

# CLT-koetalon lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan analysointiraportti Q4/2014





**CLT-koetalon lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan  
analysointiraportti Q4/2014**



Juha Autioniemi • Valteri Pirttinen • Mikko Vatanen

# **CLT-koetalon lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan analysointiraportti Q4/2014**

Sarja B. Raportit ja selvitykset 6/2015

© Lapin ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-316-079-8 (pdf)  
ISSN 2342-2491 (verkkojulkaisu)

Lapin ammattikorkeakoulun julkaisuja  
Sarja B. Raportit ja selvitykset 6/2015

Rahoittajat: Digipolis, Ammattiopisto Lappia,  
Lapin Liitto, Vipuvoimaa EU:lta,  
Euroopan Kehitysrahasto  
Kirjoittajat: Juha Autioniemi, Valter Pirttinen &  
Mikko Vatanen  
Taitto: Lapin AMK, viestintäyksikkö

Lapin ammattikorkeakoulu  
Jokiväylä 11 C  
96300 Rovaniemi

Puh. 020 798 6000  
[www.lapinamk.fi/julkaisut](http://www.lapinamk.fi/julkaisut)

Lapin korkeakoulukonserni



Lapin korkeakoulukonserni LUC  
on yliopiston ja ammattikorkeakoulun strateginen yhteenliittymä.  
Konserniin kuuluvat Lapin yliopisto  
ja Lapin ammattikorkeakoulu.  
[www.luc.fi](http://www.luc.fi)

# Tiivistelmä

Q4-analysointiraportti on viimeinen neljästä CLT-koetalon 1. käyttövuotta koskevasta Lapin AMKin analysointiraportista. Analysointiraporteissa tutkitaan CLT-koetalon lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa kyseisellä ajanjaksolla ottaen huomioon ajanjakson erityispiirteet ja niiden vaikutukset koetalon rakennetyyppien toimintaan. Q4-raportissa on tarkasteltu Kemin Digipolis-kampuksen alueelle rakennetun CLT-rakenteisen koetalon lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa vuoden 2014 lokajoulukuun välisellä ajanjaksolla. Raportti on jatkoa aikaisemmin julkaistuille Q1- (tammi-maaliskuu), Q2- (huhti-kesäkuu) ja Q3-raporteille (heinä-syyskuu). Analysointiraporteissa esitellään CLT-koetaloprojektin kannalta keskeisiä aiheita, joita ovat CLT-runkoisten vaipparakenteiden toiminta Suomen olosuhteissa sekä toteutettujen muutujien, kuten ulkoverhouksen värin (tumma/vaalea), ilmansuunnan (etelä/pohjoinen) ja eristemateriaalin (puukuitu/mineraalivilla) vaikutus koetalon lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan.

Vuoden 2014 neljännen mittausjakson ulkolämpötilat olivat hieman korkeampia verrattaessa keskiarvoisiin lämpötiloihin. Keskiarvoiset ulkolämpötilat saatiin ilmatieteen laitoksen julkaisemasta raportista, johon on tilastoitu Suomen ilmastoa vuodelta 1981 lähtien.

- Lokakuun 2014 CLT-koetalolla mitattu keskiarvoinen ulkolämpötila oli 1,7 °C kun tilastoidun keskiarvon mukainen ulkolämpötila oli 2,4 °C.
- Marraskuun 2014 CLT-koetalolla mitattu keskiarvoinen ulkolämpötila oli -1,8 °C kun tilastoidun keskiarvon mukainen ulkolämpötila oli -3,7 °C.
- Joulukuun 2014 CLT-koetalolla mitattu keskiarvoinen ulkolämpötila oli -4,9 °C kun tilastoidun keskiarvon mukainen ulkolämpötila oli -8,5 °C.

CLT-koetalossa olevaa ilmankostutinta pidettiin päällä Q4-mittausjakson aikana loka- ja marraskuun ajan. Ilmankostutin oli käytössä myös joulukuun alussa (4.12.2014 asti), jonka jälkeen kostutin kytkettiin pois päältä, sillä laitteiston jatkuvan huollon järjestäminen lomien aikana nähtiin ongelmalliseksi. Ilmankostuttimella pidettiin koetalon sisäilman suhteellista kosteutta 35–39 % tasolla. Ilmankostuttimen avulla tavoiteltu kosteuslisän tuotto on keskimäärin 2–3 g/m<sup>3</sup>.

CLT-koetalon rakenteissa on yhteensä 48 mittauspistettä, joissa olevat anturit mittaavat lämpötilaa ja suhteellista kosteutta 1 minuutin välein. Mittauspisteistä saatua dataa esitetään paikallisesti esitystietokoneella sekä sitä myös visualisoidaan [www.kiintopuu.fi](http://www.kiintopuu.fi) -nettisivuilla. Rakenteista saadun mittausdatan pohjalta on tuotettu raportissa oleva lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan analysointi.

Mittausdatan avulla tehtyjen analysointien perusteella voidaan todeta, että CLT-koetalon vaipparakenteet toimivat lämpö- ja kosteusteknisesti hyvin. Analysoinnin perusteella voidaan myös todeta, että CLT-levy toimii rakenteessa tehokkaana höyrynsulkuna estäen samalla haitallisen diffuusion esiintymisen. CLT-levyä oikein käytettäessä rakenteessa ei siis tarvita erillistä höyrynsulkua. Mittausdatan laskennallisen tarkastelun perusteella voidaan todeta, että CLT-koetalon rakenteissa ei ole ollut homeen kasvun edellyttämiä olosuhteita loka- joulukuun aikajaksolla\*.

\* VTT-TTY homemallin tilanteesta tarkemmin kohdassa 3.6



# Sisällys

TIIVISTELMÄ. . . . .	5
KÄSITTEET JA MÄÄRITELMÄT . . . . .	9
1 JOHDANTO/TAUSTA. . . . .	11
2 TUTKIMUSJÄRJESTELYT . . . . .	13
3 TULOKSET: Q4/2014 KOKO TARKASTELUJAKSON HUOMIOT CLT-KOETALOSSA . . . . .	15
3.1 Lämpötekkinen toimivuus . . . . .	16
3.2 Kosteustekkinen toimivuus . . . . .	16
3.3 Hygroskooppisuus US1 – US2 . . . . .	18
3.4 Pohjoinen / etelä . . . . .	19
3.5 Tumma ulkoverhous / vaalea ulkoverhous . . . . .	20
3.6 Homeriskitarkastelu . . . . .	22
3.7 Muita huomioita Q4-mittausjaksolla . . . . .	23
3.7.1 Eroavaisuudet mittaussektoreiden layer 1:sten lämpötiloissa ja suhteellisissa kosteuksissa . . . . .	23
3.7.2 Eroavaisuudet alapohjasektoreiden välillä lämpötilassa ja suhteellisessa kosteudessa. . . . .	24
4 YHTEENVETO . . . . .	27
LÄHDELUETTELO . . . . .	29



# Käsitteet ja määritelmät

## ABSORPTIO

Rakennusaine ottaa itseensä vettä ympäristöstä (kostuminen). (Björkholtz 1997.)

## ABSOLUUTTINEN KOSTEUS

Ilman todellinen vesihöyrymäärä tilavuusyksikköä kohden ( $\text{g/m}^3$ ). (RT- 05-10410 1989, 2)

## DESORPTIO

Rakennusaine luovuttaa kosteutta ympäristöönsä (kuivuminen). (Björkholtz 1997.)

## DIFFUUSIO

Diffuusio on kaasumolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksessa olevia yksittäisen kaasun pitoisuuseroja (tai osapaine-eroja). Diffuusiossa kaasu siirtyy korkeammasta pitoisuudesta alempaan pitoisuuteen. Vesihöyryn diffuusiossa vesimolekyylit siirtyvät korkeammasta pitoisuudesta alhaisempaan. (Björkholtz 1997.)

## HYGROSKOOPPISUUS

Hygroskooppisuus tarkoittaa huokoisen aineen kykyä sitoa itseensä kosteutta ilmasta ja luovuttaa sitä takaisin ilmaan. Kun aineen huokosissa olevan ilman suhteellinen kosteus on asettunut samaan arvoon sitä ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden kanssa, on saavutettu ns. hygroskooppinen tasapainokosteus. Tämän suuruus on erilainen eri materiaaleilla. (Björkholtz 1997.)

## HÖYRYNSULKU

Höyrynsulku on ainekerros, jonka pääasiallisena tehtävänä on estää vesihöyryn haitallinen diffuusio rakenteeseen tai rakenteessa. Höyrynsulkuna toimivan rakennusmateriaalin vesihöyrynläpäisevyys arvo  $[Z_v, Z_p]$  on pieni. (Rafnet 2004.)

## KASTEPISTE

Tietyssä lämpötilassa, kastepisteessä, ilma voi sisältää enintään tietyn määrän vesihöyryä. Kyseistä vesihöyry- ja kosteusmäärää kutsutaan yleisesti kyllästyskosteudeksi. Kyllästyskosteus riippuu ilman kosteudesta, sillä mitä suurempi lämpötila on niin, sitä suurempi on myös kyllästyskosteus. (Björkholtz 1997.)

#### KONVEKTIO

Konvektiossa lämpö siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Luonnollinen konvektio syntyy esimerkiksi ulkoseinien huokoisessa lämmöneristeessä tai ikkunan ilmaaossa. Pystyrakenteessa oleva ilma lämpenee sisäpinnan läheisyydessä, jolloin tiheys pienenee ja se pyrkii virtaamaan ylöspäin, lisäksi kylmemmän ulkopinnan puolella ilma jäähtyy ja virtaa alaspäin. (Björkholtz 1997.)

#### SUHTEELLINEN KOSTEUS

Suhteellisella kosteudella [RH] tarkoitetaan ilmassa olevan kosteusmäärän suhdetta kyllästyskosteuteen. (Björkholtz 1997.)

# 1 Johdanto/tausta

Tutkimuksen lähtökohtana on Digipolis Oy:n hallinnoima, CLT-koetalon ympärille keskittyvä, koetaloprojekti. Projektin toteuttajaosapuolina ovat Lapin AMK, Kemin Digipolis Oy ja ammattiopisto Lappia. Projektin toimintoina toteutetaan:

- CLT-pientalon kokeellinen rakennushanke
- CLT-rakenteiden toimivuuden tutkimushanke
- CLT-rakentamisen tiedonkeruu- ja esittelyhanke.

Lapin AMKin päävastuulla ovat koetaloprojektissa toteutettavat rakennusfysikaaliset tutkimukset sekä uudesta rakenneratkaisusta koostettava koulutusmateriaali. Lapin AMKin toteuttamia tutkimuksia CLT-koetalolla ovat:

- lämpö- ja kosteustekninen seurantatutkimus
- rakenteiden paukemelun seurantatutkimus
- rakenteiden muodonmuutosten mittaukset
- vaipparakenteiden ilmatiivyyden pitkittäistutkimus.

CLT (Cross Laminated Timber) koostuu höylätyistä ja ristiin liimatuista lautakerroksista. Tavallisimmin käytetään kolmea tai viittä päällekkäistä lautakerrosta. Valmistustavalla saadaan aikaan hyvin paloa kestävä, luja ja erittäin hyvin muotonsa säilyttävä sekä muihin ominaisuuksiinsa nähden kevyt elementti. CLT-levyjä voidaan käyttää rakentamisessa kantavina tai jäykistävinä rakenneosina. Vaipparakenteissa käytettyinä levyt eristetään normaaliin tapaan.

Projektin taustana on CLT-rakentamisen kasvava kiinnostus sekä Euroopassa että Pohjois-Amerikassa. Stora Enso on tuonut CLT-rakentamisen myös Suomeen, mutta yrityksen elementtien valmistus tapahtuu nykyisellään vielä Itävallan tehtailla. Suomessa ensimmäisenä CLT-levyjien tuotannon aloitti Oy CrossLam Kuhmo Ltd. Tehtaan tuotanto alkoi 1.12.2014. Projektin tarkoitus on myös lisätä tietoisuutta CLT-rakentamisesta sekä vauhdittaa tämäntyyppisen rakentamisen huomioimista rakennusalan koulutuksessa.

CLT-koetaloprojektissa toteutettavan seurantatutkimuksen tarkoituksena on täydentää sitä kuvaa, mikä CLT-rakenteista on jo tähän mennessä tutkimuksellisin

keinoin selvitetty. Suomalaisessa tutkimuksessa CLT-rakenteiden rakennusfysikaalista toimivuutta on aiemmin selvitetty mm. VTT:n tutkimusselostuksessa vuodelta 2011 (VTT 2011). Selvityksessä tehtiin rakenteen tarkasteluita simuloimalla lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa WUFI 5.1 Pro laskentaohjelmiston avulla.

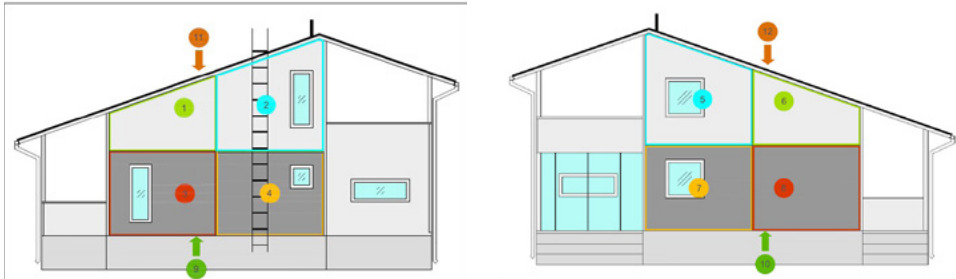
CLT-koetalossa tehtävä kenttätutkimus sopii hyvin laskennallisten tarkasteluiden rinnalle todentamaan rakenteiden toimintaa todellisissa olosuhteissa. Koetalossa toteutettavat vaipparakenteiden lämpö- ja kosteustekniset mittaukset ovat tärkeä osa koetaloprojektin tuloksia. Lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden lisäksi CLT-koetaloprojektin tutkimuksissa selvitetään useita muita CLT-rakentamisen kannalta mielenkiintoisia aiheita.

Tämä raportti on viimeinen neljästä julkaistavasta CLT-koetalon lämpö- ja kosteusteknisistä analysoinnin seurantaraportista, aikaisemmat Q1- ja Q2-analysointiraportin julkaistiin vuonna 2014 ja Q3-analysointiraportti vuonna 2015. Raportissa analysoidaan loka-, marras- ja joulukuun rakennusfysikaalisia tapahtumia. Raportissa käydään läpi CLT-koetalon rakenteen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa mittausjaksolla, vertaillaan koetalossa käytettäviä ulkoseinärakenteita (US1-US2) sekä tutkitaan julkisivun ja ulkoverhouksen värin vaikutusta rakenteen toimintaan koetalossa.

CLT-koetalossa olevaa ilmankostutinta pidettiin päällä Q4-mittausjakson aikana loka- ja marraskuun ajan. Ilmankostutin oli käytössä myös joulukuun alussa (4.12.2014 asti), jonka jälkeen kostutin kytkettiin pois päältä, sillä laitteiston jatkuvan huollon järjestäminen lomien aikana nähtiin ongelmalliseksi. Ilmankostuttimella simuloidaan asumisesta johtuvaa kosteuslisää. Ilmankostuttimella pidettiin koetalon sisäilman suhteellista kosteutta 35–39 % tasolla. Ilmankostuttimen avulla tavoiteltu kosteuslisän tuotto on keskimäärin 2-3g/m<sup>3</sup>.

