän kokonsa ja painonsa takia. Painoa kertyy öljysäiliön kanssa 1 100kg. (Polartherm Oy 2012b; Hkr Oy 2012a.)

Lämpöyksikköön voidaan liittää ilmakanavia, jolloin saadaan siirrettyä lämmitettävä ilma sinne mihin halutaan. Haarojen avulla voidaan jakaa lämmintä ilmaa moneen eri huonetilaan. Lämmitysyksikkö kerää viilentynyttä ilmaa lämmitetystä huonetilasta, jonka se pystyy kierrättämään, lämmittämään ja siirtämään uudestaan lämmitettävään huonetilaan. Huoneeseen sijoitettavalla termostaatilla voidaan säätää huoneessa vallitsevaa lämpötilaa. (Polartherm Oy 2012b; Hkr Oy 2012a.)



Kuva 17. Öljysäiliöllä varustettu lämmitysyksikkö Polar Heatmobile HTL 250 (Polartherm Oy 2012b).

6.1.3 Öljykäyttöiset lämmittimet

Öljykäyttöiset lämmittimet ovat pienen kokonsa ansiosta helposti siirreltäviä ja tarpeen tullen ne voidaan nostaa roikkumaan katosta, jolloin puhallin saadaan pois kulkureiteiltä. Puhaltimia käytetään uudiskohteissa, korjauskohteissa, varastoissa, autotalleissa ja muiden vastaavien tilojen lämmittämisessä. Puhaltimet tarvitsevat erillisen polttoainesäilön ja huonetilaan sijoitettuna tarvitsevat putkiston johtamaan haitalliset pakokaasut pois. (Talhu Oy 2012a; Talhu Oy 2012b.)

Öljykäyttöisiä lämmittimiä on työkohteen koon puolesta tarjolla erikokoisia. Talhu Oy:n tarjoamien puhaltimien Termo 30, 55, 70, 110, ja 130 lämmitystehot vaihtelevat 29–120 kW. Saatava ilmamäärä puhaltimilla on 2 800–7 000 m³/h. Öljynkulutus maksimiteholla on 3,5–12 l/h. Puhaltimet siirtyvät kätevästi pyörillä ja ovat nostettavissa nostokoukuista. Puhaltimet painavat 92–246 kg. Uusimpia puhallinmalleja Termo 70 ja Termo 130 voidaan käyttää myös vaihtoehtoisesti maa- tai nestekaasulla. Talhu Termo-öljykäyttöisiä lämmittimiä on kuvassa 18. (Talhu Oy 2012a; Talhu Oy 2012b.)



Kuva 18. Talhu Termo 30 ja Talhu Termo 110 (Talhu Oy 2012a).

6.2 Nestekaasujärjestelmä

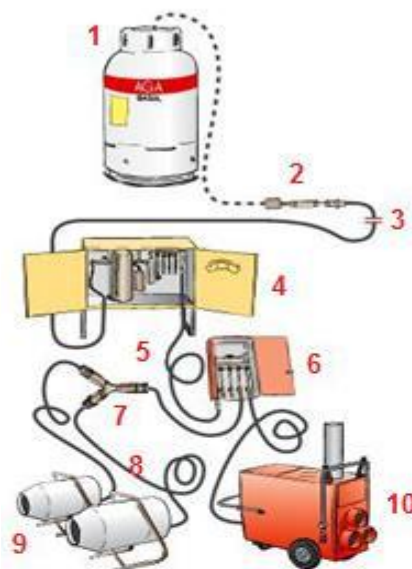
Nestekaasua tuodaan työmaalle suurissa säiliössä tai pienemmissä nestekaasupulloissa tarpeesta riippuen. Rakenteiden kuivatuksessa ja lämmittämisessä pullokoot liikkuvat 33 kg:n nestekaasupullon, 184 kg:n maksipullon ja suurempien säiliöiden välissä. Lämmityslaitte voidaan liittää suoraan pulloon tai höyrystimen kautta pulloon tarvittavien liitosten avulla. Nestekaasua voidaan jakaa monelle eri lämmityslaitteella samanaikaisesti haaraliitosten avulla. Höyrystintä käytetään nestekaasun höyrystämisen apuväli-

neenä. Höyrystimen ansiosta nestekaasu voidaan jakaa pullosta höyrystimelle ja siitä suoraan lämmityslaitteelle, mikä mahdollistaa suuremman hyötysuhteen. Höyrystimen ansiosta pullot saadaan käytettyä tyhjäksi. Kun höyrystintä ei ole käytössä, täytyy nestekaasun pystyä höyrystymään, jotta se pystytään syöttämään lämmitysjärjestelmään. Nestekaasun höyrystymisnopeuteen vaikuttavat ympäröivän ilman lämpötila, järjestelmän käyttöpaine, kaasunpullon koko ja jäljellä olevan kaasun määrä. Täydellä kaasupullolla ja lämpimissä olosuhteissa höyrystymisnopeus on huomattavasti suurempi. Nestekaasulämmityksessä tarvittavat tarvikkeet on eritelty kuvassa 19. (AGA Oy 2012).

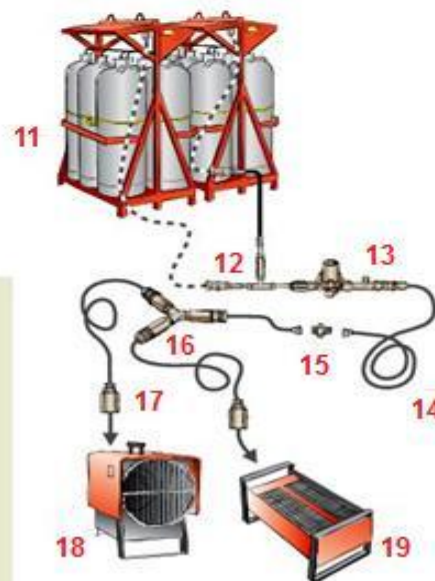
Nestekaasulämmityksessä tarvittavat tarvikkeet.

Nestekaasun käyttäminen nestemäisessä muodossa

1. AGAn maksipullo (184kg).
2. Nestelähtöliitäntöjen rinnakkaiskytkentä lisää toiminta-aikaa.
3. Nestelähtöliitäntöjen teräsvahvisteiset korkeapaineletkut.
4. Paineenalentimella varustettu nestekaasuhöyrystin, jonka lähtöpaine on noin 1,5 baaria. normaaliolosuhteissa höyrystimen kaasuntuotto on 32 kg/h. Saatavana on myös suuremman kapasiteetin höyrystimiä.
5. Teräskudosvahvisteinen kaasunsyöttöletku.
6. Jakokeskus jossa on sulku- ja letkuventtiilit.
7. Lämmittimen haara.
8. Teräskudosvahvisteinen kaasunsyöttöletku.
9. Suorapolttityyppinen nestekaasulämmitin liekinvalvontalaitteella.
10. Nestekaasulämmitin lämmönvaihtimella, palokaasujen erottimella ja liekinvalvontalaitteella.
11. AGAn maksipullo (184kg) tai pullopaketti (297kg).
12. Kaasulähtöliitäntöjen rinnakkaiskytkentä lisää kapasitettia.
13. Paineenalennus noin 1,5 baariin paineensäätöventtiilillä.
14. Teräskudosvahvisteinen kaasunsyöttöletku.
15. Pikaliitin.
16. Haaroitusliitin.
17. Laitteen liitin.
18. Suorapolttityyppinen nestekaasulämmitin liekinvalvontalaitteella.
19. Infrapunalämmitin tehonsäädöllä.



Nestekaasun käyttäminen kaasumaisessa muodossa



Kuva 19. Nestekaasujärjestelmään tarvittavia tarvikkeita (AGA Oy 2012).

Nestekaasujärjestelmän perustaminen on varsin yksinkertaista ja järjestelmän kapasiteetin laajentaminen onnistuu helposti. Letkuilla ja pikaliittimillä voidaan viedä lämmityslaitteisto sinne missä lämmitystä tarvitaan. Laitteiston kytkemiseen tarvitaan kuitenkin

ammattitaitoinen henkilö, joka on perehtynyt ja saanut koulutuksen kytkentöjen tekemiseen. (AGA Oy 2012.)

Nestekaasujärjestelmä on varsin tehokas tapa lämmittää kohdetta. Yhdestä kilosta nestekaasua saadaan noin 12,8 kWh lämmitysenergiaa kohteen lämmittämiseen. Nestekaasun normaalissa palamisreaktiossa muodostuu vain hiilidioksidia ja vesihöyryä. Rikin ja raskasmetallien määrä palamisreaktiossa on erittäin pieni. Nestekaasujärjestelmän puhaltimet tarvitsevat kuitenkin sähköä lämpimän ilman puhaltamiseen, mutta säteilijät eivät sen sijaan tarvitse muuta kuin nestekaasua lämmön siirtämiseen. Sähkönkulutus verrattuna sähköpuhaltimiin on kuitenkin varsin pientä. (AGA Oy 2012.)

Nestekaasujärjestelmää valittaessa on huomioitava palamisreaktiossa syntyvä vesihöyryn määrä. Kuuma ilma sitoo vesihöyryä, mutta se on saatava johdettua pois rakennuksesta. Rakennuksen säännöllinen ilmanvaihto estää palamisreaktiossa muodostuneen vesihöyryn siirtymisen rakenteisiin. Huomioitavaa on myös se, että palamisreaktio kuluttaa happea. Tarvittava hapen määrä yhden nestekaasukilon palamiseen on noin 12 m³. Ilmanvaihto on erittäin suuressa osassa nestekaasujärjestelmässä. (AGA Oy 2012.)

Työmaalla nestekaasun varastoiminen on luvanvaraista. Varastoitavan määrän ylittäessä 200 kg joudutaan tekemään ilmoitus kunnan palopäällikölle. Ilmoituksesta tulee ilmetä toiminnanharjoittajan nimi, kotipaikka, yhteystiedot, laitoksen sijainti, varastoitavan nestekaasun määrä ja toiminnan aloitus. Ilmoitukseen on liitettävä selostus nestekaasun varastoinnista, käsittelystä, käytöstä sekä piirustus järjestelmän sijoituksesta ja työturvallisuudesta. Työmaalla varastoitaessa yli 5 000 kg nestekaasua joudutaan tekemään laajempi selvitys viranomaisille. (Finlex 2010.)

6.2.1 Nestekaasupuhaltimet

Nestekaasupuhaltimet ovat tehokkaita ja nopeita lämmöntuottajia. Esimerkiksi Remkon nestekaasukäyttöisien puhaltimien tehoalue on 12 kW:sta ja aina 100 kW:iin asti. Puhaltimilla voidaan lämmittää pienempiä ja vähän suurempiakin työkohteita. Liitosten avulla voidaan yhdistellä ja siirrellä nestekaasukäyttöisiä puhaltimia sinne missä lämmitystä tarvitaan. Remkonin puhaltimet tuottavat 250–3000 m³/h ilmamäärän laitteesta riippuen. Puhaltimien pienen koon ja painonsa ansiosta on puhaltimia helppo siirtää

paikasta toiseen. Remkon nestekaasupuhaltimia näkyy kuvassa 20. (Polartherm Oy 2012c.)



Kuva 20. Remko Promat nestekaasupuhaltimet 12–100 kW (Polartherm Oy 2012c).

6.2.2 Nestekaasusäteilijät

Nestekaasusäteilijä pystytään liittämään nestekaasujärjestelmään yhtälailla kuin nestekaasupuhallinkin. Nestekaasusäteilijän etuna on, että se lämmittää kohdetta eikä kohteen ja säteilijän välissä olevaa ilmaa. Säteilijän teho voidaan kohdistaa sinne missä lämpöä tarvitaan. Laitetta voidaan käyttää ulko- tai sisätiloissa, ja varsinkin ulkotiloissa lämmitettävä kohde on suojattava tuulen vaikutukselta. Nestekaasusäteilijöiden etuna on myös se, että ne eivät tarvitse sähköenergiaa lämmön siirtämiseen, joten niitä voidaan käyttää paikoissa, johon sähkövirtaa ei ole mahdollista saada. Seuraavassa kuvassa 21 näkyy nestekaasukäyttöinen säteilijä. (Hrk Oy 2012b.)



Kuva 21. Nestekaasukäyttöinen säteilijä (Ramirent Oy 2012a).

6.3 Sähkölämmitys

Sähkökäyttöisten lämpöpuhaltimien valitseminen lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmäksi voi olla yksi työmaan pääkeskusta mitoittava tekijä. Sähkölämmittimien korkea yhteistehon tarve voi nousta merkittävästi lämmitys- ja kuivatuskauden korkeimmilla pakkasilla. Työmaa, joka käyttää sähkölämmittimiä apulämmönlähteenä, voi joutua valitsemaan astetta suuremman pääkeskuksen työmaalle kuin se työmaa, joka käyttää vaihtoehtoista apulämmönlähdettä. Pääkeskuksen koon muuttaminen astetta suuremaksi vaikuttaa vuokratukustannusten määrään nousevasti. Pääkeskuksen mitoittamisen perusteena on työmaan ajankohta, jolloin työmaan laitteiden ja koneiden tehontarve on suurimmillaan. Yleisesti ottaen sähkölämmittimien suuri määrä lisää sähkönkulutusta, joka tuo maksettavaksi suuremman sähkölaskun ja laitteiden yhteenlaskettu vuokrahinta nousee päivää kohden. (Kone-Ratu 02-3037 2003: 2.)

6.3.1 Sähkölämmittimet

Sähkökäyttöiset lämmittimet eli puhaltimet ovat helppo ja varmatoiminen ratkaisu rakennuksen lämmittämiseen ja kuivattamiseen. Markkinoilla ja konevuokraamoissa on tarjolla monenlaisia sähkökäyttöisiä puhaltimia, mutta esimerkiksi Remko-merkkiset puhaltimet ovat käytettävyydellään ja toimintavarmuudeltaan olleet helppo valinta kohteen lämmittämiseen ja kuivattamiseen. Remkon lämmittimissä lämmitysvastusten poiskytkennällä voidaan tilojen lämmityksen sijaan vain tuulettaa, tai jakaa lämmitysilmää tilojen välillä. Pienen kokonsa ja painonsa ansiosta lämmittimiä voidaan helposti siirtää paikasta toiseen. Pienimmät lämmittimet painavat alle 10 kg ja suurimmat yli 50 kg. (Polartherm Oy 2012d.)

Remko puhaltimien tehovalikoima on 2,2–40 kW. Puhaltimet on varustettu huonetermostaatilla ja ylikuumenemissuojalla. Tämä mahdollistaa puhaltimien vaivattoman ja turvallisen käytön rakennuksen sisätiloissa. Teholuokaltaan pienin puhallin tuottaa 300 m³/h lämmintä tai tuulettuvaa ilmaa ja suuritehoisin puhallin 3000 m³/h. Liitäntäjännitteeltään puhaltimet eroavat vähän toisistaan. Pienin puhallin tarvitsee liitäntäjännitteeseen 230 V ja seuraavan teholuokan puhaltimet tarvitsevat 400 V. Remkon sähkökäyttöisiä puhaltimia näkyy kuvassa 22. (Polartherm Oy 2012d.)



Kuva 22. Remko sähkökäyttöiset puhaltimet. Teholuokat vasemmalta oikealle 3,2 kW, 6 kW, 9kW, 18kW ja 40 kW (Polartherm Oy 2012d).

6.3.2 Sähkökäyttöiset säteilijät

Sähkökäyttöisiä säteilijöitä käytetään samaan tapaan kuin nestekaasulla toimivia säteilijöitä, mutta ne toimivat vain sähköllä. Lämmitys perustuu infrapunalämmittämiseen, jossa lämmityksen kohde lämpiää eikä välissä oleva ilma. Säteilylämmittimet ovatkin erittäin hyvä keino lämmittää tiettyä kohtaa rakenteesta kokonaisten tilojen sijaan. Lämmittimet ovatkin energiatehokkaita, koska lämmitysenergiaa ei mene hukkaan kohteen lämmityksessä. Sähkökäyttöinen infrapunalämmitin näkyy kuvassa 23. (Polartherm Oy 2012e.)



Kuva 23. Sähkökäyttöinen infrapunalämmitin Remko Polar S2 (Polartherm Oy 2012e).

