



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

RAKENNUSTEKNIikka

TUTKIMUSSELOSTUS NRO RTEK/2533/2017

**PUUKERROSTALOTYÖMAAN KOSTEUSOLOSUHTEET JA  
KOSTEUDENHALLINTA – WOOD CITY -HANKKEESEEN  
LIITTYVÄT SELVITYSTYÖT**

4.12.2017



Tampere 2017

**Tutkimusselostus Nro 2533**

8 sivua

<b>Tilaaja</b>	Ympäristöministeriö Aleksanterinkatu 7 00023 Valtioneuvosto Y-tunnus 0519456-1 Petri Heino, ohjelmapäällikkö puh. 02 9525 0203 petri.heino@ym.fi	
<b>Tehtävä</b>	Wood City -hankkeeseen liittyvä diplomitöiden suunnittelu, ohjaus ja konsultointi sekä tutkimuslaitteistojen järjestäminen	
<b>Tutkimusaika</b>	1.1.2017 - 4.12.2017	
<b>Tutkijat</b>	Olli Teriö, projektipäällikkö, DI Anssi Laukkarinen, tohtorikoulutettava, DI Juha Vinha, professori, tekn. toht.  TTY-Säätiö sr Korkeakoulunkatu 10, PL 527 33101 Tampere Y-tunnus 2286106-3  Puh. 03 3115 11 (vaihde)	
<b>Jakelu</b>	Ympäristöministeriö TTY/Rakennustekniikka Tutkijat	1 kpl + pdf 2 kpl 1 kpl

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.


**PUUKERROSTALOTYÖMAAN KOSTEUSOLOSUHTEET JA KOSTEUDENHALLINTA**
**SISÄLLYSLUETTELO**

1	TAUSTA JA TAVOITTEET .....	3
2	OSATEHTÄVÄT JA NIIDEN TOTEUMAT .....	4
3	HANKKEEN TULOKSET JA JATKOTUTKIMUSTARPEET .....	6
3.1	Julkaisut, kokoukset ja medianäkyvyys.....	6
3.2	Hankkeen hyödyt.....	7
3.3	Jatkotutkimustarpeet ja kehittämiskohteet .....	8





## 1 TAUSTA JA TAVOITTEET

Wood City -hanke on Helsingin Jätkäsaaren rakennettavien puukerrostalojen kokonaisuus<sup>1</sup>. Alueelle on varmistunut kahden puurakenteisen asuinkerrostalon, toimistorakennuksen ja hotellin rakentaminen, joista ensimmäisenä rakennettavien asuinkerrostalojen rakentaminen käynnistyi tammikuussa 2017. Asuntojen rakennuttajana toimii Helsingin Asuntotuotantotoimisto ATT ja ne tulevat Helsingin kaupungin asunnot Oy:n (Heka) vuokra-asunnoiksi. Wood City -hanke toteutetaan SRV:n ja Stora Enson yhteishankkeena, jossa SRV toimii pääurakoitsijana ja Stora Enso puuosatoimittajana. Hankkeen pääsuunnittelijana toimii Anttinen Oiva Arkkitehdit Oy ja rakennesuunnittelijana Sweco.

Kahdeksankerroksiset asuinkerrostalot päätettiin toteuttaa Stora Enson LVL-tuotteisiin perustuvalla moduulijärjestelmällä, jota on jatkokehitetty myös pääurakoitsijana toimivan SRV:n kanssa. Menetelmällä tavoitellaan muun muassa nopeata työmaavaihetta, uuden rakentamisjärjestelmän tuomista suomalaisille markkinoille ja puun uusia käyttömahdollisuuksia. Samalla päätettiin pilotoida Suomen olosuhteissa uutta rakentamistapaa, jossa LVL-runkoiset asuinkerrostalot rakennetaan ilman jatkuvaa ja kattavaa sääsuojauksia. Koska tämä kuitenkin lisää rakenteisiin kohdistuvaa työmaavaiheen kosteuskuormitusta jatkuvaan sääsuojaukseen verrattuna, on hankkeen yhteydessä seurattu rakennusten lämpö- ja kosteusolosuhteita tavanomaista tarkemmin useiden eri tahojen toimesta.

Puurakentamisen edistäminen kuuluu muun muassa myös nykyisen hallituksen kärkihankkeisiin<sup>2</sup>. Tätä taustaa vasten ympäristöministeriö (YM) rahoitti Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) toteuttaman asiantuntijapalveluosion, jossa TTY:n rakennustekniikan laboratorio osallistui ja/tai toteutti kahden Stora Enson rahoittaman diplomityön sisällön suunnittelun ja ohjauksen sekä järjesti tarvittavat mittalaitteet. Asiantuntijapalvelun yhtenä tarkoituksena oli tuoda hankkeen toteutumisen seurantaan ja mittaustulosten analysointiin mukaan ulkopuolinen, rakennusfysiikan alan erityisosaamista omaava taho.

<sup>1</sup> [www.woodcity.fi](http://www.woodcity.fi)

<sup>2</sup> <http://www.ym.fi/puurakentaminen>



## 2 OSATEHTÄVÄT JA NIIDEN TOTEUMAT

Ympäristöministeriön TTY:ltä hankkimaan asiantuntijapalveluun kuuluvat tehtävät on listattu taulukossa 1. Samassa taulukossa on kuvattu lyhyesti myös kyseisen osatehtävän toteutuminen. Yksityiskohtaisemmat tiedot projektin tulosteista on esitetty luvussa 3.

Taulukko 1. TTY:n työosiot ja niiden toteutuminen.

Nro	Tehtävä	TTY:n työpanokset
1	Tutkimussuunnitelman (päivätty 25.8.2017) luvussa 3 kuvattujen diplomitöiden sisällön suunnittelu ja ohjaaminen, sisältäen yhteisiin seurantalavereihin osallistumisen	<p>Osallistui Stora Enson rahoittamien diplomitöiden sisällön suunnitteluun yhdessä Stora Enson ja ympäristöministeriön kanssa ja laati tämän pohjalta diplomitöiden yksityiskohtaisemman sisältö- ja toteutussuunnitelman.</p> <p>Anssi Laukkarinen rakennusfysiikan tutkimusryhmästä ja Olli Teriö rakentamisen prosessien tutkimusryhmästä toimivat diplomitöiden lähiohjaajina. Juha Vinha rakennusfysiikan tutkimusryhmästä toimi myös ohjaajana sekä projektin vastuullisena johtajana.</p> <p>TTY osallistui diplomitöiden ohjauspalavereihin yhdessä Stora Enson ja ympäristöministeriön kanssa.</p>
2	Tarvittavien mittalaitteiden järjestäminen sekä tilojen ja tukihenkilöstön tarjoaminen niiden kalibrointiin ja toiminnan varmistamiseen	<p>TTY laboratoriohenkilöstöineen tarjosi diplomityöntekijöiden käyttöön tarvittavat mittalaitteet ja laboratoriotilat, joiden avulla mittaukset saatiin suoritettua ja tulosten luotettavuus varmistettua.</p> <p>Diplomityöntekijöille tarjottiin työpisteet, tietokoneet ja kulkuoikeudet TTY:ltä, tutkimusryhmien yhteydestä.</p>
3	Tutkijapalaverien pitäminen Wood City -hankkeessa käytettävien rakennetyyppien kosteusriskeistä sekä niiden rakenteellisista ratkaisuvaihtoehdoista	<p>Ennen mittausten käynnistämistä TTY:n tutkijat kävivät läpi yhdessä diplomityöntekijöiden kanssa Wood City -korttelin asuinkerrostalojen rakennesuunnitelmat ja laativat näiden perusteella suunnitelmat työmaan ja sen olosuhteiden seurantaan varten.</p> <p>TTY:n tehtävänantoon ei kuulunut Wood City -hankkeessa käytettävien rakenteiden ja niiden liitosten suunnittelu tai toimivuuden varmistaminen. Tutkijapalaverin tarkoituksena oli keskeisten mittauspisteiden ja -tarpeiden tunnistaminen.</p>

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.