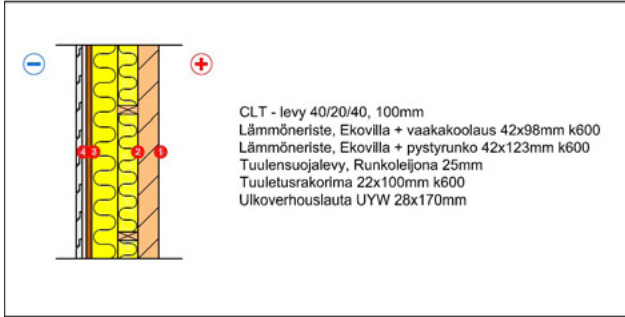
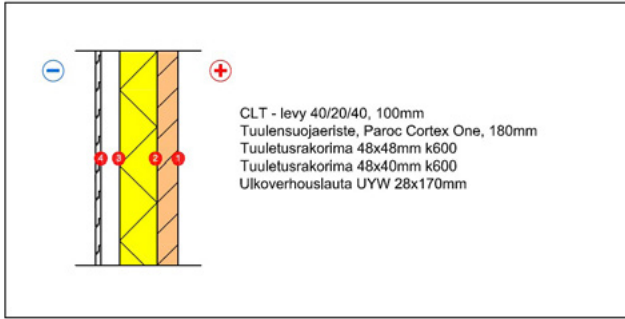
## 2 Tutkimusjärjestelyt

Vaipparakenteiden lämpö- ja kosteustekninen tutkimus on keskitetty talon pohjois- ja eteläpäätyihin. Yhdellä tutkittavalla seinällä on käytetty julkisivussa kahta erilaista pintaväriä (vaalea ja tumma) ja kahta erilaista eristemateriaalia (mineraalivilla ja puukuitueriste). Näin ollen tutkittavia sektoreita tulee yhdelle seinälle neljä ja kahdelle seinälle yhteensä kahdeksan kappaletta. Ala- ja yläpohjarakenteet mukaan luettuina tutkittavia rakennuksen vaipan rakennetyyppejä on kymmenen erilaista. Mittaussektoreita on kuitenkin kaikkiaan 12 kpl, sillä ylä- ja alapohjassa on molemmissa kaksi sektoria. US<sub>1</sub>-seinärakenne on toteutettu sektoreihin 1,3,6 ja 8 ja US<sub>2</sub>-seinärakenne puolestaan sektoreihin 2,4,5 ja 7. Alapohjassa on sijoitettu sektorit 9 ja 10 sekä yläpohjaan sektorit 11 ja 12. (Kuva 1. Mittaussektorit)

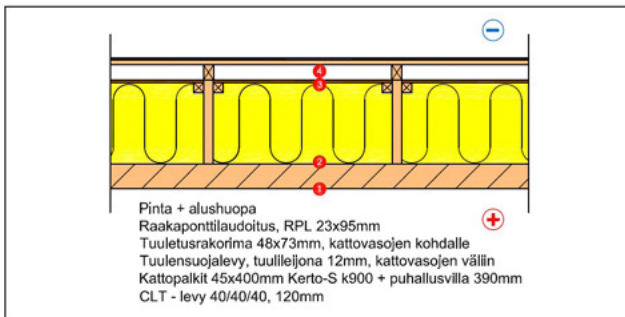
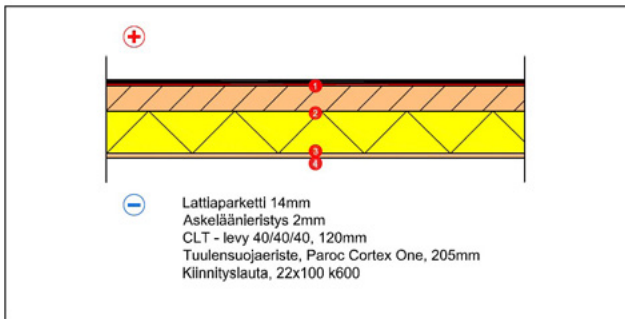


**Kuva 1.** Mittaussektorit pohjoinen - etelä

Vaipparakenteissa mitataan reaaliaikaisesti lämpötilaa ja suhteellista kosteutta rakenteen poikkileikkauksen suunnassa yhteensä neljässä mittauspisteessä. Raportissa käytetään mittauspisteistä nimitystä Layer. Tutkittavat tasot eli layerit rakenteessa ovat: CLT-levyn sisäpinta (1), CLT-levyn ulkopinta/eristetilan sisäpinta (2), eristetilan ulkopinta/tuulensuojan sisäpinta (3), ilmarako/ulkoverhouksen takapinta/ryömintätila (4). Antureiden asemointi rakenteiden poikkileikkauksissa on esitetty kuvissa 2 ja 3.



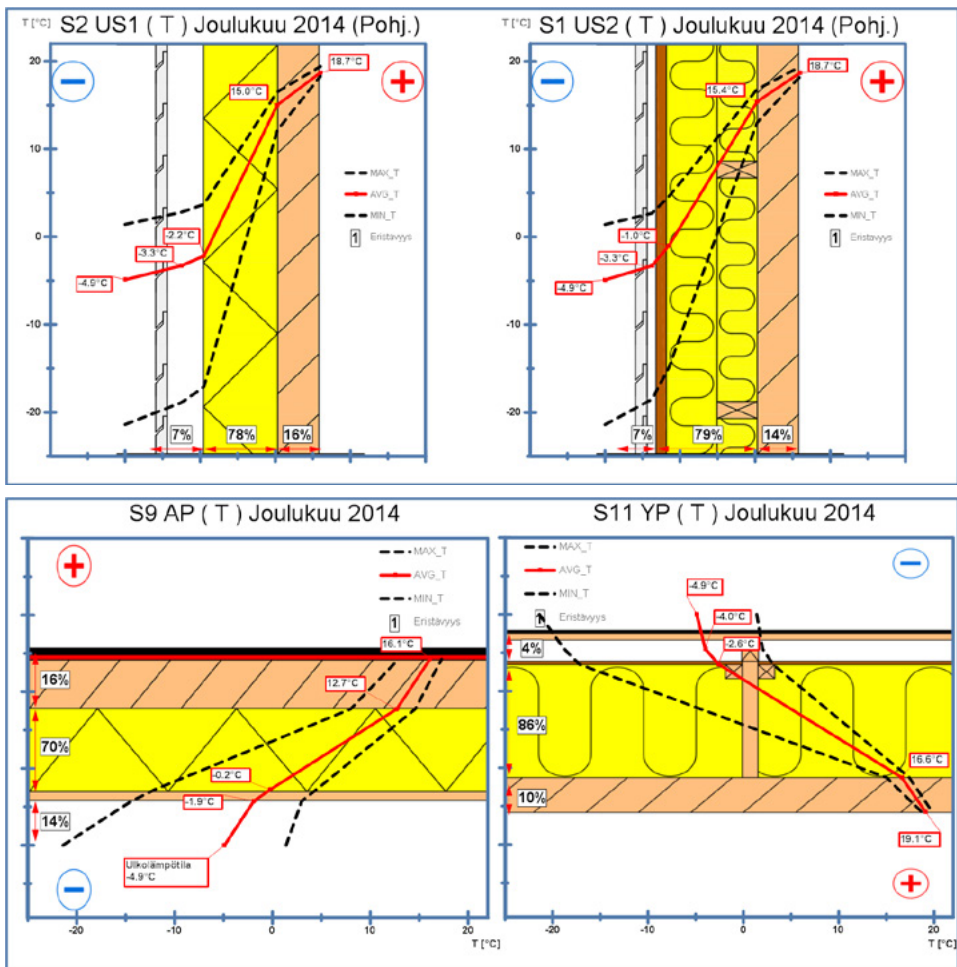
**Kuva 2.**  
 Rakenneleikkaukset ja mittauslayerit US1 ja US2



**Kuva 3.**  
 Rakenneleikkaukset ja mittauslayerit AP ja YP



# 3 Tulokset: Q4/2014 koko tarkastelujakson huomioiden CLT-koetalossa



**Kuva 4.** Lämpötilajakaumat rakenteissa joulukuussa 2014 mittaussektoreissa 2 (US1), 1 (US2), 9 (AP) ja 11 (YP)

### 3.1 LÄMPÖTEKNINEN TOIMIVUUS

*Kuvassa 4* on esitetty lämpötekniisten mittausten tuloksia CLT-koetalolta (kesäkuu 2014). Kuvassa on rakenteen poikkileikkaukseen sijoitettuna kuukauden keskiarvolämpötilat (punaiset käyrät) ja lämpötilamittausten vaihteluvälit (mustat katkoviivat). Mittausdatasta laskettujen tulosten perusteella voidaan todeta, että rakenteet toimivat lämpötekniisesti hyvin. Rakenteiden osien vaikutus lämpötilajakaumaan ilmenee alla olevien kuvien mukaisesti kesäkuun mittausarvoilla pohjoisen puolisella julkisivulla. Eristetilan osuus lämpötilajakaumasta on ollut välillä 45–71 %, CLT-levyn välillä 5–13 % ja rakenteen ulompien osien välillä 17–50 %. Yläpohjarakenteessa (YP) huomataan auringon huomattava lämmittävä vaikutus lämpötilajakaumaan (rakenteen uloimmissa osissa 50 % lämpötilajakaumasta). Alapohjan (AP) kuvaajasta nähdään myös ryömintätilan vaikutus rakenteen eristävyteen (18 % lämpötilajakaumasta).

Kesäkuun kuvaajista havaitaan, että US2-rakenteen layerissä 3 lämpötila on 1,2 °C suurempi verrattaessa US1-rakenteen vastaavaan. Lämpötilaero johtuu US2-rakenteen 25 mm paksuisesta tuulensuojalevystä ja lämpötilaero havaitaan tuloksissa koko tutkimuksen ajan. Rakenne- ja lämpötilaero on huomioitava myös vertailtaessa suhteellisen kosteuden arvoja vastaavissa tilanteissa.

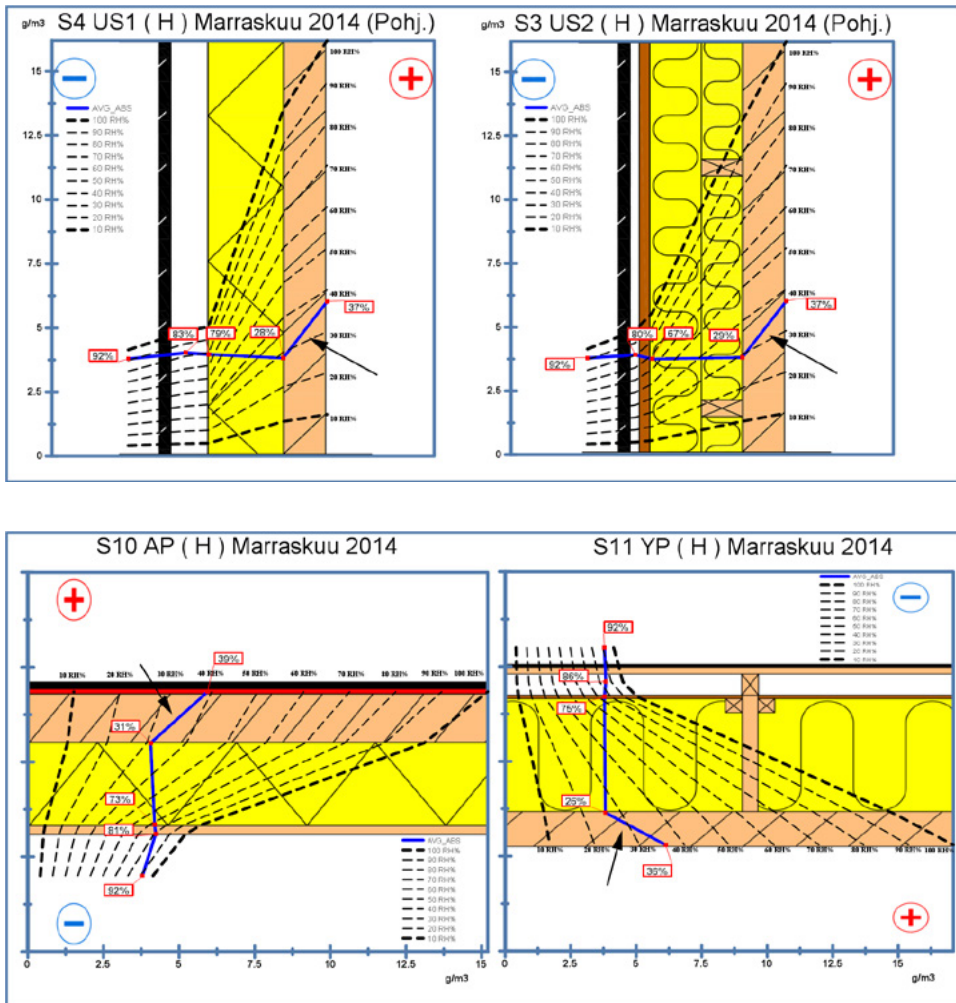
Lämpötilojen vaihteluvälit (minimi- ja maksimikäyrästäjien erot) ovat olleet lähes yhtä suuret rakenteen eri osissa tällä tarkastelujaksolla, kun ne edellisen jakson aikana

### 3.2 KOSTEUSTEKNINEN TOIMIVUUS

*Kuvassa 5* on esitetty kosteustekniisten mittausten tuloksia CLT-koetalolta (marraskuu 2014). Kuvassa on rakenteen poikkileikkaukseen sijoitettuna kuukauden keskiarvokosteuden lukemat (siniset käyrät). Lukemat on esitetty absoluuttisen kosteuden ( $\text{g/m}^3$ ) arvoina. Lisäksi kuvaan on sovitettu suhteellisen kosteuden käyrästäjöt, jotka ovat lämpötilariippuvaisia. Näin kuvasta voidaan lukea mittaustulokselle kaksi arvoa, absoluuttinen ja suhteellinen kosteus.

Mittaustuloksista voidaan päätellä, että CLT-levy rakenteen sisäpinnassa toimii rakenteellisena höyrünsulkuna tehokkaasti ja estää diffuusion vaikutuksesta siirtyvän kosteusvirran sisäilmasta rakenteen ulompiin osiin (osoitettu Kuva 5 mustin nuolin). CLT-koetalon rakenteiden kosteustekniinen toimivuus oli myös Q4-mittausjaksolla erinomaisella tasolla.

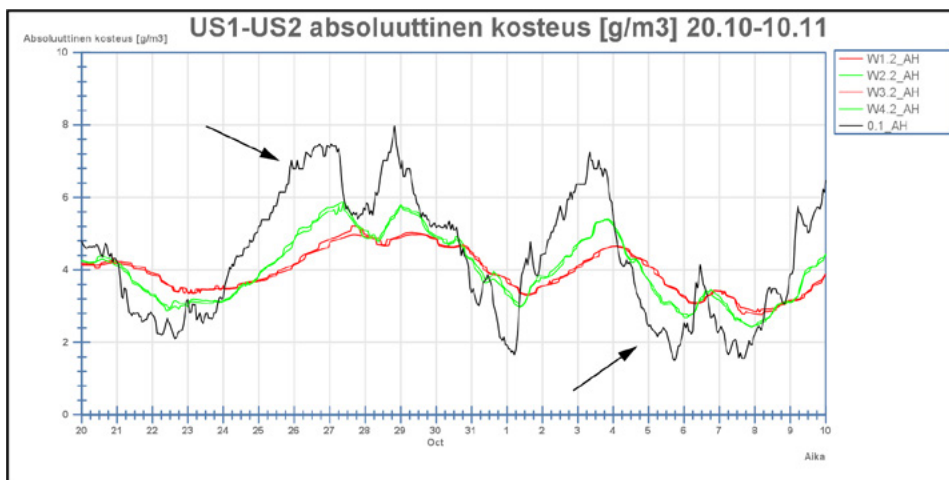
Joulukuun kuvaajista nähdään, että absoluuttisen kosteuden ero CLT-elementin eri puolilla on huomattava, eikä kosteutta siirry CLT-levyn läpi juuri lainkaan. Lähellä kyllästyskosteutta (eli kastepistettä) olevia tai muutoin haitallisia suhteellisen kosteuden arvoja ei ole mittausjakson aikana esiintynyt koetalon rakenteissa. Tarkastelujakson muut kuvaajat löytyvät raportin lopusta liitteinä.



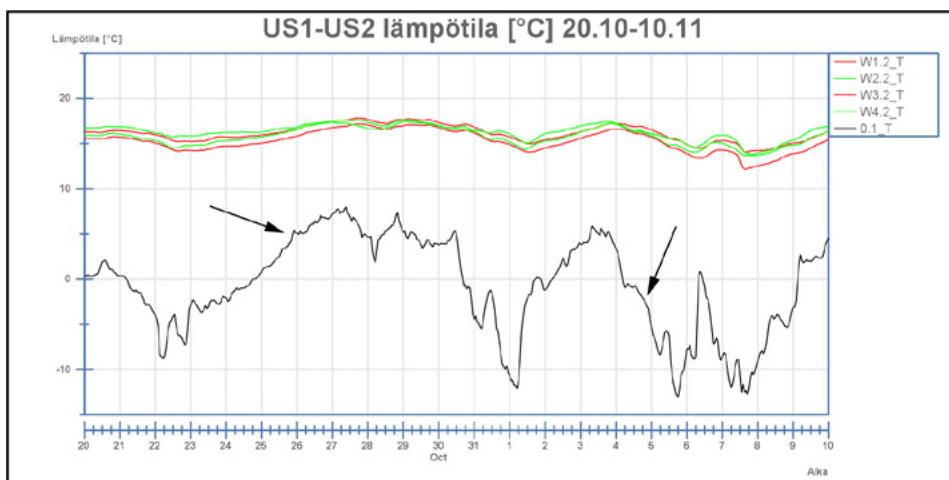
**Kuva 5.** Kosteusjakaumat rakenteissa marraskuussa 2014 mittaussektoreissa 4 (US1), 3 (US2), 10 (AP) ja 11 (YP)

### 3.3 HYGROSKOOPPISUUS US1 – US2

Mineraalivillan (US<sub>1</sub>) hygroskooppisuus on pientä ja tämä on havaittavissa, kun ulkolämpötila laskee nopeasti ja ilman absoluuttinen kosteus pienenee. Tällöin koko eristekerroksen absoluuttinen kosteus laskee nopeasti ulkoilman tasolle (ns. desorptio). Puukuitueristeen (US<sub>2</sub>) hygroskooppisuus on huomattavasti suurempaa ja tämä havaitaan ulkoilman muuttuessa kuivemmaksi, jolloin puukuitueriste pitää absorptoituneen kosteuden itsessään huomattavasti mineraalivillaa pidempään. Sama ilmiö on havaittavissa nopeissa muutoksissa myös toiseen suuntaan.