6.4 Kiertovedellä toimivat lämpöpuhaltimet

Kiertovedellä toimivat lämpöpuhaltimet soveltuvat niin korjaus- kuin uudiskohteisiin. Lämmitettävässä kohteessa täytyy olla toimiva vesikierteinen lämmitysjärjestelmä tai kaukolämpöverkko. Uudiskohteissa työnaikainen vesikierteinen lämmitysjärjestelmä

vaatii huolellista suunnittelua. Vesikierteisen lämmitysjärjestelmän saa kytkeä vain asianmukaisen koulutuksen saanut henkilö eli putkimies, jotta välttyttäisiin turhilta vesivahingoilta rakennuskohteessa. (Polartherm Oy 2012f.)

Vesikierteiset lämmittimet toimivat tulevalla lämpimällä tulovedellä ja imuilmalla. Lämmin tulovesi saadaan kohteen vesikierteisestä järjestelmästä tai kaukolämpöverkosta. Lämmin tulovesi johdetaan tuloliitoksen vesikennostoon, jonka läpi kulkeva imuilma muuttuu puhallusilmaksi kohteeseen. Kiertovesilämmittimen teho vaihtuu kiertoveden ja imuilman lämpötilan mukaan. Lämmin tulovesi kiertää kennoston lävitse ja palaa vesikiertojärjestelmään tai kaukolämpöverkoston lämmittimen paluuliitoksen kautta. Imuilman puhaltamiseen tarvitsee lämmitysyksikkö kuitenkin sähköä. Sähkön avulla saadaan imuilma puhallettua lämpöisen kennoston lävitse, joka lämmittää viileän imuilman lämpöiseksi puhallusilmaksi. Sähkönkulutus lämmitysyksiköllä on kuitenkin varsin pientä verrattuna sähkökäyttöisiin puhaltimiin. (Polartherm Oy 2012f.)

Polartherm Oy:n mallistosta löytyy neljä eri lämmitintä. Lämmittimien lämpötehot ovat lämmittimillä Polar WH50 48,5 kW, Polar WH80 74,9 kW, Polar WHT45 39 kW ja Polar WHT250 249 kW kun tuleva lämmin vesi on 90 °C ja palaava vesi 70 °C. Lämmittimisissä tuloveden maksimi lämpötila on 130 °C. Lämmittimet tarvitsevat liitäntäjännitteen ja WH koneilla se on 230V ja WHT koneilla 400V. Puhallettavaa lämmintä ilmaa tuottavat WH50 3 000 m³/h, WH80 4 500 m³/h, WHT45 3 200 m³/h ja WHT250 20 000 m³/h. Polarin vesikierteisiä lämmittimiä näkyy seuraavassa kuvassa 24. (Polartherm Oy 2012g.)



Kuva 24. Vesikierteiset lämmittimet vasemmalta Polar WH50/WH80, Polar WHT45 ja Polar WHT 250. WH50 ja WH80 ovat samannäköisiä ja WHT250:llä voidaan puhaltaa lämmintä ilmaa vaakasuoraan sekä pystysuoraan. WHT 45 voidaan puhaltaa suuttimen avulla eri ilmansuuntiin lämmintä ilmaa tai puhaltaa putkella lämmintä ilmaan eri huoneeseen (Polartherm Oy 2012f).

6.5 Öljy- sekä kaasukäyttöiset lämmittimet

Markkinoilla on tarjolla myös lämmittimiä, joiden lämmitysenergian kulutus ei ole sidottu yhteen lämmitysvaihtoehtoon. Öljy- sekä kaasukäyttöiset lämmittimet toimivat pääsääntöisesti öljyllä, nestekaasulla tai vähemmän niin käytetyllä maakaasulla. Sähköä laitteet kuluttavat puhaltimen pyörittämiseen, mutta sähkön kulutus on suhteellisen pientä verrattuna sähköpuhaltimiin. (Talhu Oy 2012a.)

Monikäyttöisiä lämmittimiä löytyy muun muassa Talhu Oy -merkkiseltä valmistajalta. Talhu Oy:n mallistossa on kaksi eri teholuokan lämmitintä: Talhu Termo 70 ja 130. Pienemmän lämmittimen teho on 67 kW ja suuremman 120 kW. Lämmittimet kuluttavat öljyä 7 ja 12 l/h, nestekaasua 5,4 ja 9,3 kg/h sekä maakaasua 6,7 ja 11,5 kg/h. Puhallustehot ovat 4400 ja 7000 m³/h. Siirrettävyys on helppoa laitteissa olevien pyörien avulla, mutta nostamiseen tarvitaan jo nostoapua laitteiden painon vuoksi, jotka ovat 176 ja 246 kg. Talhu Oy:n eri lämmitysmuodolla toimivia lämmittimiä näkyy seuraavassa kuvassa 25. (Talhu Oy 2012a.)



Kuva 25. Talhu termo 70 ja 130 (Talhu Oy 2012a).

6.6 Kosteudenerottimet

Kosteudenerottimet ovat kuivaimia. Kosteudenerotin kerää erottamalla vettä ilmasta kondenssikuivaimilla tai adsorptiokuivaimilla. Kondenssikuivaimissa aksaalipuhaltimen kautta kylmään kennostoon johdettu kostea ilma jäähtyy ja tiivistyy kennostoon, jossa kosteasta ilmasta tiivistyneet vesipisarot johtuvat astiaan. Adsorptiokuivaimien periaat-

teena on johtaa ilmaa laitteeseen, jossa vesimolekyylejä sitova kuivausaine kerää kosteutta. Kuivausaineena käytetään muun muassa silicageeliä ja aktivoitua alumiinioksidia. Adsorptiokuivaimilla kerätty kosteus siirretään kuivatettavasta tilasta ulos esimerkiksi vesihöyrymuodossa. Kondenssiperiaatteella laitteeseen keräytynyt vesi voidaan kerätä joko laitteessa olevaan vesiasiaan tai mahdollisesti johtaa lähietäisyydeltä löytyvään viemäriin. Laitteesta löytyvä astia on varsin pieni, joten kokoaikaista astian tyhjennystä voidaan vähentää johtamalla kondensoitunut vesi suoraan viemäriin jos se on mahdollista. Kosteudenpoistajia ja adsorptiokuivaimia käytetään uudis- ja korjausrakennuskohteissa nopeuttamaan rakenteiden kuivamista sekä home- ja vesivahinkokohteiden kuivatuksessa. Jotta kosteuden kerääminen olisi maksimaalista kondenssiperiaatteella olevilla kosteuden poistajilla, tulisi lämpötilan olla + 20 °C tai enemmän. Adsorptiokuivaimilla lämpötila voi olla esimerkiksi 0–30 °C asteen välillä, jotta kosteuden keräämistä tapahtuu. (Polartherm Oy 2012h; Gles Oy 2012; Adsorptiokuivain 2012.)

Markkinoilta löytyy monenlaisia kosteudenerottimia eri valmistajilta, mutta käytännössä kaikissa kosteuden erottimissa on sama periaate. Periaatteena on ylimääräisen kosteuden kerääminen ilmatilasta. Kosteudenerottimia löytyy monenlaisia eri kokoluokista. Remko merkkisten Kondenssilaitteiden kosteudenerotusteho liikkuu 7–107 l/vrk välillä. Laitteet ovat varsin pieniä ja niitä voidaan kasata tarpeen tullen päällekkäin. Laitteiden alla olevat pyörät helpottavat laitteen siirtelyä ja kosteudenerottimiin saa lisävarusteena hygrostaatin, jonka avulla tilan kosteusprosentti saadaan pidettyä halutulla tasolla. Kuvassa 26 näkyy kondenssi- ja adsorptiomenetelmällä toimivia kosteudenpoistajia. (Polartherm Oy 2012h.)



Kuva 26. Remko merkkisiä vihreitä kosteuden poistajia vasemmalla ja oikealla viininpunainen CTR 300XT merkinen adsorptiokuivain (Polartherm Oy 2012h).

6.7 Rakennuspuhaltimet

Rakennuspuhaltimina voidaan käyttää sähköpuhaltimia, jolloin lämmitysvastukset ovat pois kytkettyjä tai vain ilman siirtämiseen tarkoitettuja puhaltimia (Polartherm Oy 2012d). Molemmissa tapauksissa puhaltimen tarkoitus on jakaa lämmintä ilmaa tilojen välillä, poistaa ylimääräistä kosteutta tilasta tai vain kuivattaa tasoite- tai maalauspinnoja (Strong Oy 2012a; Strong Oy 2012b).

Rakennuspuhaltimina on käytössä työmailla esimerkiksi simpukkapuhaltimia ja aksaalipuhaltimia (kanavapuhallin). Simpukkapuhaltimia käytetään tasaisesti niin lämpimän ilman jakamiseen tilojen välillä, kosteuden poistamiseen tilasta kuin vain pintojen kuivattamiseenkin. Aksaalipuhaltimia voidaan käyttää samanlaisiin toimenpiteisiin tai pelkästään kosteuden poistamiseen rakennuksesta. Aksaalipuhaltimeen liitettävä putkisto mahdollistaa kostean ilman johtamisen pois rakennuksesta. Kuvassa 27 näkyy erilaisia rakennuspuhaltimia. (Strong Oy 2012a; Strong Oy 2012b.)



Kuva 27. Vasemmalla kuvassa on simpukkapuhallin ja oikealla aksaalipuhallin ja siihen liitetty putkisto ilman johtamiseen pois rakennuksesta (Strong Oy 2012a; Strong Oy 2012b).

6.8 Betonilattiarakenteen Tempo-kuivainlämmitin

Tempo kuivainlämmitin tuo mahdollisuuden sisävalmistusvaiheessa lämmittää ja kuivattaa lattialämmityspotkiston avulla kohteen rakenteita ja huoneilmaa, vaikka lattialämmityspotkiston lämmönlähde puuttuisi. Tempo kuivainlämmitin lämmitysteho on 3 kW. Huoneiston lattialämmitysjakotukkiin liitettävällä Tempo kuivainlämmitinellä, voidaan lattialämmityspotkistossa kierrättää erillistä vesi-glykoliseosta. Pinta-alaltaan 100–120 m² suuruudessa huoneistossa voidaan lattialämmitysjärjestelmässä kierrätettävä seos lämmittää korkeintaan 25–35 °C asteiseksi. Tätä pinta-alaltaan suurempien

yhden jakotukin kattavien lattialämmitysjärjestelmien lämmittämistä ei ole suositeltavaa lattialämmityspotkistossa tapahtuvien lämpöhäviöiden vuoksi. Kuvassa 28 näkyy Tempo-kuivainlämmitin. (Puronlahti 2012.)



Kuva 28. Tempo kuivalämmittimessä käytettävän 10 % vesi-glykoliseoksen ansiosta ei lattia lämmitysjärjestelmässä käytettävä seos pääse jäätymään vaikka joku ottaisi talvella lämmittimen vahingossa pois päältä (Puronlahti 2012; Reditalot 2012).

7 Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmät esimerkkikohteissa

Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien kartoitusta suoritettiin vierailemalla YIT Rakennus Oy ARU:n uudisrakennuskohteissa ja haastatteleamalla vastaavia työnjohtajia. Työmaakäynnit suoritettiin viidelle erilaiselle hankkeelle eri puolilla Uuttamaata (Uudisrakennuskohteet, joissa vierailut suoritettiin, olivat As Oy Nurmijärven Rajakivi, As Oy Nurmijärven Arvolanniitty, As Oy Nurmijärven Soittaja, As Oy Espoon Rosetti ja Kiinteistö Oy Vihdin Kataja). Lisäksi toteutettiin haastattelu YIT Rakennus Oy ARK:n (Asuinkerrostalot) yksikön vastaavan työnjohtajan kanssa. ARK:n työnjohtajan haastattelu toteutettiin sattumalta YIT:n yhteisessä tilaisuudessa. Haastattelu suoritettiin uudisrakennuskohteen As Oy Helsingin Klyyssistä. Haastatteluiden tarkoituksena oli saada tietoa kyseisten kohteiden sisävalmistusvaiheen lämmityksestä ja kuivatuksesta, työnjohtajien uran varrella hyväksi todetuista toimintamalleista rakennuksen lämmittämisestä ja kuivattamisesta, sekä yleisesti energiankulutuksesta. Haastattelujen runko löytyy liitteestä 1.

Haastatteluiden tulosten analysoimisen perusteella voidaan todeta, että ARU:n kohteiden samanlaiset suunnitelmalliset piirteet toivat yhteneväisiä vastauksia esitettyihin kysymyksiin ja kohteiden lämmitys- ja kuivatusratkaisuihin. Kohteiden aloitusajankohdista riippumatta lämmitys- ja kuivatusratkaisut olivat joko samanlaisia, tai lämmitys- ja kuivatusajankohta ajoittui sellaiseen aikaan, että pärjättiin vain kohteen omalla lämmitysjärjestelmällä. Edellä mainituista syistä tarkastellaan tarkemmin As Oy Nurmijärven Rajakiveä, As Oy Espoon Rosettia, As Oy Helsingin Klyyssiä sekä toisista kohteista tuodaan esille näistä poikkeavia ratkaisumalleja tai toimintatapoja kohteiden tarkastelun jälkeisissä osuuksissa.

7.1 As Oy Nurmijärven Rajakivi

Nurmijärven kirkonkylän alueella sijaitseva uudisrakennuskohde koostuu kahdesta 8 asunnon luhtitalosta, yhdestä 16 asunnon kerrostalosta sekä kylmästä ulkovarastosta. Kerrostalon ulkoseinät ovat betonisandwich-elementtiä, väliseinät betonielementtiä ja välipohjana ontelolaatta. Yläpohja muodostuu ontelolaattojen päälle tulevista kattotuoleista. Luhtitalojen kantava sisäpuolinen runko tehdään betonielementeistä, jota kiertää puuelementtiseinä. Välipohjarakenteena käytetään ontelolaattoja ja yläpohjarakenteena ovat kattotuolit. Kerrostalossa ja luhtitaloissa on tuulettuva alapohja. Kohteen lämmitys- ja kuivatusajankohta ajoittuu juuri 2012 syksyn ja talven taitteeseen, jolloin

avoimen järjestelmän ylipaineistus on toiminut mainiosti kerrostalossa. Luhtitaloissa huoneistojen tuuletusta on tehostettu ylimääräisen kosteuden poistamiseksi niin apu-puhaltimilla kuin läpivetotuuletuksella. Kohteen on määrä valmistua maaliskuussa 2013. Kohde As Oy Nurmijärven Rajakivi näkyy kuvassa 29. (Mustonen 2012.)



Kuva 29. As Oy Nurmijärven Rajakivessä on yksi kerrostalo ja kaksi luhtitaloa, joista toinen näkyy kerrostalon vasemmalla puolella.

Kohteessa on jouduttu käyttämään kahta erilaista lämmitys- ja kuivatusjärjestelmää rakennusten määrän ja muotojen vuoksi. Kerrostalon lämmitys- ja kuivatus suoritettiin omien kaukolämmityspattereiden lisäksi erillisellä öljylämmittimellä, jonka lämmönjakoa kerroksissa tehostavat apupuhaltimet ja tarvittavan kohdelämmityksen suorittavat sähköpuhaltimet. Luhtitaloissa omien kaukolämmityspattereiden lisäksi käytettiin huoneistossa apupuhaltimia ilmankierron tehostamiseksi ja sähköpuhaltimia kohdelämmitykseen. (Mustonen 2012.)

Rakenteiden kosteusmittauksista vastaa YIT:n oma kosteusmittaaja. Mittaajan kanssa suunnitellaan yhdessä pisteet, mistä mitataan rakenteiden suhteellista kosteutta, ja kuivumisolosuhteiden seuraamiseksi mitataan myös ilman suhteellista kosteutta. Aikaisempien kokemusten perusteella porareikämittauksia tehdään pistokoemaisesti pesuhuoneen seinistä ja lattioista, väestösuojan maanvaraisesta lattiasta sekä huoneistojen lattioista. Kosteusmittauksilla varmistutaan siitä, että rakenteiden kuivatus etenee suunnitellulla aikataululla, jolloin rakenteiden pinnoitus- tai päällystystyöt voidaan aloittaa suunniteltuna ajankohtana. Alusrakenteen sallitun suhteellisen kosteuden määräävät valmistajien tuotteilleen asettamat raja-arvot. (Mustonen 2012.)