4	Yhteistyö- ja kartoitusosion järjestäminen, jossa diplomitöiden tuloksia käydään läpi kaikkien hankkeeseen kuuluvien tahojen kanssa. Tätä varten järjestetään vähintään yksi yhteinen palaveri hieman ennen diplomitöiden valmistumista, jossa eri tahot (Stora Enson, urakoitsijoiden, ympäristöministeriön ja TTY:n edustajat) pääsevät näkemään ja kommentoimaan töissä saatuja tuloksia. Näiden lisäksi kokousten tarkoituksena on tunnistaa niitä toimenpiteitä, joilla aihepiiriä saadaan tulevaisuudessa edelleen kehitettyä eteenpäin.	Hankkeen tuloksista järjestettiin yhteispalaveri 16.5.2017, johon kutsuttiin Stora Enson, SRV:n, RF SensIT Oy:n, Sweco Oy:n ja ympäristöministeriön edustajat. Palaverissa eri toimijat esittelivät omia mittaus tuloksiaan ja näiden pohjalta tehtyjä päätelmiä, minkä lisäksi keskusteltiin projektin toteutukseen ja jatkotoimenpiteisiin liittyvistä asioista.
5	Kahden artikkelin laatiminen Rakennusfysiikka 2017 –seminaariin, joista toinen käsittelee ensisijaisesti toteutettuja mittauksia sekä niiden tuloksia ja toinen työmaan kosteudenhallintaprosessia (esitelmäehdotukset on hyväksytty täyden artikkelin kirjoittamista varten).	TTY:n tutkijat laativat kyseiset artikkelit toteutettujen diplomitöiden pohjalta, jotka sittemmin esitettiin Rakennusfysiikka 2017 -seminaarissa. Seminaariartikkelit lähetettiin ennen lopullisten versioiden toimittamista diplomityöt rahoittaneen Stora Enson edustajalle nähtäväksi ja kommentoitavaksi.
6	Lyhyiden väli- ja loppuraporttien laatiminen ympäristöministeriölle hankkeen etenemisestä ja sen tuloksista.	TTY:n asiantuntijapalvelun hankinnan väliraportti tuli toimittaa ympäristöministeriölle 30.9.2017 mennessä, mutta tätä ei saatu työkiireiden vuoksi tehtyä. Tilaaajan yhteyshenkilönä toiminut ympäristöministeriön edustaja on kuitenkin pyritty pitämään tietoisena kaikista hankkeen etenemiseen liittyvistä asioista.  Tämän raportin on tarkoitus toimia samalla asiantuntijapalveluhankinnan väli- ja loppuraporttina.

Taulukon 1, kohta 5 edellytti Stora Enson rahoittamien diplomityöntekijöiden keräämän mittausdatan ja muun työmaalta kerätyn aineiston (valokuvat, tiedot toteutuksesta) käyttöoikeuden myöntämistä TTY:lle. TTY:n ja ympäristöministeriön välisen projektin ulkopuolella, mutta Wood City -hankkeeseen liittyen, työmaan mittausdataa oli suunniteltu hyödynnettäväksi myös Anssi Laukkarisen väitöskirjan osana. Työmaan mittaus- ja seuranta-aineiston käyttöoikeussopimuksesta on toimitettu Stora Ensolle luonnosversio, mutta prosessi käyttöoikeuksien myöntämisestä on vielä kesken.

Koska Rakennusfysiikka-seminaarin artikkeleissa olivat mukana Stora Enson työntekijöinä toimineet diplomityöntekijät ja seminaariartikkelien tekeminen hyväksyttiin yhteispalaverissa,

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



katsottiin näiden seikkojen olevan riittäviä mittausdatan käyttämiseksi ja siten myös seminaariartikkelien tekemiselle.

Käyttöoikeussopimuksen puuttuessa mittaus- ja seuranta-aineistoa ei ole kuitenkaan päästy käyttämään tieteellisissä lehtiartikkeleissa. Tieteellisten lehtiartikkelien tekeminen ei ole ollut TTY:n ja ympäristöministeriön väliseen projektiin kuuluva työtehtävä, mutta koska se on esitetty tutkimussuunnitelmassa liittyvänä tehtävänä, tuodaan kyseisen osion tilanne esille myös tässä raportissa.

Käyttöoikeussopimuksien laatimista lukuun ottamatta, kokonaisuutena katsoen kaikki TTY:n osatehtävät tulivat toteutetuiksi.

### 3 HANKKEEN TULOKSET JA JATKOTUTKIMUSTARPEET

#### 3.1 Julkaisut, kokoukset ja medianäkyvyys

Ohjattavana olevista diplomitöistä toinen on valmistunut ja julkaistu TTY:n virallisessa diplomityötietokannassa DPub:ssa (<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/>). Toinen diplomitöistä on myös valmistunut ja se on tarkoitus julkaista samassa osoitteessa 7.12.2017 pidettävän tiedekuntaneuvoston kokouksen jälkeen (Talouden ja rakentamisen tiedekunta, TTY).

Kyseiset työt ovat:

- Penttilä, Olavi (2017) Puukerrostalojen kosteudenhallintaprosessi ja sen kehittäminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. 52 s. + 11 liites. <http://URN.fi/URN:NBN:fi:tty-201705301566>
- Musakka, Sami (n.d.) Puukerrostalojen lämpötila- ja kosteusolosuhteiden mittaukset työmaavaiheessa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. 85 s. + 48 liites. (Julkaisematon)
  - Julkaistaan 7.12.2017 jälkeen osoitteessa <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/>)

Artikkelit Rakennusfysiikka 2017 –seminaarissa:

- Anssi Laukkarinen, Sami Musakka, Olavi Penttilä, Olli Teriö & Juha Vinha (2017) Puukerrostalon työmaavaiheen lämpö- ja kosteusolosuhteiden mittaukset. Rakennusfysiikka 2017. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. 24.-26.10.2017, Tampere. ss. 167–172
- Olli Teriö, Olavi Penttilä, Anssi Laukkarinen, Sami Musakka & Juha Vinha (2017) Puukerrostalon kosteudenhallinta. Rakennusfysiikka 2017. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. 24.-26.10.2017, Tampere. ss. 173–178

Kyseiset artikkelit ovat osa Rakennusfysiikka 2017 -seminarijulkaisuja, jotka ovat saatavilla TTY:n julkaisumyynnin<sup>3</sup> kautta ja Rakennusinsinöörien liiton RIL ry:n kirjakaupasta<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> <http://www.tut.fi/fi/tutkimus/tutkimusalat/rakennustekniikka/rakennetekniikka/index.htm>

<sup>4</sup> <http://www.ril.fi/kirjakauppa/rakennusfysiikan-materiaali/>

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.





Tärkeimmät tapaamiset ja tapahtumat (ei sisällä diplomitöiden tavanomaista ohjaustyötä, eikä diplomityöntekijöiden omia työmaavierailuja):

- TTY:n projektipalaverit ympäristöministeriön ja Stora Enson kanssa, 10.11.2016, 8.12.2016, 16.1.2017, 28.3.2017, 4.5.2017 ja 22.5.2017
- Tutkijapalaverit, 21.2.2017 ja 3.4.2017
- Työmaavierailut, 16.1.2017 ja 15.6.2017
- Yhteispalaverit (TTY, YM, Stora Enso, Sweco, SRV (kutsuttu) ja RF SensIT Oy), 15.6.2017

TTY mainittiin Wood City –hankkeeseen liittyen Helsingin sanomien, Rakennuslehden ja Tekniikka & Talous –lehden uutisissa 9.11.–14.11.2017 välisenä aikana kuusi kertaa.

### 3.2 Hankkeen hyödyt

Wood City -hankkeen keskeinen hyöty on valmistuvien rakennusten lisäksi myös hankkeesta saadut kokemukset ja muu tulosaineisto puurakentamisen kehittämistä varten. Stora Enso on iso toimija, joka pystyy omalta osaltaan merkittävästi edesauttamaan suomalaisen puurakentamisen kehittämistä ja edistämistä. Heidän valintansa dokumentoida Wood City -hankkeen toteutusta julkisten diplomitöiden kautta helpottaa tiedon siirtymistä toimijalta toiselle, mikä taas edistää tulevien tutkimus- ja kehityspanostusten kohdistamista hyödyllisimmäksi arvioidulla tavalla.