**Kuva 6.** Layer 2 (sektorit 1,2,3 ja 4) sekä ulkoilma; absoluuttinen kosteus



**Kuva 7.** Layer 2 (sektorit 1,2,3 ja 4) sekä ulkoilma; lämpötila

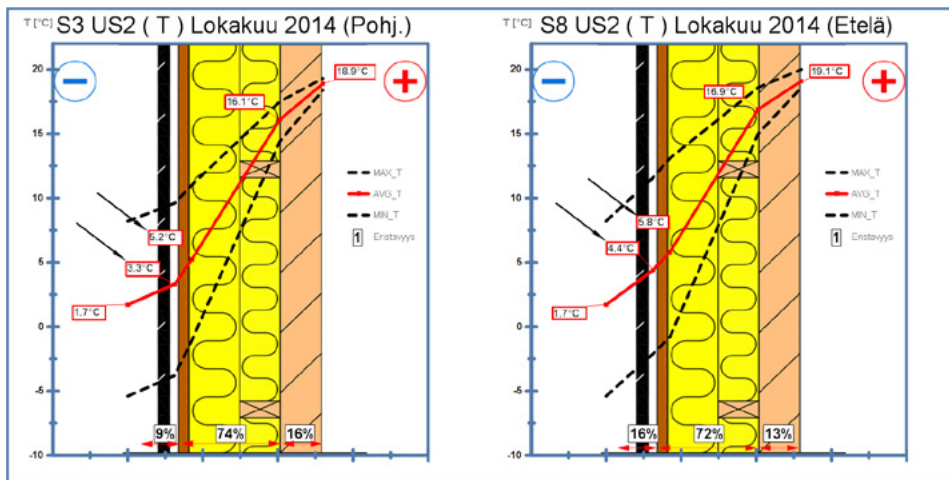
Tällöin puukuitueriste puolestaan absorboi itseensä kosteutta ympäristön kosteusolosuhteiden noustessa ja absoluuttinen kosteus nousee hitaammin kuin mineraalivillan huokosilmassa. Kokonaisuuteen vaikuttaa myös CLT-levyn toiminta, joka sekin tasoittaa ympäristön kosteusvaihteluita niin sisäilmassa kuin eristetilassa.

Kuvassa 6 esitetään mineraalivillaeristeisen (US<sub>1</sub>) ja puukuitueristeisen (US<sub>2</sub>) seinärakenteen absoluuttiset kosteudet layerissä 2 sekä ulkoilman absoluuttista kosteutta aikavälillä 20.10–10.11. Kuvassa esitetään US<sub>1</sub>-seinärakenteita vihreällä värillä ja US<sub>2</sub>-seinärakenteita punaisella. Musta käyrä kuvaa ulkoilman absoluuttista kosteutta. Kuvasta 6 huomataan, kuinka mineraalivillaeristeinen seinä reagoi puukuitueristeistä seinää nopeammin ulkoilman absoluuttisen kosteuden muutoksiin. Kuvassa 7 on esitetty samojen mittauspisteiden lämpötilat samalla ajanjaksolla. Tarkasteltavan ajanjakson (20.10–10.11) valintaperusteena olivat ulkoilman absoluuttisen kosteuden suuret vaihteluvälit, joiden vuoksi seinärakenteiden erilaiset hygroskooppiset ominaisuudet tulevat selvästi ilmi kuvassa 6. Kyseisellä, materiaalien ominaisuuksiin liittyvällä ilmiöllä, ei ole tarkasteltavalla ajanjaksolla ollut vaikutusta eristeiden lämpö- tai kosteustekniseen toimivuuteen.

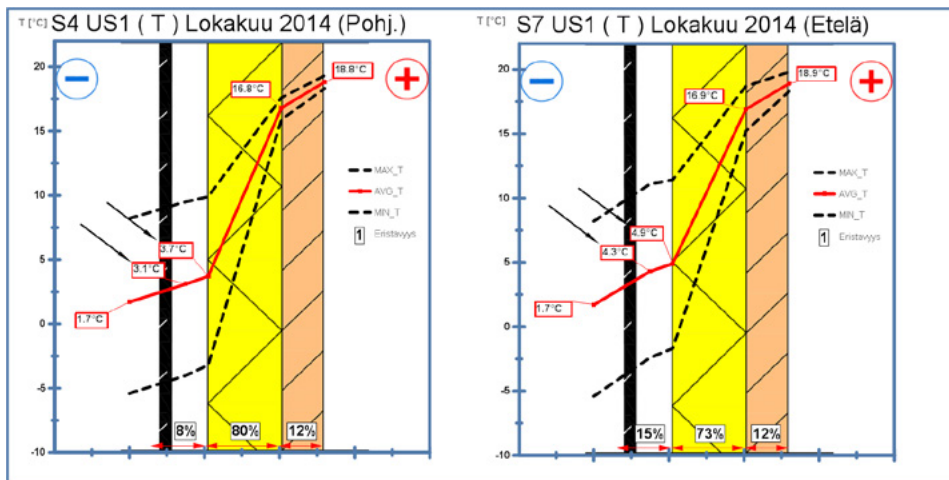
### 3.4 POHJOINEN / ETELÄ

Kuten jo aikaisemmissa analysointiraporteissa on huomattu, julkisivun ilmansuunnalla on huomattava vaikutus seinärakenteen lämpötekniiseen toimintaan. Q<sub>4</sub>-mittausjakson mittaustuloksissa julkisivun ilmansuunnan vaikutus oli vähentynyt huomattavasti auringon säteilyenergian pienenemisen vuoksi, verrattaessa Q<sub>2</sub>- ja Q<sub>3</sub>-ajanjakson vastaaviin. Suurimmat vaikutukset julkisivun ilmansuunnalla olivat loka- ja marraskuussa. Tähän ilmansuunnan vertailuun valittiin lokakuun kuvaajat, sillä mittausdatan mukaan lokakuussa lämpötilaerot kuukausikeskiarvoissa pohjoisen ja etelän julkisivun välillä olivat suurimmat.

Kuvissa 8 ja 9 esitetyistä kuvaajista havaitaan yli 0,5 °C ero molemmissa seinärakenteissa layereissa 3 ja 4. Q<sub>4</sub>-mittausjakson aikana julkisivun ilmansuunnalla ei ollut huomattavaa vaikutusta layerei-den 1 ja 2 (rakenteen sisemmät osat) lämpötiloihin. Muiden mittausjakson kuukausien keskiarvolämpötilojen eroavaisuuksia voi tarkastella näiden sektoreiden osalta liitteessä esitettyjen mittaustulosten perusteella. Rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta pohjois- ja eteläseinien välillä esiintyvät lämpötilaerot eivät ole mittausjaksolla heikentäneet.



**Kuva 8.** Ilmansunnan vaikutus US2 rakenteeseen lokakuussa 2014



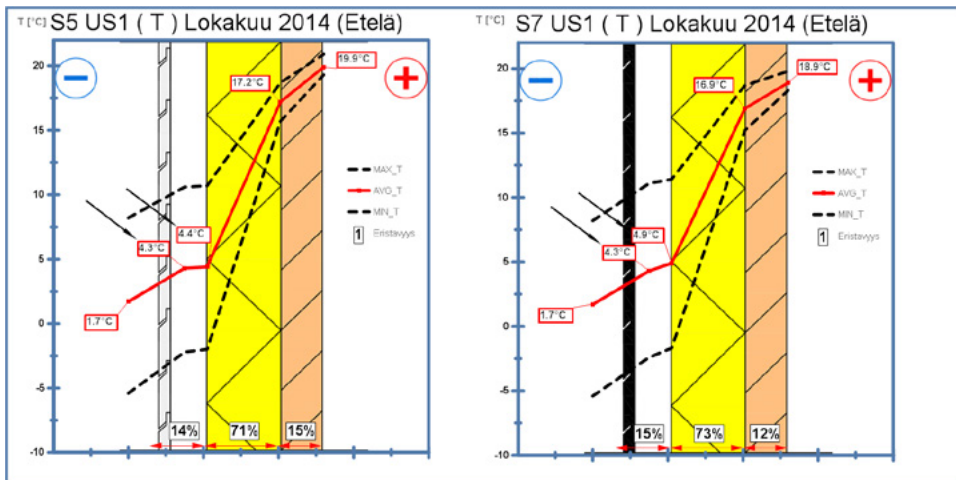
**Kuva 9.** Ilmansunnan vaikutus US1 rakenteeseen lokakuussa 2014

### 3.5 TUMMA ULKOVERHOUS / VAALEA ULKOVERHOUS

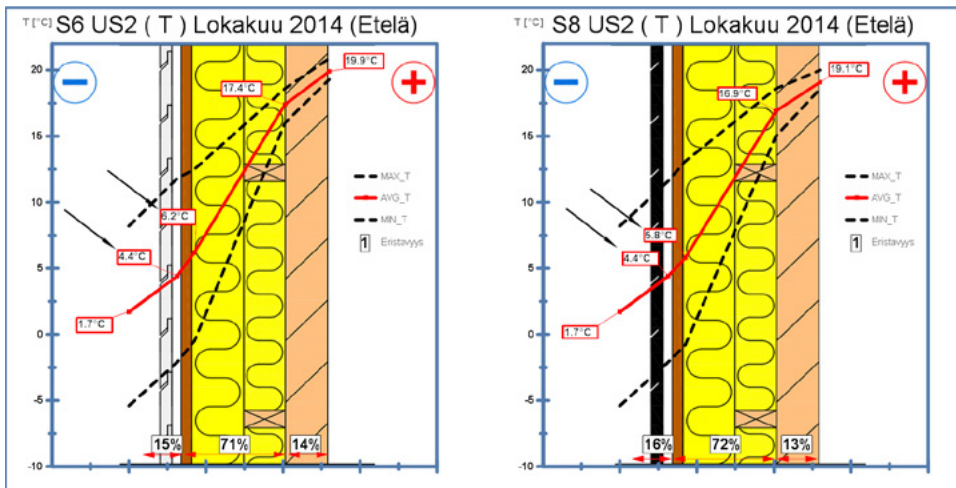
Kuvissa 10 ja 11 on vertailtu eteläpuoleisen tumman ja vaalean julkisivun vaikutusta seinärakenteen toimintaan. Aikaisemmissa analysointiraporteissa huomattu julkisivun värin vaikutus lämpötekniseen toimintaan oli huomattavasti vähentynyt Q4-mittausjakson aikana johtuen vähäisemmästä auringon säteilyenergian määrästä.

Q4-mittausjakson aikana julkisivun värillä US2-ulkoseinärakenteilla (sektorit 6 ja 8) ei ollut huomattavaa vaikutusta rakenteen lämpötekniseen toimintaan. US1-ulkoseinärakenteessa eteläpuolisella sektorilla 7 (tumma ulkoverhous) huomattiin layerissä 3 hieman suurempi (n. 0,5 °C) lämpötila loka- ja marraskuun keskiarvoisissa lämpötiloissa verrattaessa sektorin 5 (tumma ulkoverhous) vastaaviin. Tämän lämpötilaeron

yhtenä syynä voi olla ulkoverhouksen väriero. Huomioitavaa on myös, että tumman julkisivuverhouksen omaavat mittaussektorit ovat koetalon seinän alimmat sektorit (kuva 1), joten lämpötilaero ei ole lämmön ylöspäin nousun vaikutusta (luonnollinen konvektio). Lämpimän ilman virtaus tuuletusvälissä (tummalta alueelta vaalealle) päinvastoin tasoittaa lämpötilaeroa sektoreiden välillä.

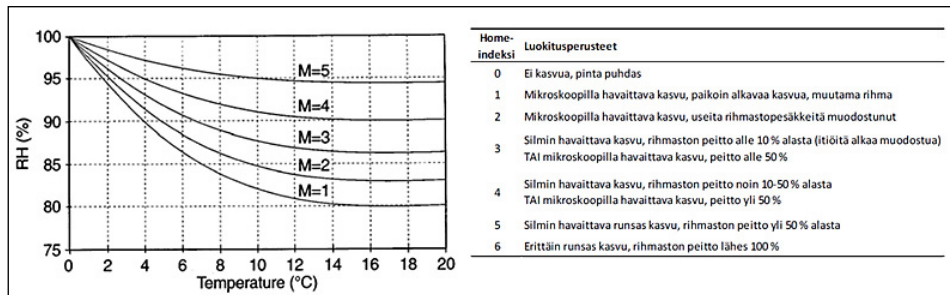


**Kuva 10.** Tumman ja vaalean julkisivun vertailukuvat US1-rakenteella lokakuussa 2014



**Kuva 11.** Tumman ja vaalean julkisivun vertailukuvat US2-rakenteella lokakuussa 2014

### 3.6 HOMERISKITARKASTELU



**Kuva 12.** Homeen kasvulle suotuisat olosuhteet ja homeindeksin luokitusperusteet (VTT 2011.)

CLT-koetaloprojektissa tutkitaan myös mahdollista homeen kasvua rakenteissa alun perin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) kehittämällä homeen kasvun laskentamallilla, jonka kehitystyö aloitettiin 1980-luvulla. Homehallin kehitystyötä on jatkettu Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) ja VTT:n toimesta yhteisprojektissa vuosina 2005–2008 sekä VTT:n ja TTY:n yhteisessä jatkokehityshankkeessa (ENERSIS v.2010–2013), joissa mallin tarkkuutta on pyritty parantamaan entisestään. Kehitystyön tuloksena on saatu aikaan VTT-TTY homeriskimalli. (VTT 2011.)

VTT-TTY homeriskimallia käyttämällä voidaan arvioida homeen kasvun riskiä eri rakennusmateriaalien pinnalla muuttuvissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa. Mallin avulla voidaan selvittää kuinka kauan ja paljon rakenteet ja materiaalit kestävät kosteutta ennen kuin hometta alkaa kasvaa. Mallia voidaan käyttää myös apuna rakennusten home- ja kosteusongelmien ehkäisyyn sekä arvioimaan home- ja kosteusvaurioiden laatua ja niiden korjaustarpeen laatua. (VTT 2011.)

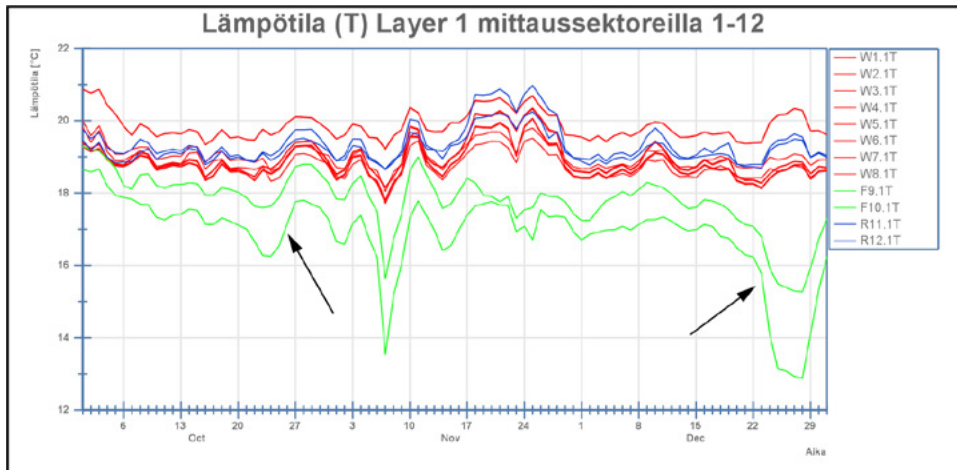
Homeen kasvulle suosiolliset olosuhteet riippuvat ympäristössä vallitsevista lämpö- ja kosteusolo-suhteista. Matalampi lämpötila vaatii suuremman suhteellisen kosteuden, jotta homeen kasvu on mahdollista alkaa. Kuvassa 12 esitetään olosuhteet, jolloin homeenkasvu on mahdollista sekä homeindeksin luokitusperusteet.