7.1.1 As Oy Nurmijärven Rajakivi: Kerrostalo

Kohteen kerrostaloon asennettiin ulkopuolelle suuritehoinen Talhu termo 110 - öljylämmitin (kuva 30), vaikka kohteen lopullisen lämmityksen tuo kaukolämpö. Kaukolämpöön liitettävät vesikierteiset puhaltimet olisivat olleet yksi varteenotettava vaihtoehto, mutta aikaisemmat kokemukset öljylämmittimestä johtivat tämän lämmitysmuodon valitsemiseen. Öljylämmittimen lämmöntuottoteho oli nimensä mukaan 110 kW. Lämmittimen suuren lämpötuoton ansiosta käytetään lämmitintä vain työajan ulkopuolella, koska lämmittimen ollessa päällä ovat työolosuhteet liian epäinhimilliset. Lämmittimen koon, öljyn palamisessa muodostuvien pakokaasujen sekä rakennukseen kuivan kylmän ilman puhaltamisen takia sijoitettiin laite rakennuksen ulkopuolelle, josta lämmin ilma siirretään kanavaa pitkin sisätiloihin. Lämmittimen suuren ilmatuottomäärän (5 500 m³/h) ansiosta, pystyttiin kohteeseen ajamaan ylipaineistettu tila, jonka ansiosta kosteus ajettiin ulos rakennuksesta tarkoituksella jätettyjen ovien ja ikkunoiden tilkitsemisrakojen kautta. Tilkitsemisrakoja jätettiin auki vain jostain kohtaa huoneistoja, joko parvekkeen ovesta tai jostain huoneiston ikkunasta. Ilmavirran vaikutusta säädetään rakojen pienentämisellä tai vaihtoehtoisesti säädetään tuuletusikkunoiden aukeamaa isommalle ilmavirran lisäämiseksi. Vesikaton luukun auki jättäminen lämmityksen aikana mahdollisti hormiefektin tapahtumisen kerrostalossa, jonka seurauksena lämmin ilma pakotettiin menemään ylöspäin ja jakautumaan kerroksiin. Kerroksissa lämmönjakoa huoneistoihin avustivat apupuhaltimet (simpukkapuhaltimet). Yksittäisiä tiloja (kuten pesuhuoneita) lämmitetään tarvittaessa sähköpuhaltimilla työaikana. (Mustonen 2012.)



Kuva 30. As Oy Rajakiven kerrostalon Talhu termo 110 -öljylämmitin ja 2000 l öljysäiliö lämmitin takana.

Kerrostaloon valitun lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän etuna on ollut aikaisempien kokemusten perusteella erittäin nopea lämmöntuotto. Työnjohto valitsi tarkoituksella astetta isomman lämmityslaitteen, joka mahdollisti rakenteiden nopeamman lämmityksen, kosteuden nopeamman liikkumisen sisä rakenteesta kohti pintarakenteita ja sitä kautta kosteuden nopeamman haihtumisen ilmaan, jonka seurauksena lämmittimellä rakennukseen tuotettu ylipaine puhaltaa kostean ilman pihalle rakennuksesta. Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmä mieluummin ylimitoitetaan kuin alimitoitetaan, koska tällöin varmistetaan siitä, että rakenteiden kuivatus etenee suunnitellulla aikataululla ja koneen tehoa voidaan säädellä tarvittaessa rakenteiden lämmitys- ja kuivatustarpeen mukaan. Suunnitellun aikataulun varmistumisen edellytyksenä ovat kosteusmittaukset. (Mustonen 2012.)

7.1.2 As Oy Nurmijärven Rajakivi: Luhtitalot

Luhtitaloissa ulkotilassa olevat porraskäytävät eliminoivat mahdollisuuden käyttää yhtä yhteistä lämmityslaitetta, joten asuntojen lämmityksen suoritti lopullinen huoneistoissa oleva lämmityspatteriverkosto. Lämmityspattereista saatu hyöty oli tarpeeksi riittävä kattamaan huoneistojen lämmitystarpeet, joten ei tarvittu kuin erillisiä sähköpuhaltimia lämmittämään yhtä yksittäistä kohdetta tarpeen vaatiessa. Huoneistoja lämmitetään työajan ulkopuolella ja työaikana huoneistoja tuuletetaan ylimääräisen kosteuden poistamiseksi. Tuuletus toteutettiin työmaalle hankitulla erillisillä apupuhaltimilla (kuva 31) ja yleisellä huoneistojen läpivetotuuletuksella, jotka kierrättivät lämmintä ilmaa sekä poistavat ylimääräistä kosteutta huoneistosta. (Mustonen 2012.)



Kuva 31. Luhtitaloissa työajan ulkopuolella lämmitettiin rakenteita ja työaikana tuuletettiin simpukkapuhaltimilla (puhaltimen teho on 850 W) ja yleisellä huoneistojen läpivetotuuletuksella. Simpukkapuhaltimia käytetään myös kerrostalon lämpimän ilman jakamiseen kerroksissa (Mustonen 2012).

7.2 As Oy Espoon Rosetti

Uudisrakennuskohde sijaitsee Espoon Lintuvaarassa, joka koostuu kymmenestä kahden kerroksen pari- ja rivitaloista ja kahdesta talousrakennuksesta. Kohteessa on yhteensä 26 asuntoa. Pari- ja rivitalojen kantava sisäpuolinen runko tehdään betonielementeistä, jota kiertää puuelementteinä. Välipohjarakenteena käytetään ontelolaattoja ja yläpohjarakenteena ovat kattotuolit. Rakennuksissa on maanvarainen perustus. Kohteen ensimmäisen rakennuksen lämmitys- ja kuivatusajankohta alkaa marraskuun 2012 lopulla, joten kaikkien rakennusten sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatus ajoittuu talveen. Kohteen on määrä valmistua lokakuussa 2013. Kuvassa 32 on arkkitehdin luonnos valmiista paritalosta. (Romppanen 2012.)



Kuva 32. Arkkitehdin luonnos As Oy Espoon Rosetin valmiista paritalosta (YIT 2011c).

Rakennuksia aletaan heti lämmittää ja kuivattaa talviaikana, kun siihen on edellytykset, jotta rakenteet saadaan kuivatettua aikataulussa. Lämmittämisen ja kuivattamisen edellytyksenä on tiivis vaippa, jolloin lämpö saadaan pidettyä mahdollisimman hyvin sisätiloissa, lämmittämässä ja kuivattamassa rakenteita. Lämmön pysymisen rakennuksen sisätiloissa talviaikana mahdollistaa ovien ja ikkunoiden huolellinen tiivistäminen sekä vaipan lämmöneristäminen. Kohteessa rakennusten väliaikaisten ovien tiivistämiseen käytetään erityistä huolellisuutta, jotta lämpövuodot saadaan minimoitua. (Romppanen 2012.)

Huoneiston oma lattialämmitys otetaan heti käyttöön, kun rakennuksen vaippa on tiivis ja kaukolämpö on kytketty huoneiston lattialämmitysjärjestelmään. Lattialämmityksen aloituksen kanssa on lähdettävä rauhallisesti pienillä lämpötiloilla liikkeelle, jotta liian kuuma kiertovesi ei kuivata betonilattiarakennetta liian nopeasti. Lattiavalun liian nopean ja liian suurilla lattialämmitysjärjestelmän lämpötiloilla kuivattaminen saattaa aiheuttaa betonilattiarakenteeseen kuivumiskutistumisen aiheuttamaa halkeilua. Tästä syystä on käytettävä erityistä huolellisuutta betonilattiarakenteen jälkihoitoon kuivumiskutistumisen ennaltaehkäisemiseksi. (Romppanen 2012.)

Huoneistojen lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmänä toimii 3,3 kW sähköpuhallin, joka on asennettu ensimmäiseen kerrokseen. Valittuun lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmään vaikutti rakennusten hajanainen sijainti (kuva 34) sekä aikaisemmat kokemukset samantyyllisistä kohteista. Kosteuden poistossa käytetään innovatiivista ratkaisua. Työnjohto on ottanut käyttöön huoneiston ylipaineistamisen sijaan alipaineistamisen. Huoneistojen kosteuden poiston suorittaa toiseen kerrokseen asennettava alipaineistava kanavapuhallin. Kanavapuhallin on asennettu Finnfoam-eristelevyyden kiinni, joka asennetaan tuuletusikkunan paikalle toiseen kerrokseen siten, että ilman kiertomatka olisi mahdollisimman pitkä. Kanavapuhallin imee sisäilmaan haihtunutta kosteata ilmaa ja puhalttaa sen pihalle (kuva 33). (Romppanen 2012.)



Kuva 33. Tuuletusikkunan ulkopokat otetaan pois, jonka jälkeen tuuletusikkunan sisäpökan paikalle asennetaan tiukasti esimerkiksi Finnfoam-eristelevy kiinni. Eristelevyyn on asennettu tiukasti esimerkiksi kanavapuhallin, joka puhaltaa huoneistosta kosteata ilmaa pois ja aiheuttaa alipaineistetun tilan huoneistoon. Kohteen sähkömiestä voidaan kysyä tekemään tarvittavat jatkojohtojen liitokset kanavapuhaltimeen. (Romppanen 2012.)

Rakenteiden kuivumisen seurauksessa tullaan käyttämään apuna yksityistä kosteudenmittausyritystä sen sijaan, että käytettäisiin YIT:n omaa kosteuden mittaajaa. Aikaisempien kokemusten perusteella, yksityisen yrityksen mittauspalvelut, ammattitaito sekä loppuraporttien laatiminen on vaikuttanut yrityksen valitsemiseen. Kosteuden mittausyritys mittaa yhteisesti sovitusta rakenteista ja ilmasta suhteellista kosteutta. (Romppanen 2012.)



Kuva 34. Havainne kuva As Oy Espoon Rosetin tontille sijoittuneiden rakennusten hajanaisuudesta. Asemapiirroskuva ei ole mittakaavassa (YIT 2012c).

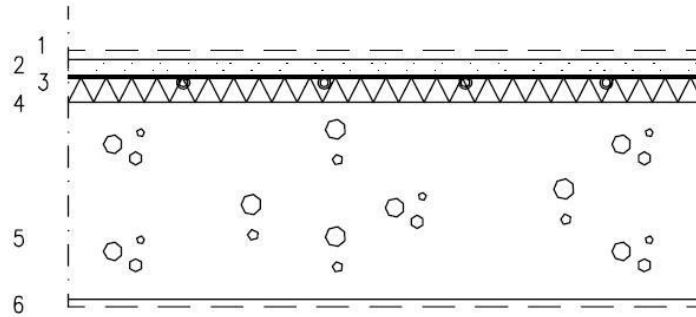
7.3 As Oy Helsingin Klyyssi

Helsingin Lauttasaarella sijaitseva uudisrakennuskohde As Oy Helsingin Klyyssi koostuu kahdesta porraskäytävästä, joissa on yhteensä 32 asuntoa. Toisessa porraskäytävässä on 4 kerrosta ja toisessa 7 kerrosta, joita yhdistää kaksi kellarikerrosta. Kohteen rakennus tapahtuu paikallavaluperiaatteella ja lopullisena lämmitysmuotona rakennuksessa tullaan käyttämään kaukolämpöön kytkettyä lattialämmitysjärjestelmää. Kohteen sisävalmistusvaiheen ensimmäinen lämmitys- ja kuivatusjakso (2012–2013 talvi) aloitetaan A-rapussa 2013 tammikuussa. Toinen lämmitysjakso (2013–2014 talvi) sijoittuu ennen kohteen valmistumista, mutta silloin tullaan selviytymään jo kohteen omalla lattialämmitysjärjestelmällä kokonaisvaltaisesti. Uudisrakennuskohteen on määrä valmistua tammikuussa 2014. As Oy Helsingin Klyyssi on yksi seitsemän yhtiön kokonaisuudesta (kuva 35). (Kosonen 2012a.)



Kuva 35. As Oy Helsingin Klyyssi on yksi seitsemän yhtiön kokonaisuudesta (YIT 2012d).

Kohteessa tullaan ensimmäisen lämmitys- ja kuivatusjakson sisävalmistusvaiheessa lämmittämään ja kuivattamaan aluksi erillisillä vesikierteisillä puhaltimilla. Paikallavaluholvin suhteellisen kosteuden saavuttaessa lämpölattiatoimittajan lämmitysputkille uritetun askeläänieristelevyn suhteellisen kosteuden suositusasennusarvon, voidaan tämän jälkeen vasta asentaa kaukolämpöön kytkettävät lattialämmitysputket askeläänieristelevyn uriin huoneistoissa. Askeläänieristeen ja siinä oleviin uriin asennettavien lämmitysputkien päälle tulee vielä erillinen 25 mm:n paksuinen saneerausplaano. Lämpölattiatoimittajan uritettu askeläänilevy voidaan asentaa paikallavaluholvin suhteellisen kosteuden ollessa 90 % tai alle. Jotta suhteellinen kosteus saataisiin laskettua 90 %:iin, kohteessa tullaan käyttämään YIT ARK:n aikaisemmin samalla alueella valmistuneiden samankaltaisten kohteiden esimerkiksi Jiinassa käytettyä kaukolämpöön liitettävää vesikierteistä lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmää. Seuraavassa kuvassa 36 on rakennekuva välipohjasta ja sinne sijoitettavasta kaukolämpöputkista. (Kosonen 2012a.)



15 . . . 20 mm	1	Pintamateriaali ja -käsittely, huoneselityksen mukaan
25 mm	2	Kuituvahvistainen tasoite maxit Floor 4350 Saneeraus-Plaano, lasikuituverkko tasoitteen sisällä
	3	Suodatinkangas, saumat limitetty,
35 mm	4	Askeläänieristyslevy, maxit Comfort, uralevy 35 mm, kääntölevy 20mm, levyssä urat lämmitysputkille
≥ 280 mm	5	Teräsbetoni-laatta, rakennepiirustusten mukaan, pinta BY 45 luokka B-4
	6	Pintakäsittely, huoneselityksen mukaan

Kuva 36. As Oy Helsingin välipohjaratkaisu (Kosonen 2012b).

Sisävalmistusvaiheen lämmitys ja kuivatus tullaan aloittamaan vaiheessa, jolloin runkotyöt ovat vielä kesken. Paikallavaluholvin ansiosta voidaan kohteen lämmitys ja kuivatus aloittaa jo ennen kuin vesikaton rakentamista on edes aloitettu. Paikallavaluholvin vedenpitävyyden ansiosta se on mahdollista, mutta tiiveyden kannalta tulee ovet, ikkunat ja väliaikaiset ovet asentaa ja tiivistää hyvin. Kerrosten noustessa voidaan vaiheittain aloittaa lämmitystä ja kuivatusta sekä samalla rakennuksen hormiefektin kasvaminen voimistuu (mitä korkeammalla rakennetaan, sitä voimakkaampia ovat ilmavirtaukset alhaalta ylöspäin), koska kuitenkin porraskäytävä on avonaisena alhaalta ylös asti. Lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmänä tullaan käyttämään kaukolämpöön liitettäviä vesikierteisiä 15 kW:n lämmittimiä (kuva 37) ja tilapäisten tilojen lämmityksessä ja kuivatuksessa tai lisälämmön lähteenä käytetään 9 kW:n sähköpuhaltimia. Vesikierteiset puhaltimet tullaan asentamaan niin, että vähintään yksi puhallin sijoitetaan joka toiseen kerrokseen, josta puhaltimelta/puhaltimilla lähtee haaroitusputket jokaiseen kerroksessa olevaan huoneistoon. Aikaisempien kohteiden kokemuksella, saadaan vesikierteisillä puhaltimilla ilma kiertämään asunnoissa. Puhaltimilla luodun ylipaineen ansiosta tullaan ilmavirtauksia ja kohteen suhteellista kosteutta säätämään tarvittaessa huoneistojen tuuletusikkunoiden säädöillä. (Kosonen 2012a.)



Kuva 37. As Oy Helsingin Klyyssissä käytettävä El-Björn TF 15HV-S vesikierteinen lämmitin (El-Björn 2011)

Lämpötila pyritään pitämään lämmitys- ja kuivatuskauden aikana + 20 °C tai vähän yli, jotta saadaan pidettyä hyvät kuivumisolosuhteet rakennuksessa. Liiallinen korkea lämpötilan tavoittelu on epäenergiatehokasta ja vaikuttaa työtehokkuuteen ja -viihtyvyyteen alentavasti. Kuivumisolosuhteiden ja rakenteiden kuivumisen seuraamisessa käytetään YIT:n kosteusmittaajaa, jonka kanssa käydään erikseen lävitse mittauspisteiden paikat ja määrät jokaisesta kerroksesta. Kosteusmittaukset suoritetaan porareikämittauksilla ja ensimmäinen mittauskerta on n. 1,5–2 kuukautta ennen rakenteiden pinnoitus- tai päällystystöiden suunniteltua ajankohtaa. (Kosonen 2012a.)