TTY:n rooli projektissa on ollut auttaa kohdistamaan työmaan seuranta ja olosuhtemittaukset rakennusfysiikan näkökulmasta katsottuna keskeisiin riskitekijöihin, varmistaa seurannan ja mittausten oikeanlainen suorittaminen sekä arvioida esitettyjen päätelmien oikeellisuutta laajemmasta rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan näkökulmasta.

TTY:n mukana oleminen on parantanut työmaan toteutuksen ja olosuhteiden dokumentoinnin laatua ja tarkkuutta, mikä on vähentänyt tuloksiin ja niiden tulkintaan liittyvää epävarmuutta. Tämä taas edelleen auttaa tulevaisuudessa ennakoimaan ja valitsemaan puukerrostalorakentamiseen liittyviä toimenpiteitä nykyistä paremmin sekä tukee aiheeseen liittyvän lainsäädännön ja kansallisten ohjeiden valmistelutyötä.

Sisällöllisesti diplomityöt onnistuivat hyvin ja niissä on esitetty runsaasti mielenkiintoisia havaintoja ja mittaustuloksia.





### 3.3 Jatkotutkimustarpeet ja kehittämiskohteet

Toteutetun kaltainen ohjaus- ja konsultointiprojekti on mahdollinen myös tulevaisuudessa, mutta edellyttää joitakin parannuksia projektin organisointiin:

- Projektin tyyppi (yhteisrahoitteinen vai suorahankinta) pitää pystyä määrittämään heti projektin alussa. Tällä kertaa sopimustyyppi vaihtui useasti, mikä aiheutti viivästyksiä ja myös sekaannusta tutkimussuunnitelman ja sopimuksen laadintaan.
- Jos koko hankkeessa on mukana useita eri toimijoita, on näiden keskinäiset oikeudet ja velvollisuudet hyvä kuvata riittävän selkeästi, esimerkiksi prosessikaaviona. Tämä auttaa myös tunnistamaan mahdolliset lupa-asiat ja muut sopimustarpeet, jotka ovat tarpeen eri osioiden toteuttamiseksi.
- Projektin alkaessa on lähtökohtaisesti hyvä pitää aloituspalaveri, johon kutsutaan hankkeen kaikki keskeiset osapuolet. Aloituspalaverissa käydään läpi hankkeen ja sen osaprojektien tavoitteet, odotettavissa olevat tulokset, aikataulu ja muut projektin toteutukseen liittyvät keskeiset asiat.

#### LIITTEET

<b>Liite 1</b>	Wood City –työmaan kosteusolosuhteita	käsitellyt	artikkeli
	Rakennusfysiikka 2017 –seminaarissa		
<b>Liite 2</b>	Wood City –työmaan kosteudenhallintaa	käsitellyt	artikkeli
	Rakennusfysiikka 2017 –seminaarissa		

Tampereella 4.12.2017

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
 Rakennetekniikka

Anssi Laukkarinen  
 Tohtorikoulutettava, DI

Juha Vinha  
 Professori, tekn. toht.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.





## **Puukerrostalon työmaavaiheen lämpö- ja kosteusolosuhteiden mittaukset**

Anssi Laukkarinen<sup>1</sup>, Sami Musakka<sup>2</sup>, Olavi Penttilä<sup>2</sup>, Olli Teriö<sup>1</sup> ja Juha Vinha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

<sup>2</sup> Stora Enso

### **Tiivistelmä**

Tässä artikkelissa esitellään lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauksia puukerrostalotyömaalta. Hankkeen yhtenä tavoitteena on ollut selvittää jatkuvan sääsuojauksen tarvetta tilanteessa, jossa kantavien puurakenteiden alkukosteuspitoisuus vastaa tehdaskuivaa tasoa ja työmaatoteutus pyritään viemään vesikattoon asti nopeasti. Tulosten perusteella puukerrostalon rakentaminen ilman jatkuvaa sääsuojauksia on mahdollista tutkituissa talviolosuhteissa, mutta edellyttää useiden tekijöiden yhtäaikaista huomioon ottamista.

### **1. Johdanto**

#### **1.1 Yleistä**

Suomen asuinrakentamisessa puu on ollut yleinen rakennusmateriaali erityisesti pientalorakentamisessa, mutta viime vuosien aikana aktiivista kehitystyötä on tehty myös kerrostalorakentamisessa. Puukerrostalorakentamisella haetaan esimerkiksi Suomen metsien uusia käyttömahdollisuuksista, korkean teollisen esivalmistusasteen hyötyjä ja uusien vaihtoehtojen tuomista markkinoille. Uusia rakentamisen ratkaisuja kehitettäessä on tärkeää ottaa huomioon kunkin rakennusmateriaalin ja –ratkaisun erityispiirteet, jotta vastaavasti niiden vahvuudet saataisiin täysimääräisesti hyödynnettyä.

Tässä artikkelissa esitellään Jätkäsaaren Wood City -puukerrostalotyömaalla tehtyjä lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaustuloksia talvikaudelta. Työmaan yhtenä tavoitteena oli selvittää puukerrostalon toteuttamista ilman jatkuvaa ja kattavaa sääsuojauksia. Mittausjärjestelyjen yksityiskohtaisempi kuvaus ja laajempi katsaus tuloksiin esitetään Sami Musakan diplomityössä [1], minkä lisäksi hankkeen kosteudenhallintaprosesseja on tarkasteltu Olavi Penttilän diplomityössä [2].

#### **1.2 Viilupuusta**

LVL eli viilupuusta (laminated veneer lumber) on kolme millimetriä paksuja viiluja yhteen liimaamalla valmistettu puutuote, josta voidaan valmistaa esimerkiksi pilareja, palkkeja, välipohja- ja kattoelementtejä, ristikoita sekä massiivisia seinäelementtejä. Näistä viimeisimpiä on mahdollista valmistaa kerrannaisliimauksella 300 mm paksuuteen asti, mikä mahdollistaa niiden käytön esimerkiksi kerrostalon kantavana runkona.

Case-kohteessa käytetyt LVL-elementit olivat tyypillisesti 141 mm paksuja, huoneen korkuisia ja seinän pituisia levyjä. Rakennuksen runko muodostui pääosin näistä LVL-elementeistä, alapuoleltaan huoneilmaan avoimista avokotelo-välipohjaripalaatoista sekä muista täydentävistä rakenneosista, kuten jälkikäteen asennettavista lämmöneristetyistä julkisivuelementeistä.

LVL-elementtien kosteustekniseen käyttäytymiseen liittyy oleellisesti niiden kerroksellinen rakenne: Ohuet liimakerrokset hidastavat tehokkaasti kosteuden kulkeutumista sekä vesihöyrynä että vetenä elementtien pintaa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Sen sijaan elementtien päädyistä vesi pystyy tehokkaasti imeytymään viiluihin, joista taas kosteuden kuivuminen diffuusiolla on kapillaarista kosteuden siirtymistä huomattavasti hitaampaa.

## 2. Mittausmenetelmät ja datan analysointi

### 2.1 Perustietoja mittauksista

Ensimmäiset mittaukset käynnistettiin tammikuun lopussa ja helmikuun alussa 2017 ja niitä jatkettiin kesäkuun alkuun 2017 asti. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauksissa käytettiin pääosin Rotronic-dataloggereita ja -antureita, joiden lisäksi hyödynnettiin Ilmatieteen laitoksen Avoin data -palvelua [3]. Mittauksissa käytettävät anturit kalibroitiin TTY:n rakennustekniikan laboratoriossa ennen kenttämittauksia ja testattiin uudestaan mittauksen päätyttyä.