\* Homehallin yleisesti käytettävän laskentamallin julkistaminen on vielä VTT:llä ja TTY:llä kesken eikä malli ole ollut käytettävissä tämän raportin tekemisen aikana. Alustavien tarkasteluiden perusteella voidaan kuitenkin todeta, että CLT-koetalon rakenteissa ei ole esiintynyt riskiä homeen kasvun suhteen tämän raportointikauden aikana.



## 3.7 MUITA HUOMIOITA Q4-MITTAUSJAKSOLLA

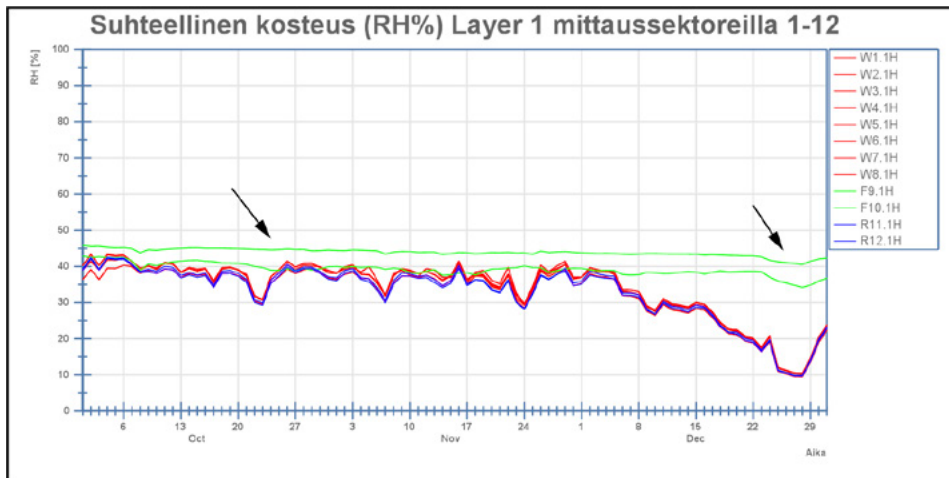
### 3.7.1 Eroavaisuudet mittaussektoreiden layer 1:sten lämpötiloissa ja suhteellisissa kosteuksissa



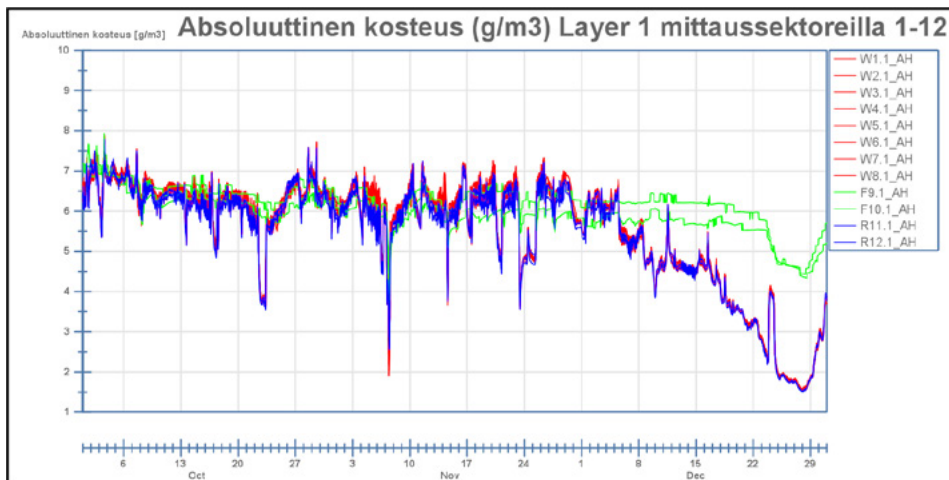
**Kuva 13.** CLT-koetalon mittaussektoreiden (1-12) layer 1 lämpötila (T) Q4-mittausjaksolla

Aikaisemmissa analysointiraporteissa todetut eroavaisuudet mittaussektoreiden 9 ja 10 layer 1:sten mittaus tulosten suhteellisissa kosteuksissa ja lämpötiloissa pysyivät myös Q4-mittausjaksolla. Lämpötilat alapohjarakenteen sektoreissa olivat koko mittausjakson ajan pienempiä verrattaessa ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden vastaaviin. Alapohjarakenteen mittaussektoreilla 9 ja 10 ilman suhteellinen kosteus oli hieman suurempi verrattaessa muiden rakenteiden (US<sub>1</sub>, US<sub>2</sub> ja YP) vastaaviin. Absoluuttisen kosteuden määrät mittaussektoreiden layer 1:ssä pysyivät melko samalla tasolla joulukuun alkuun asti. Joulukuun alussa ulkoilman lämpötilan laskiessa eroavaisuudet suhteellisessa ja absoluuttisessa kosteudessa kasvoivat. Kuvissa 13, 14 ja 15 seinärakenteiden sektoreiden (1-8) kuvaaja on punainen, alapohjarakenteiden (9-10) vihreä ja yläpohjarakenteiden (11-12) sininen.

Suhteellisen kosteuden eroavaisuudet alapohjarakenteen ja muiden rakenteiden välillä selittyvät sillä, että alapohjarakenteen layer 1:n päällä on lattiaparketti 14 mm ja askeläänieristys 2 mm, kun taas muissa mittauspisteissä mittapää on suorassa yhteydessä sisäilman kanssa (kuva 3). Kuvasta 14 huomataan näin ollen, että alapohjarakenteen mittauspisteet reagoivat hitaammin muuttuviin kosteusolosuhteisiin.



**Kuva 14.** CLT-koetalon mittaussektoreiden (1-12) layer 1 suhteellinen kosteus (RH%) Q4-mittausjaksolla



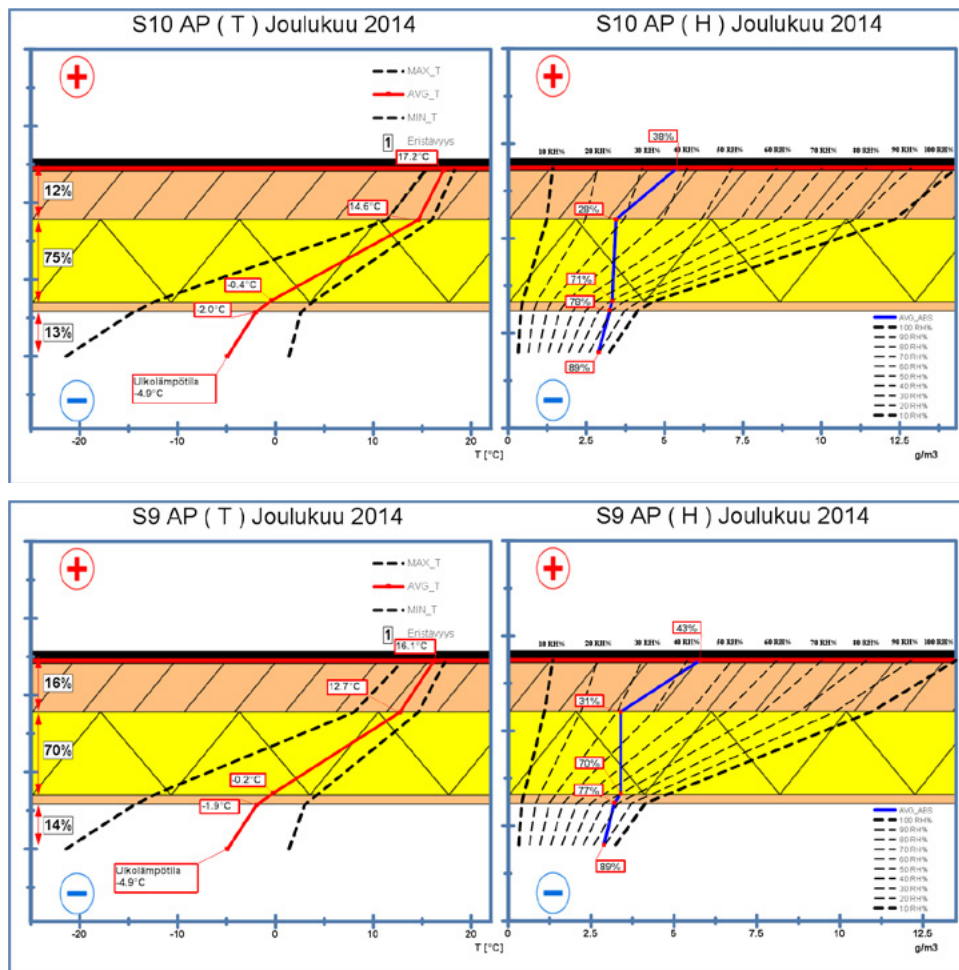
**Kuva 15.** CLT-koetalon mittaussektoreiden (1-12) layer 1 absoluuttinen kosteus (g/m3) Q4-mittausjaksolla

### 3.7.2 Eroavaisuudet alapohjasektoreiden välillä lämpötilassa ja suhteellisessa kosteudessa

Aikaisemmissa analysointiraporteissa huomatu eroavaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoissa alapohjasektoreiden 9 ja 10 välillä, jatkuivat myös Q4-mittausjaksolla. Alapohjasektorilla 9 oli hieman suuremmat suhteelliset kosteudet kuin sektorilla 10. Absoluuttiset kosteudet mittaussektoreiden pysyivät kuitenkin samalla tasolla. Vastaavasti sektorin 10 lämpötilat olivat hieman suurempia kuin sektorin 9 lämpötilat. Kuva 16 ja Kuva 17 esittellään joulukuun alapohjarakenteiden 9 ja 10 tuloksia.

Joulukuu valittiin esitettäväksi, sillä eroavaisuudet alapohjarakenteiden lämpötiloissa ja suhteellisissa kosteuksissa olivat tuolloin suurimmat Q4-mittausjaksolla.

Eroavaisuuksien syitä tutkittiin aikaisemmassa Q3-analysointiraportissa. Syitä tutkittaessa tarkastettiin laskentatietokanta, alapohjarakenteen olosuhteet, mahdolliset eroavaisuudet anturoinnissa sekä rakenteen lämpöjakauma lämpökameralla. Tarkkaa syytä eroavaisuuksille ei löydetty tehdyillä tutkimuksilla. Todennäköisiä syitä ovat mittaussektoreiden sijainti (sektori 9:n layer 4 lähellä ryömintätilan kulkuaukkoa) ja eristelevyjen ”nurkkakohta”. Tarkemmat tiedot tehdyistä tutkimuksista löytyvät aikaisemmin julkaistusta Q3-analysointiraportista. Lisää tietoa saadaan CLT-koetalo-hankkeen päättyessä keväällä 2015, kun alapohjarakenne voidaan avata ja saadaan tarkat tiedot anturien sijainneista ja mahdollisista eroavaisuuksista rakenteissa esim. kolot eristeessä.



**Kuva 16.** Alapohjarakenne: Sektori 9 joulukuu



## 4 Yhteenvedo

Q4-analysointiraportissa esitettiin tuloksia Kemiin Digipolis-kampuksen alueelle rakennetun CLT-koetalon vaipparakenteiden lämpö- ja kosteusteknisestä toiminnasta. Raportissa tutkittiin rakenteissa esiintyviä lämpö- ja kosteusolosuhteita loka-, marras- ja joulukuun ajalta. Koetalon raken-teissa mitattavia suureita olivat lämpötila [°C] ja suhteellinen kosteus [RH %]. Mittaukset tehtiin koetalon rakenteisiin sijoitetuilla mittaustureilla.

Tutkimuksen tarkoituksena oli varmistaa CLT-materiaalin rakennusfysikaalinen toiminta Suomen olosuhteissa. Raportissa tutkittiin myös ilmansuunnan (etelä/pohjoinen), julkisivun värin (tumma/vaalea) ja eristemateriaalin (puukuitu/mineraalivilla) vaikutusta rakennuksen lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan.

Mittausten perusteella voitiin todeta, että CLT-koetalon vaipparakenteet toimivat lämpö- ja kosteusteknisesti hyvin. Kosteuden seurannan mittaustuloksista voidaan myös todeta, että CLT-levy toimii rakenteessa höyrynsulkuna, joten erillistä ilman- ja höyrynsulkua ei tarvita tämän kaltaisissa CLT-rakenteissa lainkaan.

Tutkimustulosten perusteella voidaan myös huomata, että CLT-koetalossa käytettävillä eristemateriaaleilla on erilaiset hygroskooppiset ominaisuudet. Ulkoseinärakennetyypissä (US<sub>1</sub>) käytetyn mineraalivillaeristeen (Paroc Cortex One) hygroskooppisuus on hyvin pientä ja tästä johtuen kosteusolosuhteet eristtilan sisällä reagoivat nopeasti ympäröiviin muuttuviin olosuhteisiin. Sen sijaan ulkoseinärakennetyypissä (US<sub>2</sub>) käytetyn puukuitueristeen (Ekovilla) hygroskooppisuus on suurta, jonka vuoksi äkilliset ulkoilman olosuhteiden muutokset eivät vaikuta sen huokosilman kosteuspitoisuuteen yhtä nopeasti. Pitemmän aikavälin tarkastelussa eristeiden erilaiset hygroskooppiset ominaisuudet eivät aiheuttaneet merkittävää eroa lämpö- tai kosteusjakaumaan rakenteissa.

Q4-mittaussakson mittaustuloksissa julkisivun ilmansuunnan vaikutus oli vähentynyt huomattavasti vähäisen auringon säteilyenergian vuoksi, verrattaessa Q2- ja Q3-ajanjakson vastaaviin. Suurimmat vaikutukset julkisivun ilmansuunnalla olivat marras- ja lokakuussa. Ilmansuunnan vaikutukset keskiarvoisiin lämpötiloihin olivat n. 0,5 °C luokkaa. Kosteusteknisesti julkisivun ilmansuunnalla ei ole ollut vaikutusta rakenteen toimintaan ja absoluuttiset kosteudet ovatkin olleet samalla tasolla sekä etelä- että pohjoisseinällä.

Aikaisemmissa analysointiraporteissa huomattu julkisivun värin vaikutus lämpötekniseen toimintaan oli huomattavasti vähentynyt Q4-mittausjakson aikana johtuen vähentyneestä auringon säteilyenergian määrästä. US2-ulkoseinärakennetyypissä ei huomattu julkisivun värin vaikutusta rakenteen lämpötekniseen toimintaan kyseillä mittausjaksolla. US1-ulkoseinärakennetyypillä huomattiin etelän puoleisilla julkisivulla, tumman julkisivun omaavalla sektorilla 7 n. 0,5 °C suurempi kuukauden keskiarvoinen lämpötila verrattaessa vastaavassa mittauspisteessä vaalealla julkisivulla varustettuun sektoriin 5. Kosteusteknisen toiminnan kannalta voitiin myös todeta, ettei julkisivun värillä ole vaikutusta, sillä absoluuttisen kosteuden määrä pysyi samana. Toisaalta kyseiset mittaussektorit sijaitsivat koetalossa päällekkäin ja näillä on sama tuuletusväli, joka tasaa kosteuden samalle tasolle tuuletusvälissä.

Tutkimuksessa tutkitaan myös CLT-koetalon rakenteiden laskennallista homeutumisherkkyyttä VTT:n ja TTY:n kehittämän homemallin avulla. Varsinaiset tulokset julkaistaan myöhemmin, kun homemallin yleisesti käytettävä versio on virallisesti julkaistu. Alustavien tarkasteluiden perusteella voidaan kuitenkin todeta, että CLT-koetalon rakenteissa ei ole esiintynyt riskiä homeen kasvun suhteen.