8 Lämmitys- ja kuivatusenergiakustannukset esimerkkikohteissa

Työmaalla suoritettujen haastattelujen perusteella pystytään suorittamaan kohteiden lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien kustannusvertailua, johonkin toiseen markkinoilla olevaan lämmitys- ja kuivatusjärjestelmään. Työmaalla saatujen laitetietojen ja määrien mukaan voidaan esimerkiksi kalustopalveluiden hinnastoja apuna käyttäen laskea kuukausihinta lämmitys- ja kuivatusjärjestelmälle. Kohteeseen valitun lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän vertailua suoritetaan markkinoilla olevaan toisen energiamuodon lämmitys- ja kuivatusjärjestelmään.

Kaikkia kuutta kohdetta ei tulla vertailemaan kohteiden samanlaisten piirteiden tai kohteissa käytettyjen saman lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän käytöstä johtuen. Suurten pari- ja rivitalokohteiden sekä luhtitaloissa käytettyjen lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien vertailua johonkin toiseen lämmitys- ja kuivatusjärjestelmään ei suoriteta. Sähköpuhaltimien varmatoimisuus ja laajat välimatkat puoltavat kallista sähköenergian muotoa isoissa kohteissa, joissa ei saada hyödynnettyä keskitettyä lämmitys- ja kuivatusjärjestelmää, vaan joudutaan ottamaan monta pientä laitetta (Romppanen 2012).

Kohteista As Oy Nurmijärven Rajakiven ja As Oy Helsingin Klyyessin lämmitys- ja kuivatusjärjestelmiä tullaan vertailemaan johonkin toiseen lämmitys- ja kuivatusjärjestelmään. As Oy Rajakivessä käytettyä polttoöljylämmittintä tullaan vertailemaan kaukolämmön vesikierteisiin lämmittäjiin. As Oy Helsingin Klyyssissä sen sijaan tullaan vertailemaan kaukolämpöön liitettäviä vesikierteisiä lämmittäjiä polttoöljytoimisiin lämmittäjiin.

Energian hinnat ovat poimittu kohteiden paikkakunnan energian tarjoajien keskiarvoista hinnoista sekä energian tarjoajien internetsivuilta. Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmissä käytettyjen laitteiden päivähinnat on otettu Suomessa toimivien kalustokeskusten sivuilta (Cramo ja Ramirent). Kalustokeskusten internetsivuilla olevien hintojen käyttämisestä on päätetty mestarityön toimeksiantajan energiantarjoajien kausisopimusten ja kalustopalveluiden vuokrasopimusten suojelemiseksi. Tämä on johtanut siihen, että YIT Kalusto Oy:n työmaille toimittamia vastaavia laitteita ei löytynyt muiden kalustopalveluiden valikoimasta, mutta tullaan käyttämään vastaavia tai saman tehoisia laitteita hintoja vertailtaessa. Menekki- ja vertailulaskelmissa ei tulla ottamaan huomioon laitteiden asennuksesta ja liitoksista muodostuvia kuluja. Kuukausikestona tullaan pitämään laskelmissa 4 viikkoa eli 28 päivää. Laitteita pidettiin tai tullaan pitämään vii-

kon jokaisena päivänä päällä, mutta vaihtelevia tuntimääriä. Laitteiden energian kulutus on laskettu niin, että laitteet tulisivat olemaan päällä koko ajan täydellä teholla.

8.1 As Oy Nurmijärven Rajakivi

As Oy Nurmijärven Rajakivessä käytettiin kohteen kerrostalon lisälämmitys- ja kuivausjärjestelmänä polttoöljykäyttöistä lämmitintä, joka laskelmissa ei ole Talhu Termo vaan samanlainen, mutta eri kuorissa oleva Thermoxin vastaava laite. Lämmön tasaisesta jakamisesta kerroksissa huolehti kuusi simpukkapuhallinta, joiden puhallussuuntia vaihdeltiin säännöllisesti. Työmaalle oli vuokrattu 2000 l:n säiliö öljypuhaltimelle.

Taulukko 1. As Oy Nurmijärven Rajakiven arvio energian menekkikustannuksista

Laite:	Hinta Alv.0 %	Yks.	Määrä	Yks.	Kokonais- hinta	Yks
Thermox öljypuhallin 110kW*	40,60	€/pvä	1	kpl	1136,64	€/kk
Öljysäiliö 2000l*	39,12	€/pvä	1	kpl	1095,36	€/kk
Simpukkapuhallin 0,6kW**	11,70	€/pvä	6	kpl	1965,60	€/kk
Öljy***	0,85	€/l	4576	l/kk	3889,60	€/kk
Sähkö****	0,0865	€/kWh	2579,2	kWh/kk	223,10	€/kk
			Yhteensä:		8 310,30	€/kk
Lämmityslaitteen lämmitysteho = 110 kW						
* Laitetiedot ja kulutukset katsottu cramo.fi (Cramo Oy 2012).						
** Laitetiedot katsottu ramirent.fi (Ramirent Oy 2012b).						
*** Polttoöljyn hinta katsottu Neste Oil:n 2000 l:n tilauksesta Nurmijärvelle 01900 (Neste Oil 2012).						
**** Sähkön hinta katsottu sähkön vertailusta: Nurmijärven sähkö (energiamarkkinointivirasto 2012).						

Kohteessa lämmitettiin ja kuivatettiin rakennusta 104 tuntia viikossa. Työaikana ei lämmitetty laitteen suuren tehon takia, koska työviihtyvyys olisi kärsinyt liikaa, jolloin laitetta käytettiin vain työajan ulkopuolella. Laitteen käyntiajat olivat arkena klo 16–06 ja viikonloppuna oli päällä koko ajan perjantaista klo 16 jatkuen aina maanantaihin klo 06:een Simpukkapuhaltimilla oli samat käyntiajat. Työaikana tuuletettiin lämmennyttä rakennusta.

Öljyn kulutus laitteella on 11 l/h täydellä teholla, joten kuukausikulutus on $11 \text{ l/h} * 104 \text{ h} * 4 \text{ viikkoa} = 4576 \text{ l/kk}$. Laitteiden yhteenlaskettu sähkönkulutus on täydellä teholla Tehrmoxin 2,6 kW ja simpukkapuhaltimella 0,6 kW eli yhteensä $2,6 + (6 \text{ kpl} * 0,6) = 6,2 \text{ kW}$ ja kuukaudessa $6,2 \text{ kW} * 104 \text{ h} * 4 \text{ viikkoa} = 2579,2 \text{ kWh}$.

8.2 As Oy Helsingin Klyyssi

Kaukolämpöön liitettäviä vesikierteisiä lämmittimiä pidetään kustannustehokkaana ja varmatoimisena vaihtoehtona rakennuksen lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmänä. Kohteessa kaukolämpöön liitettyä lattialämmityspotkiston käyttöä tulee rajoittamaan ennen askeläänieristeen asennusta valmistajan tuotteelleen asettama alustan suhteellisen kosteuden arvo. Jotta lattialämmityspotkisto voidaan asentaa askeläänieristeen uriin, on suhteellisen kosteuden oltava alusrakenteessa RH 90 % tai alle. Kohteessa saadaan kuitenkin hyvissä ajoin asennettua lämmönvaihdin lämmönjakohuoneeseen, joten työmaa tulee jakotukkien, letkujen ja liitosten avulla käyttämään kohteessa yhteensä 9:ää vesikierteistä puhallinta eri puolilla rakennusta.

Taulukko 2. As Oy Helsingin Klyyssin arvio energian menekkikustannuksista

Laite:	Hinta Alv.0 %	Yks.	Määrä	Yks.	Kokonais- hinta	Yks
Vesikiert.läm. Elbjörn TF 15HV-S*	14,49	€/pvä	9	kpl	3651,48	€/kk
kaukolämpö**	65,51	€/MWh	105,84	MWh/kk	6933,58	€/kk
Sähkö***	0,0666	€/kWh	765,07	kWh/kk	50,95	€/kk
				Yhteensä:	10 635,53	€/kk
Lämmityslaitteiden yhteenlaskettu lämmitysteho = $17,5 \text{ kW} * 9 \text{ kpl} = 157,5 \text{ kW}$						
* Laitetiedot ja kulutukset katsottu cramo.fi (Cramo Oy 2012).						
** Kaukolämmön keskiarvohinta kerrostalolla heinäkuulta 2012, Helsingin Energia (Energiateollisuus ry 2012).						
*** Sähkön hinta katsottu sähkön vertailusta: Helsingin Energia (Energiamarkkinointivirasto 2012).						

Kohteessa tullaan pitämään lämmitys- ja kuivatusjärjestelmää toiminnassa kellon ympäri eli kuukaudessa $24 \text{ h} * 7 \text{ päivää} * 4 \text{ viikkoa} = 672 \text{ h}$. Kaukolämmön kulutus on laitteilla $672 \text{ h} * (0,0175 \text{ MW} * 9 \text{ kpl}) = 105,84 \text{ MWh}$. Sähköä laitteet tarvitsevat lämpimän

ilman puhallukseen, joten yhden laitteen sähkön tarve on 0,1265 kW. Kuukaudessa laitteiden yhteenlaskettu sähkön kulutus on $672 \text{ h} * (0,1265 \text{ kW} * 9 \text{ kpl}) = 765,07 \text{ kWh}$.

8.3 Vertailulaskelmat vaihtoehtoisella lämmitysmuodolla

Vertailulaskelmat suoritetaan suurin piirtein saman tehoisella laitteistolla, verrattuna As Oy Nurmijärven Rajakivessä käytettyyn tai As Oy Helsingin Klyyssissä käytettyyn laitteistoon. Vertailulaskelmat on suoritettu samalla periaatteella kuin aikaisemmissa menekkilaskelmissa, mutta päälämmitys- ja kuivatusenergiamuoto on vaihdettu toiseen markkinoilla olevaan energiamuotoon. Kohteissa käytetyn tai käytettävän päälämmitys- ja kuivatuslaitteen energiamuotoa ei tulla vaihtamaan sähköön tai nestekaasuun, koska suuren kerrostalon yhteisen vaippa-alan lämmittäminen on kallista sähköllä suhteessa polttoöljy- tai vesikiertolämmittimiin ja taas nestekaasu tuottaa lisäkosteutta rakenteisiin.

8.3.1 As Oy Nurmijärven Rajakivi

As Oy Nurmijärven Rajakiven polttoöljylämmittimen vertailukohteenä tullaan käyttämään kaukolämpöön liitettäviä vesikierteisiä lämmittimiä. Jotta vertailukohteen laitteiden lämmitystehojen yhteenlaskettu määrä olisi melkein yhtä suuri, joudutaan kohteeseen valitsemaan 2 kappaletta vesikierteisiä 45,8 kW:n puhaltimia. Lämmön jakamisen kerroksissa huolehtii edelleen simpukkapuhaltimet.

Taulukko 3. As Oy Nurmijärven Rajakiven vertailulaskelma vesikierteisillä puhaltimilla

Laite:	Hinta Alv.0 %	Yks.	Määrä	Yks.	Kokonais- hinta	Yks
Vesikiert.läm. Polar WH50*	21,59	€/pvä	2	kpl	1209,04	€/kk
Simpukkapuhallin 0,6kW*	11,70	€/pvä	6	kpl	1965,60	€/kk
Kaukolämpö**	69,66	€/MWh	38,1	MWh/kk	2654,43	€/kk
Sähkö***	0,0865	€/kWh	1805,44	kWh/kk	156,17	€/kk
			<u>Yhteensä:</u>		<u>5 985,24</u>	<u>€/kk</u>
Lämmityslaitteiden yhteenlaskettu lämmitysteho = 45,8 kW * 2 = 91,6 kW						
* Laitetiedot katsottu ramirent.fi (Ramirent Oy 2012b).						
** Kaukolämmön keskiarvohinta kerrostalolla heinäkuulta 2012: Nurmijärven sähkö (Energiateollisuus ry 2012).						
*** Sähkön hinta on katsottu sähkön vertailusta: Nurmijärven sähkö (Energiamarkkinointivirasto 2012).						

Vertailun vuoksi tullaan laitteita pitämään päällä yhtä monta tuntia kuukaudessa kuin menekkilaskelmassa eli $104 \text{ h} * 4 \text{ viikkoa} = 416 \text{ h}$. Vesikierteisten puhaltimien energian kulutus on yhteensä $2 \text{ kpl} * (416 \text{ h} * 0,0458 \text{ kW}) = 38,1 \text{ MWh/kk}$ ja kaikki järjestelmän laitteet kuluttavat sähköä yhteensä $(2 \text{ kpl} * (416 \text{ h} * 0,37 \text{ kW})) + (6 \text{ kpl} * (416 \text{ h} * 0,6 \text{ kW})) = 1805,44 \text{ kWh/kk}$.

8.3.2 As Oy Helsingin Klyyssi

As Oy Helsingin Klyyssissä olevien kellarikerrosten osalta voitaisiin mieluummin käyttää samoja vesikierteisiä lämmittimiä, koska polttoöljylämmitin tuottaa pakokaasuja ja kellarikerroksista voisi olla vaikeaa johtaa niitä ulos. Öljylämmittimet sijoitetaan puhaltamaan lämmintä ilmaa sisälle joko ulko- tai sisäpuolelta rakennusta. Sisäpuolelle sijoitettaessa tulee ottaa huomioon pakokaasupäästöjen hallittu ulosjohtaminen. Lämmön tasaisesta jakamisesta huoneistojen välillä huolehtii simpukkapuhaltimet, joiden puhallussuuntaa vaihdellaan säännöllisin väliajoin. Öljysäiliöitä vuokrataan kaksi kappaletta, koska puhaltimia on kaksi kappaletta.

Taulukko 4. As Oy Helsingin Klyyessin vertailulaskelma polttoöljylämmittimillä, joita avustaa kellarissa vesikierteiset puhaltimet.

Laite:	Hinta Alv.0 %	Yks.	Määrä	Yks.	Kokonais- hinta	Yks
Betox öljylämmitin 55kW*	37,85	€/pvä	2	kpl	2119,60	€/kk
Öljysäiliö 2000l*	39,12	€/pvä	2	kpl	2190,72	€/kk
Vesikiert.läm. Elbjörn TF 15HV-S*	14,49	€/pvä	2	kpl	811,44	€/kk
Simpukkapuhallin 0,6kW**	11,70	€/pvä	10	kpl	3276,00	€/kk
Öljy***	0,84	€/l	7795,2	l/kk	6547,97	€/kk
Sähkö****	0,066	€/kWh	4941,2	kWh/kk	326,12	€/kk
Kaukolämpö*****	65,51	€/MWh	23,52	MWh/kk	1540,80	€/kk
			Yhteensä:		16 812,65	€/kk
Lämmityslaitteiden yhteenlaskettu lämmitysteho = (55 kW * 2)+(17,5 kW * 2)= 145 kW						
* Laitetiedot ja kulutukset katsottu cramo.fi (Cramo Oy 2012).						
** Laitetiedot katsottu ramirent.fi (Ramirent Oy 2012b).						
*** Polttoöljyn hinta katsottu Neste Oil:n 2000 l:n tilauksesta: Helsinkiin 00210 (Neste Oil 2012).						
**** Sähkön hinta katsottu sähkön vertailusta: Helsingin Energia (Energiamarkkinointi- virasto 2012).						
***** Kaukolämmön keskiarvohinta kerrostalolla heinäkuulta 2012: Helsingin Energia (Energiateollisuus ry 2012).						

Laitteet tulevat olemaan toiminnassa vertailun vuoksi saman ajan kuin kohteeseen valittujen vesikierteisten laitteiden toiminta-aika eli 672 h kuukaudessa. Öljypuhaltimet kuluttavat 5,8 l/h polttoöljyä, joten kuukaudessa kuluttavat 2 kpl * (5,8 l/h * 672 h) = 7795,2 l/kk. Vesikierteiset puhaltimet kuluttavat kaukolämpöenergiaa 2 kpl * (0,0175 MW * 672 h) = 23,53 MWh/kk. Sähkön yhteiskulutus kuukaudessa on (2 kpl * (0,55 kW * 672 h)) + (2 kpl * (0,1265 kW * 672 h)) + (10 kpl * (0,6 kW * 672 h)) = 4941,2 kWh/kk.

8.3.3 Yhteenveto vertailuista

Vertailulaskelmilla saadut tulokset kertovat kaukolämmitysmuodon edullisuudesta. Vesikierteisten lämmittimien letkut, liitokset ja jakotukit muodostavat kyllä lisäkustannuksia. Lisäkustannuksia muodostuisi vuokrahinnoista, asennuksesta ja purusta, mutta

niiden tuottamien kustannusten määrä ei kyllä tuo sellaista kustannuslisää, jotka vaikuttaisivat vesikierteisten lämmittimien edullisuuteen merkittävästi. Kustannuslisä letkuista, liitoksista, asennuksesta ja purusta voisi vesikierteisen lämmittimen järjestelmässä olla kokoluokkaa kuukaudessa noin 1000 € ± 500 € kohteen koosta ja määristä riippuen.