### 2.2 Datan analysointi

Kaavassa 1 on esitetty sisäilman kosteuslisän ja lämpötilaeron liittyminen työmaalta mitattaviin lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoihin.

$$\varphi_i = \frac{v_i}{v_{sat}(T_i)} = \frac{v_e + \Delta v}{v_{sat}(T_e + \Delta T)} \quad (1)$$

- missä
- $\varphi_i$  = sisäilman suhteellinen kosteus, % RH
  - $v_i$  = sisäilman vesihöyrypitoisuus, kg/m<sup>3</sup>
  - $v_{sat}$  = lämpötilasta riippuva ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus [4], kg/m<sup>3</sup>
  - $v_e$  = ulkoilman vesihöyrypitoisuus, kg/m<sup>3</sup>
  - $\Delta v$  = sisäilman kosteuslisä, kg/m<sup>3</sup>
  - $T_i$  = sisäilman lämpötila, °C
  - $T_e$  = ulkoilman lämpötila, °C
  - $\Delta T$  = lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä, °C

Kaavassa 2 on esitetty lauseke kosteusvirran tiheydelle pinnan ja sitä ympäröivän ilman välillä.

$$g_{surf,i} = \beta_v \cdot (v_{surf} - v_i) = \beta_v \cdot [\varphi_{surf} \cdot v_{sat}(T_{surf}) - \varphi_i \cdot v_{sat}(T_i)] \quad (2)$$

- missä
- $g_{surf,i}$  = kosteusvirta pinnan ja huoneilman välillä, positiivinen suunta pinnasta pois päin, kg/(m<sup>2</sup>s)
  - $\beta_v$  = pinnan kosteudensiirtokerroin (voidaan laskea pinnan konvektiivisesta lämmönsiirtokertoimesta Lewisin kaavalla), m/s
  - $v_{surf}$  = vesihöyrypitoisuus pinnalla, kg/m<sup>3</sup>
  - $T_{surf}$  = pinnan lämpötila, °C
  - $\varphi_{surf}$  = huokosilman suhteellinen kosteus materiaalin pinnalla (0...1), -
  - $v_i$  = vesihöyrypitoisuus ilmassa pinnan vieressä, kg/m<sup>3</sup>
  - $T_i$  = ympäröivän ilman lämpötila, °C.
  - $\varphi_i$  = ympäröivän ilman suhteellinen kosteus (0...1), -

Monet kosteuteen liittyvät vaurioitumismekanismit ovat kytköksissä korkeisiin suhteellisen



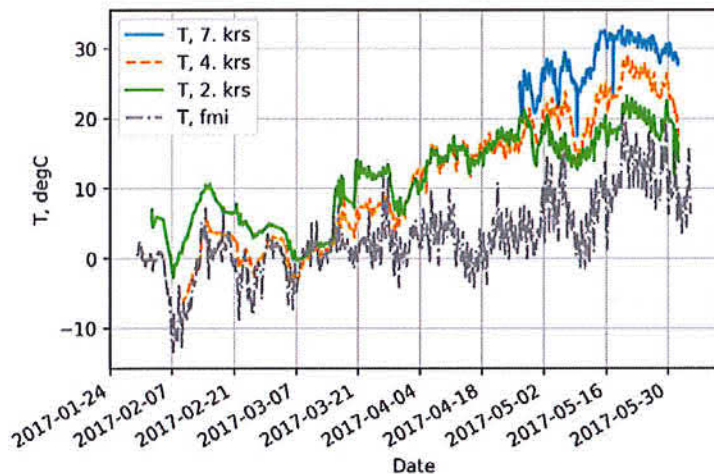
kosteuden arvoihin. Kaavan 1 perusteella pääasialliset tavat suhteellisen kosteuden pitämiseen alhaisella tasolla ovat kosteuslisän pitäminen alhaisella tasolla ja lämpötilan nostaminen.

Kaavan 2 perusteella pinnasta ilmaan siirtyvän kosteuden määrää eli rakenteen kuivumista nopeuttavat kosteudensiirtokertoimen kasvattaminen (ilmavirran nopeuden kasvattaminen pinnan vieressä), kuivatettavan rakenteen lämpötilan nostaminen sekä ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden laskeminen ja lämpötilan nostaminen. Käytännössä kaavojen 1 ja 2 mukaiset toimenpiteet tarkoittavat useimmiten kosteuskuormien minimointia, rakennusten lämmittämistä ja ilmanvaihdon järjestämistä.

### 3. Tulokset

#### 3.1 Huonetilojen olosuhteet

Kuvassa 1 on esitetty toisen kerroksen huonetilan ja lähimmän sääaseman lämpötilat mittausjaksolta.



Kuva 1. Lämpötilat huone- ja ulkoilmassa. Huoneilma oli ulkoilmaa lämpimämpää erityisesti mittausjakson loppupuolella.

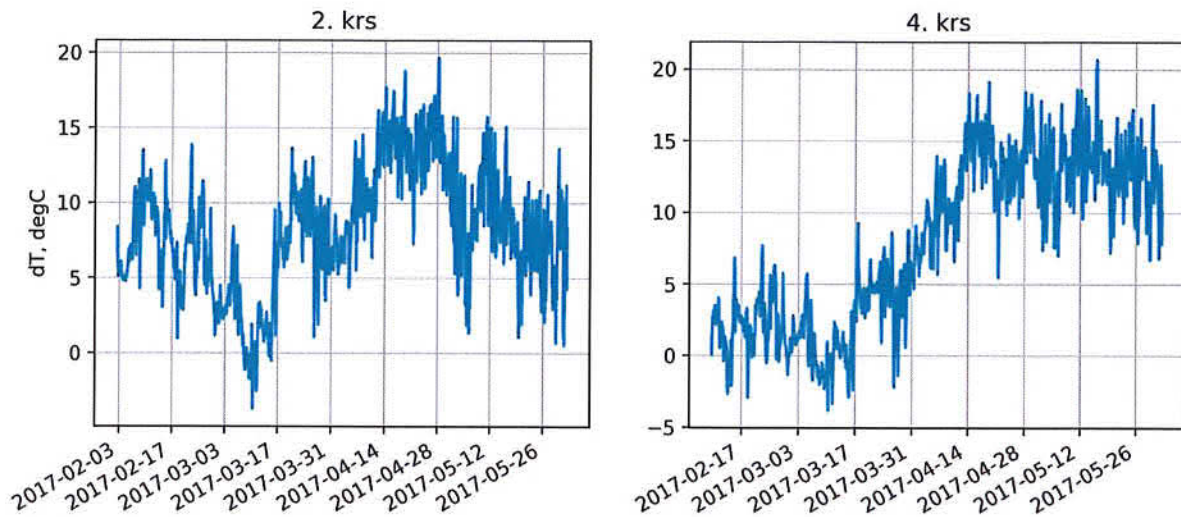
Lämpötila vaihteli talvella nollan molemmin puolin ja nousi pysyvämmiin nollan yläpuolelle maaliskuuhuhtikuun aikana. Kuitenkin myös talvikuukausina esiintyi otollisia olosuhteita sekä lumimättä vesisateelle sekä lumen sulamiselle.

Kuvassa 2 on esitetty huoneilman ja ulkoilman välinen lämpötilaero toisesta ja neljännessä kerroksesta mitattuna.

Jos rakennukseen lämmityslaitteilla ja sisäisistä lämpökuormista tulevan lämmitystehon suhde johtumisen, ilmanvaihdon ynnä muiden mekanismien lämpöhäviöihin pysyy ajan suhteen vakiona, pysyy tällöin myös lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä vakiona. Lämpötilaerojen kuvaajien perusteella lämpötilaero on vaihdellut noin 0-15 degC välillä toisessa kerroksessa, kun taas neljännessä kerroksessa lämpötilaero on noussut maaliskuuhuhtikuun aikana 0-5 degC arvosta noin 10-15 degC arvoon.