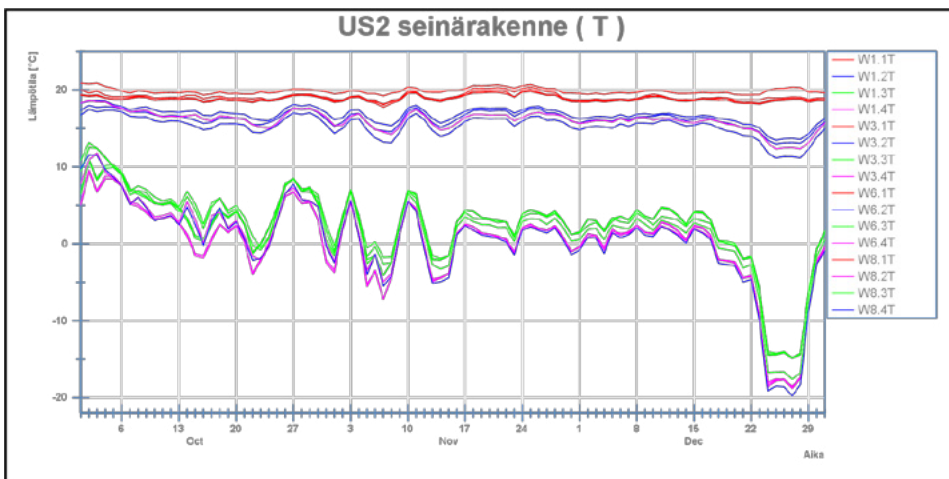
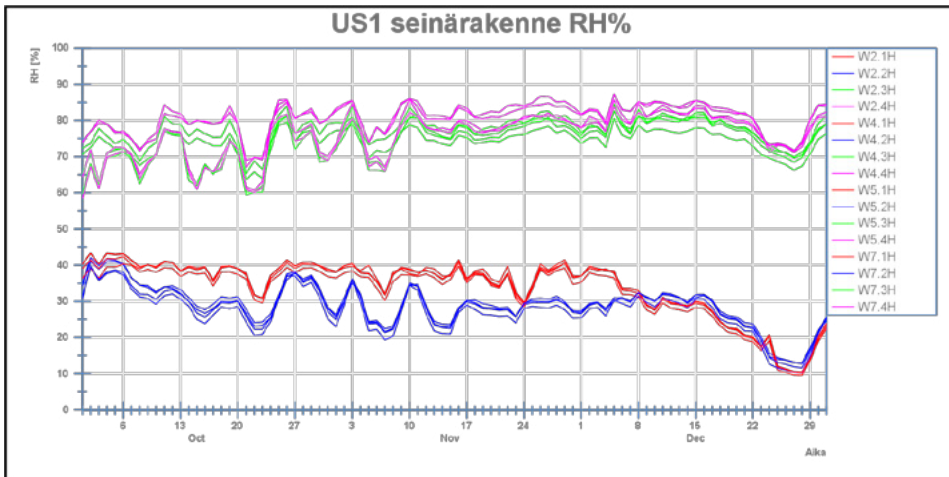
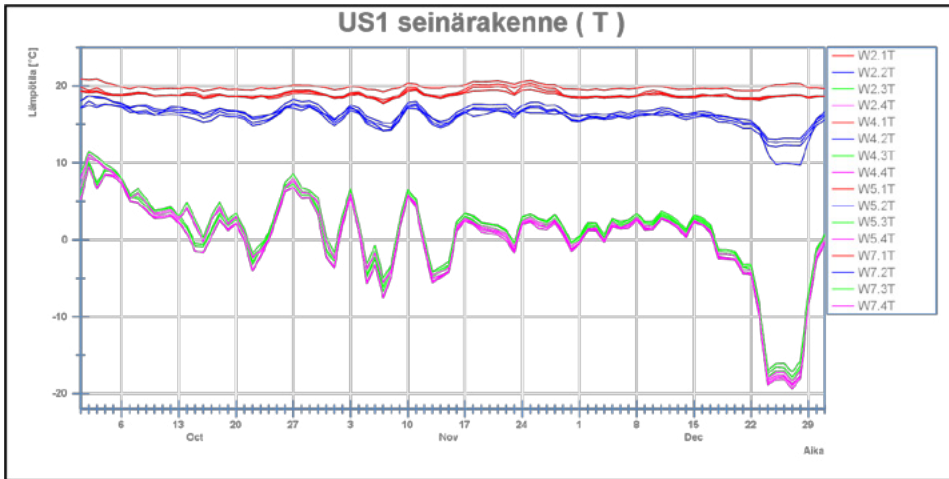
Mittausjakson tuloksista huomattiin myös merkittävä eroavaisuus lämpötiloissa ja suhteellisissa kosteuksissa layer 1:ssä alapohjarakenteiden mittaussektoreissa verrattuna muihin mittaussektoreihin. Eroavaisuudet selittyvät sillä, että alapohjarakenteen layer 1 päällä on lattiaparketti 14 mm ja askeläänieristys 2 mm, kun taas muissa mittauspisteissä mittapää on suorassa yhteydessä sisäilman kanssa.

Aikaisemmissa analysointiraporteissa huomattavat eroavaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoissa alapohjasektoreiden 9 ja 10 välillä, jatkuivat myös Q4-mittausjaksolla. Alapohjasektorilla 9 oli hieman suuremmat suhteelliset kosteudet kuin sektorilla 10. Absoluuttiset kosteudet mittaussektoreiden layereissä pysyivät kuitenkin samalla tasolla. Vastaavasti sektorin 10 lämpötilat olivat hieman suurempia kuin sektorin 9 lämpötilat. Eroavaisuuksien syitä selvitettiin aikaisemmassa Q3-analysointiraportissa tutkimalla laskentatietokanta, alapohjarakenteen olosuhteet, eroavaisuudet anturoinnissa sekä rakenteen lämpöjakauma lämpökameralla. Eroavaisuuksille ei löydetty selvää selitystä tarkasteluista. Todennäköisiä syitä ovat mittaussektoreiden sijainti (sektori 9:n layer 4 lähellä ryömintätilan kulkuaukkoa) ja eristelevyjen ”nurkka-kohta”. Alapohjarakenteiden sisällä sijaitsevien layereiden olosuhteet voidaan tutkia tarkemmin vasta projektin päättyessä, avaamalla rakenteita.

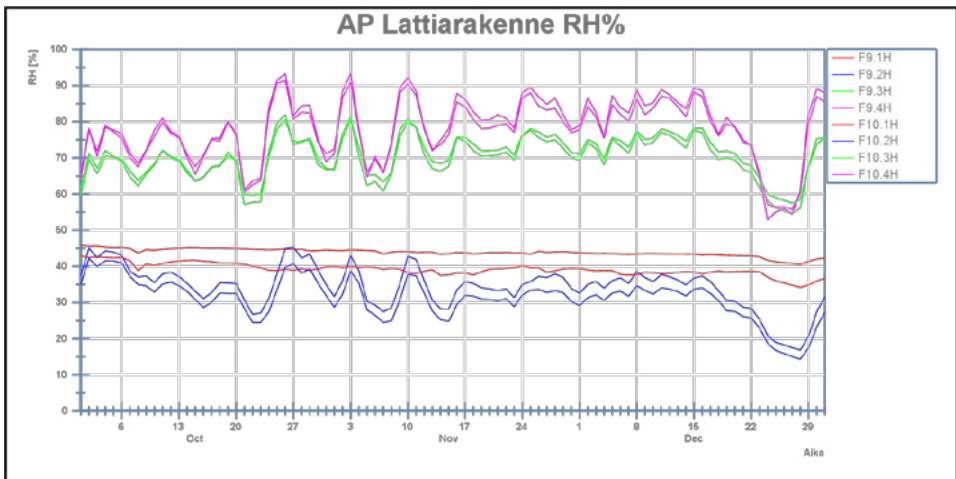
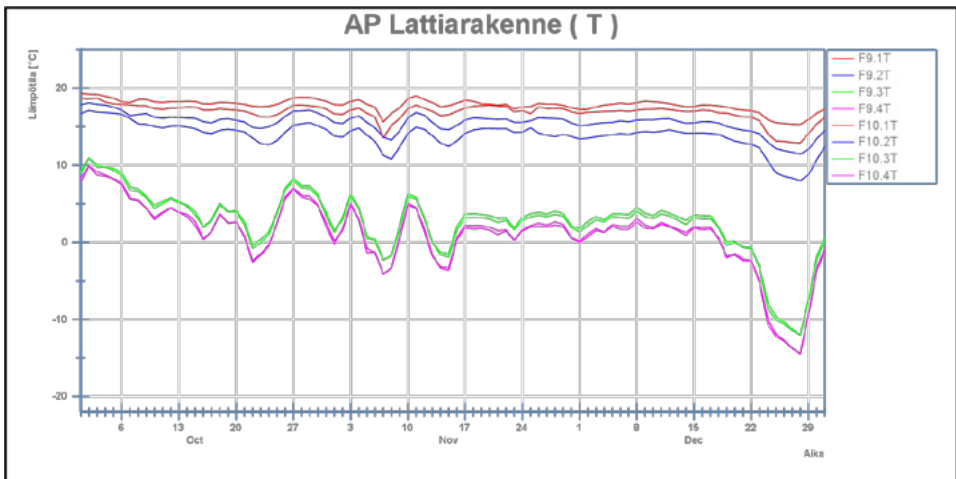
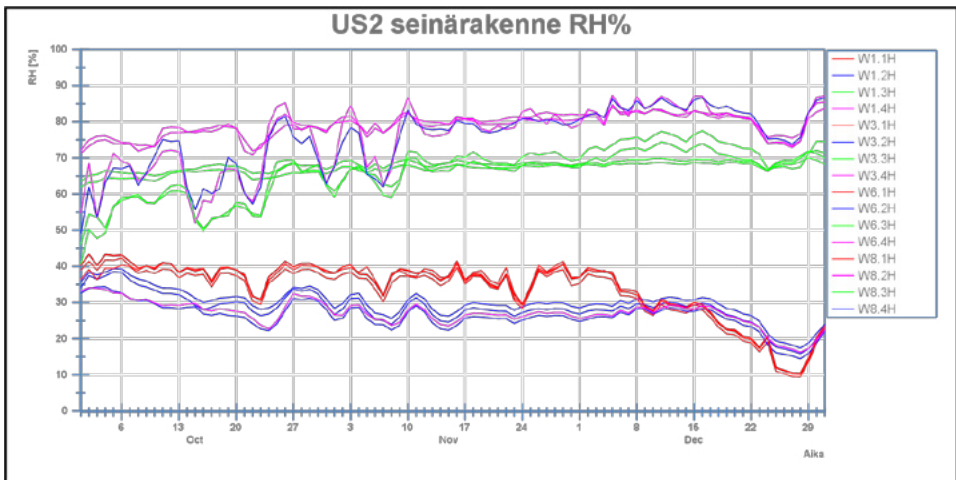
# Lähdeluettelo

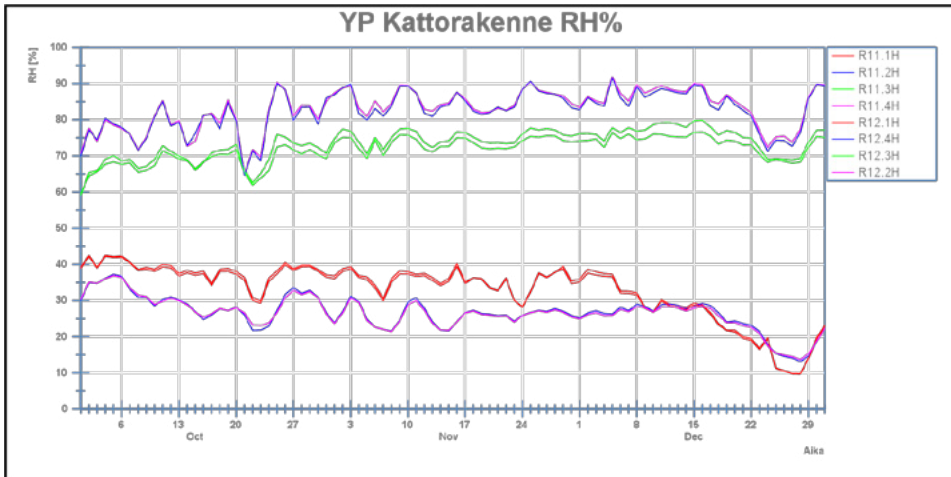
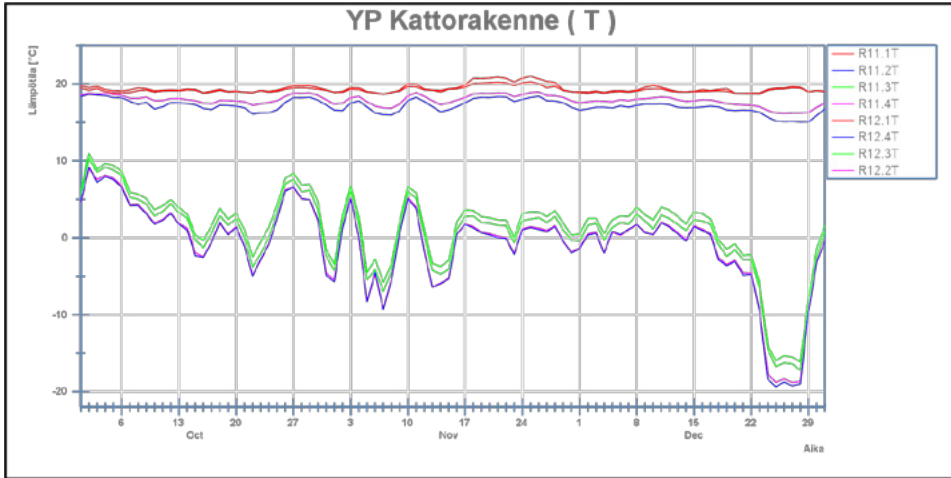
- Björkholtz D. 1997. Lämpö ja kosteus rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy
- Rafnet-ryhmä 2004. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. Kosteus. Osoitteessa [http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus\\_27092004.pdf](http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus_27092004.pdf). 22.4.2014
- RT 1989= Ilmasto, kosteus, sade ja lumi 05-10410. Rakennustietosäätiö.
- VTT 2011. Homeen kasvun mallin kehitystyö.  
Osoitteessa <http://www.rakennusteollisuus.fi/frame>. 25.4.2014
- Mylly M. 2013. CLT-koetalon perustuspiirustus. Kemi.

**Liite 1.** Koko mittausjakson lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja homeindeksin kuvaajat rakennetyypeittäin

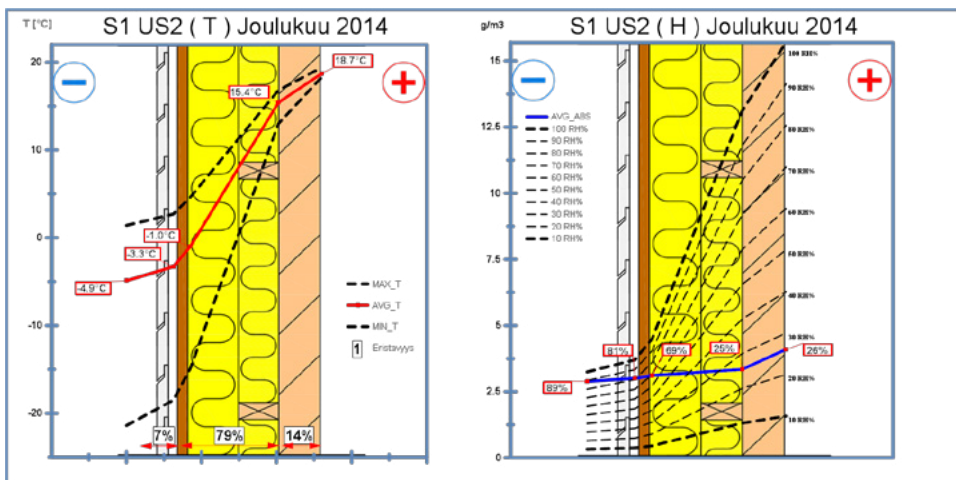
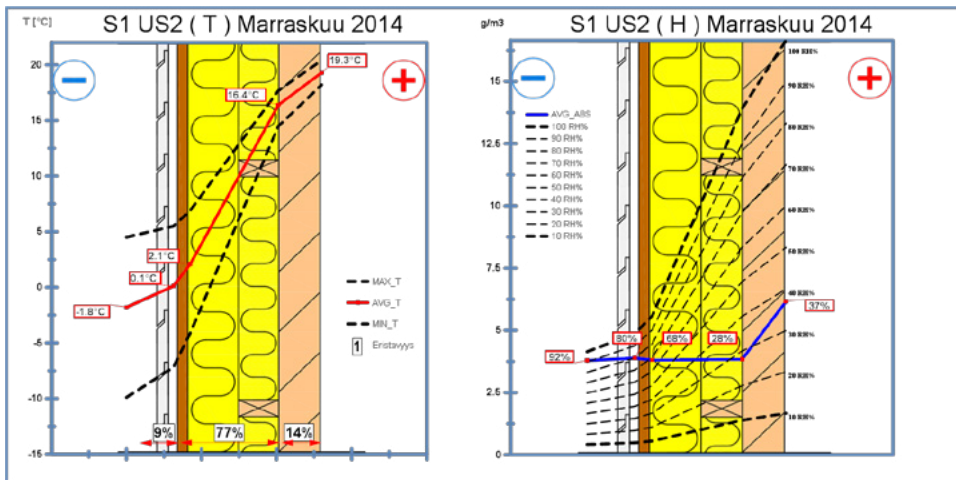
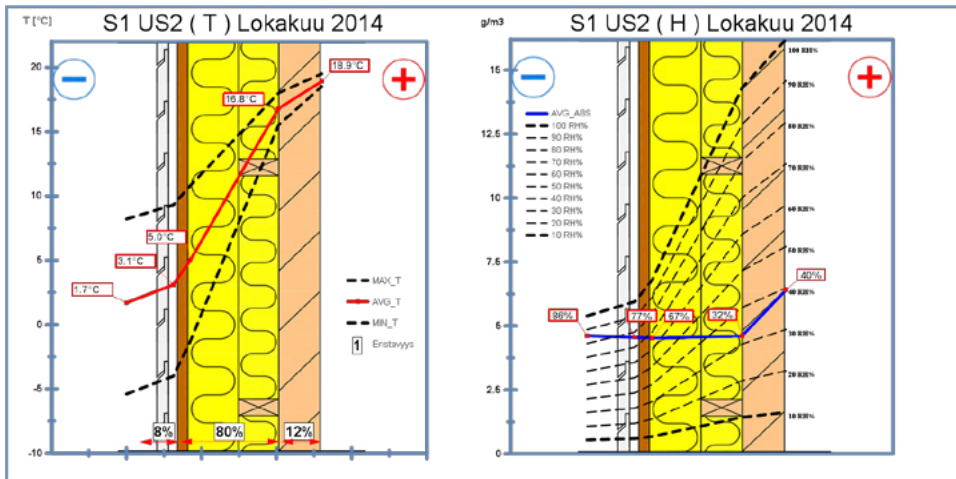




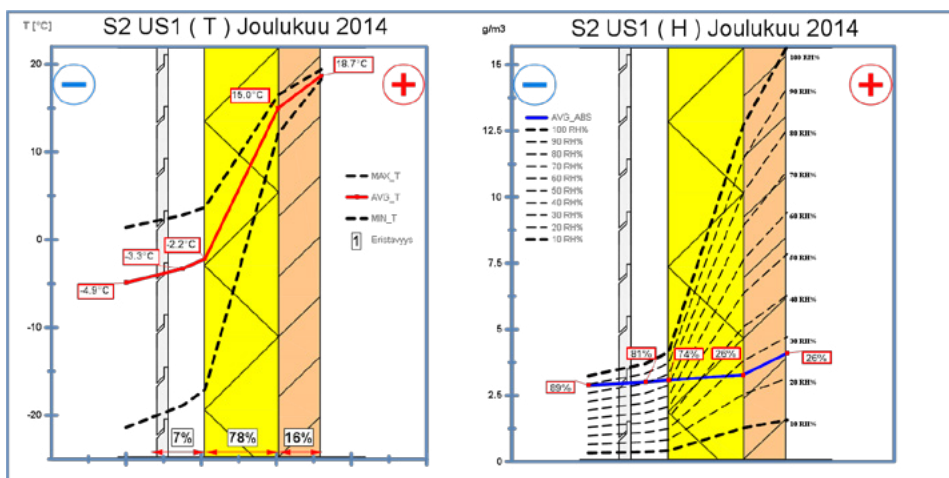
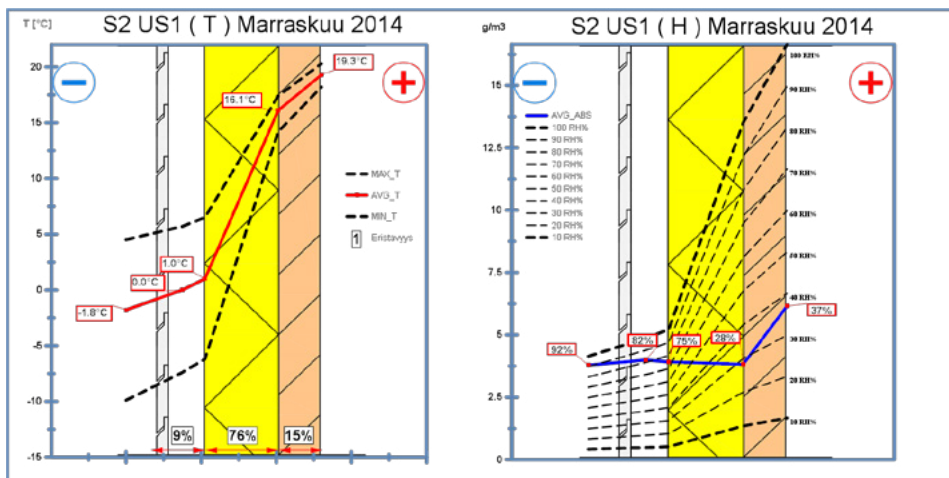
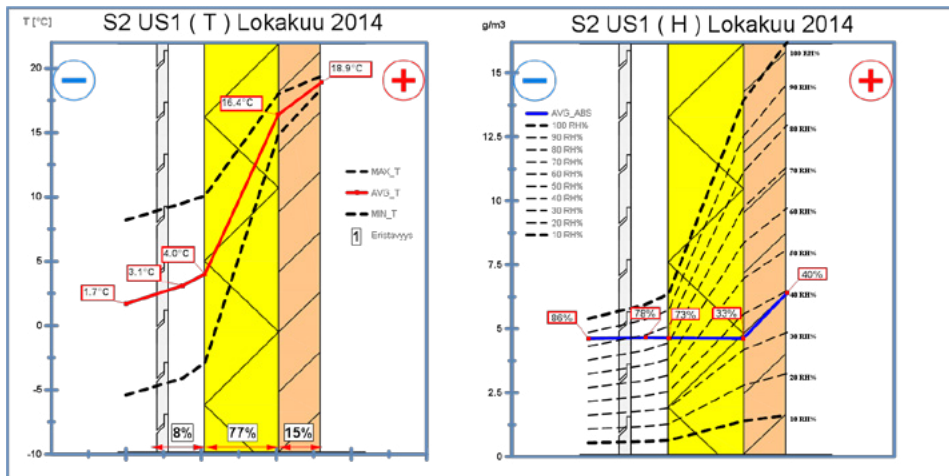




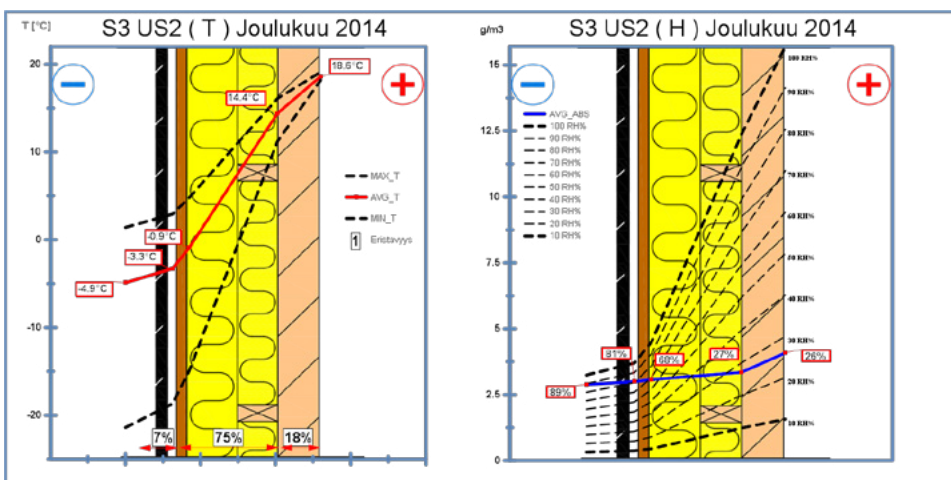
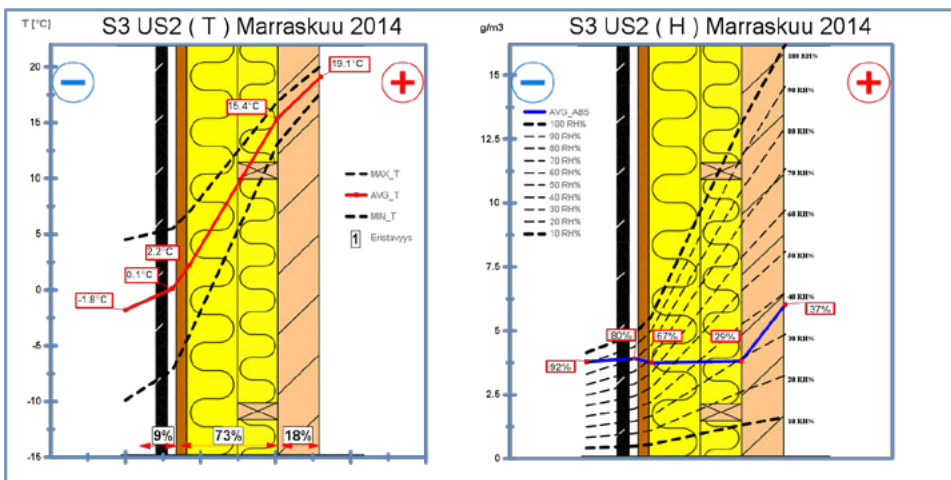
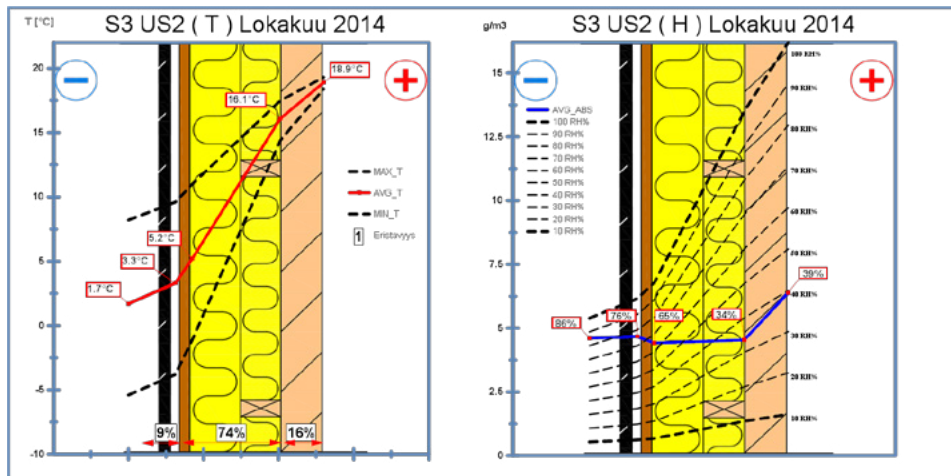
**Liite 2.** Kuukauden keskiarvot, lämpötilajakaumat ja vaihteluvälit rakenteissa



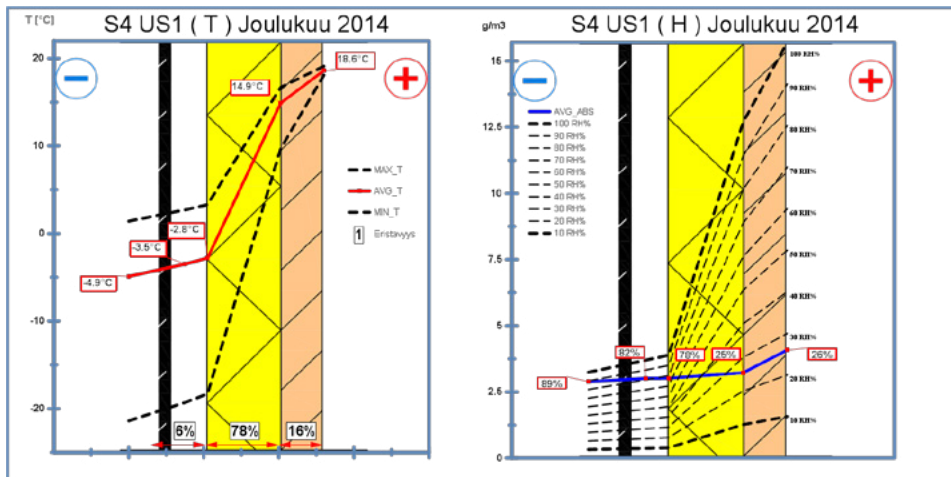
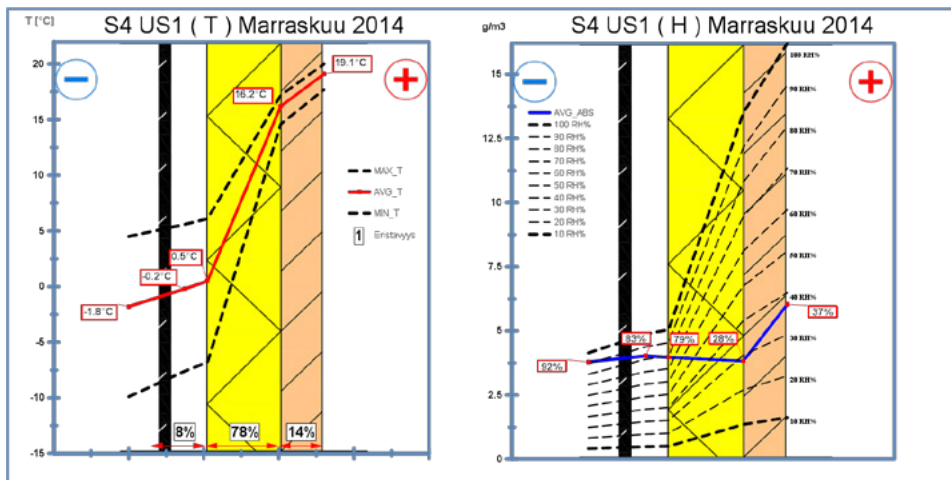
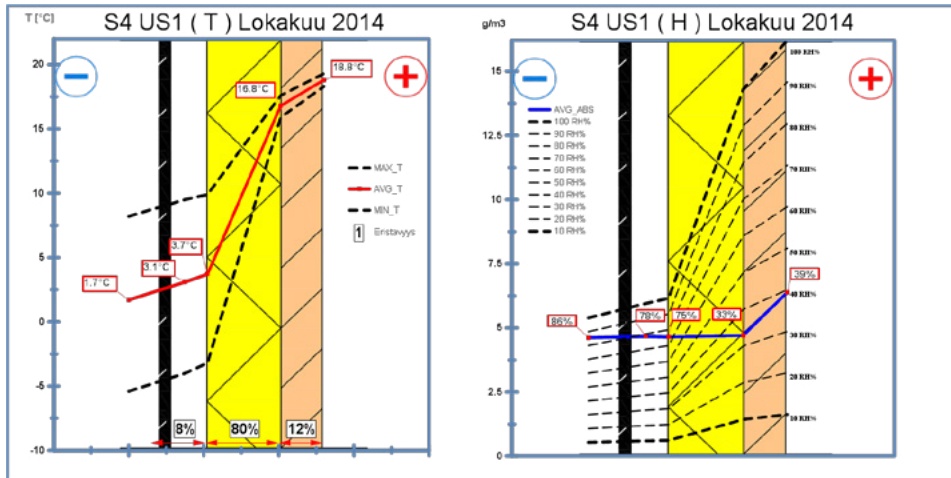
**SEKTORI 2 / US1 / VAALEA ULKOVERHOUS / POHJOINEN**



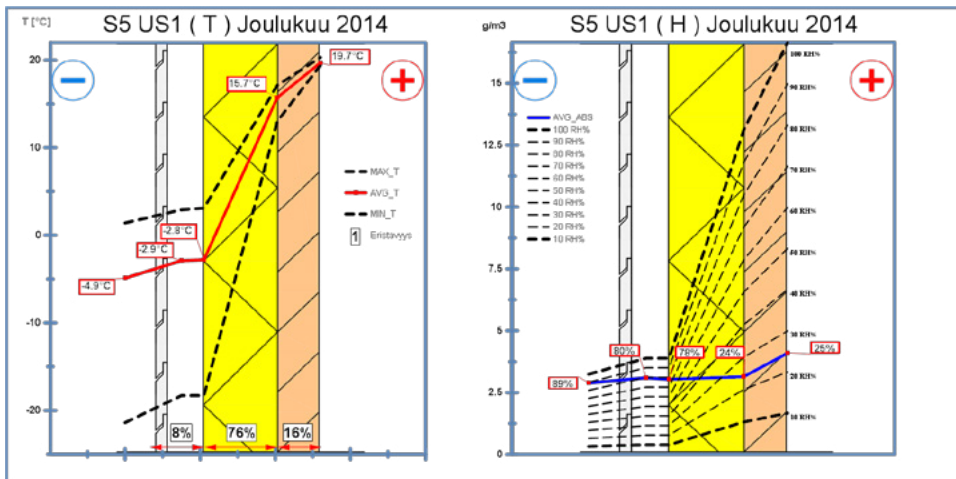
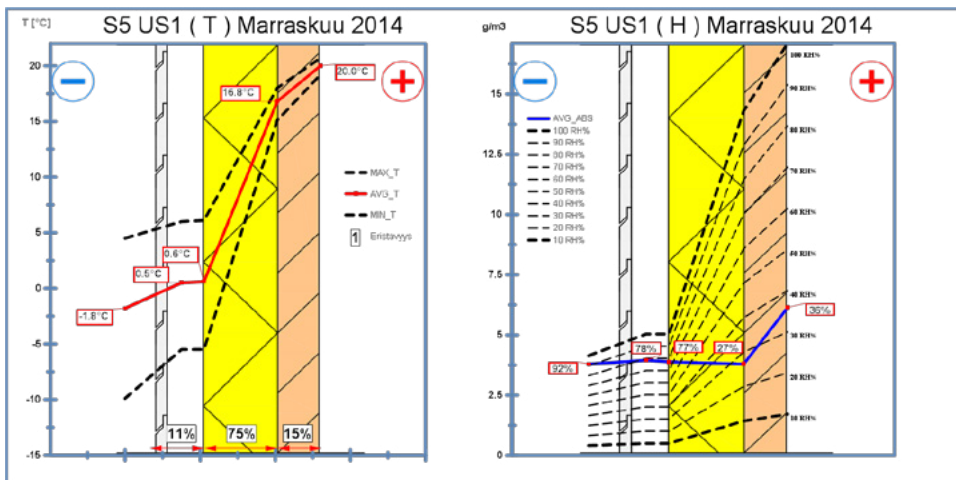
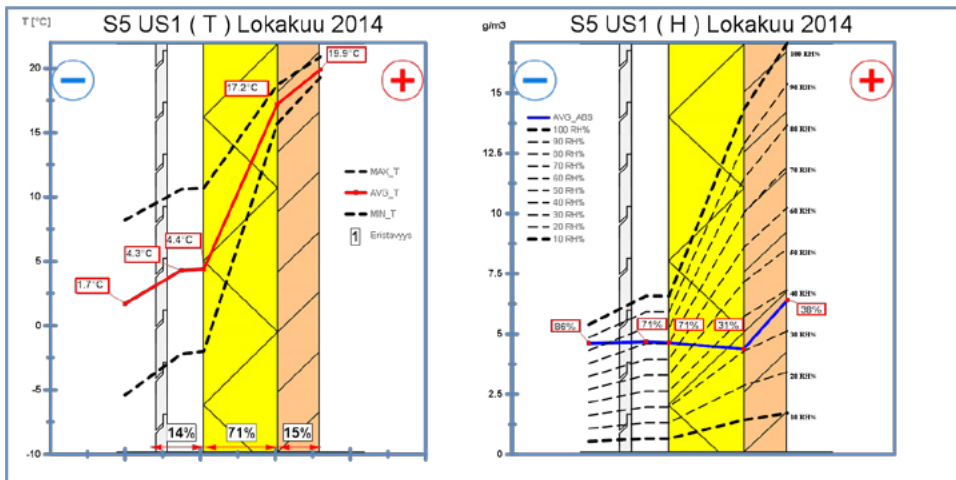
SEKTORI 3 / US2 / TUMMA ULKOVERHOUS / POHJOINEN



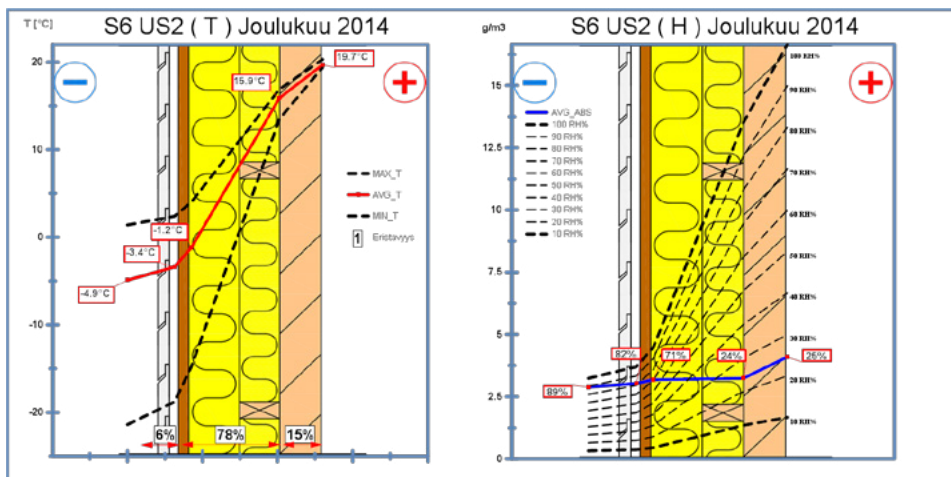
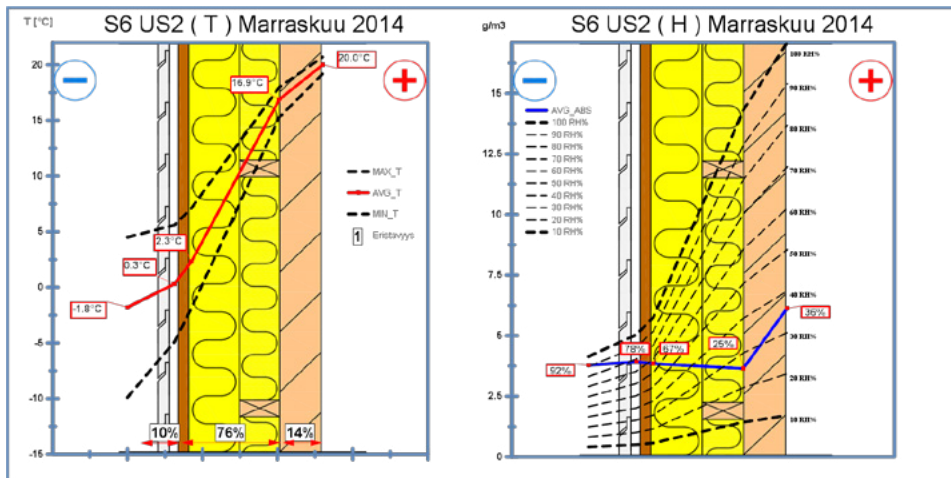
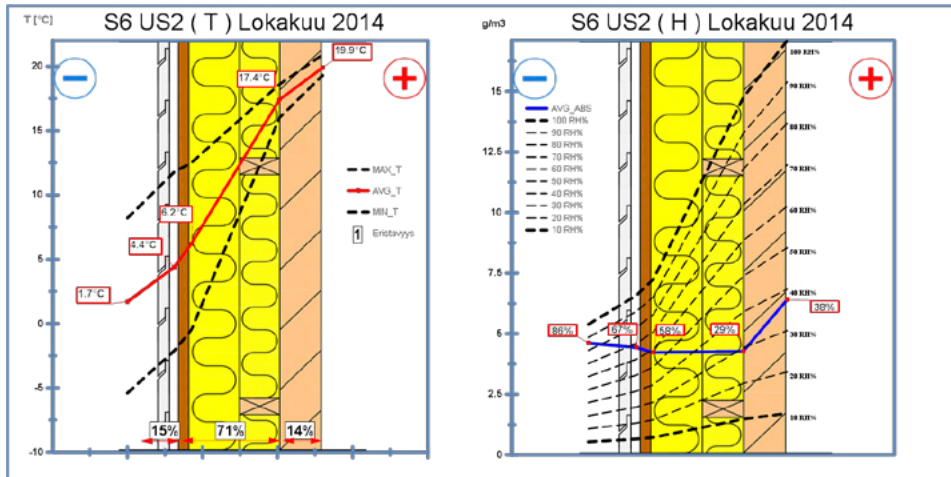
**SEKTORI 4 / US1 / TUMMA ULKOVERHOUS / POHJOINEN**



SEKTORI 5 / US1 / VAALEA ULKOVERHOUS / ETELÄ

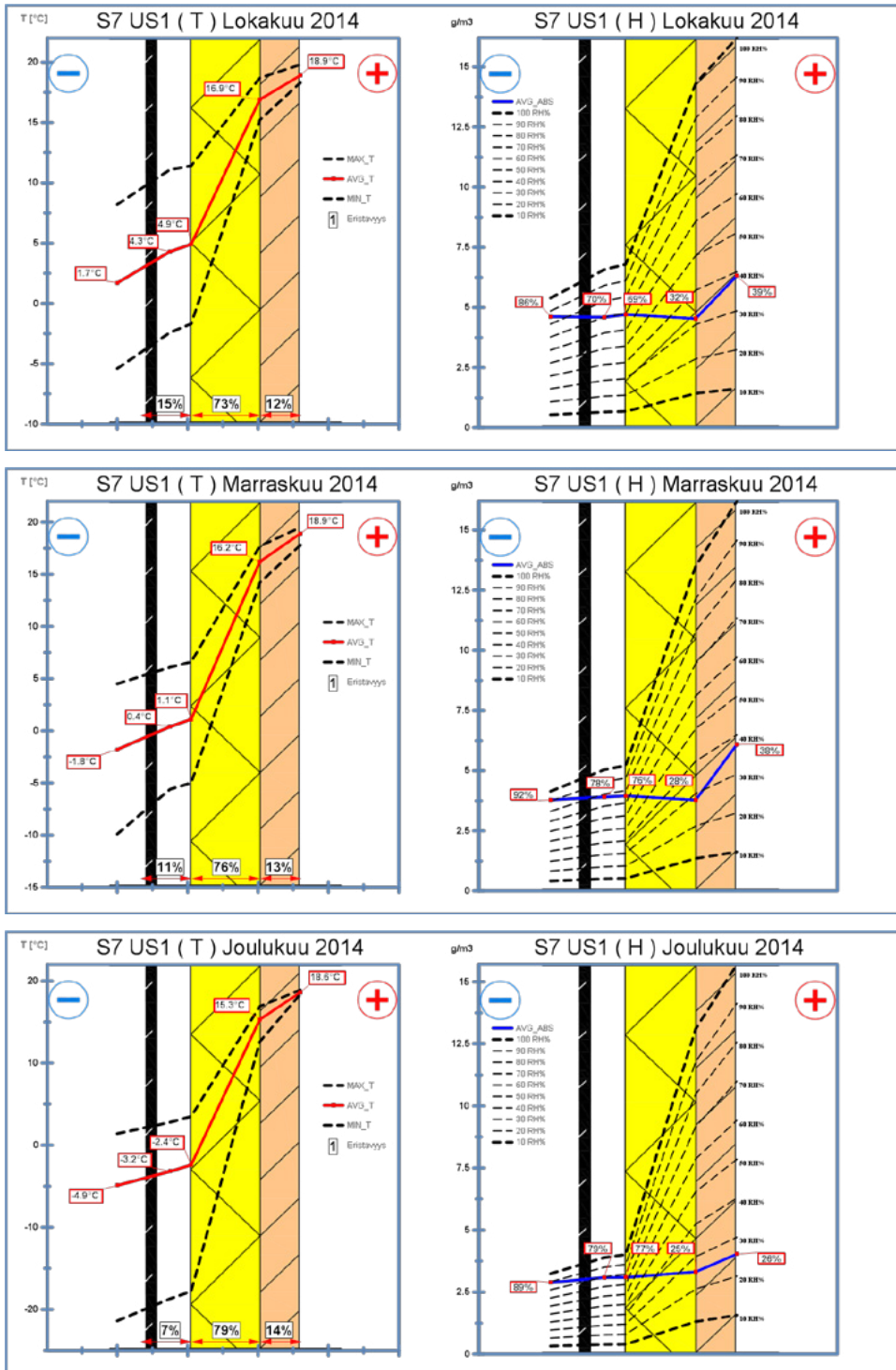


**SEKTORI 6 / US2 / VAALEA ULKOVERHOUS / ETELÄ**

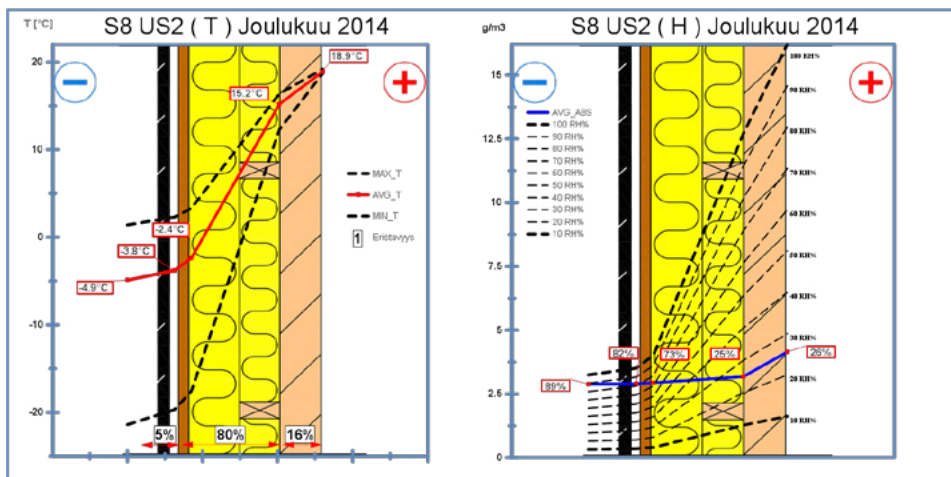
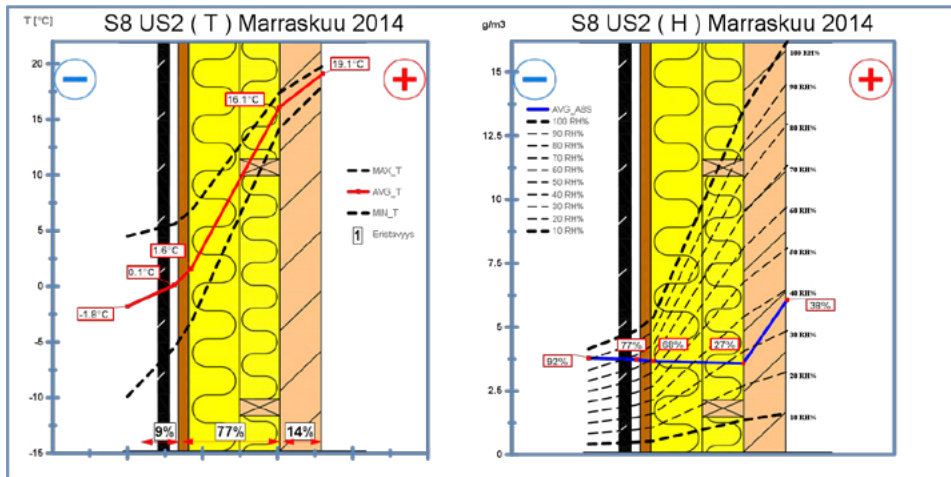
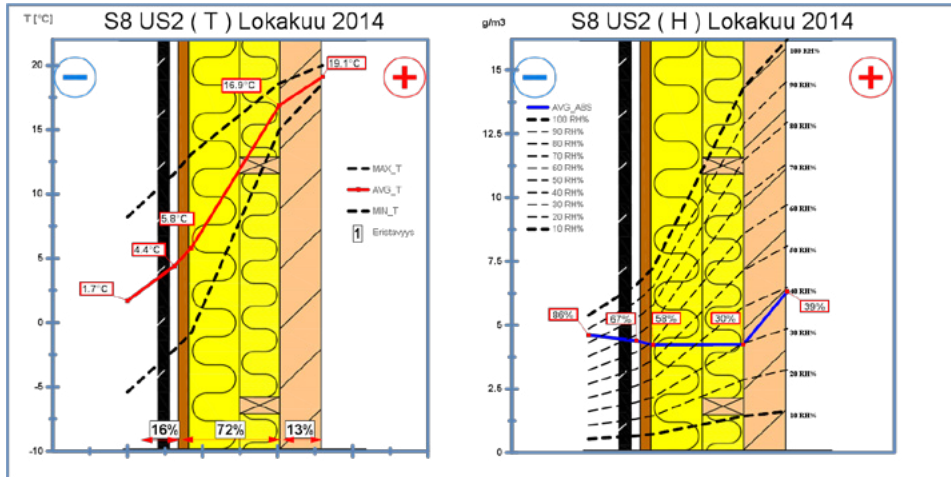




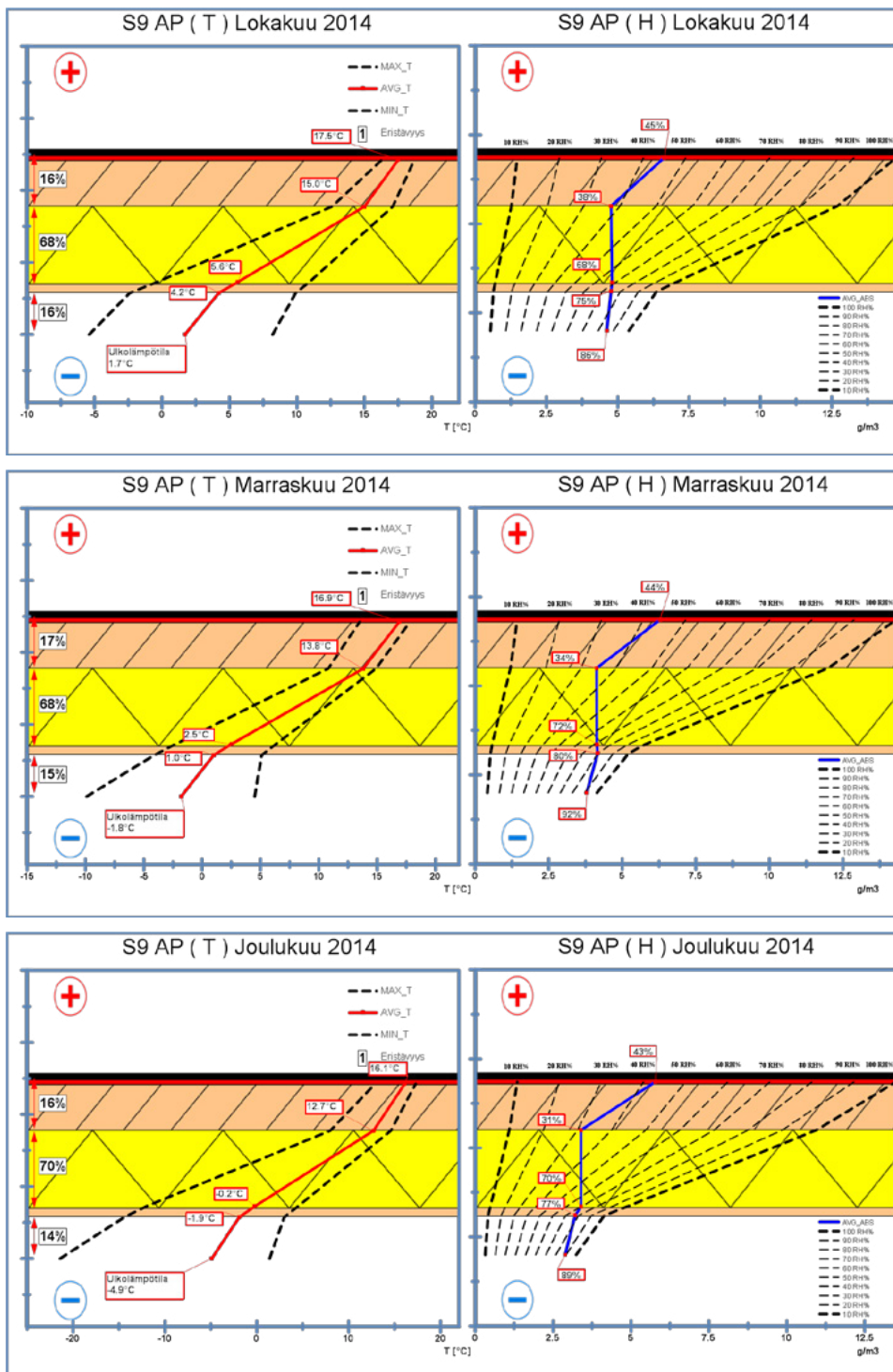
**SEKTORI 7 / US1 / TUMMA ULKOVERHOUS / ETELÄ**



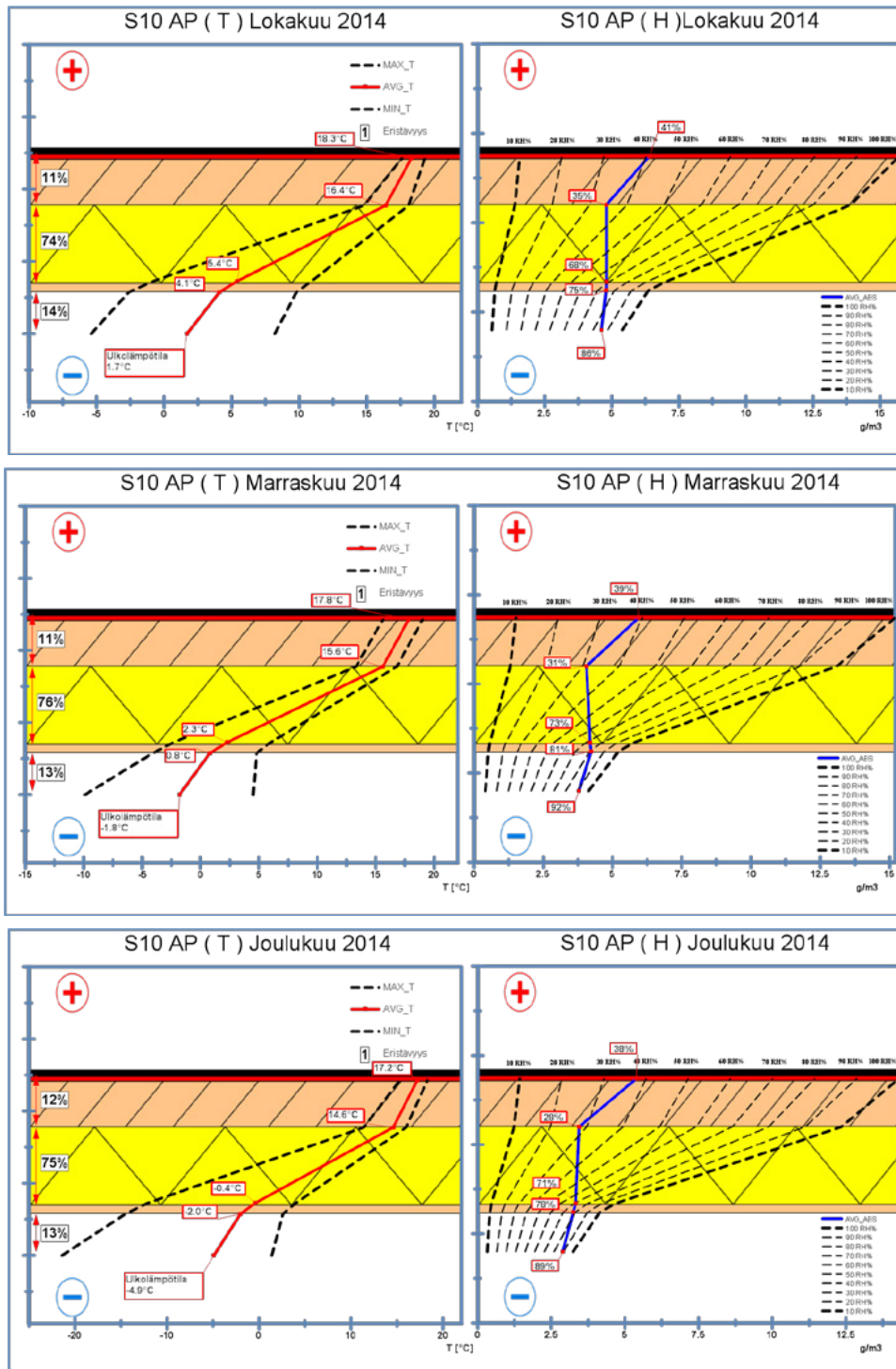
**SEKTORI 8 / US2 / TUMMA ULKOVERHOUS / ETELÄ**



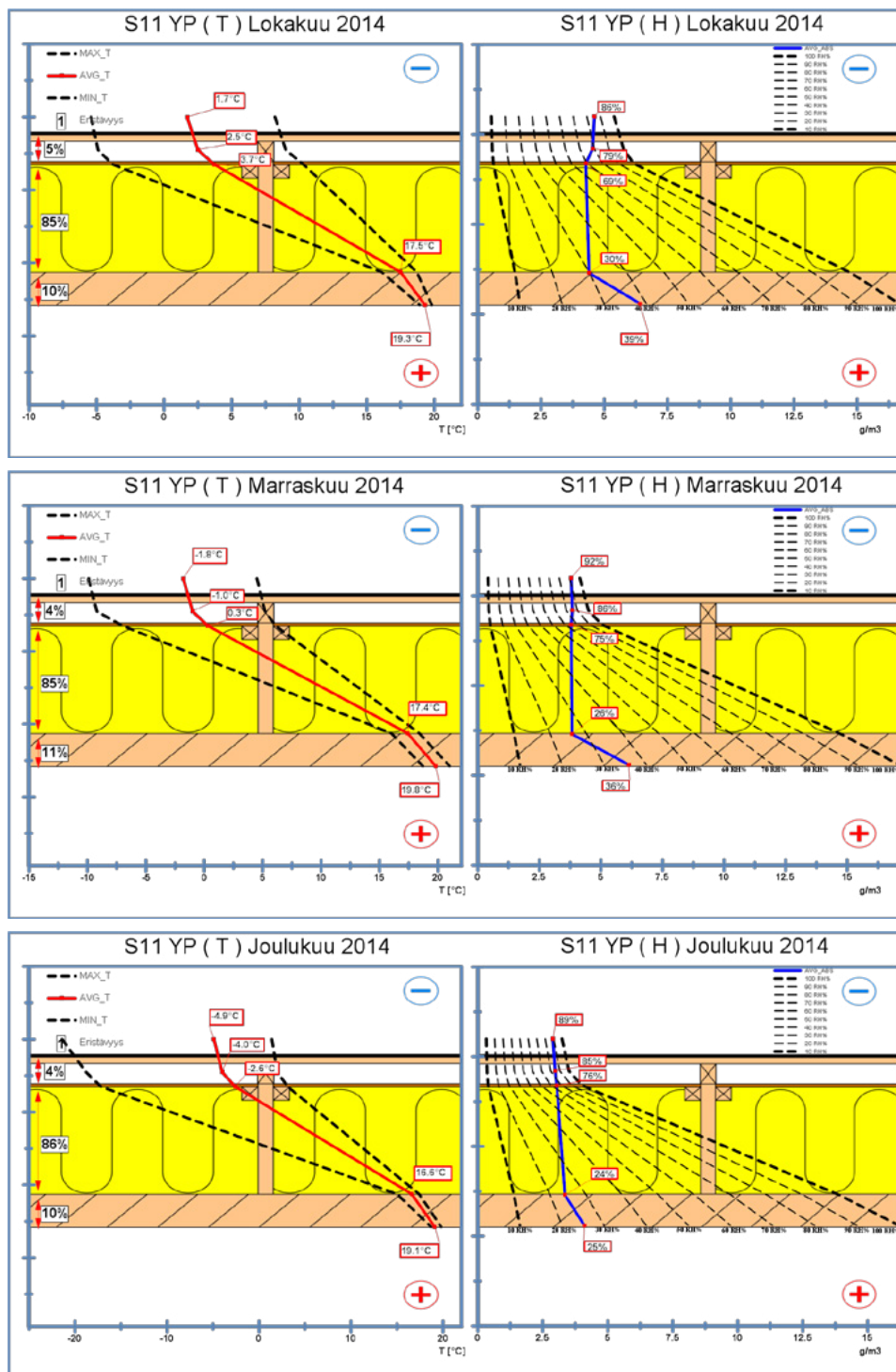
SEKTORI 9 / AP / POHJOINEN



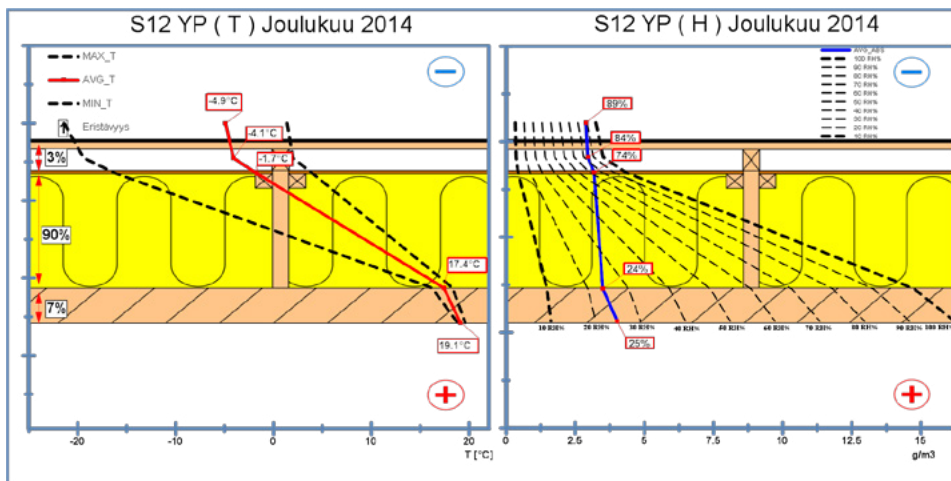
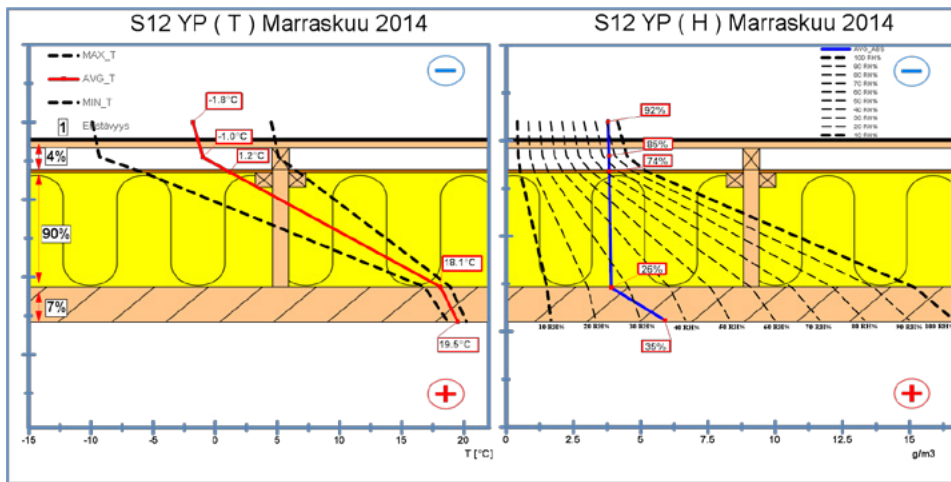
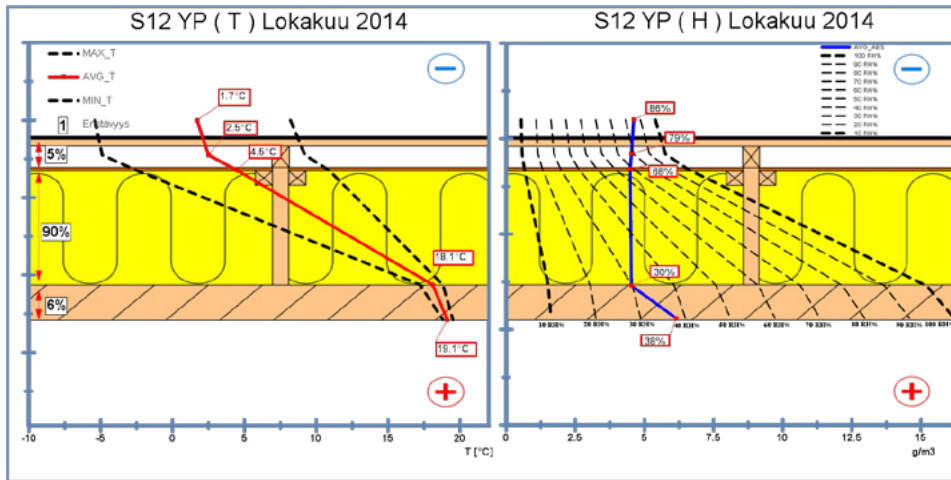
**SEKTORI 10 / AP / ETELÄ**



SEKTORI 11 / YP / POHJOINEN



**SEKTORI 12 / YP / ETELÄ**





**CLT-koetalo -projektin** yhtenä päätavoitteena on tutkia CLT-materiaalin rakennusfysikaalista toimintaa Suomen haastavissa olosuhteissa. Tämä Q4-raportti on viimeinen neljästä CLT-koetalon lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan analysointiraporteista. Q4/2014 – raportissa analysoidaan Kemissä sijaitsevasta CLT-koetalon rakenteista saatua mittausdataa. Koetalon rakenteissa sijaitsee yhteensä 48 mittausanturia, jotka mittaavat lämpötilaa ja suhteellista kosteutta.

DIGIPOLIS

AMMATTIOPISTO  
LAPPIA

LAPIN LIITTO

Vipuvoimaa  
EU:lta

  
Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

**LAPIN AMK**<sup>7</sup>  
Lapland University of Applied Sciences

[www.lapinamk.fi](http://www.lapinamk.fi)

ISBN 978-952-316-079-8