9 Energian kulutus talvirakentamisessa

Energian kulutusta voidaan pienentää suunnitelmallisilla toimenpiteillä, joita tullaan noudattamaan rakennushakkeen aikana. Varsinkin talviaikana energian kulutus on määrällisesti suurempaan työmaan kohteen ja sosiaalilojen lämmittämisessä, kohteen rakenteiden lämmittämisessä ja kuivattamisessa ja sähkön kulutuksessa kuin muina vuodenaikoina. Liiallisen kustannusten säästämisen tavoittelussa ei kuitenkaan ole tarkoitus pienentää työviihtyvyyttä tai varsinkaan työturvallisuutta. Hallituilla ja järkevillä ratkaisuilla voidaan säästää kustannuksissa niin, ettei kuitenkaan alenneta työviihtyvyyttä tai työturvallisuutta. (Koskinen 2012.)

Varsinkin lämmityksestä ja kuivatuksesta voidaan järjestelmien ja lämmitysmuotojen laajan tarjonnan vuoksi oikein kohteeseen valitulla lämmitys- ja kuivatusjärjestelmällä saada säästöjä aikaan lämmitys- ja kuivatusajanjakson päätteeksi. Tämä kuitenkin edellyttää, että rakennuksen vaipan tiiveys ja lämmöneristävyys on taattu ja kuivumisolosuhteiden oikealla toteutuksella vältetään lisälämmityksen ja kuivatuksen aiheuttamilta lisäkustannuksilta sekä aikataulun venymiseltä, mikä myös itsestään yleisesti lisää rakennushankkeen kustannuksia. Lämmityksen ja kuivatuksen suunnittelu on yksi iso osa, jossa voidaan säästää, mutta työmaan sosiaalilojen lämmityksen, kohteen valaistuksen ja myös sähköistyksen järkevällä suunnittelulla voidaan ajatella säästettävän kustannuksissa pitkässä juoksussa. (Koskinen 2012.)

Rakennushankkeen aloitusajalla on myös vaikutusta kustannusten muodostumiseen. Optimaalisin aika aloittaa yhden vuoden mittainen rakennushanke on helmi- ja maaliskuun taitteessa, jolloin koneet aloittaisivat maanrakennustyöt. Tällöin alkaa jo lumen tulo vähentyä ja aurinko lämmittää enenevässä määrin maan pintaa ja rakenteita, jolloin nykypäivän massiiviset betonirakenteiset perustukset lämmittävät alkukeväästä jo itse itseään hydrataation etenemisen seurauksena. Tästä johtuen rakennuksen runkovaihe ajoittuu kevä- ja kesäajan taitteeseen, jolloin rakennuksen runkovaiheen rakenteiden lämmitykseltä vältetään ja rakennuksen vaippa saadaan mahdollisesti ennen syksyn sateita veden ja ylimääräisen kosteuden pitäväksi, jolloin voidaan aloittaa sisävalmistusvaiheen lämmitys ja kuivatus omaa lämmitysjärjestelmää ja tarvittaessa mahdollista lisälämmitys- kuivatusjärjestelmää käyttäen. Todellinen sisävalmistusvaihe ajoittuu syys- ja talviajan taitteeseen, jolloin rakenteet ovat kuivat ja voidaan työskennellä viihtyvissä sisäolosuhteissa talvipakkasella. (Koskinen 2012.)

9.1 Lämmitys ja kuivatus

Talviaikana ennen rakennuksen sisävalmistusvaiheen lämmitystä ja kuivatusta on kiinnitettävä huomiota erityisesti vaipan tiiveyteen, koska tarpeettomilla vuotokohdilla tuhataan vain lämmitys- ja kuivatusenergiaa. Lämmitys- ja kuivatusenergian kohdistaminen pelkästään rakennuksen lämmittämiseen ja kuivattamiseen on energiaa säästävää toimintaa. Alusta alkaen hyvillä kuivumisolosuhteiden luomisella rakennukseen tullaan säästämään kuivumisolosuhteiden laiminlyömisestä muodostuvan tehostetun lämmityksen ja kuivatuksen aiheuttamista lisäkuluista, ja pienillä asioilla sekä laitevalinnoilla voidaan säästää kustannuksissa pitkällä tähtäimellä. (Koskinen 2012.)

Vaipan tiiviinä pysymisen varmistamiseksi on varsinkin väliaikaisiin oviin ja ylimääräisiin rakoihin kiinnitettävä huomiota sisävalmistusvaiheen lämmityksen ja kuivatuksen aikana. Väliaikaisten ovien tiivistämiseen tulisi tarpeettomien vuotokohtien välttämiseksi kiinnittää huomiota jo niitä tehdessä. Yksi vaihtoehto olisi väliaikaisten ovien tiiviinä pysymisen ja lämmön säilymisen varmistamiseksi ostaa tai kysellä purkukohteista lavalle menevien ovien perään. Vanhojen, mutta hyvälaatuisten purkukohteiden ulkovieien lämmönpitävyys on toista luokkaa kuin nykypäivänä käytettävien väliaikaisten vaneriovien. Lisäksi nämä väliaikaiset ovet ovat kokoajan auki oviaukoista läpimenevien sähkökaapeleiden takia. Sähkökaapelien järkevällä sijoittelulla, esimerkiksi niille suunnitelluista aukoista, voidaan väliaikaisista ovista karkaavaa lämmintä ilmaa rajoittaa. (Koskinen 2012.)

9.1.1 Kaukolämpö

Kohteessa tulisi ensisijaisesti käyttää kohteen kaukolämmönvaihdinta lisä- ja kuivatusjärjestelmän lämmönlähteenä jos se on mahdollista. Kaukolämmön edullisuus, käyttövarmuus ja järjestelmään liitettävien lämmitys- ja kuivatuslaitteiden hyötysuhde puhuu puolestaan (Koskinen 2012).

9.1.2 Polttoöljy

Mikäli kaukolämpöä ei ole saatavilla kohteeseen, ovat polttoöljykäyttöiset laitteet seuraavana vaihtoehtona kohteiden lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmäksi. Polttoöljykäyttöisten laitteiden sijoittelussa täytyy käyttää huolellisuutta käytöstä johtuvien pakokaa-

supäästöjen takia, mutta ensisijaisesti laite tulisi sijoittaa sisätiloihin. Pakokaasupäästöjen johtaminen ulos ei ole ongelma, mutta jos laite sijoitettaisiin ulos, joutuisi se lämmittämään kylmää ulkoilmaa puhaltaessa lämmintä ilmaa sisälle, mikä lisää laitteen kuluista verrattuna siihen, jos se sijoitettaisiin sisätiloihin. Sijoittamalla laite sisälle pystyy se kierrättämään pienemmällä teholla jo aikaisemmin laitteen läpi kulkenutta lämmitettyä ilmaa. (Koskinen 2012.)

9.1.3 Sähkö

Monissa rakennuskohteissa, kuten paritalo-, rivitalo- tai luhtitalokohteissa käytetään lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmänä sähköpuhaltimia. Nämä ovat helppo vaihtoehto rakennusten hajanaisuuden takia, mutta isompiin kohteisiin tämä ei ole järkevä vaihtoehto laajojen sähkölämmitysjärjestelmästä muodostuvien kustannusten takia. Laajamittaisen sähkölämmitysjärjestelmän kustannukset muodostuvat muun muassa laitteiden vuokrasta, suuresta sähkön kulutuksesta ja sähkölämmitysjärjestelmään vaikuttavasta pääkeskuksen koosta, joka lisää keskuksen vuokrahintaa ja työmaalle vuokrattujen kaapelien yhteishinta nousee, mitä enemmän kaapelia on työmaalla. Sähkökaapelien ostoa tulisi harkita laajemmissa kohteissa, niiden halvan investoinnin takia. (Koskinen 2012.)

9.1.4 Nestekaasu

Nestekaasu on hyvä vaihtoehto runkovaiheen lämmityksessä, jolloin kuivatus ei ole vielä pääasia, mutta sisävalmistusvaiheessa nestekaasun käytössä muodostuneen vesihöyryn määrä on puolestaan haitallista rakenteiden kuivumiselle (Koskinen 2012).

9.2 Valaistus

Valaistuksen suunnitteluun tulisi käyttää aikaa. Pimeänä talviaikana jatkuvasti päällä olevien valaistusten käytössä tulisi käyttää erilaisia ohjauslaitteita. Kellokytkimillä voidaan valaistuksen päällä pysymistä rajoittaa aikaan, jolloin työmaalla ollaan töissä. Asuntoihin tulisi tuoda esimerkiksi hämäräkytkimellä varustettuja valaistuksia, joiden ensisijaisena tarkoituksena on tuoda ensivalaistus huoneistoon, jonka aikana kohdevalaistus voidaan asentaa työskenneltävään tilaan. Valaistuksen valonlähteenä tulisi käyttää ensisijaisesti energiaa säästäviä ratkaisuja, mutta LED-valojen käyttö ainakin YIT:n

Urjalan Kalustopäällikön mukaan on vielä murroksessa ja laitteiden hinta-laatusuhde ei ole vielä oikealla tasolla. Laitteiden hintojen laskun ja tekniikan kehityksen myötä tullaan tulevaisuudessa LED-valaistus ottamaan laajemmassa määrin käyttöön. (Koskinen 2012.)

9.3 Työmaan sosiaalityöt

YIT Kaluston uusien työmaiden sosiaalityöiden kasvatetuilla eristepaksuuksilla pystytään lämmitysenergian hukkaa pienentämään, mutta lämmitysmuotona käytetään vielä sähköä. Sähköpattereiden vaihtoehtoisena päälämmityksen korvaajana voisi olla tulevaisuudessa ilmanlämpöpumput, joiden sähkönkulutus on pienempi verrattuna sähköpattereihin. Ilmanlämpöpumppujen sijoittelussa on vielä haasteita ja ongelmia kuljetuksiin liittyen, jotka rajoittavat niiden kehitystä. YIT Kalustolla on työmaiden ilmanlämpöpumppujen yleistyneen käytön myötä kehitysasteella työmaan sosiaalityö, joissa laitteen voisi helposti kuljetuksen jälkeen liittää työmaan sosiaalityön lämmittämiseen. Sosiaalityöiden lämmittämiseen talviaikana tulisi miettiä myös lämmityksen ajastusta. Työmaan sosiaalityöiden lämmitysenergian kulutusta pystytään pienentämään talviaikana lämmittimien ajastuksella, mutta vesiliitosten jäätyminen estämiseksi on käytettävä sähkölämmitteistä pihua pitämässä vesiputket lämpöisenä. Työmaalla, jossa ei tehdä paljoa ylitöitä tai viikonlopputöitä, voidaan sosiaalityöiden lämmittäminen ajastaa lämmitettäväksi ennen työn aloitusta esimerkiksi tuntia ennen ja lämmityksen päättyväksi työpäivän jälkeen esimerkiksi tunnin työpäivän päättymisen jälkeen. Ajastuksella voidaan sosiaalityöiden lämmityskustannuksissa säästämään selvästi talviaikana. (Koskinen 2012.)

9.4 Työmaan sähköistys

Työmaan sähköistyksessä tulisi käyttää enemmän kalustopalveluiden asiantuntemusta työmaan sähköistyksessä. Kalustopalveluiden räätälöidyt työmaan sähköistysuunnitelmat tehdään kuhunkin kohteeseen sopivaksi. Sähköistysuunnitelman teettäminen asiantuntijalla säästää yleisesti kustannuksissa työmaan aikana. Esimerkiksi sähköistysuunnitelmia tehneen asiantuntijan kautta tulee valaistuksen sijoittelun ja ohjauksen ansiosta valaistus ohjattua juuri tarvittaviin paikkoihin ja mitoitettua oikein. (Koskinen 2012.)

10 Johtopäätökset

Mestarityön tarkoituksena oli tutkia sisävalmistusvaiheen lämmitystä ja kuivatusta sekä energian kulutusta talviaikana. Kohteen lämmityksen ja kuivatuksen oleellisena osana vaikuttavat sisävalmistusvaiheen kuivumisolosuhteet. Oikeiden kuivumisolosuhteiden luomisella tulee tiedostaa rakennusfysiikkaa, joka auttaa hallitsemaan kohteen sisällä vallitsevia olosuhteita. Rakennusfysiikasta johtuvien lainalaisuuksien tiedostaminen esimerkiksi miten kosteus siirtyy ja tiivistyy, auttaa tuntemaan rakennusta ja sitä kautta pystytään luomaan oikeanlaiset kuivumisolosuhteet rakennukseen.

Energiasäästöt tulevat suunnitelmallisilla toimenpiteillä, joita hallinnoi työmaan työnjohto. Pienillä asioilla voidaan pitkässä juoksussa säästää energiakustannuksissa. Jotta säästöjä voidaan saada, tulee hallinnoida kokonaisuutta. Työmaalla on muutakin kuin rakennettava rakennus eli säästöjä voidaan saada esimerkiksi ulkovalaistuksen järkevällä ohjauksella ja työmaan sosiaalitulojen lämpötilojen säädöillä.

10.1 Sisävalmistusvaiheen lämmitys ja kuivatus

Kohteen talviajan sisävalmistusvaiheen lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmän valinta on aina tapauskohtaista kohteesta riippuen, mutta sisävalmistusvaiheeseen tulisi saada kohteen oma lämmitysjärjestelmä käyttöön. Kohteen omalla lämmitysjärjestelmällä pystytään varmistumaan siitä, että lämpö jakautuu huoneistojen välillä tasaisesti ja kuivumisolosuhteet olisivat mahdollisimman hyvät rakenteiden kuivumisen kannalta. Kohteen sisävalmistusvaiheessa rakennuksen vaipan tiiveys ja ilmavuodot asettavat rajoitteita kohteen omalle lämmitysjärjestelmän teholle, joten tapauskohtaisesti oikeiden kuivumisolosuhteiden luomiseen tarvitaan apuna lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmää. Oikeilla kuivumisolosuhteiden luomisella ja seurannalla varmistutaan siitä, että kohteen sisävalmistusvaihe etenee suunnitellussa aikataulussa.

Talviaikana tarvitaan yleensä tarvittavien kuivumisolosuhteiden luomiseen lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmää, joka voi koostua erillisestä lämmittimestä tai puhaltimesta, lämpöä jakavista apupuhaltimista ja vaikeasti lämmitettävien tilojen kohde lämmitämisestä. Tarvittaessa kuivumisolosuhteita voidaan parantaa myös käyttämällä erillisiä kosteuden poistajia, jotka keräävät ylimääräistä rakenteista ilmatilaan haihtunutta kosteutta. Kuivumisolosuhteiden luomisessa ja seuraamisessa tulee aina käyttää apuna

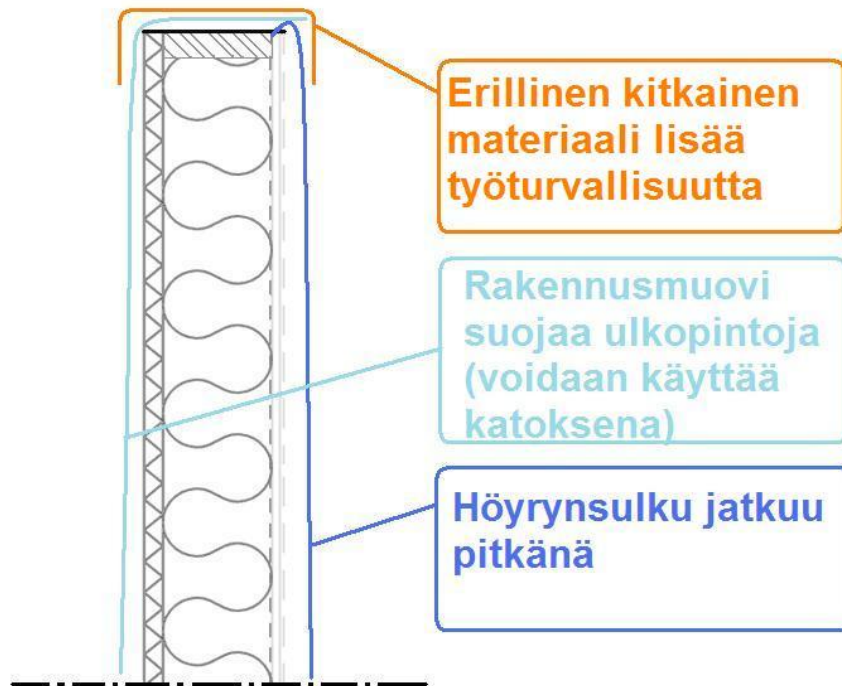
rakenteiden kosteusmittaajaa ja erillisiä ilmatilan olosuhdemittareita esim. ilmatilan suhteellisen kosteuden mittaria ja lämpötilamittareita.