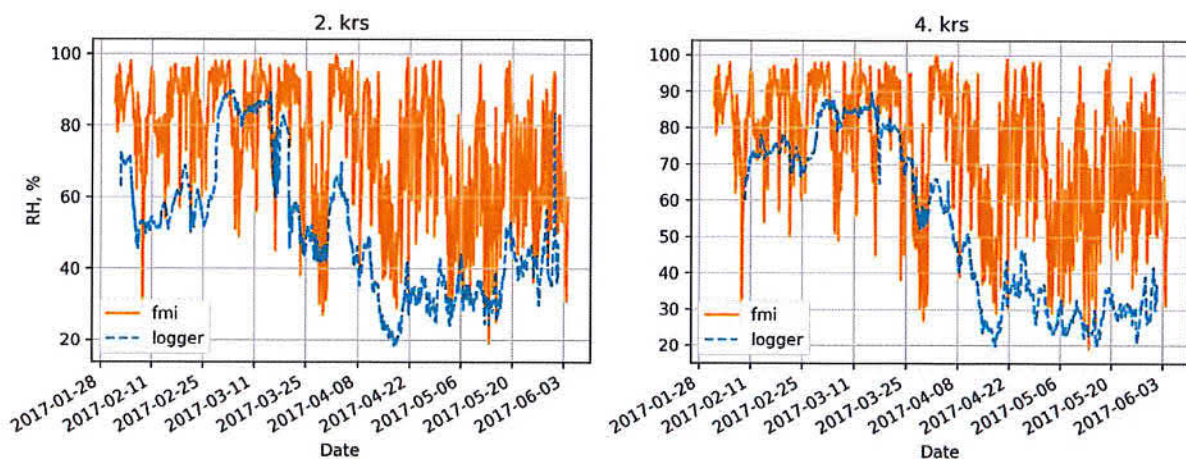
Vesihöyrypitoisuusero kuvien 1 ja 2 mukaisista mittauspisteistä käyttäytyi kuvaajien perusteella tasaisemmin, kuin lämpötilaero. Lasketut 5, 50 ja 95 % persentiilit sekä keskihajonta olivat toisen

kerroksen kosteuslisälle  $-0,5, 0,5, 1,9$  ja  $0,7 \text{ g/m}^3$ , neljännen kerroksen kosteuslisälle  $-0,9, 0,3, 1,6$  ja  $0,8 \text{ g/m}^3$  ja seitsemännen kerroksen kosteuslisälle  $-1,9, 0,0, 1,6$  ja  $1,0 \text{ g/m}^3$ . Näiden tulosten perusteella sisäilman kosteuslisä oli pienempi ylemmissä kerroksissa verrattuna alempiin kerroksiin.



Kuva 2. Lämpötilaero huone- ja ulkoilman välillä toisesta ja neljännestä kerroksesta. Vakiosuuruinen lämmitysteho suhteessa lämpöhäviöihin tuottaisi stationääritilanteessa vakiosuuruisen lämpötilaeron.

Jos rakennuksen sisätilat eivät ole juuri ulkoilmaa lämpimämpiä, pystyy pienikin kosteuslisä nostamaan suhteellisen kosteuden korkealle tasolle, jolloin rakenteissa mahdollisesti oleva kosteus ei pääse kuivumaan ja altistaa ne erilaisten kosteusvaurioille. Jos taas sisätilojen lämmitys on hyvin voimakasta, laskee sisäilman suhteellinen kosteus alhaiselle tasolle, mikä nopeuttaa kuivumista, mutta saattaa joissa tilanteissa aiheuttaa esimerkiksi puuosien halkeilua. Kuvassa 3 on esitetty suhteellinen kosteus ulkoilmassa sekä toisen ja neljännen kerroksen huonetilassa.



Kuva 3. Suhteellinen kosteus ulkoilmassa ja huonetiloissa. Rakennuksen lämmitys ja ilmanvaihto auttavat pitämään huonetilojen suhteellisen kosteuden alhaisella tasolla.

Suhteellinen kosteus oli kuvien 2 ja 3 perusteella huonetiloissa korkeammalla tasolla rakentamisen alkuvaiheessa, jonka jälkeen suuri lämpötilaero laski huonetilojen suhteellisen

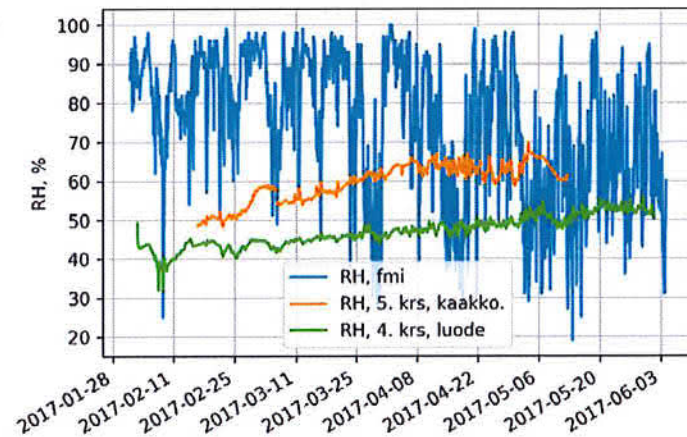


kosteuden hyvin alhaiselle tasolle.

### 3.2 Porareikämittaukset seinäelementeistä

LVL-elementtien toimituskosteuspitoisuus tehtaalta on noin 8-10 paino-% [5], joka vastaa suhteellisen kosteuden 40-55 % RH mukaista tasapainokosteutta [1].

Ulkoseinän LVL-elementissä tehtiin porareikämittauksia ennen lämmöneristeitä sisältävien julkisivuelementtien asentamista. Sekä koilliseen että luoteeseen olevissa ulkoseinien mittauspisteissä lähekkäin olevien antureiden tulokset olivat hyvin samankaltaisia ( $\overline{\Delta T} = 0,5-0,6$  degC;  $\overline{\Delta v} = 0,6-0,8$  g/m<sup>3</sup>). Mittauspisteet olivat 5 ja 15 cm etäisyydellä ulkopuolelta vanerilla suljetun ikkuna-aukon reunoista.



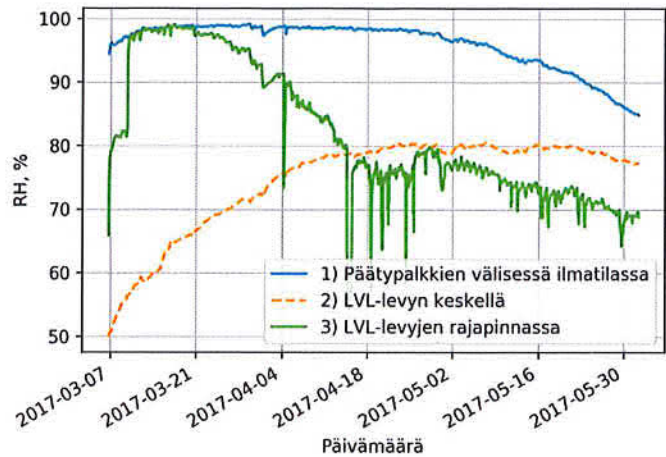
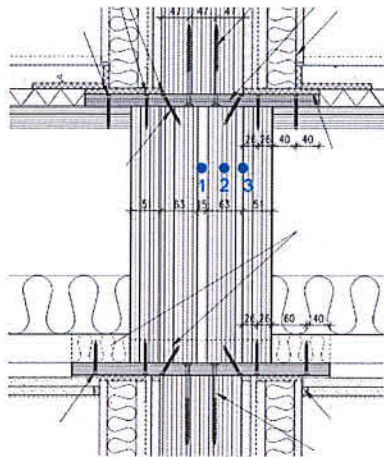
Kuva 4. Huokosilman vesihöyrypitoisuus LVL-elementin sisältä, porareikästä mitattuna.

Osassa ulkoseinien mittauspisteitä näkyi tilanne, jossa suhteellinen kosteus lähti ensin nousemaan, mutta lähti tämän jälkeen selvästi laskemaan. Tämän on todennäköisesti johtunut siitä, että mittausjakson alussa lämpötila on noussut nopeammin kuin huokosilman vesihöyrypitoisuus. Toisin sanoen, lämpötilan funktiona eksponentiaalisesti kasvava kyllästysvesihöyrypitoisuus pystyy aiheuttamaan suhteellisen kosteuden kasvun taittumisen, vaikka kosteuslisä samaan aikaan kasvaisi lineaarisesti.

### 3.3 Porareikämittaukset väliseinä-välipohjaliitoksista

Tehdyissä mittauksissa kosteustekniseltä toiminnaltaan kriittisiä kohtia olivat välipohja-väliseinä-liitokset. Välipohjana toimivien avokotelo-ripalaattojen päätypalkkien porareikästä mitattiin paikoin korkeita suhteellisen kosteuden arvoja, jotka viittaavat siihen, että välipohjalle satanut vesi aiheutti keskittyneitä kosteusrasituksia ripalaattojen päiden liitoksiin.

Nyt tehtyjen mittausten perusteella ei vaikuttanut olevan järjestelmällistä vaikutusta, oliko päätypalkkien alapuolella ehjä väliseinäelementti, väliseinäelementin aukkokohta (ovi- tai muu kulkuaukko) tai ei väliseinäelementtiä ollenkaan. Lisäksi avokotelolaattojen päätypalkkien porareikämittausten tuloksissa oli selviä keskinäisiä eroavaisuuksia, vaikka rakennusratkaisujen puolesta kosteusteknisen käyttäytymisen olisi tullut olla hyvin samankaltaista. Tämä viittaisi siihen, että käytännössä kosteusolosuhteet vaihtelivat selvästi hyvin lähellä toisiaankin olevien mittauspisteiden välillä. Esimerkki päätypalkkien porareikämittausten tuloksista on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Suhteellisen kosteuden porareikämittauksien tuloksia 7. ja 8. kerroksen välisestä välipohjasta. Anturin 1 mittauspiste sijaitsi päätypalkkien välitilassa, anturin 2 paksun LVL-palkin keskellä ja anturin 3 kahden vierekkäin olevan LVL-palkin rajapinnassa.

Kuvan 5 tapauksessa päätypalkkien väliseen kapeaan ilmatilaan (mittauspiste 1) on ilmeisesti valunut vettä, jonka seurauksena suhteellinen kosteus on noussut lähelle arvoa 100 % RH. Suhteellinen kosteus on pysynyt pitkään korkealla tasolla, josta se on tämän jälkeen lähtenyt laskemaan. Päätypalkin sisällä porareikässä (mittauspiste 2) suhteellinen kosteus on lähtenyt nousemaan alkuperäisestä tehdaskuivasta tilanteesta ylöspäin, todennäköisesti saman kosteuskuormituksen seurauksena. Päätypalkin sisällä suhteellinen kosteus on kuitenkin tasaantunut alhaisemmalle tasolle, kuin päätypalkkien välissä. Huonetilasta 5 cm syvyydelle poratussa reiässä (kahden LVL-palkin rajapinnassa, mittauspiste 3) suhteellinen kosteus on myös noussut korkealle, mutta alkoi laskemaan nopeammin kuin päätypalkkien välissä.

#### 4. Yhteenveto

Puukerrostalotyömaalla toteutettujen mittausten ja muiden selvitysten perusteella työmaatoteutus ilman jatkuvaa sääsuojaa on mahdollista, mutta edellyttää useiden seikkojen huomioon ottamista yhtä aikaa. Näitä ovat muun muassa: a) Nopea työmaatoteutus, joka pienentää rakenteisiin tulevien kosteuskuormien määrää b) Liitosten suunnitteleminen joko avoimiksi tehokkaan kuivumisen mahdollistamiseksi tai vaikeasti kuivuvien liitosten väliaikainen suojaaminen ja c) Työmaan lämmityksen ja ilmanvaihdon säätäminen hyvien kuivumisolosuhteiden järjestämiseksi.

#### Lähdeluettelo

- [1] Musakka, Sami (n.d.) Puukerrostalojen lämpötila- ja kosteusolosuhteiden mittaukset työmaavaiheessa, diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laboratorio.
- [2] Penttilä, Olavi (2017) Puukerrostalojen kosteudenhallintaprosessi ja sen kehittäminen, diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laboratorio. 52 s. + 11 liites. <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/24942>.
- [3] Ilmatieteen laitos, Avoin data. <https://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data>
- [4] SFS-EN ISO 13788:2013. 17 p. + 23 app. p. Finnish Standards Association SFS, Helsinki.
- [5] LVL by Stora Enso, tekninen esite. 32 s. Haettu 14.8.2017



## **Puukerrostalorakentamisen kosteudenhallinta**

Olli Teriö, Olavi Penttilä, Anssi Laukkarinen, Sami Musakka ja Juha Vinha  
Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

### **Tiivistelmä**

Artikkelissa tarkastellaan puukerrostalorakentamisen kosteudenhallintaa kylmänä vuodenaikana ilman sääsuojateltan käyttöä. Tarkastelu perustuu Jätkäsaarella rakennetun kahden puuviiluelementeistä (LVL) rakennetun puukerrostalon kosteudenhallinnan havainnointiin ja kosteusmittauksiin. Kohteissa huomatiin, että yhteistyön ja asenteen merkitys korostuvat puukerrostalorakentamisen kosteudenhallinnassa. Tarvitaan selkeät suunnitelmat, sopimukset ja vastuutahot kosteudenhallinnan toteuttamiseen ja valvontaan. Teknisesti kosteudenhallinta kylmänä vuodenaikana sisältää vain vähäisiä riskejä, kunhan kosteudenhallinta otetaan huomioon sekä rakenne- että tuotannosuunnittelussa. Hyvien rakennedetaljien, asennusjärjestysten, aikataulujen sekä suojaus- ja kuivatusmenetelmien avulla LVL-puukerrostalo on mahdollista rakentaa kosteusturvallisesti ilman sääsuojatelttaakin kylmänä vuodenaikana.

### **1. Johdanto**

Puukerrostalorakentaminen on lisääntynyt merkittävästi viime vuosina [1]. Samaan aikaan on huoli rakennusten terveellisyydestä ja hyvästä sisäilmasta kasvanut. Työmaa-aikaisella kosteudenhallinnalla on oma merkityksensä terveellisten rakennusten aikaan saamisessa. Tässä artikkelissa tarkastellaan puukerrostalotyömaan rakenteellista sääsuojausta ja kosteudenhallintaprosesseja. Tarkastelu pohjautuu pääosin Olavi Penttilän diplomityöhön ”Puukerrostalojen kosteudenhallintaprosessi ja sen kehittäminen” [2]. Työssä dokumentoitiin ja arvioitiin Jätkäsaarella talvella 2016-2017 rakennettujen LVL-puukerrostalojen kosteudenhallinnan toteutusta. Tarkastelu ja esitettävät suositukset koskevat vain kylmänä vuodenaikana toteutettavia kohteita.

### **2. Rakennustyömaan kosteudenhallinnan menetelmiä**

Työmaalla kosteudenhallinnan ytimessä on rakennuksen olosuhdehallinta eli rakennuksen suojaus, lämmitys ja kuivatus. Sääsuojateltta helpottaisi olosuhdehallintaa huomattavasti ja pienentää rakenteiden säärasitusta ja siten turmeltumisen riskiä. Mikäli sääsuojatelttaa ei käytetä, on kosteudenhallinnan suunnittelu huomattavasti haasteellisempää ja työläämpää.

#### **2.1 Rakenteellinen sääsuojaus**

Pääperiaate ilman sääsuojatelttaa rakennettaessa on hyödyntää lopullisia vaippa- ja välipohjarakenteita sadevesien aiheuttamien haittojen ehkäisyyn. Täydellistä sateen estämistä välipohjille ei tarvita, kun rakenteet suunnitellaan kestäväksi niihin kohdistuvat kosteusrasitukset ja esimerkiksi lumi- tai sadevedet poistetaan holveilta ja rakenteista nopeasti. Sadevesien tai lumen pääsyä rakennukseen ja rakenteiden sisään voidaan tehokkaasti rajoittaa, kun asia huomioidaan jo rakennesuunnittelun yhteydessä.

Elementit on toisaalta suunniteltava kestäväksi asennusaikaista säärasitusta ja toisaalta niillä on voitava suojata muita rakennuksen rakenteita. Esimerkiksi case-kohteen runko- ja

välipohjaelementeissä ei pehmeitä lämmöneristeitä ollut lainkaan valmiiksi asennettuina. Vasta vesikattotöiden jälkeen ulkoseiniin asennettiin lämmöneristeet kevyiden US- tai verhoiluelementtien mukana (Kuva 1). Samoin ääneneristykseen käytetyt mineraalivillaeristeet asennettiin vesikattotöiden jälkeen, kun rakenteet olivat kuivuneet riittävästi.



Kuva 1. Lämmöneristeitä ei asenneta ennen kuin vesikatto on vedenpitävä.