Päätoimisella kosteusmittaajalla varmistetaan siitä, että hän tiedostaa, mitkä asiat vaikuttavat rakenteiden kosteusmittauksiin ja mittaustulosten arviointiin. Laitteiden kalibroinnilla ja vallitsevilla rakenteita ympäröivillä olosuhteilla on suuri merkitys mittaustulosten oikeellisuuteen. Mittaustuloksia arvioitaessa tulisi aina ottaa huomioon kosteusmittauksen luotettavuuteen vaikuttavat tekijät kuten esimerkiksi laitteen kalibrointi ja vallitsevat olosuhteen mittausajankohtana. Kosteusmittauksia tehdessä tulisi mitata samalla ilmatilan suhteellista kosteutta, jotta voidaan tarvittaessa kuivumisolosuhteita muuttaa parempaan suuntaan, jos esimerkiksi lämpötila tai ilmatilan suhteellinen kosteus on epämieluisa rakenteiden kuivumisen kannalta.

Betonirakenteiden kuivumisen kannalta tärkeää oikeita kuivumisolosuhteita luodessa on lämpötila, suhteellinen kosteus, ilmanvaihto ja suunnitelmalliset kosteusmittaukset. Betonirakenteisissa kohteissa lämpötilan tulisi olla sisävalmistusvaiheessa + 20 °C asteen, suhteellisen kosteuden RH 50 % ja ilmanvaihto tulisi olla säännöllistä, mutta ei energiaa tuhlaavaa. Betonirakenteiden ilmanvaihto voidaan suorittaa sisävalmistusvaiheessa joko ylipaineella, alipaineella tai säännöllisellä tuuletuksella kuitenkin niin, että kohteen vaippa on huolellisesti tiivistetty ja sitä kautta kosteus johdetaan suunnitelmallisilla toimenpiteillä ulos rakennuksesta. Ei tuhlata lämmitys- ja kuivatusenergiaa harakoille. Betonirakenteiden kuivumisolosuhteita ja rakenteiden kuivumisen edistymistä seurataan säännöllisin kosteusmittauksin. Jotta kuivumisen hidastumiseen osataan varautua lämmityksen ja kuivatuksen tehostamisella, tulee kosteusmittaukset aloittaa 1,5-2 kuukautta ennen rakenteen pinnoitusta tai päällystämistä. Näitä asioita noudattamalla saadaan aikataulussa varatun ajan puitteissa kohteen rakenteet pinnoitettua ja päällystettyä sisävalmistusvaiheen aikataulussa. Kuivumisolosuhteiden laiminlyönnin tai sisävalmistusvaiheeseen varatun ajan lyhyiden takia joudutaan suunnittelemaan rakenteiden kuivumista tehostavia ratkaisuja. Rakenteiden kuivumisnopeutta voidaan nopeuttaa esimerkiksi nopeasti päällystettävillä materiaaleilla, betonirakenteen tiedostetuilla ominaisuuksien muuttamisella ja kuivumisolosuhteita parantamalla. Kuivumisolosuhteita voidaan parantaa esimerkiksi lämpötilan nostolla, ilmanvaihdolla ja pitämällä pinnat puhtaana, jotta kosteus pääsee haihtumaan rakenteen pinnasta mahdollisimman helposti.

Puurakenteisessa kohteessa rakenteet vaativat hieman erilaisia rakennusaikaista suo-
jausta ja sisävalmistusvaiheen kuivumisolosuhteita kuin betonirakenteisessa kohtees-
sa, jotta kosteus ei pääse esimerkiksi tiivistymään rakenteiden pinnalle tai sisälle. Tal-
vella sisäilman olosuhteiden täytyy olla samaa luokkaa kuin betonirakenteisessa talos-
sa eli lämpötila + 20 °C astetta ja suhteellisen kosteus RH 50 %, mutta ilmanvaihdossa
käytettävän ylipaineen tai tuuletuksen sijaan tulisi käyttää mieluummin koneellista ali-
paineistusta. Rakennusta alipaineistaessa tulee hyvien kuivumisolosuhteiden luomi-
seksi rakennus lämmöneristää ja tiivistää huolella. Koneellinen alipaineistus ei saa ta-
pahtua huoneiston omaa koneellista ilmanvaihtoa käyttäen, koska ilmanvaihtohormiin
menee rakennusaikaisen käytön yhteydessä epätoivottuja epäpuhtauksia. Alipaineistus
voidaan suorittaa esimerkiksi erillistä kanavapuhallinta käyttäen. Alipaineistuksella
saadaan huoneiston ilmatilan ylimääräinen kosteus johdettua erillistä koneellista ilman-
vaihtoa käyttäen ulos rakennuksesta. Huoneiston alipaineistamisella saadaan vähen-
nettyä diffuusion ja ylipaineen konvektion mukana puurakenteen läpi kulkeutuvaa yli-
määräisen kosteuden kulkeutumista rakenteen sisäpuolelta ulospäin. Hyvillä kuivumis-
olosuhteilla ja alipaineistamisella vähennetään kosteuden siirtymistä rakenteen läpi ja
kosteuden tiivistymistä rakenteiden pinnalle tai sisälle rakenteeseen.

Rakennuksen ollessa betonirakenteinen tai puurakenteinen tulisi materiaalien ja puu-
tai betonielementtien suojaamisessa käyttää aikaa ja huolellisuutta. Rakenteiden ja
materiaalien suojauksella vältytään kosteusvaurioilta ja lisäkuivatukseen tarvittavalta
kuivatusenergialta, joka on kustannuksia lisäävää toimintaa. Rakennuksen sisälle sa-
taneen veden tai lumen poistamiseen tulisi kuivatuksen ja lämmityksen sijaan poistaa
ylimääräinen vesi, lumi ja jää mekaanisesti ennen lisälämmitys- ja kuivatustoiminnan
aloittamista. Seuraavassa kuvassa 38 on ohje puuelementtien rakennusaikaisesta suo-
jauksesta ylimääräistä kosteutta vastaan. Suojausvaihtoehdon toi julki RKM09:n opis-
kelija työmaaprojektit luennolla vuonna 2012 syyskuussa puuelementtikohteen kosteu-
denhallintaan liittyen.



Kuva 38. Vaihtoehtoinen tapa toteuttaa puuelementtirakenteen sääsuojaus (Heikkilä 2012).

10.2 Energian kulutus talviaikana

Energian kulutus talviaikana on suurempaa kuin jonain toisena vuoden aikana. Energi-aa kuluu jatkuvasti päällä olevan kohteen oman lämmitysjärjestelmän, mahdollisista lisälämmitys- ja kuivatuslaitteista, valaistuksen ohjauksesta, rakennuksen vaipan vuotokohdista pääsevän lämpöenergian karkaamisesta sekä työmaan sosiaalitilojen työajan ulkopuolisen lämmityksen seurauksesta. Hukkaenergiaa voi syntyä paljon, jos tätä kokonaisuutta ei osata hallita energiatehokkaasti. Kohteen energian kulutusta talviaikana tulisi suunnitella etukäteen työnjohdon kesken. Talvirakentamisesta pitäisi löytyä kohtia, joista suunnitelmallisella toiminnalla pystyttäisiin kustannuksissa mahdollisesti säästämään.

Kohteen talviajan lämmittämisessä ja kuivattamisessa tulisi ylimääräisten aukkojen tiiveyteen käyttää huolellisuutta. Väliaikaiset ovet ovat varsinkin ongelmakohta vaipan tiiveyden kannalta, jotka tulisi suunnitella paremmin lämpöä pitäviksi ja tiiviimmiksi. Kohteiden eri osa-alueiden esimerkiksi kalustosuunnittelussa, sähköistysuunnittelussa ja lämmitys- ja kuivatussuunnittelussa tulisi käyttää enemmän kalustopalveluiden ammattitaitoa. Kalustopalveluilla on osaamista, kokemusta ja tietoa kohteiden osa-

alueiden suunnittelusta. Kalustopalveluilta voi myös saada hyviä tämän hetken vinkkejä työmaan osa-alueiden suunnittelussa ja ongelmatapauksissa.

10.3 Työn arviointi

Työn lähtökohtana oli selvittää rakennuksen sisävalmistusvaiheen lämmitystä ja kuivatausta sekä energian kulutusta talviaikana. Aiheeseen liittyvän laajan materiaalin takia tuli mestarityöstä todella laaja ja kattava. Rakennuksessa kosteuden tiivistyminen ja siirtyminen betoni- ja puurakenteissa vaikuttaa lämmitykseen ja kuivatukseen oleellisesti. Rakennefysiikasta tietäminen edesauttaa kohteen lämmityksen ja kuivatuksen suunnittelussa sekä oikeiden kuivumisolosuhteiden luomisessa kohteeseen. Vastaavia mestareita haastateltaessa saatiin kattava kuva sisävalmistusvaiheen lämmityksestä ja kuivatuksesta, mutta energian kulutukseen talvirakentamisessa otettiin kantaa vaihtelevasti. YIT Kalusto Oy:n kalustopäällikön haastattelu tuotti hyviä ideoita ja kehittämisen paikkoja työmailla erityisesti energian säästön kannalta. Yksi suurimmista hukka-energian tuottajista on vaipan tiiveyteen vaikuttavat väliaikaiset ovet, joihin tulisi jatkossa kiinnittää enemmän huomiota.

Mestarityön tuloksena aiheeseen liittyen syntyi sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusohje (liite 4). Ohjeessa tuodaan esille talviajan sisävalmistusvaiheen lämmitykseen ja kuivatukseen liittyviä asioita, ja erityisesti oikeat kuivumisolosuhteet ovat tärkeä osa ohjetta. Kuivumisolosuhteiden oikealla hallitsemisella voidaan rakenteet pinnoittaa ja päällystää aikataulussa. Toisena suurena osana ohjetta on rakenteiden kuivumista nopeuttavat tekijät. Kuivumista nopeuttavien tekijöiden kohtaa tulisi katsoa jo ennen kohteen alkua, jos sisävalmistusvaiheen rakenteiden kuivattamiseen on varattu tavallista vähemmän aikaa. Kaiken kaikkiaan ohjeesta tuli lyhyt ja ytimekäs.

Toisena suurena tuloksena syntyi Excel-muodossa oleva lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien vertailutaulukko (liite 5). Kattavalla taulukolla pystyy työnjohtaja arvioimaan kohteeseen valitun järjestelmän kustannuksia kuukaudessa. Taulukosta on pyritty tekemään niin yksinkertainen ja helppotoiminen, että muutaman tiedon selvittämisellä saadaan järjestelmälle arvioitu hinta kuukaudessa. Taulukon keltaisiin kohtiin liitettyjen arvojen jälkeen taulukko laskee hinnan järjestelmälle kuukaudessa oikeaan alanurkaan. Taulukon käyttöä helpottamiseksi on soluihin valmiiksi ajettu sisään erilaisia yleisimpiä lämmitys- ja kuivatuskoneita sekä uusien koneiden varalle on jätetty taulukon lukitsemattomille kohdille tilaa uusien laitteiden lisäykseen työmaalta käsin. YIT:lle

kehitetyn taulukon käyttöönoton avuksi on taulukolle suunniteltu ohjeet luettavassa Excel-muodossa sekä videomuodossa.

10.4 Mestarityön tuottama hyöty toimeksiantajalle

Mestarityön tuloksena syntyneen sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusohjeella pyritään tuomaan työnjohtajien tietoisuuteen tarvittavat toimenpiteet, jotta kohteen pinnoitus- tai päällystystyöt voidaan aloittaa suunnitellussa aikataulussa. Ohjeessa käsiteltyjen rakenteiden kuivumista nopeuttavien toimenpiteiden tarkoitus on tuoda esille vaihtoehdot, jos kuivuminen rakenteissa ei etene suunnitellussa aikataulussa. Ohjeesta tulee olemaan hyötyä varsinkin nuoremmille työnjohtajille, joiden kokemus ja tietämys sisävalmistusvaiheen lämmityksestä ja kuivattuksesta voi olla puutteellista.

Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien vertailutaulukon mielenkiintoisuus ja siihen laaditut yksinkertaiset ohjeet täytyy jalkauttaa työnjohtajien tietoisuuteen. Vertailutaulukosta saatu hyöty lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien vertailussa tuottaa kustannusten säästöä lämmitys- ja kuivatusjärjestelmää valittaessa. Vertailutaulukko pakottaa kokeilemaan erilaisten järjestelmien kombinaatioita ja loppujen lopuksi löydetään oikea lämmitys- ja kuivatusjärjestelmä, joka sopii kohteeseen ja on mahdollisesti edullisin vertailunalaisista järjestelmistä. Vertailutaulukolla pystytään löytämään aina se kustannuksiltaan edullisin lämmitys- ja kuivatusjärjestelmä, mutta onko se oikea kyseiseen kohteeseen? Vertailutaulukkoa käytettäessä tulee siinä vertailtujen lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien soveltuvuutta kohteeseen aina pohtia tapauskohtaisesti. Yleisesti lämmitys- ja kuivatusjärjestelmä kannattaa hieman ylimitoittaa kuin alimitoittaa. Ylimitoittamisella voidaan varautua mahdollisiin kylmien aikajaksojen lämpötehojen lisäykseen ja laitteen ei tarvitse käydä koko ajan täydellä teholla, jotta hyvät kuivumisolosuhteet saavutettaisiin.

11 Pohdinta

Mestarityön edetessä avautui yhä selkeämmin kuivumisolosuhteiden tuntemisen tärkeys sisävalmistusvaiheessa. Kuivumisolosuhteilla hallinnoidaan koko rakennuksen kuivumista ja energian kulutusta. Kuivumisolosuhteiden laiminlyönnin seuraukset voivat olla kustannusten valossa mittavat. Pahimmassa tapauksessa kuivumisolosuhteiden laiminlyönnillä voidaan viivyttää rakenteiden kuivumista viikoilla, mutta onneksi on rakenteiden kuivatusta nopeuttavia toimenpiteitä. Tiedostamaton kuivumisolosuhteiden alentaminen johtaa aina ongelmien havaittua kuivumista nopeuttavien toimenpiteiden käyttämiseen, mikä lisää kustannuksia. Jotta rakenteet saada kuivatetuksi, tulee ymmärtää jonkin verran rakennefysiikkaa. Rakennefysiikan ymmärtämisellä voidaan tiedostaa rakenteita hidastavat olosuhteet ja olosuhteiden seuraamisessa tulee käyttää kosteusmittaajaa tai ilman olosuhdemittareita. Käyttämällä kosteusmittaajaa voidaan aikaisessa vaiheessa parantaa kuivumisolosuhteita, jotta vältetään mahdollisilta lisäkustannuksilta.

Tuloksena syntyneiden sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusohje ja lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien vertailutaulukko tulisi saada työmaan työnjohtajien tietoisuuteen. Sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusohjeen avulla voidaan ennaltaehkäistä rakennusten hidasta kuivumista ja kosteusvaurioiden syntymistä. Sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusohjeen voisi olla osa YIT:n omaa kosteudenhallintasuunnitelmaa. Työmaiden tulostaessa YIT:n oman kosteudenhallintasuunnitelmapohjan voisi ohje olla liitettynä osaksi kosteudenhallintasuunnitelmaan.

Kaikissa kohteissa, joissa käytiin haastattelemassa vastaavia työnjohtajia, oli kohteeseen valitun lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän perusteena kokemukset aikaisemmista kohteista. Vertailutaulukkoa käyttämällä voidaan todistaa, että työmaa on ainakin vertailut eri lämmitys- ja kuivatusjärjestelmiä eikä vain mennyt kokemuksen kautta. Tulevaisuudessa Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien vertailutaulukko voisi olla YIT Kalusto Oy:n hallinnassa, johon ne lisäisivät automaattisesti markkinoille tulleita koneita ja laitteita.

Energiaa säästävien toimenpiteiden jalkauttamiseksi työmaille tulisi työpäälliköiden kokeilla heidän vaikutuksensa alaisilla työmaille energiaa säästäviä pilottihankkeita. Jos kukaan ei ota vastuuta energian säästämisestä, niin sitä ei tapahdu systemaattisesti. Työpäällikkö voisi olla hyvä pilottihankkeiden liikkeellepanija työmaalla tai ainakin

voisi olla ehdottaja. Pilottihankkeilla jalkautetaan kyseiselle työmaalle jokin mahdollinen energiaa säästävä toimenpide, jota seurataan koko kohteen rakennusajan lävitse. Pilottihanke voi olla suuren tai pienen mittakaavan toimenpide. Esimerkiksi yhdelle työmaalle voitaisiin kokeilla valaistuksen ohjausta kello- ja hämäräkytkimillä. Paljon pieniä pilottihankkeita eri työmailla ja niistä saadut hyvät tulokset edesauttavat kehittämään uusia säästämisen kohteita. Pilottihankkeiden yhtenä ideana on kehittää työmaalle jokin energiaa säästävä toimenpide, joka hyvien tulosten saatossa jää työnjohtajien tietoisuuteen, ja sitä jatketaan tai kehitetään seuraavalla työmaalla.

Lähteet

Adsorptiokuivain. 2012. Wikipedia.fi > Adsorptiokuivain

<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Adsorptiokuivaus>> 5.8.2012. Luettu 8.11.2012.

Aga Oy Ab. 2012. aga.fi > ratkaisut > lämmitys > rakennustyömaiden nestekaasulämmitys -esite. Pdf tiedosto.

<[http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/repositorybyalias/nestekaasu_lammitys/\\$file/Nestekaasu_I%C3%A4mmitys_%20WEB.pdf](http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/repositorybyalias/nestekaasu_lammitys/$file/Nestekaasu_I%C3%A4mmitys_%20WEB.pdf)> Luettu 6.9.2012.

Björkholtz, Dick. 1990. Rakennuksen kuivattaminen. Tampere: Suomen rakennusteollisuus ry.

Björkholtz, Dick. 1997. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Cramo Finland Oy. 2012. Cramo.fi > vuokrauspalvelut > rakennuskoneet. Verkkosivu.

<<http://www.cramo.fi/Web/Core/Pages/BusinessAreaStartPage.aspx?id=8920&epslanguage=FI>>. Luettu 6.11.12.

El-Björn AB. 2011. Elbjorn.com > tuotteet > Lämpö > TVS kuivaus- ja lämmitysjärjestelmät > vesikiertolämmittimet. Verkkosivu. <

http://www.elbjorn.com/fi/tuotteet/sis%C3%A4ilma/tvs_kuivaus_ja_l%C3%A4mmitys%C3%A4rjestelm%C3%A4/vesikiertol%C3%A4mmittimet_15-50_kw/e8726409_tvs>. Luettu 7.11.12.

Energiamarkkinointivirasto. 2012. Sahkonhinta.fi > aloita hintavertailu. Verkkosivu.

<<http://www.sahkonhinta.fi/search>>. Luettu 6.11.12.

Energiateollisuus ry. 2012. Eenergia.fi > tilastot ja julkaisut > kaukolämpötilastot > kaukolämmön hinta. Verkkosivu. <http://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hinnat-tyyppitaloissa-eri-paikkakunnilla>. 13.9.12. Luettu 6.11.12.

Finlex Valtion säädöstietopankki. 2010. Nestekaasusetus 26.7.1993/711. Verkkosivu.

<[http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19930711?search\[type\]=pika&search\[pika\]=nestekaasu](http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19930711?search[type]=pika&search[pika]=nestekaasu)>. 25.5.2010. Luettu 6.9.2012

Gles Oy työmaapalvelut. 2012. Työmaapalvelut > kuivaus > Gles-kuivausohje (pdf).

<http://www.gles.fi/pdf/GLES_kuivausohje.pdf>. Luettu 25.10.11.

Heikkilä, Matti. 2012. Rakennusalan työnjohto opiskelija, RKM09. Luentoesitys kosteuden hallinnasta. Helsinki. 16.10.2012.

Heikkinen, Pertti. 2012. Tunnista ja tutki riskirakenne, pientalojen riskirakenteet, opetusmateriaali. PowerPoint-tiedosto. < <http://uutiset.hometalkoot.fi/talkootiedot/koulutus-patevoityminen-ja-tutkimus/tunnista-ja-tutki-riskirakenne-opetusmateriaali.html>> Luettu 17.11.2012.

Hrk Oy (Hämeen rakennuskone Oy). 2012a. Tuotteita > lämmityskalusto öljy ja säiliöt. Verkkosivu. <<http://www.hrk.fi/?sivunro=5&sid=84>>. Luettu 5.9.2012

Hrk Oy (Hämeen rakennuskone Oy). 2012b. Tuotteita > Lämmityskalusto nestekaasu. Verkkosivu. <<http://www.hrk.fi/?sivunro=5&sid=86>>. Luettu 12.9.2012

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

Kone-Ratu 02-3037.2003. Työmaan sähköistys.

Kone-Ratu 07-2-01/-02/-05. 1989. Rakennuskuivaajat, kiertoilmalämmittimet, ilman-kuivaajat.

Kone-Ratu 07-3032. 1996. Rakenteiden lämmitys ja kuivatus.

Koskinen, Ilkka. 2012. Kalustopäällikkö, YIT Kalusto Oy. Puhelinhaastattelu. 5.11.2012.

Kosonen, Mika. 2012b. Vastaava mestari, YIT Rakennus Oy ARK. Sähköpostiliite. 5.11.2012.

Lausmaa, Suvi. Opinnäytetyö 2012. Puurakenteisen rakennuksen kylmäsilta tarkastelu 2D. Theseus.fi > nimikkeet > haku Suvi Lausmaa > <https://publications.theseus.fi/search?query=Suvi+lausmaa&submit=Hae>. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Luettu 31.10.2012

Mannonen, Petri & Petrow, Seppo. 2005. Kestävä kivitalo. Helsinki: Betoniyhdistys / Suomen Rakennusmedia Oy.

Merikallio, Tarja. 1998. Kosteuden hallinta rakennustyömaalla. Forssa: Humittest Oy.

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

Mustonen, Mika. 2012. Vastaava työnjohtaja, YIT Rakennus Oy ARU, Nurmijärvi. Haastattelu 19.9.2012.

Neste Oil Oyj. 2012. Neste.fi > Kotilämmitys > Tilaa polttoöljyä. Verkkosivu. <https://www.neste.fi/temperatilaus_yksityis.aspx?path=2589%2c2655%2c2710%2c791%2c2800%2c3695>. Luettu 6.11.12.

Olkkonen, Erno. 2012. Lehtori rakennustekniikka, Metropolia ammattikorkeakoulu, Helsinki. haastattelu 31.10.2012.

Polartherm Oy. 2012a. > Tuotteet > siirrettävät öljy- ja kaasukäyttöiset ilmalämmittimet > Polar HC372. Verkkosivu. <<http://www.polartherm.fi/fi/ammattikaytto/siirrettavat-oljy--ja-kaasukayttoiset-ilmalammittimet/polar-hc372.html>>. Luettu 5.9.2012

Polartherm Oy. 2012b. polartherm.fi > tuotteet > siirrettävät öljy- ja kaasukäyttöiset ilmalämmittimet > Heatmobile 250. Verkkosivu. <<http://www.polartherm.fi/fi/ammattikaytto/siirrettavat-oljy--ja-kaasukayttoiset-ilmalammittimet/polar-heatmobil.html>>. Luettu 5.9.2012

Polartherm Oy. 2012c. polartherm.fi > tuotteet > muut siirrettävät lämmittimet ja kosteudenerottimet > nestekaasulämmittimet. Verkkosivu. <<http://www.polartherm.fi/fi/ammattikaytto/muut-siirrettavat-lammittimet-ja-kosteudenerottimet/nestekaasulammittimet/remko-promat.html>>. Luettu 12.9.2012

Polartherm Oy. 2012d > polartherm.fi > tuotteet > muut siirrettävät lämmittimet ja kosteudenerottimet > sähkölämmittimet. Verkkosivu: <<http://www.polartherm.fi/fi/ammattikaytto/muut-siirrettavat-lammittimet-ja-kosteudenerottimet/sahkolammittimet-/remko-elkomat.html>>. Luettu 23.10.2012.

Polartherm Oy. 2012e. Polartherm.fi > tuotteet > muut siirrettävät lämmittimet ja kosteudenerottimet > infrapunälämmittimet. Verkkosivu. <<http://www.polartherm.fi/fi/ammattikaytto/muut-siirrettavat-lammittimet-ja-kosteudenerottimet/nestekaasulammittimet/remko-promat.html>>. Luettu 05.10.2012

Polartherm Oy. 2012f. Polartherm.fi > tuotteet > muut siirrettävät lämmittimet ja kosteudenerottimet > kiertovesikäyttöiset lämmittimet. Verkkosivu. <<http://www.polartherm.fi/fi/ammattikaytto/muut-siirrettavat-lammittimet-ja-kosteudenerottimet/kiertovesikayttoiset-lammittimet/polar-wh-ja-wht.html>>. Luettu 12.9.2012.

Polartherm Oy. 2012g. Polartherm.fi > tuotteet > käyttöohjeet > Polar WH 50 ja 80. Pdf tiedosto. <<http://www.polartherm.fi/upload/Kayttoohjeet/Kiertovesilammittimet/wh-manual-fin-swe---ver-9-06.pdf>>. Luettu 12.9.2012

Polartherm Oy. 2012h. Polartherm.fi > tuotteet > muut siirrettävät lämmittimet ja kosteudenerottimet > kosteudenerottimet. Verkkosivu. <<http://www.polartherm.fi/fi/ammattikaytto/muut-siirrettavat-lammittimet-ja-kosteudenerottimet/kosteudenerottimet-/remko-amt.html>>. Luettu 5.10.2012

Puronlahti, Janne. 2012. Toimitusjohtaja, Redi-Yhtiöt Oy. Puhelinhaastattelu 29.9.2012.

Päkkilä, Taneli. Diplomityö 2012. Mikrobin kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta. Espoo. <http://uutiset.hometalkoot.fi/component/content/615/1124.html>. Luettu 31.10.2012.

Ramirent Finland Oy. 2012a. Tuotteet > sähköistys ja lämmitys > tuotetietoa > lämmityslaitteet ja kosteudenerottimet > nestekaasukäyttöiset säteilylämmittimet > Säteilijä

alle 3 kW. Verkkosivu. <<http://ramirent.edita.fi/fi/tuoteluettelo/tuote/327>>. Luettu 5.10.2012.

Ramirent Finland Oy. 2012b. Ramirent.fi > Hinnasto > Lämmityslaitteet ja kosteuden-erottimet. Verkkosivu. <<http://ramirent.edita.fi/fi/hinnasto/taso/338>>. Luettu 6.11.12.
Reditalot. 2012. Tempo kuivainlämmitin. Verkkosivu. <<http://www.reditalot.fi/tempo/>>. Luettu 29.9.12.

Romppanen, Heikki. 2012. Vastaava työnjohtaja, YIT rakennus Oy ARU, Espoo. Haastattelu 21.9.2012.

RT-Kortti 80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje.

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

Strong Finland Oy. 2012a. Strong.fi > tuotteet ja tarvikkeet > kuivaimet ja puhaltimet > puhaltimet ja sivukanavaturbiinit. Verkkosivu. <<http://www.strong.fi/fi/tuotteet.html?id=61&group=1&category=6>>. Luettu 5.10.2012.

Strong Finland Oy. 2012b. Strong.fi > tuotteet ja tarvikkeet > kuivaimet ja puhaltimet > puhaltimet ja sivukanavaturbiinit. Verkkosivu. <<http://www.strong.fi/fi/tuotteet.html?id=38&group=1&category=6>>. Luettu 5.10.2012.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2005. Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. Jyväskylä: Suomen Betonitieto Oy.

Talhu Oy. 2012a. talhu.fi > tuotteet > energia ja lämpö > talhu termo öljylämmittimet. Verkkosivu. <<http://www.talhu.fi/fi/Tuotteet/Energia%20ja%20l%C3%A4mp%C3%B6/L%C3%A4mmityslaitteet/Talhu%20Termo%20%C3%B6ljyl%C3%A4mmittimet/>>. Luettu 5.9.2012

Talhu Oy. 2012b. Tekninen tuki > Talhu/Remko > Käyttöohjeet > Talhu termo 70 ja 130. pdf tiedosto. <<http://www.talhu.fi/datafiles/userfiles/File/tt/Talhu%20Termo%2070%20ja%20130%20manual-fin-swe-rus%20ver%208-07.pdf>>. Luettu 5.9.2012

Tiivistalo. 2012a. tiivistalo.fi > tiivistalo info > tiivistalo wiki > diffuusio. Verkkosivu. <<http://www.tiivistalo.fi/tiedostot/default.asp?sivu=tiivistaloWiki&otsikko=diffuusio&tunnus=376>>. Luettu 31.10.12.

Tiivistalo. 2012b. tiivistalo.fi > tiivistalo info > tiivistalo wiki > konvektio. Verkkosivu. <<http://www.tiivistalo.fi/tiedostot/default.asp?sivu=tiivistaloWiki&otsikko=diffuusio&tunnus=376>>. Luettu 2.11.12.

YIT Rakennus Oy. 2011a. yhtiö > perustietoa YIT:stä > historia. Verkkosivu.
<http://www3.yit.fi/yit_fi/Yhtio/Perustietoa_YITsta/YIT%20lyhyesti/Historia> 25.6.2012.
Luettu 4.9.2012.

YIT Rakennus Oy. 2011b. yhtiö > perustietoa YIT:stä > YIT lyhyesti. Verkkosivu.
<http://www3.yit.fi/yit_fi/Yhtio/Perustietoa_YITsta/YIT%20lyhyesti> . 18.10.2012. Luettu
8.11.2012

YIT Rakennus Oy. 2011c. yit.fi > asuntohaku > asunto-osakeyhtiö Espoon Rosetti > As
Oy Espoon Rosetti. Verkkosivu: <[http://www.yit.fi/palvelut/YIT-
Koti/Asunnot/Uusimaa/espoo/126198](http://www.yit.fi/palvelut/YIT-Koti/Asunnot/Uusimaa/espoo/126198)>. Luettu 29.10.12.

YIT Rakennus Oy. 2012d. yit.fi > asuntohaku > asunto-osakeyhtiö Helsingin Klyyssi >
As Oy Helsingin Klyyssi. Verkkosivu. <[http://www.yit.fi/palvelut/YIT-
Koti/Asunnot/Uusimaa/Helsinki/126435](http://www.yit.fi/palvelut/YIT-Koti/Asunnot/Uusimaa/Helsinki/126435)>. Luettu 4.11.12.

Mestarihaastattelu

Nimi:

Työmaa:

Työnumero:

Kohde:

Vastaavana mestarina:

Päivämäärä:

Syys- sekä talvikauden rakenteiden lämmitys ja kuivatus

1. Voiko nimeäsi käyttää mestarityössäni? Kyllä_____ Ei_____
2. Oletteko tehneet hankkeen kosteudenhallintasuunnitelman?
3. Mitä lämmitysmuotoa olet tottunut käyttämään kohteen oman lämmitysjärjestelmän lisäksi sisävalmistusvaiheen lämmityksessä ja kuivatuksessa syys- sekä talvikautena vai oletko tottunut vaihtelemaan lämmitysmuotoja? Minkä olette valinnut tulevan syys- sekä talvilämmityskauden lämmitysmuodoksi?
4. Miten olette päätenyt nykyiseen lämmitysmuotoon? Vertailletteko eri lämmitysmuotoja keskenään ennen valitsemista?
5. Mikä lämmitysjärjestelmä (kone) teillä on käytössä kohteessa tai tulee olemaan? Miten olette päätenyt kyseiseen järjestelmään (koneeseen)?
6. Minkälaisiin haasteisiin/ongelmiin olette törmänneet lämmitysjärjestelmien
 - a. valinnassa?
 - b. käytössä?
7. Miten lämmönjako suoritetaan huoneistojen välillä?
8. Missä vaiheessa aloitatte kohteen lämmityksen ja kuivatuksen? Onko jotain erityistä mitä pitää ottaa huomioon ennen sisävalmistusvaiheen lämmityskauden aloitusta?

9. Missä lämpötilassa pyritte pitämään kohteen lämmityskauden aikana?
10. Miten olette suunnitellut kohteen tuuletuksen?
11. Teettekö kosteusmittauksia rakenteista vai tulee ulkopuolinen mittaamaan? Mistä rakenteista/kohdista mittaukset suoritetaan? Millä aikavälein tilannemittauksia suoritetaan?
12. Mittaatteko suhteellista kosteutta huoneilmasta ja jos mittaatte niin missä lukemassa pyritte pitämään huoneilman suhteellisen kosteuden rakennuksen lämmitys- ja kuivatuskauden aikana?
13. Käytättekö missään vaiheessa kosteudenpoistajia suhteellisen kosteuden alentamiseen rakennuksessa?
14. Onko mitään erityistä mitä pitäisi ottaa huomioon puuelementtitalon kuivatuksessa ja lämmittämisessä syys- tai talvikautena?
15. Onko mitään erityistä mitä pitäisi ottaa huomioon Betonielementtitalon kuivatuksessa ja lämmittämisessä syys- tai talvikautena?
16. Onko kohteen ajaksi mietitty energiansäästötoimenpiteitä?
17. Onko aikaisemmissa kohteissa toteutettu energiansäästötoimenpiteitä? Onko näistä toimenpiteistä ollut osoitettavissa olevaa hyötyä?
18. Onko aikataulussa otettu huomioon kuivatuksen tarvittava aika betonirakenteissa

YIT Kalustokeskus Oy:n yhteyshenkilön haastattelupohja

Aiheet:

- Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmät Sisävalmistusvaiheessa talvirakentamisessa
- Energian kulutus yleisesti työmaalla

Nimi:

Päivämäärä:

Titteli:

1. Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän valintaan vaikuttavat tekijät sisävalmistusvaiheessa?
 - Millainen hankemuoto?
-
2. Miten mitoittaa kohteen erillinen lämmitys- ja kuivatuslaitteisto?
 - Mitoitukseen vaikuttavat tekijät
-
 - Onko sinulla jotain taulukkoa, jota pystyisi hyödyntämään lämmitys/kuivatusjärjestelmää valittaessa?
-
3. Onko Kalustolla mitään energiaa säästäviä ratkaisuja lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien käyttöön liittyen?
-
4. Mitä tulisi ottaa huomioon kohteen lämmittämisessä ja kuivattamisessa?
-
5. Energian kulutuksessa säästettävää/kehitettävää
 - Lämmitys- ja kuivatus
-
 - Valaistuksessa
-
 - Sähköistys
-
 - Työmaakopit
-
 - Ohjauslaitteet
-
6. Työmaan aloitusajan vaikutus energian kulutukseen?

Ilman ominaisuuksia normaalissa ilmakehän paineessa

Taulukko 9. Ilman ominaisuuksia normaali ilmakehän paineessa 101325 Pa

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

Kohteen sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusohje talviaikana

Rakennuksen sisävalmistusvaiheessa vallitsevat hyvät kuivumisolosuhteet

- Sisäilman lämpötila tulee olla lähellä + 20 °C astetta tai vähän yli. Ei kuitenkaan niin korkea, että työviihtyvyys kärsii.
 - o 25–30 °C astetta tai korkeammat lämpötilat alkavat olla liikaa ja lämmitysenergiaa tuhlaavaa.
 - Betonirakenteiden korkeat lämpötilat edistävät kosteuden liikumista kohti pintarakennetta, mutta aikataulussa huomioidut rakenteiden kuivumisajat eivät vaadi liian suuria lämpötiloja.
 - Lämmönpitävyyden kannalta, tulee rakennus olla lämmöneristetty ja raot tilkitty kunnolla.

- Ilman suhteellisen kosteuden (RH %) tulee pysytellä 50 % arvon tienoilla.
 - o Betonin kuivumisen kannalta optimaalisena ilman suhteellisena kosteutena pidetään 50 %.
 - Tätä alhaisemmat ilman suhteelliset kosteudet voivat hidastaa betonin pintaosien vesihöyryn läpäisevyyttä.
 - Mitä lähemmäksi menee ilman suhteellinen kosteus verrattuna betonirakenteen suhteellista kosteutta, sitä hitaammaksi muuttuu betonirakenteen kuivuminen. Nuorella betonirakenteen suhteellinen kosteus on lähempänä 100 %.

- Ilmatilaan siirtyneen kosteuden poistaminen tulee suorittaa hallitusti, jotta saadaan pidettyä ilman suhteellinen kosteus 50 %.
 - o Ilmatilasta voidaan poistaa kosteutta alipaineen, ylipaineen, säännöllisen tuuletuksen tai kosteuden poistajilla.
 - Ilmatilassa olevan ylimääräisen kosteuden hallittua poisjohtamista, tulee ajatella aina tapauskohtaisesti.
 - Vaipan tiiveys vaikuttaa ylimääräisen kosteuden poistamiseen. Vaipan rakojen kautta voi rakennukseen päästä ylimääräistä kosteutta.
 - Talvella voi riittää pelkästään rakennuksen säännöllinen tuuletus, koska talvella kuiva ulkoilma pystyy sitomaan itseensä lämmetessään lisää kosteutta, joka täytyy vain poistaa hallitusti pois rakennuksesta.

Sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän valinta

- Kohteen oma lämmitysjärjestelmä tulee ottaa käyttöön sisävalmistusvaiheen lämmityksessä ja kuivatuksessa, koska tällöin saadaan jaettua tasaisesti lämpöä huoneistoissa ja vältetään kylmiltä katvealueilta.
 - o Jos oman lämmitysjärjestelmän käyttöönotto ei ole jostain syystä mahdollista, niin tapauskohtaisesti valitaan kohteeseen lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmä.
 - Lisälämmitys- ja kuivatusenergiamuotona voidaan käyttää kaukolämpöä, öljyä tai sähköä.
 - Nestekaasua ei saa käyttää sisävalmistusvaiheen lämmityksessä ja kuivatuksessa, koska käytön yhteydessä syntyy ylimääräistä kosteutta rakennukseen.
- Jos on mahdollista, niin kaukolämpöverkkoon liitettävät vesikierteiset lämmitin- timet ovat käytön kustannusten puolesta edullisin sisävalmistusvaiheen lämmitys- ja kuivatusjärjestelmä.
- Kylmien katvealueiden lämmittämisessä voidaan käyttää lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmän apuna apupuhaltimia jakamaan lämmintä ilmaa huoneistojen välillä.
- Lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmä kannattaa hieman ylimitoittaa kuin alimitoittaa, koska kylminä ajanjaksoina voidaan vielä lisälämmitys- ja kuivatustehoa nostaa tarvittaessa.

Kosteusmittausten suorittaminen betonirakenteista

- Suunnittele huolella rakennuksen betonirakenteiden kosteusmittaukset
 - o Kuka suorittaa mittaukset?
 - o Milloin suoritetaan ensimmäinen mittauskerta rakenteista, jotta saadaan rakenteiden suhteellisen kosteuden lähtötaso selville?
 - Noin 1,5-2 kuukautta ennen rakenteen pinnoitusta tai päällystämistä
 - Kuitenkin niin, että lisäkosteuden pääsy on estetty rakenteisiin. Yleisesti silloin kuin vesikatto on vedenpitävä tai voidaan olla varmoja, että tarkasteltava rakenne ei saa enää lisäkosteutta.
 - Ennen lähtötasomittauksia on suotavaa, että kohteen oma lämmitys tai lisälämmitys- ja kuivatusjärjestelmä on ollut jonkin aikaa päällä.

- Millä aikavälein tehdään seurantamittauksia?
 - Noin 2-4 viikon välein aikataulusta riippuen.
- Milloin tulee suorittaa viimeinen päällystettävyyssmittauskerta?
 - Noin 0-2 viikkoa ennen rakenteen suunniteltua pinnoitusta tai päällystämistä.
- Muista mitata ilmatilan suhteellista kosteutta, jotta varmistutaan siitä, että rakenteilla on optimaaliset kuivumisolosuhteet.
 - Ammattikosteusmittaajat tietävät mitä vaaditaan, että betonirakenne kuivuu, joten heidän tietämystä voidaan käyttää hyväksi oikeiden kuivumisolosuhteiden luomisessa.

Betonirakenteiden kuivumista nopeuttavat tekijät

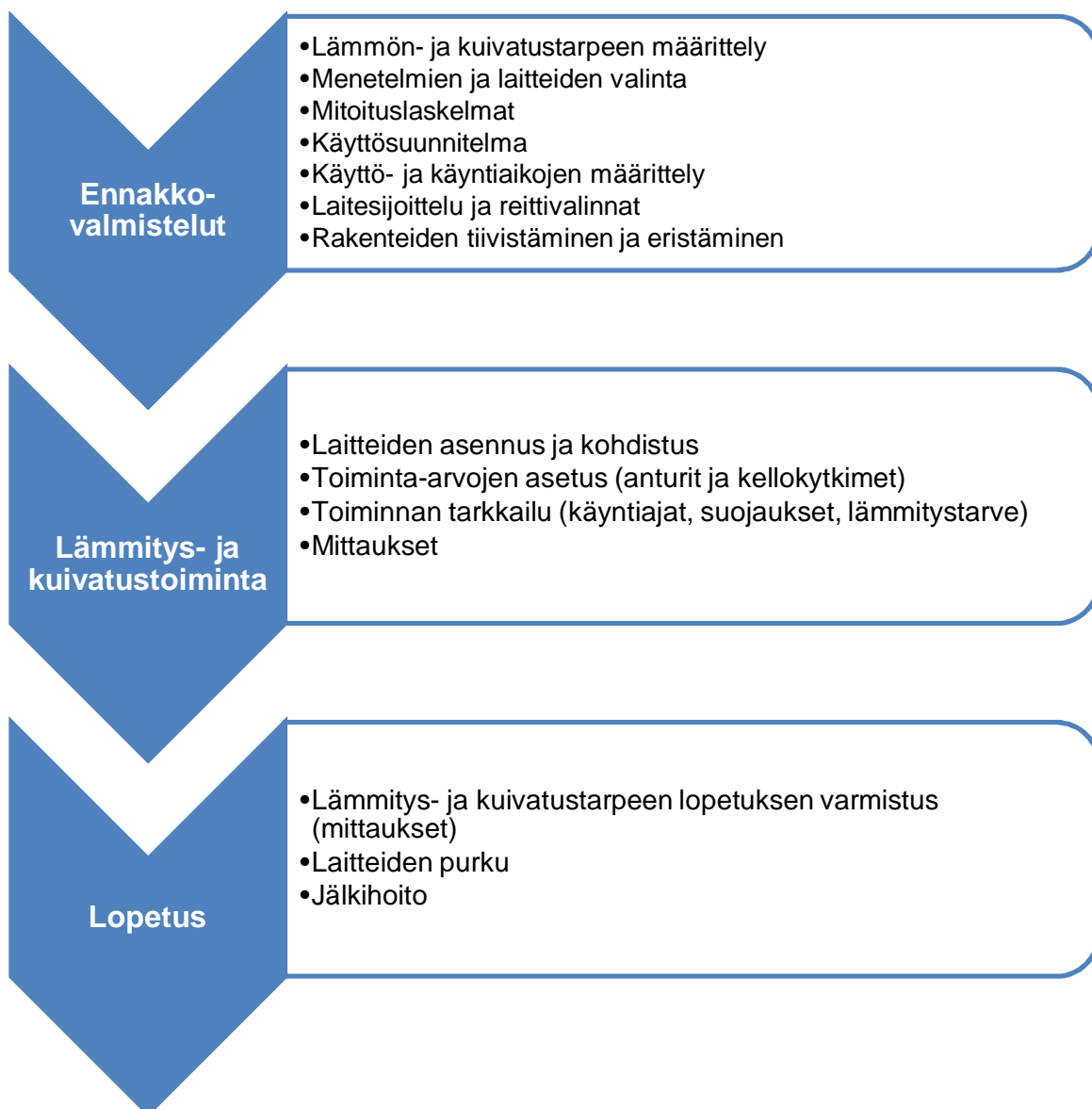
- Rakenteen lämpötilan nosto, nopeuttaa kosteuden siirtymistä kohti pintarakennetta.
- Pitämällä rakenteiden pinnat puhtaana ja paljaana, jotta kosteus pääsee haihtumaan pinnalta ilmatilaan (esimerkiksi pinnan hionta tai pölyn poisto).
- Poistamalla ylimääräinen vesi tai lumi mekaanisesti ennen lämmityksen ja kuivatuksen aloittamista.
- Luomalla rakenteiden ympärille hyvät kuivumisolosuhteet (+ 20 °C ja suhteellinen kosteus 50 %).
- Käyttämällä nopeammin kuivuvia betonilaatuja, kuten esimerkiksi NP-betonia tai Rapid-betonia (kun käytetään erikoisbetoneja on huomioitava valmistajien jälkihoito-ohjeet).
- Mitä pienempi on runkoaineen maksimirakokoko, sitä suurempi massan alkuperäinen vesimäärä on ja sitä hitaampaa on myös kuivuminen. Eli käyttämällä mahdollisimman suurirakokkoista ja jäykkää massaa betonirakenteiden suunnittelussa, voidaan nopeuttaa betonirakenteen kuivumista.
- Rakennerekaisut vaikuttavat betonirakenteen kuivumiseen. Betonirakenne kuivuu nopeammin, jos se pääsee kuivumaan kahteen suuntaan ja kosteuden siirtymismatka ei ole pitkä rakenteen sisältä haihtuvaan pintaan.

Kuivumisolosuhteiden laiminlyönti

Kuivumisolosuhteiden laiminlyönnin seurauksena voi kosteus tiivistyä rakenteen pinnalle tai sisälle sekä kuivatettavien rakenteiden pinnoitus- tai päällystysajankohta voi viivästyä merkittävästi. Kuivumisolosuhteiden laiminlyönti lisää lämmityksen ja kuivatuksen energian tarvetta, joka taas lisää kustannuksia.



Kuva 1. Asioita, joita tulisi ottaa huomioon rakennuksen hyvien kuivumisolosuhteiden luomisessa.



Kuva 2. Lämmityksen ja kuivatuksen toteutus.

Lämmitys- ja kuivatusjärjestelmien vertailutaulukko

Yksikkökustannukset		Kuukausikulutus gk.s.	
Öljy	l/l	l/l	l/lk
Nestekaasu	l/kg	l/kg	kg/lk
Maakaasu	l/kg	l/kg	kg/lk
Sähkö	l/kWh	l/kWh	kWh/lk
Kaukoliämpö	l/MWh	l/MWh	MWh/lk
		Sähkön hintoja maanlaajuisesti Kaukoliämmön hintoja maantaajuisesti	
		Shellan Lämmitysöljyn hintalasku	
		Neste Öljyn Lämmitysöljyn hintalasku	
		Tebolin Lämmitysöljyn hintalasku	
		Agdon nestekaasun tilausohje	
		Neste Öljyn nestekaasun tilausohje	
		Tebolin nestekaasun tilausohje	

Kone	Koneen teho	Koneiden määrä	Yuokra	Yuokra	Yuokra	Koneen käyttöaika	Pääenergian	Puhallus energia	Pääenergian kulutus	Sähkön kulutus	Pääenergian hinta	Sähkön hinta	Pääenergian kulutus ?/kk (toko)	Sähkön kulutus kWh/kk (toko)	Koneen +vuokra hinta
Pääjärjestelmä	##### kW	kpl	l/pv x 31	l/pv x 31	l/pv x 31	h/vko	#PUUTTUU!	#####	#####	###	0 #####	0 #####	0 #####	0 #####	0,00
Apujärjestelmä	##### kW	kpl	l/pv x 31	l/pv x 31	l/pv x 31	h/vko	#PUUTTUU!	#####	#####	###	0 #####	0 #####	0 #####	0 #####	0,00
Kohdetuuletus	##### kW	kpl	l/pv x 31	l/pv x 31	l/pv x 31	h/vko	#PUUTTUU!	#####	#####	###	0 #####	0 #####	0 #####	0 #####	0,00
Kosteuden poisto	##### kW	kpl	l/pv x 31	l/pv x 31	l/pv x 31	h/vko	#PUUTTUU!	#####	#####	###	0 #####	0 #####	0 #####	0 #####	0,00

Lämmitysjärjestelmään liittyviä muita kustannuksia		Muita	
Määrä	Yuokra	Määrä	Yuokra
pv	gk.s	pv	gk.s
Esim.	kpl		
Asennukset	kpl	l/pv x 31	l/pv x 31
Kätkennät	kpl	l/pv x 31	l/pv x 31
Säiliöt	kpl	l/pv x 31	l/pv x 31
Rahti	kpl	l/pv x 31	l/pv x 31
Muita kustannuksia	kpl	l/pv x 31	l/pv x 31
Muita kustannuksia	kpl	l/pv x 31	l/pv x 31
Muita kustannuksia	kpl	l/pv x 31	l/pv x 31
Yhteensä:		0	0

Lämmitysjärjestelmän 1 hinnat:	
Kiinteä kertakustannus:	0
Koneet+vuokrat:	0,00
Muut kk kustannukset:	0
Hinta yhteensä:	0,00