Rakenteiden suunnittelussa on huomioitava, että rakenteisiin ei saa jäädä vesipesiä. Kotelomaisissa rakenteissa niitä voidaan ehkäistä poraamalla runsaasti reikiä sopiviin kohtiin. Erityisesti on huomioitava mahdollisten kylpyhuone-elementtien ylä- ja alapuoliset rakenteet. Elementin alla on usein syvennys, johon vesi kerääntyy, ellei sitä johdeta hallitusti viemäreihin tai välipohjille näkyville. Välipohjilta vesi voidaan poistaa esimerkiksi lastoilla tai vesi-imureilla. Lisäksi kylpyhuone-elementin pohjarakenteiden tulisi olla sellaisia, jotka mahdollistavat kosteuden mittaamisen ja tehokkaan tuuletuksen. Ainakin näköyhteys elementin alle pitäisi järjestää silmämääräistä laadunvarmistamista varten. Sadeveden kulkeutumista välipohjilta rakenteiden sisälle voidaan estää teippaamalla välipohjaelementtien saumat (Kuva 2).



Kuva 2. Välipohjan teippaus. Välipohjien teippauksella estetään sadeveden kulkurakenteisiin ja alempiin kerroksiin.

Käytetyt puulajit määräävät kosteuden hallinnan vaatimustasoa. Kuusesta valmistetut LVL-levyt kestivät case-kohteessa talvikaudella esiintyneitä kosteusrasituksia selvästi paremmin, kuin korkeamman puristuslujuuden omaava koivuvaneri. Yleisesti puun homehtumiselle kriittisenä kosteuspitoisuutena on esitetty 20 paino-% [3], mutta case-kohteessa käytettiin raja-arvona 17 paino-%. Mittausten perusteella rakenteet pysyivät pääsääntöisesti tämän raja-arvon alla, mutta hetkittäin ja paikoitellen se ylitettiin. LVL-elementtien osalta ei kuitenkaan havaittu hetkellisten ylitysten aiheuttaneen vahinkoa.

Case-kohteen seinäelementtien leikkauspintoissa (päädyt, oviaukot, jne.) käytettiin suojaukseen hydrofobista suoja-ainetta, mutta viilupintoja ei käsitelty, koska se suojaamisen lisäksi myös



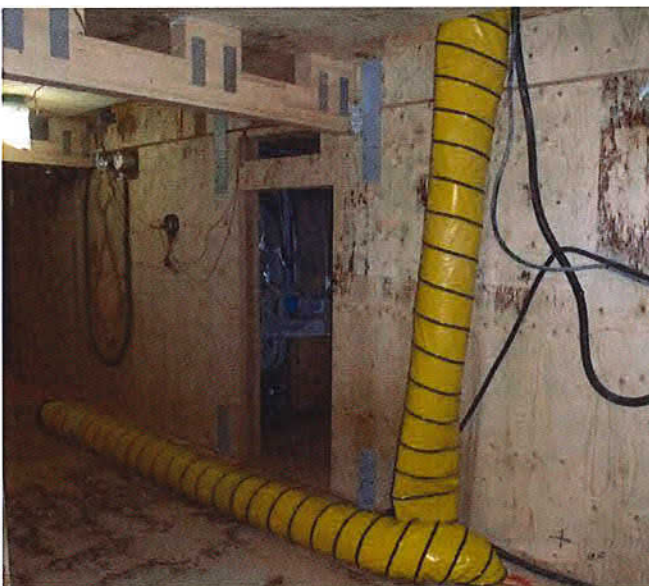
hidastaa kuivumista. Seinien alaosissa käytettiin epoksipohjaista suojakäsittelyä, vaikka tavoite on pitää ne kuivina.

## 2.2 Suojapeitteet

Case-kohteessa hyödynnettiin myös suojapeitteitä. Ensin rakennetussa talossa pitkähkön asennustauon aikana holvi suojattiin kevytpeitteillä. Peitteiden poiston jälkeen kuitenkin havaittiin, että peiton alle oli tiivistynyt vesihöyryä ja se oli myös jäänyt. Peittämisen hyöty jäi siten olemattomaksi. Pakkaskauden aikana välipohjien hyödyntäminen rakenteellisena sääsuojana on riittävää. Yli +5 asteen lämpötilassa, kun homeen synnyn edellytykset paranevat, tulee pitkäaikaisissa suojauksissa varmistaa suojauksen alle toimiva tuuletus. Ilman suhteellinen kosteus ei saa nousta haitalliselle tasolle suojapeitteiden alla. Alle 60% suhteellista ilman kosteutta voidaan pitää sopivana raja-arvona. Myöhemmin rakennetussa talossa julkisivut suojattiin kauttaaltaan suojapeitteillä viistosateen aiheuttaman kosteusrasituksen ehkäisemiseksi.

## 2.3 Kuivatus ja lämmitys

Rakennuksen kuivumisolosuhteiden perusta luodaan lämmityksellä ja tuuletuksella (kuva 3). Rakennuksen ilmanvaihdolle tulisi järjestää reittejä työmaavaiheessa esimerkiksi väliaikaisten ovien raoista, talotekniikan varauksista ja tuuletusikkunoista, joita avaamalla tai sulkemalla voidaan säätää kuivumisolosuhteet hyväksi energiaa kuitenkin tuhlaamatta. Talvella rakennettaessa ulkoilma on kuivaa ja kuivumisen järjestäminen on helppoa. Kuivumista voidaan tarvittaessa tehostaa myös puhaltimilla koneellisilla kuivureilla.



*Kuva 3. Riittäväällä lämmityksellä ja ilmanvaihdolla nopeutetaan rakenteiden kuivumista. Ilmanvaihdon riittävyys varmistetaan ilman suhteellisen kosteuden mittaamisella, jonka tulisi olla 40-60% välillä.*

Sisäilman suhteellisen kosteuden mittaamisella voidaan varmistaa sopiva tuuletus kohteessa. Alle 40 % suhteellisessa kosteudessa voidaan tuuletuksella vähentää ja yli 60 % kosteudessa lisätä. Kun työmaalla sisäilman lämpötila on yli 10 astetta ja ilman suhteellista kosteus alle 60%, rakenteet alkavat kuivua nopeasti. Mikäli rakenteet ovat kastuneet paljon, saattaa liian nopea kuivuminen olla jopa haitallista. Epätasainen elementin pinnan ja sisäosan kosteusmuodonmuutos saattaa aiheuttaa halkeamia elementteihin.

### 3. Kosteudenhallinnan suunnittelu ja laadunvarmistus

#### 3.1 Hankeprosessi ja hankkeen organisointi

Case-kohteessa käydyissä keskusteluissa kävi ilmi, että kosteudenhallinnan suunnittelussa, toteutuksessa ja sen valvonnassa vastuukysymykset ovat tärkeitä. Esimerkiksi tilaajan kosteudenhallintaa koskevien vaatimusten toteuttamisessa esiintyi puutteita. Joidenkin sääsuojaustoimenpiteiden suorittaminen jäi niin sanotusti ei-kenenkään maalle. Vuoden 2018 alussa voimaa astuva asetus rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta [4] tuonee asiaan jämäkkyyttä. Pääsuunnittelijan on huolehdittava siitä, että hankkeessa laaditaan kosteudenhallintaselvitys ja vastaavan työnjohtajan on huolehdittava työmaan kosteudenhallintasuunnitelman laadinnasta.

Kosteudenhallinnan prosessissa tärkeää on saada kaikki rakennushankkeen osapuolet sitoutumaan yhteisiin kosteudenhallinnan tavoitteisiin. Parhaiten se onnistuu ottamalla kaikki toimijat varhaisessa vaiheessa kosteudenhallinnan suunnitteluun mukaan. Kosteudenhallinnan vaatimukset eli kosteudenhallintaselvitys on ehdottomasti liitettävä pääurakan tarjouspyyntöön.

#### 3.2 Rakennushankkeen kosteudenhallintaaselvitys ja työmaan kosteudenhallintasuunnitelma

Edellä mainitun asetusluonnoksen [3] mukaan pääsuunnittelijan on huolehdittava rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen laatimisesta. Siinä esitetään kosteudenhallinnan vaatimuksia kaikkiin hankkeen vaiheisiin sekä toimintatavat vaatimusten toteutuksen varmentamiseen. Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen on sisällyttävä

- hankkeen yleistiedot,
- vaatimukset kosteudenhallinnalle hankkeen eri vaiheissa,
- toimenpiteet ja menettelyt kosteudenhallinnan vaatimusten varmentamiseen sekä
- kosteudenhallinnan henkilöresurssit.

Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen on sisällyttävä myös tieto hankkeen kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavasta henkilöstä.

Vastaavan työnjohtajan on huolehdittava työmaan kosteudenhallintasuunnitelman laatimisesta rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen pohjautuen. Siinä on esitettävä kosteudenhallinnan toimenpiteiden lisäksi myös rakennusvaiheittain kosteudenhallinnasta vastaavat henkilöt. Työmaan kosteudenhallintasuunnitelman sisältöön sovelletaan rakentamisen suunnitelmista ja selvityksistä annetun ympäristöministeriön asetuksen 15 §:ää [5], jossa kerrotaan että *”Työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaan on sisällyttävä tieto toimenpiteistä, joilla rakennusaineet ja -tuotteet sekä rakennusosat suojataan sään aiheuttamilta tai työmaan olosuhteista johtuvilta haittavaikutuksilta sekä toimenpiteistä, joilla rakennusaineiden ja -tuotteiden sekä rakennusosien kosteudensuojaus toteutetaan ja rakenteiden kuivuminen varmistetaan.”* Suositeltavaa on, että kosteudenhallintasuunnitelmassa on esitetty kaikki työmaalla käytettävät suojaustavat ja selkeät raja-arvot olosuhteille, joissa rakennetaan. Lisäksi voidaan esittää vaatimuksia väliaikaiselle sadevesien viemäroinnille sekä lumikolien ja vesimureiden käytölle.



### 3.3 Aikataulu ja työjärjestykset

Nopea rungon ja julkisivurakenteiden asennus merkitsee kosteusrasitusten ja –riskien pienentämistä sekä kuivumisen nopeutumista. Nopeuden saavuttamiseksi suunnittelijoiden on syytä tehdä yhteistyötä asennusurakoitsijan kanssa, sillä kiinnitysten määrä ja laatu ovat merkittäviä asennusnopeuden kannalta. Esimerkiksi höyrynsulun asennus liitoskohdissa on tyypillinen asia, joka edellyttää usein sekä suunnittelijoiden että urakoitsijoiden yhteistyötä (Kuva 4).



*Kuva 4. Höyrynsulun ehjyys välipohjien kohdalla on haasteellista ulkoseinäelementtien kiinnikkeiden vuoksi. Höyrynsulku on otettava huomioon sekä rakenteiden liitosten suunnittelussa, että työjärjestyksiä suunniteltaessa.*

### 3.4 Työmaan olosuhteiden seuranta

Tavoitteena tulee olla, että työmaalla saadaan mahdollisimman pian aikaiseksi hyvät kuivumisolosuhteet, jotta rakennuskosteus saadaan kuivattua. Silmämääräinen veden ja kosteuden tarkkailu on lähtökohta kuivumisen varmistamiseen. Lammikot on kuivattava mahdollisimman pian eikä kosteutta saa näkyä rakenteiden pinnoilla useita päiviä.

Lämpötilaa ja suhteellista kosteutta työnjohdon on helppo seurata työmaalla esimerkiksi käsikäyttöisillä ilmankosteusmittareilla. Sisä- ja ulkoilman olosuhteiden lisäksi tarvitaan tietoa myös rakenteiden kosteuksista esimerkiksi ennen vesieristeiden ja pintamateriaalien asentamista.

Luotettavin puun kosteuspitoisuuden määrittäminen on koepalojen poraaminen ja niiden punnitsemista laboratoriossa ennen ja jälkeen kuivattamisen. Menetelmä on kuitenkin hidas ja työläs. Case-kohteissa koepalamittausten tulokset täydensivät ja varmistivat silmämääräisten havaintojen ja rakenteista tehtyjen porareikämittausten tuloksia. Porareikämittauksessa liimakerrokset saattavat haitata luotettavien tulosten saantia. Yksi mahdollinen ratkaisu on viistää kosteusanturin asennusputken pää putken halkaisijan pituiselta matkalta, mikä mahdollistaa kosteuden vapaamman tasaantumisen useamman viilun matkalta.

Case-kohteessa tehtiin mittauksia myös puikkokosteusmittarilla ja pintakosteuden osoittimilla, koska tuotannon ohjauksen näkökulmasta tarvitaan helppoja ja nopeita menetelmiä kosteuden mittaamiseen. Puikkokosteusmittaria käytetään yleisesti puun kosteuspitoisuuden mittaamiseen, mutta LVL-elementtien kosteusmittauksiin se sopii huonosti tai ei ollenkaan.

Puikkokosteusmittarin piikit on lyötävä riittävän syväälle eli noin 5 millimetrin syvyyteen

luotettavan tuloksen saamiseksi. Kutenkin kolmen millimetriä paksujen viilujen välissä oleva liimakerros vääristää tuloksia, koska sen sähkönjohtavuus poikkeaa suuresti puun sähkönjohtavuudesta. Pintakosteudenosoittimien antamat tulokset eivät juurikaan anna lisätietoa pelkkään silmämääräiseen arviointiin verrattuna.

#### 4. Yhteenveto

Puukerrostalorakentamisen kosteudenhallinta on monitahoinen haaste. Haasteiden selättämiseen tarvitaan selkeä organisaatio sekä täsmälliset suunnitelmat ja sopimukset. Keskeisiä asiakirjoja ovat hankkeen kosteudenhallintaselvitys ja työmaan kosteudenhallintasuunnitelma. Yhdessä ne voivat antaa hankkeelle edellytykset kosteudenhallinnassa onnistumiseen.

Kosteudenhallinnan prosessissa tärkeää on saada kaikki rakennushankkeen osapuolet sitoutumaan kosteudenhallinnan tavoitteisiin. Parhaiten se onnistuu ottamalla kaikki toimijat varhaisessa vaiheessa kosteudenhallinnan suunnitteluun mukaan. Yhteistyö tilaajan, pääsuunnittelijan, erikoisuunnittelijoiden, vastaavan työnjohtajan ja puuosatoimittajien kesken on välttämätöntä. Kaikkien on puhallettava yhteiseen hiileen eikä tärkeitä tehtäviä saa jäädä ”ei-kenenkään maalle.” Kosteudenhallinnan vaatimukset eli kosteudenhallintaselvitys on ehdottomasti liitettävä pääurakasopimukseen sekä rakennuksen runkoa ja vaippaa koskeviin sopimuksiin.

Kylmänä vuodenaikana rakenteellinen sääsuojaus on riittävää, kun 1) rakenteet suunnitellaan useaan suuntaan kuivuviksi ja kestävämmän kosteusrasitusta, 2) veden ja lumen poistaminen hoidetaan nopeasti ja 3) rakenteille luodaan lämmityksellä ja ilmanvaihdolla hyvät kuivumisolosuhteet veden tulon loppumisen jälkeen. Laadunvarmistuksessa asenne ja osaaminen ovat tärkeämpiä kuin suurikaan määrä mittaustuloksia, koska mittaustuloksiin reagoiminen edellyttää jo kohonneita kosteuksia. Lumen ja veden valumisen rajaaminen, ohjaaminen ja poistaminen on oltava päivittäin vastuullisesti hallinnassa.

#### Lähdeluettelo

- [1] Hurmekoski, E., Jonsson, R. & Nord, T. 2015. Context, drivers, and future potential for wood-frame multi-story construction in Europe, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 99 pp. 181-196.
- [2] Penttilä, O. 2017. Puukerrostalorakentamisen kosteudenhallintaprosessi ja sen kehittäminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 52s.
- [3] Suomen Standardisoimisliitto. Puurakenteiden toteuttaminen. Rakennuksien kantavia rakenneosia koskevat säännöt. SFS Standardi 5978.
- [4] Ympäristöministeriön asetusluonnos rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta (luonnos 21.7.2017). Ympäristöministeriö.
- [5] Ympäristöministeriön asetus (216/2015) rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä