



Kari Lindroos

**POLYURETAANIERISTEISEN SEINÄRAKENTTEEN RAKENNUS-
FYSIKAALISEN TOMINNAN TARKASTELU WUFI2D-
OHJELMALLA**

**POLYURETAANIERISTEISEN SEINÄRAKENTTEEN RAKENNUS-
FYSIKAALISEN TOMINNAN TARKASTELU WUFI2D-
OHJELMALLA**

Kari Lindroos
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Talonrakennus

Tekijä:	Kari Lindroos
Opinnäytetyö nimi:	Polyuretaanieristeisen seinärakenteen rakennusfysikaalisen toiminnan tarkastelu Wufi2D -ohjelmalla
Ohjaaja:	Kimmo Illikainen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi:	Kevät, 2013
Sivumäärä:	44 + 7 liitettä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää polyuretaanieristeisen seinärakenteen rakennusfysikaalinen toiminta ja määrittää rakenteen kriittisiin kohtiin homeindeksi. Rakenteen tutkimiseen käytettiin apuna Wufi 2D -mallinnusohjelmaa, joka on suunniteltu lämmön- ja kosteudensiirtymisen mallintamiseen rakenteissa yksi- ja kaksikulotteisissa malleissa.

Seinärakennetta tutkittiin asentamalla lämpötila- ja kosteusantureita sekä rakenteen sisälle että rakenteen ulkopuolelle mittaamaan vallitsevia olosuhteita. Mittaukset suoritettiin syksyn ja talven 2012 aikana. Mittauksista saatuja lämpötilan ja suhteellisen kosteuden tuloksia käytettiin mallinnusohjelman tulosten vertailamiseen. Rakenne mallinnettiin ohjelmaan ja simuloitiin mittauksesta saatujen sisä- ja ulkoilman arvojen avulla.

Simuloidusta datasta ja mitatusta datasta laskettiin vesihöyrypitoisuus ja verrattiin keskenään. Tulosten ollessa riittävän yhtenäiset tehtiin rakenteeseen simulointi Oulun säädatalla. Saaduista tuloksista määritettiin Excel-pohjaisella laskentamallilla rakenteen kriittisiin kohtiin homeindeksi.

Tutkimustulosten perusteella rakenteessa ei ole homeen kasvulle riittäviä olosuhteita. Ainoa paikka jossa kasvustoa voi esiintyä on rakenteen ulkopinnassa, mikä on tyypillistä ulkona vallitsevien olosuhteiden johdosta. Tässä opinnäytetyössä ei otettu huomioon mahdollisia rakentamisen aikana tapahtuvia virheitä. Rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan tuleekin kiinnittää erityistä huomiota jo suunnittelun alkuvaiheessa.

Asiasanat: polyuretaani, rakennusfysiikka, vesihöyrypitoisuus, homeindeksi, WUFi2D

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	5
2 RAKENNUSFYSIKAALINEN TOIMINTA SEINÄRAKENTEES- SA	6
2.1 Kosteus	6
2.1.1 Kosteusrasitukset	6
2.1.2 Tiivistyminen	7
2.1.3 Kuivuminen	8
2.1.4 Vesihöyrypitoisuus	8
2.2 Lämpö	9
2.3 Home	9
3 MITTAUKSET SEINÄRAKENTEES- SA	15
3.1 Mittausjärjestelyt	15
3.2 Mittaus	17
3.3 Mittaustulosten purkaminen	17
4 WUFI 2D -MALLINNUSOHJELMA	19
5 LASKELMAT	22
5.1 Simuloidut tulokset ja niiden vertailu mittaus- tuloksiin	22
5.1.1 Mittauspiste 1	25
5.1.2 Mittauspiste 2	26
5.1.3 Mittauspiste 3	28
5.2 Homeindeksin määrittäminen	29
5.2.1 Tarkastelupiste 1	30
5.2.2 Tarkastelupiste 2	31
5.2.3 Tarkastelupiste 3	33
5.2.4 Tarkastelupiste 4	35
5.2.5 Tarkastelupiste 5	37
5.2.6 Tarkastelupiste 6	38
5.2.7 Tarkastelupiste 7	40
6 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	43
LIITTEET	44

1 JOHDANTO

Omakotitalojen seinärakenteissa tapahtuu muutoksia koko ajan. Rakennusmääräysten tiukentuessa eristepaksuudet kasvavat ja tämän seurauksena saattaa syntyä ongelmia. Rakennusliikkeet ovatkin tuoneet markkinoille erilaisia polyuretaanieristeen ja mineraalivillan yhdistäviä rakenteita.

Pelkän polyuretaanieristeen käyttö lämmöneristeenä talon seinärakenteessa on vielä aika harvinaista. Puu huokoisena ja hyvin vettä läpäisevänä materiaalina yhdistettynä polyuretaanieristeeseen, joka on erittäin hyvin kosteutta hylkivä materiaali, on aiheuttanut ongelmia talonrakentamisessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Dometalot Oy:n toimesta polyuretaanieristeen seinärakenteen rakennusfysikaalista toimintaa. Yrityksen tehtaalteille oli rakennettu testihuone, jossa mitattiin seinärakenteen käyttäytymistä pakkasolosuhteissa. Seinärakenteeseen oli asennettu lämpö- ja kosteusantureita, jotka mittasivat seinän eri kohdista rakenteen olosuhteita. Seinän toisella puolella olevaan tilaan asennettiin jäähdytyskone, joka tuotti tilaan noin -17 °C pakkasen ja seinän toisella puolella olevaan tilaan mallinnettiin tavallisen huone-tilan olosuhteet.

Saaduista tuloksista simuloitiin WUFI 2D -ohjelmalla seinärakenne ja vertailtiin saatuja tuloksia. Mitatuista ja simuloituista arvoista laskettiin vesihöyrypitoisuus ja verrattiin niitä keskenään. Kun mitattu ja simuloitu data olivat riittävän lähellä toisiaan, tehtiin seinärakenteesta oma simulaatio Oulun säädatalla. Saaduista tuloksista otettiin tarkasteluun seitsemän pistettä ja laskettiin Excel-pohjaisella laskennalla jokaiseen tarkastelupisteeseen homeindeksi.

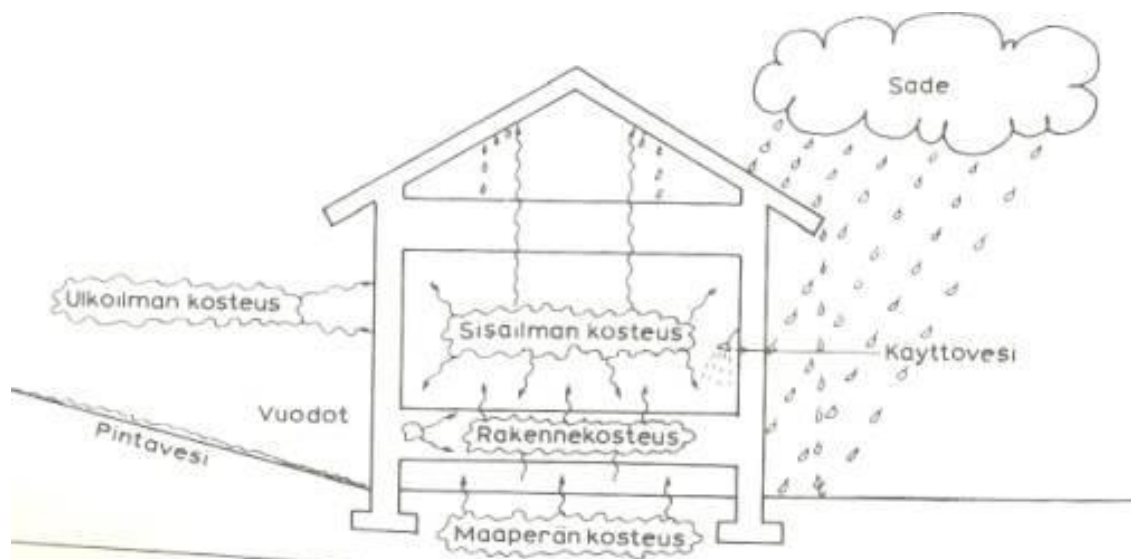
2 RAKENNUSFYSIKAALINEN TOIMINTA SEINÄRAKENTEESSA

2.1 Kosteus

Kaikki rakenteet ja huokoiset materiaalit rakenteen ominaisuuksista ja ympäröivän ilman lämpötilasta ja kosteudesta riippuen sisältävät jonkin verran kosteutta. Kosteutta saattaa päästä rakenteisiin sekä rakentamisen aikana että käytön yhteydessä. (1, s. 51.)

2.1.1 Kosteusrasitukset

Rakennekosteus, vesihöyry ja vesi ovat kosteuden muotoja, jotka esiintyvät rakennuksissa ja rakenteissa. Muita rakennustekniseen toimintaan vaikuttavia rasituksia vuoden ajasta riippuen on maasta haihtuva kosteus, roiskevesi, pintavesi, vajovesi, pohjavesi, sisäpuolinen vedenpaine, tuuli ja mahdolliset vuodot seinärakenteessa (kuva 1). (1, s. 52.)



KUVA 1. Rakennuksen kosteuslähteet (2)

Sade eri olomuodoissa on näkyvin kosteusrasitus rakennukselle. Pystysade, joka on Suomen yleisin sadetyyppi, rasittaa pääasiassa rakennuksen vinoja ja vaakasuoria pintoja. Myös pystysuorat pinnat ovat alttiita kosteusrasitukselle räystäättömissä rakennuksissa. (1, s. 52.)

Voimakkaan tuulen aiheuttama viistosade asettaa lisävaatimuksia rakennuksen ulkoverhouksen ja ikkunoiden liittymäsuunnittelulle. Riittävän leveät räystäät estävät sadeveden pääsyn seinien yläosiin ja yläpohjarakenteisiin. (1, s. 52.)

Poispäin viettävä maa ohjaa osan sadevedestä pintavetenä rakennuksen sivuille ja osa valuu vajovetenä maahan. Perustuksille saattaa aiheutua tästä ylimääräistä kosteusrasitusta. Hyvällä salaojituksella, sadevesijärjestelmällä ja sopivalla soratäytöllä saadaan maaperä pysymään riittävän kuivana. (1, s. 52.)

Rakennuksen perustamissyvyyttä määriteltäessä pohjaveden pinnan korkeus tulee huomioida. Pohjaveden pinnan syvyyteen vaikuttaa esimerkiksi vuotuinen sademäärä, lisäksi pohjaveden syvyys vaihtelee alueittain. (1, s. 52.)

Suurin vuotokohtien aiheuttaja rakentamisessa on huono suunnittelu tai rakentamisessa tapahtuva virhe. Yksityiskohtainen ja selkeä detaljisuunnittelu rakenteen eri liittymäkohdissa, huolellisuus märkätilojen, terassien, parvekkeiden ja kattojen vesieristyksessä sekä käyttövesi- ja lämmitysputkistoissa vähentävät mahdollisten vuotojen syntyä. (1, s. 52.)

2.1.2 Tiivistyminen

Kostean ilman joutuessa kosketuksiin sellaisen pinnan kanssa, jonka lämpötila alittaa ilman kastepistelämpötilan, tiivistyy rakenteen pinnalle tai huokosseinämään kosteutta. Kosteutta ei tiivisty pinnalle, mikäli pintalämpötila on suurempi kuin ympäröivän ilman kastepistelämpötila. (3, s. 64.)

Rakenteen lämmönvastus, sisäpinnan lämmönvastus, sisäilman kosteuspitoisuus ja ulkoilman lämpötila ovat ratkaisevia tekijöitä kosteuden tiivistymiselle. Eri rakennusmateriaaleilla voidaan vaikuttaa kahteen ensimmäiseen tekijään. Sisäilman kosteuspitoisuuteen voidaan myös vaikuttaa teknisin toimenpitein. (3, s. 64.)

Kosteuspitoisuudet seinärakenteen eri kohdissa vaihtelevat jatkuvasti vuodenajasta riippuen. Sisältä tuleva kosteus tiivistyy vedeksi, jos vesihöyryn osapaine ylittää jossakin rakenteen kohdassa lämpötilaa vastaavan kyllästyspaineen. (3, s. 64.)

Polyuretaanieristeisessä seinässä kosteuden tiivistymistä voi tapahtua runko-
tolpan ja eristeen saumassa. Polyuretaanieriste on kosteusteknisiltä ominai-
suuksiltaan erittäin hyvä. Alhainen lämmönjohtavuus ja korkea vesihöyryvastus
takaavat sen, että eriste sellaisenaan riittää höyrynsulukuksi.

2.1.3 Kuivuminen

Rakenteesta poistuva kosteus voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Ensimmäi-
sessä vaiheessa kuivumisnopeus pysyy melkein vakiona ja toisessa vaiheessa
kuivumisnopeus pienenee jatkuvasti. Rakenteen koko, kosteusolosuhteet ja
aineominaisuudet ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat kuivumisnopeuteen. (3, s. 80.)

Ensimmäisessä vaiheessa rakenteen pinta on kostea, eli rakenteen kosteuspi-
toisuuden pitää ylittää kriittinen kosteuspitoisuus. Suuren kapillaarisen imukyvyn
omaavien rakenteiden pinta pysyy kauemmin kosteana. Toisen vaiheen aikana
kosteuspitoisuus pienenee koko ajan. Kosteus siirtyy koko ajan rakenteessa
syvemmälle, jolloin kuivumiseen tarvittava matka ja vastus kasvavat. (3, s. 80.)

2.1.4 Vesihöyrypitoisuus

Vesihöyrypitoisuus ilmoitetaan suhteellisena kosteutena RH (%) kaavassa 1 (4,
s. 7).

$$RH = \frac{v}{v_k} 100\% \quad \text{KAAVA 1}$$

v = todellinen vesihöyrypitoisuus (g/m^3)

v_k = kyllästymisvesihöyrypitoisuus (g/m^3)

Eli suhteellinen kosteus on todellisen vesihöyrypitoisuuden v suhde ilman kyl-
lästysvesihöyrypitoisuuteen v_k . Lämpötilan noustessa kyllästysvesihöyrypitoi-
suus nousee myös. Kyllästysvesihöyrypitoisuus voidaan laskea kaavasta 2, kun
lämpötila on alueella $-20\text{ °C} - 80\text{ °C}$. (4, s. 8.)

$$v_k = 4,85 + 3,47(t/10) + 0,945(t/10)^2 + 0,158(t/10)^3 + 0,0281(t/10)^4 \quad \text{KAAVA 2}$$

t = lämpötila (°C)

v_k = kyllästymisvesihöyrypitoisuus (g/m^3)

2.2 Lämpö

Johtuminen, säteily ja konvektio ovat lämmön siirtymismuotoja rakenteissa ja tiloissa. Lämmön siirtyminen on eri lämpötiloissa olevien kappaleiden lämpöenergian siirtymistä. Siirtyminen tapahtuu aina lämpimämmästä kylmempään. (3, s. 12.)

Kiinteät aineet ja nesteet **johtavat** lämpöä. Lämmön virtaamista tapahtuu, kun molekyylien liike-energia siirtyy molekyylistä toiseen. (3, s. 12.)

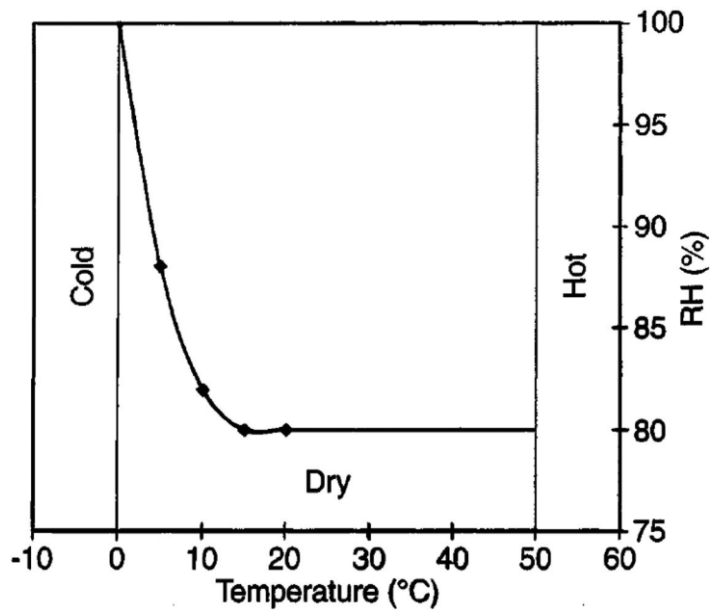
Kun kappaleen lämpötila on absoluuttisen nollapisteen yläpuolella, lähettävät ne **säteilyä**. Lyhytaaltainen auringonsäteily ja pitkäaaltoinen kappaleiden säteily ovat rakennustekniikassa esiintyviä lämpösäteilyjä. Säteilyn osuessa johonkin pintaan, se osittain absorboituu ja osittain heijastuu. (3, s. 12 - 13.)

Konvektio eli virtaus on lämmön siirtymistä kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Yleisimmin konvektiota tapahtuu jonkin ulkopuolisen voiman kuten tuulen, ihmisten liikkumisen ja koneellisen ilmanvaihdon vaikutuksesta. Myös lämpötilaerojen aiheuttama tiheysero saa aikaan konvektion. (3, s. 13.)

2.3 Home

Sopiva lämpötila ja kosteus sekä riittävä hapen ja ravinnon määrä ovat otollisia homeen kasvuun ja lisääntymiselle. Ympäristössä olevassa ilmassa ja rakenteiden pinnoilla onkin riittävästi tarjolla ravintoa mikrobikasvustolle. Puutuotteita sisältävät materiaalit ovatkin hyviä kasvualustoja homeelle. Monet rakennusmateriaalit sisältävät jo luonnostaan erilaisia bakteereja ja sieni-itiöitä. Edes rakenteen kuivuminen ei tuhoa bakteerikasvustoa, joten hoitamattomat kosteusvauriot voivatkin johtaa home- ja lahovaurioihin. (5, s. 57.)

Luonteenomaista mikrobien kasvuun on kasvunopeuden vaihtelu. Mikrobit säilyvätkin hyvin laajalla lämpötila-alueella elinkykyisinä. Kuvassa 2 on männyn pintapuun suotuisat kosteus- ja lämpötilaolosuhteet. (5, s. 58.)



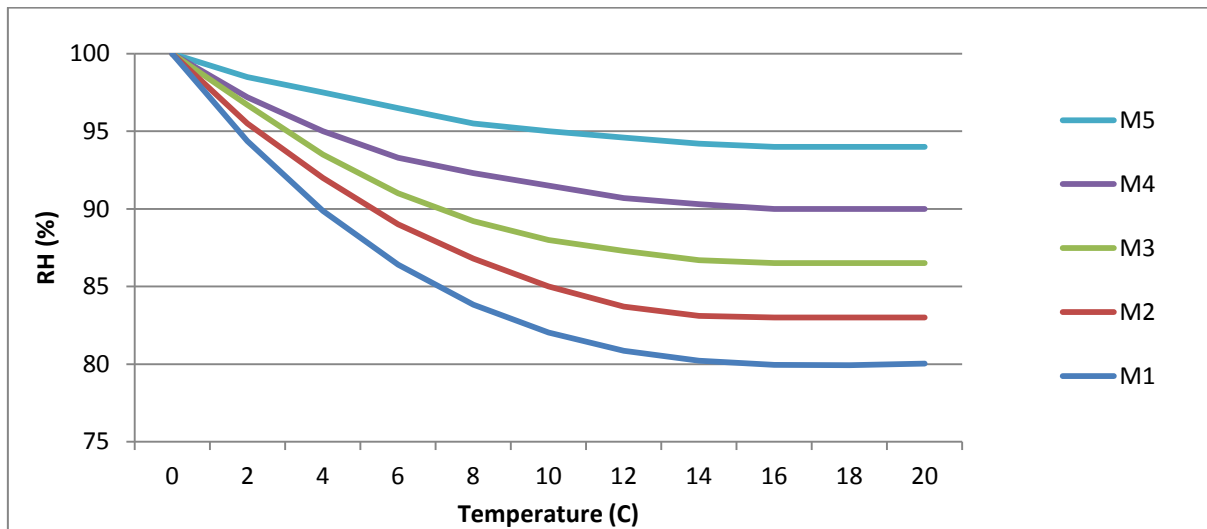
KUVA 2. Homeen kasvun kannalta suotuisat kosteus- ja lämpötilaolosuhteet männyn pintapuussa (5, s. 58)

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan homeen kasvua VTT:n alun perin männyn ja kuusen pintapuulle kehitetyllä homeen kasvun laskentamallilla. Oulun ammattikorkeakoulu on kehittänyt Mikael Mäkitalon Tampereen yliopistossa tehdyn diplomityön pohjalta Excel-pohjaisen homeindeksin laskentamallin. Laskentamalli perustuu homeindeksiluokitukseen ($M = 0 - 6$), jonka mukaan homeen kasvu alkaa, kun saavutetaan homehtumisaste 1. Taulukon 1 mukaan voidaan määrittellä homeindeksi.

TAULUKKO 1. Homeindeksin luokitusperusteet (5, s. 59)

Homeindeksi	Luokitusperusteet
0	Ei kasvua, pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu, paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Mikroskoopilla havaittava kasvu, useita rihmastopesäkkeitä muodostunut
3	Silmin havaittava kasvu, rihmaston peitto alle 10 % alasta (itiöitä alkaa muodostua) TAI mikroskoopilla havaittava kasvu, peitto alle 50 %
4	Silmin havaittava kasvu, rihmaston peitto noin 10-50 % alasta TAI mikroskoopilla havaittava kasvu, peitto yli 50 %
5	Silmin havaittava kasvu, rihmaston peitto yli 50 % alasta
6	Erittäin runsas kasvu, rihmaston peitto lähes 100 %

Lämpötila vaikuttaa oleellisesti homeen kasvun muodostumiselle. Mitä alhaisempi lämpötila on, sitä suuremman suhteellisen kosteuden kasvusto vaatii. Luokitustasojen mukaiset homeindeksin maksimiarvot saavutetaan kuvassa 3 esitetyissä olosuhteissa.



KUVA 3. Homeen kasvulle suotuisat olosuhteet, joilla saavutetaan homeindeksin mukaiset maksimiarvot (5, s. 59)

Materiaalit on jaettu taulukon 2 mukaisiin homehtumisen herkkyysluokkiin (5, s. 60).

TAULUKKO 2. Rakennusmateriaalien homehtumisherakkyysluokat (5, s. 60)

Homehtumis-herkkyysluokka	Rakennusmateriaalit
1	Sahattu ja mitallistettu puutavara (mänty, kuusi), höylätty mänty
2	Höylätty kuusi, paperipintaiset tuotteet, puupohjaiset levyt, kipsilevy
3	Tiilet, sementti- ja muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, mineraalivillat
4	Lasi ja metalli, tehokkaita suoja-aineita sisältävät tuotteet, alkalinen uusi betoni

Lämpötilan laskiessa pakkasen puolelle tai lämpötilan ollessa yli 50 °C homeen kasvu ei ole mahdollista. Homeen kasvun kriittisimmät kaudet ajoittuvat yleensä syksyyn, jolloin lämpötila on yli 0 °C ja samaan aikaan suhteellinen kosteus voi

nousta yli 80 %:iin. Homeen kriittistä rajakäyrää kuvataan kaavassa 3. (5, s. 60, 64.)

$$RH_{crit} = \begin{cases} -0,00267T^3 + 0,16T^2 - 3,13T + 100, & \text{kun } 0^\circ\text{C} < T \leq 20^\circ\text{C} \\ 100\%, & \text{kun } 0^\circ\text{C} \geq T \geq 50^\circ\text{C} \\ RH_{min}, & \text{kun } 20^\circ\text{C} < T < 50^\circ\text{C} \end{cases} \quad \text{KAAVA 3}$$

T = lämpötila °C

RH_{min} = suhteellisen kosteuden minimiarvo (%), joka vaaditaan homekasvun alkamiseen, taulukon 2 mukaan.

Homeen kasvun alkamiseen tarvittava aika t_m vakio-olosuhteissa kuvataan kaavassa 4 homemallissa regressiomallilla (5, s. 60 - 61).

$$t_m = \exp(-0,68\ln T - 13,9\ln RH + 0,14W - 0,3SQ + 66,02) \quad \text{KAAVA 4}$$

T = lämpötila °C

RH = suhteellinen kosteus %

W = puulaji

SQ = pinnan ravinteikkuus (0=kuivauksen jälkeen uudelleen sahattu pinta, 1=alkuperäinen, kuivaamosta suoraan tullut pinta)

Homehtumisaste voidaan määrittää ajan suhteen kaavassa 5 differentiaaliyhtälöllä (5, s. 61).

$$\frac{dM_0}{dt_0} = \frac{1}{24 \cdot 7 \cdot \exp(-0,68\ln T - 13,9\ln RH + 66,02)} k_1 k_2 \quad \text{KAAVA 5}$$

missä,

k_1 = homehtumisnopeutta kuvaava tekijä alueella $4 < M < 6$

k_2 = homeindeksin kasvun hidastumista kuvaava tekijä alueella $4 < M < 6$

Kaava 5 kuvaa 24 kertaa vuorokaudessa, eli tunnin välein esiintyvää keskimääräistä homeindeksin arvoa. Se huomioi lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja homeen kehitysasteen vaikutukset homeen kasvun muutoksille. Tekijä k_2 riip-

puu edeltävän tunnin homeindeksin arvosta M ja materiaalin pinnalla olevan suurimman homeindeksin arvosta M_{max} kaavan 6 mukaisesti. (5, s. 61.)

$$k_2 = \max[1 - \exp(2,3 * (M - M_{max})), 0] \quad \text{KAAVA 6}$$

Taulukossa 3 on esitetty k_1 arvot homehtumisherkeyksiluokittain.

TAULUKKO 3. Homehtumisherkeyksiluokkien kertoimet ja suhteellisen kosteuden minimiarvot (5, s. 61)

Homehtumisherkeyksiluokka	k_1		A	B	C	RH_{mi} n
	M<1	M>1				
Hyvin herkkä	1	2	1	7	2	80
Herkkä	0,578	0,368	0,3	6	1	80
Kohtalaisen kestävä	0,072	0,097	0	5	1,5	85
Kestävä	0,033	0,014	0	3	1	85

Kaavassa 6 oleva homeen maksimiarvo M_{max} on riippuvainen materiaalista ja olosuhteesta kaavan 7 mukaisesti (5, s. 61).

$$M_{max} = A + B * \frac{RH_{crit} - RH}{RH_{crit} - 100} - C * \left(\frac{RH_{crit} - RH}{RH_{crit} - 100} \right)^2 \quad \text{KAAVA 7}$$

Kertoimet A, B ja C saadaan taulukosta 3. Puurunkoisessa rakenteessa käytetään homehtumisherkeyksiluokan hyvin herkintä arvoa. Kuivan kauden aikana homeen kasvu hidastuu ja homeindeksi jää yleensä alle yhteen. Tämän ajan vaikutus huomioidaan korjauskertoimilla kaavan 8 mukaisesti. (5, s. 62.)

$$\frac{dM}{dt} = C_{mat} * \begin{cases} -0,032 * \left(\frac{t-t_1}{24} \right), \text{ kun } 0h < t \leq 6h \\ 0, \text{ kun } 6h \leq t \leq 24h \\ -0,016 * \left(\frac{t-t_1}{24} \right), \text{ kun } t > 24h \end{cases} \quad \text{KAAVA 8}$$

t = laskenta-aika alkuhetkestä t_1 (h)

t_1 = alkuhetki (h)

C_{mat} = materiaalikohtainen taantumakerroin homeen taantumisnopeudelle

Kaavassa 8 tarkastellaan homeindeksiä tunnin laskentaintervalleissa. Käyttämällä taantumakertoimen arvoa C_{mat} , saadaan yhtälö kattamaan rakenteissa yleisesti käytetyt materiaalit. Taantumakerroin C_{mat} on esitetty taulukossa 4. (5, s. 62.)

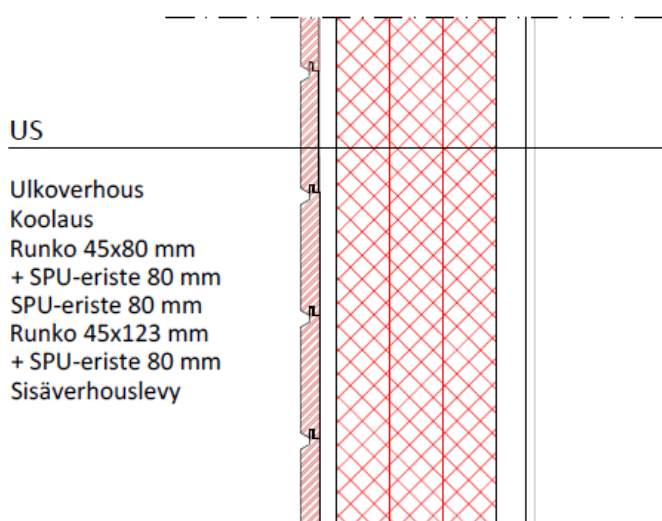
TAULUKKO 4. Eri homeherkkyyssuokkiin kuuluvien materiaalien taantumaluokat ja taantumakertoimet C_{mat} (5, s. 62)

Homehtumisherkkyyssuokka	Taantumaluokka	Taantumakerroin C_{mat}
Hyvin herkkä (HHL 1)	Voimakas taantuma	1,00
Herkkä (HHL 2)	Merkittävä taantuma	0,50
Kohtalaisen kestävä (HHL 3)	Kohtalainen taantuma	0,25
Kestävä (HHL 4)	Vähäinen taantuma	0,10

Ulkoilman lämpötila- ja kosteusolot aiheuttavat yleensä sen, että seinärakenteen ulkopinnalle muodostuva kosteusrasitus aiheuttaa rakenteeseen homehtumisriskin. Luonnollista homeen kasvua voikin muodostua rakenteen ulkopinnoille. Seinän ulkopinnassa oleva mahdollinen homeen kasvu ei saa kuitenkaan ylittää ulkoilmassa olevaa homeen kasvun riskiä. (5, s. 63.)

3 MITTAUKSET SEINÄRAKENTEESSA

Tutkitussa seinärakenteessa on kaksoisrunko. Ulkorunkona on 45 mm x 80 mm mitallistettu kuusi C24 ja runkotolppien välissä on eristeenä polyuretaanieriste 80 mm. Rungon keskellä kulkee yhtenäisenä polyuretaanieriste 80 mm. Eristeen saumat on teipattu eristeen kummaltakin puolelta tähän tarkoitukseen sovelletulla alumiiniteipillä. Sisärunkona on 45 mm x 123 mm mitallistettu kuusi C24 ja runkotolppien välissä on eristeenä polyuretaani 80 mm. Näin sisäpintaan jää 43 mm:n asennusväli sähkörasioille. Kuvassa 4 on seinärakenteen leikkauskuva.



KUVA 4. Rakenneleikkaus seinärakenteesta

Polyuretaanieristeen kummassakin pinnassa on alumiinipaperi. Alumiinipaperi toimii näin rakenteen höyrynsulkuna. Runkotolpan ja eristeen välinen rajapinta on vaahdotettu uretaanilla asennuksen aikana.

3.1 Mittausjärjestelyt

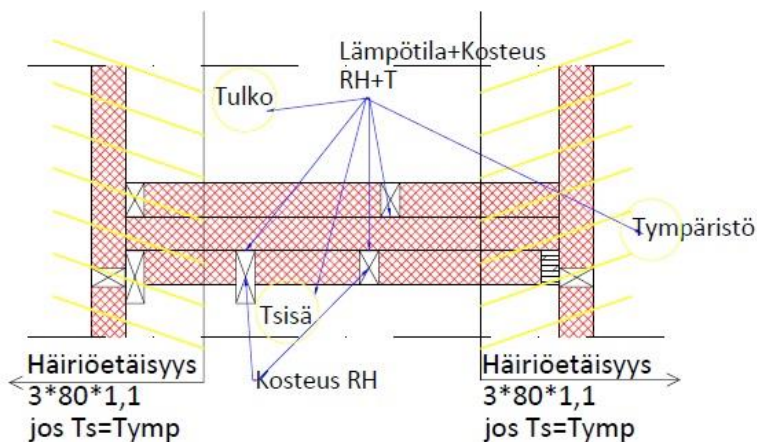
Mittaukset suoritettiin Dometalot Oy:n tehtaalla Luohualla. Tehtaalle rakennettiin mittauksia varten kuvassa 5 näkyvä testihuone. Testihuone sisältää kaksi tilaa, joista toiseen voidaan luoda äärimmäiset talviolosuhteet jäähdytyslaitteella. Toiseen tilaan taas voidaan järjestää normaalin asuintilan olosuhteet. Testihuone on suunniteltu niin, että tilojen väliin voi rakentaa tutkittava seinärakenne.



KUVA 5. Testihuone

Mittaukset toteutettiin Oulun Ammattikorkeakoulun lämpötila- ja kosteusantureilla. Lämpötila-antureina käytettiin Termistor UU, jonka virhemarginaali on $\pm 0,2$ °C koko mittausalueella. Kosteusantureina käytettiin HIIH-4021-003 ja niiden virhemarginaali on ± 5 %, kun lämpötila on alle 0 °C . Seinärakenteeseen asennettiin kosteusantureita yhteensä 5 kpl ja lämpötila-antureita 3 kpl. Lisäksi kosteus- ja lämpötila-antureita laitettiin rakenteen ulkopuolelle ja sisäpuolelle mittaamaan ympärillä olevia olosuhteita.

Kuvassa 6 on esitetty seinärakenteeseen asennetut anturit. Anturit liitettiin Fidelix Oy:n valmistamaan automaatiojärjestelmään, jolla pystyi seuraamaan reaaliajassa mittauksen tuloksia.



KUVA 6. Antureiden sijoituspaikat

Lämpötila-anturit Termistor UU ja suhteellisen kosteuden-anturit HIH-4021-003 asennettiin tutkittavaan seinärakenteeseen poraamalla reiät mitattaviin kohtiin. Koska antureiden johdot johtavat lämpöä noin 2 kertaa paremmin kuin puu, täytyi antureiden johdot tuoda haluttuun mittauspisteeseen mahdollisimman pitkän matkan seinän suunnassa, ettei johdoista tulisi häiriötä mittaukseen. Reikien pituuden tulisi olla vähintään 250 mm. Poratut reiät vaahdotettiin uretaanilla antureiden asennuksen jälkeen (kuva 7).



KUVA 7. Antureiden sijoittelua

3.2 Mittaus

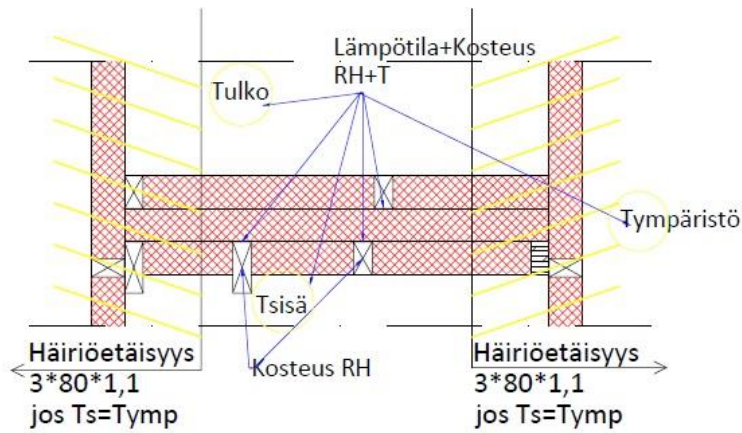
Seinärakenteen mittaukset alkoivat heinäkuun 2012 loppupuolella ja mittaukset kestivät tammikuun 2013 loppuun. Mittausten eteneminen sujui odotetulla tavalla.

Mittauslaite otti jokaisesta kohdasta lämpötilan °C ja suhteellisen kosteuden RH viiden minuutin välein. Jälkeenpäin ajateltuna mittaustiheydeksi olisi voinut asettaa yksi tunti. Mittauksen edetessä järjestelmän muisti tuli täyteen, joten järjestelmä poisti mittaustuloksia mittauksen alkupäästä. Näin todellisuudessa mittaustuloksia saatiin vähän alle viiden kuukauden ajalta, vaikka käytännössä mittaukset kestivät seitsemän kuukautta.

3.3 Mittaustulosten purkaminen

Seinärakenteesta otettiin tarkasteluun rakenteen kriittisimmät kohdat. Kriittisimmiksi kohdiksi arvioitiin kolme pistettä, jotka olivat mittauspisteet 1, 2 ja 3.

Kuvassa 8 on mittausantureiden paikat. Mittaustuloksista saatu data, joka sisälsi suhteellisen kosteuden RH ja lämpötilan °C, siirrettiin Exceliin.



KUVA 8. Mittausantureiden paikat

Kaikista kolmesta mittauspisteestä tehtiin oma taulukko, jossa oli tunnin välein ilmoitettu pisteessä oleva suhteellinen kosteus RH ja lämpötila °C. Mittausjakso oli 12.9.2012 18:40 - 30.1.2013 12:40. Mittaustuloksia kertyi jokaista mitattavaa pistettä kohden 3 555 kpl. Saaduista tuloksista laskettiin jokaisen pisteen todellinen vesihöyrypitoisuus v ja kyllästysvesihöyrypitoisuus v_k .

4 WUFI 2D -MALLINNUSOHJELMA

Wufi on lyhenne Saksan kielen sanoista Wärme- und Feuchtetransport installationär, joka tarkoittaa ohimenevää lämmön- ja kosteuden siirtymistä. Wufi 2D -ohjelma on suunniteltu lämmön- ja kosteudensiirtymisen mallintamiseen rakenteissa yksi- ja kaksiulotteisissa malleissa.

Seinä rakenne mallinnettiin ohjelmaan mahdollisimman tarkasti. Ohjelmasta löytyvästä materiaalikirjastosta ei löytynyt riittävän tarkkoja tietoja eristeestä, joten otettiin yhteyttä polyuretaanieristeitä valmistavaan yritykseen, joka toimitti tarvittavat materiaaliominaisuudet eristeestä.

Seinä rakenteessa käytetty eriste on tuotenimeltään SPU AL 80. Irtotiheydeksi ilmoitettiin 37 kg/m^3 , lämmönjohtavuudeksi $0,023 \text{ W/mK}$ ja polyuretaanin umpisoluisuudeksi 98% . Lisäksi levyn kummassakin pinnassa olevan alumiinipaperin vesihöyrynvastukseksi ilmoitettiin 1200000 . Runkorakenteen osalta materiaalikirjasto oli riittävän kattava ja sieltä löytyikin materiaali, jolla oli oikeat ominaisuudet.

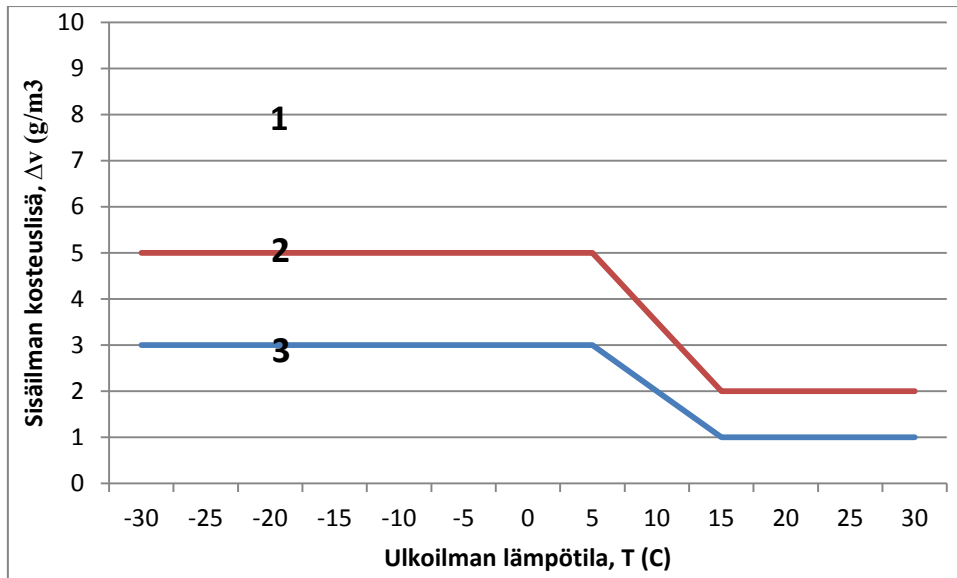
Seinä rakenne simuloitiin mittauksesta saaduilla sisäilman ja ulkoilman lämpö- ja kosteusdatalla. Rakenteen simuloinnissa meni aluksi aikaa, kun en heti huomannut kysyä tarkkoja eristeen materiaaliominaisuuksia valmistajalta. Alumiinipaperin mallintaminen jokaisen eristeen ulko- ja sisäpintaan jäi aluksi pois. Näin tuloksista ei saatu heti yhteneväisiä.

Mittauspisteessä 1 mitatun jakson vesihöyrypitoisuuden keskiarvo oli $6,62 \text{ g/m}^3$ ja samalla säädatalla simuloidun ja samasta pisteestä otetun vesihöyrypitoisuuden keskiarvo oli $6,14 \text{ g/m}^3$. Mitatun ja simuloidun datan ero on keskimäärin $0,48 \text{ g/m}^3$, joka on erittäin pieni.

Toisessa mittauspisteessä mitatun ja simuloidun rakenteen keskiarvon ero oli $1,19 \text{ g/m}^3$, joka johtui mittauspisteen viereen mittauksen loppuvaiheessa tehdystä reiästä. Se laski vesihöyrypitoisuuden alimmillaan $1,66 \text{ g/m}^3$, kun keskiarvo oli $4,63 \text{ g/m}^3$. Simuloidun rakenteen vesihöyrypitoisuuden keskiarvo oli $5,82 \text{ g/m}^3$.

Rakenteesta tehtiin simulaatio Oulusta kerätyn säädatan avulla. Ulkoilman säädata saatiin Oulusta vuoden ajalta saadulla säädatalla. Sisäilman olosuhteet mallinnettiin +20 °C:seen

Simuloinnissa otettiin huomioon rakenteeseen vaikuttava sisäilman kosteuslisä. Kuvassa 9 ja taulukossa 5 on esitetty kosteusli-
sän mitoitusarvoja erityyppisissä rakennuksissa käyttöolosuhteissa.



*KUVA 9 Sisäilman kosteusli-
sän mitoitusarvot eri kosteusluokissa ulkolämpötilan
funktiona (6, s. 24)*

Taulukossa 5 on määritetty eri rakennuksille kosteusluokat ja niiden kosteusli-
sän mitoitusarvot. Tutkittava rakenne kuului kosteusluokkaan 2.

TAULUKKO 5. Sisäilman kosteuslisän perusteella määritettyihin kosteusluokkiin kuuluvat rakennustyypit (6, s. 24)

Kosteusluokka	Kosteuslisän mitoitusarvo talvella ($T \leq 5 \text{ °C}$)	Rakennustyyppi ^(3,4)
1	$> 5 \text{ g/m}^3$ ⁽¹⁾	Kylpylät, uimahallit, laitoskeittiöt, pesulat, panimot, kirjapainot, kasvihuoneet, kostutetut tilat, ratsastusmaneesit, maatalouden tuotantorakennukset, eläinsuojat, teollisuuden kosteusrasitetut tilat
2	5 g/m^3	Asuinrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset, hotellit ja majoitusrakennukset, ravintolat, kokoontumis- ja juhlatilat, opetusrakennukset ja päiväkodit, sairaalat ja hoitolaitokset, museot, liikuntahallit ja -tilat, jäähallit ja jäähdytetyt liikuntatilat ^(5,6) , kylmä- ja pakkashuoneet ^(5,6) , talviasuttavat vapaa-ajan asunnot
3	3 g/m^3 ⁽²⁾	Vapaa-ajan asunnot, puolilämpimät tai kylmillään olevat rakennukset, varastot ja säilytystilat, ajoneuvosuojat, tekniset tilat, väliaikaiset ja siirrettävät rakennukset

Ohjelma simuloi rakenteen neljän vuoden ajalta, josta tarkasteluun otettiin viimeinen vuosi. Saaduista tuloksista tarkasteluun otettiin samat pisteet kuin mita-
tuista tuloksista ja laskettiin Excel-pohjaisella ohjelmalla rakenteen kolmessa
pisteessä vaikuttava todellinen vesihöyrypitoisuus v ja kyllästysvesihöyrypitoi-
suus v_k .

5 LASKELMAT

Seinärakenteesta saatujen mittaustulosten perusteella tehtiin Exceliin taulukko, josta laskettiin kaavan 9 mukaan mittauspisteessä oleva kyllästymisvesihöyrypitoisuus v_k .

$$v_k = 4,85 + 3,47(t/10) + 0,945(t/10)^2 + 0,158(t/10)^3 + 0,0281(t/10)^4 \quad \text{KAAVA 9}$$

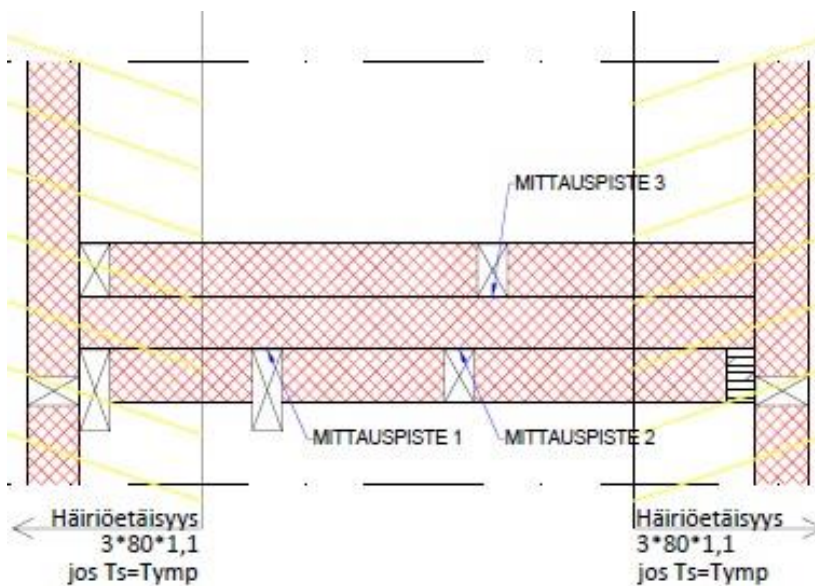
Mittauspisteessä olevan suhteellisen kosteuden RH ja kyllästymisvesihöyrypitoisuuden v_k arvoilla voidaan laskea kaavan 10 avulla todellinen vesihöyrypitoisuus v mittauspisteessä.

$$v = (RH/100) * v_k \quad \text{KAAVA 10}$$

Wufi-simuloinnista saatuihin tuloksiin tehtiin samanlaiset laskelmat ja kummankin tulokset siirrettiin samaan taulukkoon.

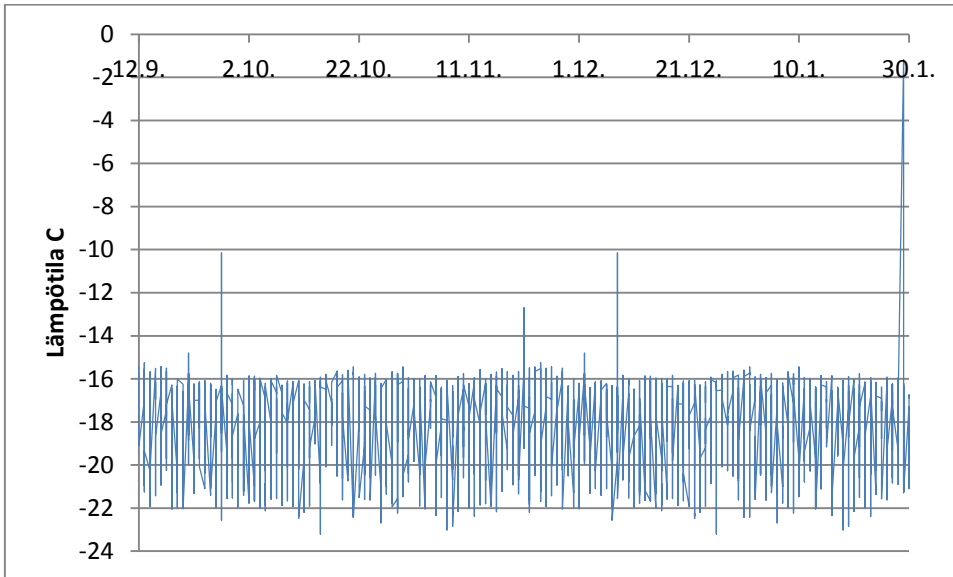
5.1 Simuloidut tulokset ja niiden vertailu mittaustuloksiin

Kaikki tarkasteltavat mittauspisteet sijaitsivat runkotalppien sisäpinnassa. Lisäksi rakenteen ulko- ja sisäpuolella oli lämpötila- ja kosteusanturit. Kuvassa 10 on näkyvillä seinärakenteen sisällä olevien mittausantureiden paikat.



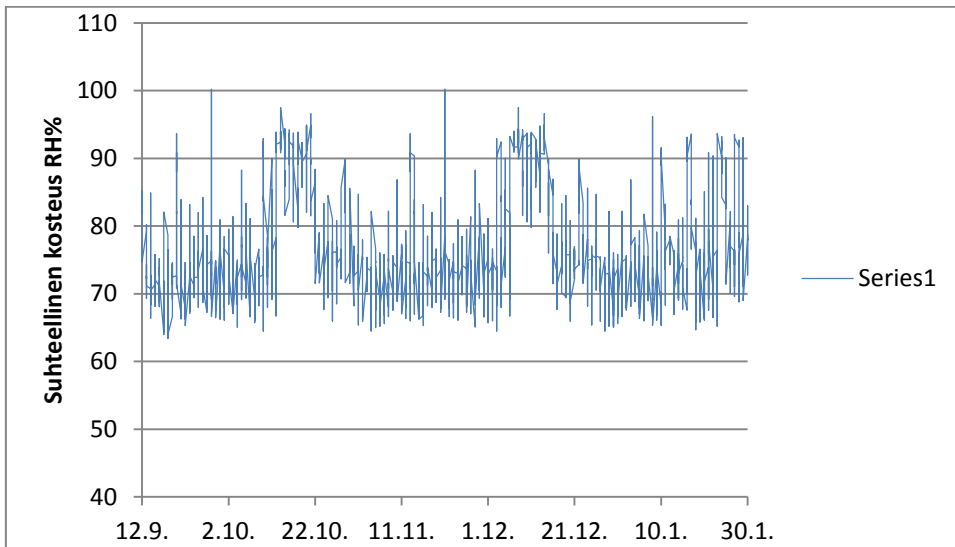
KUVA 10. Tarkasteltavien mittauspisteiden sijainti rakenteessa

Mittauksessa saaduista ulkoilman lämpötila- ja kosteusarvoista tehtiin Excel-pohjaisella laskentasovelluksella yhteensopiva tiedosto, jonka pystyi siirtämään Wufi 2D -ohjelmaan. Kuvassa 11 on esitetty mittauksessa saavutetut ulkoilman lämpötilatiedot.



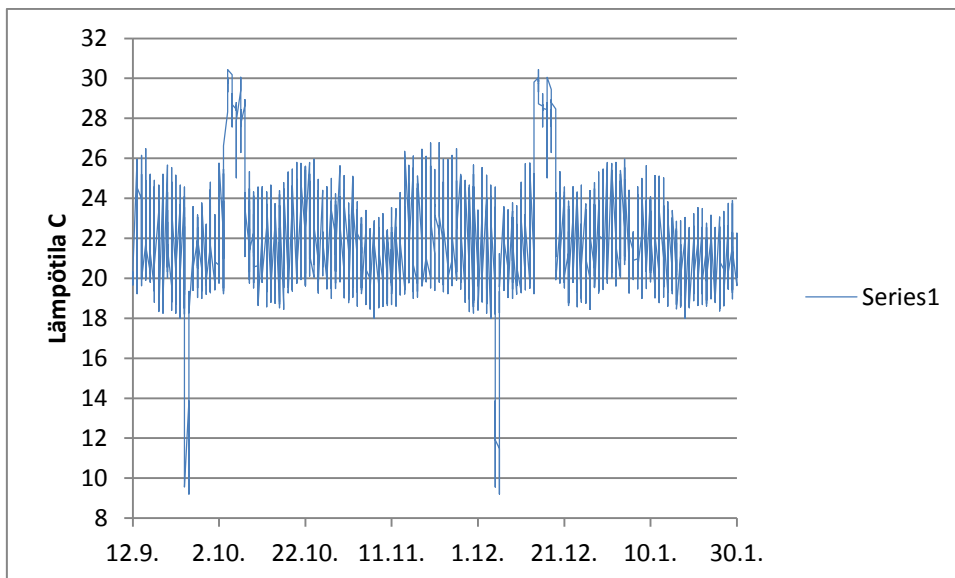
KUVA 11. Ulkoilman lämpötila °C mittausjaksolla

Mittauksen aikana tapahtuva suhteellisen kosteuden vaihtelu johtuu jäähdytyskoneen sulatuksesta. Kuvassa 12 on ulkoilmasta mitatun suhteellisen kosteuden arvot.



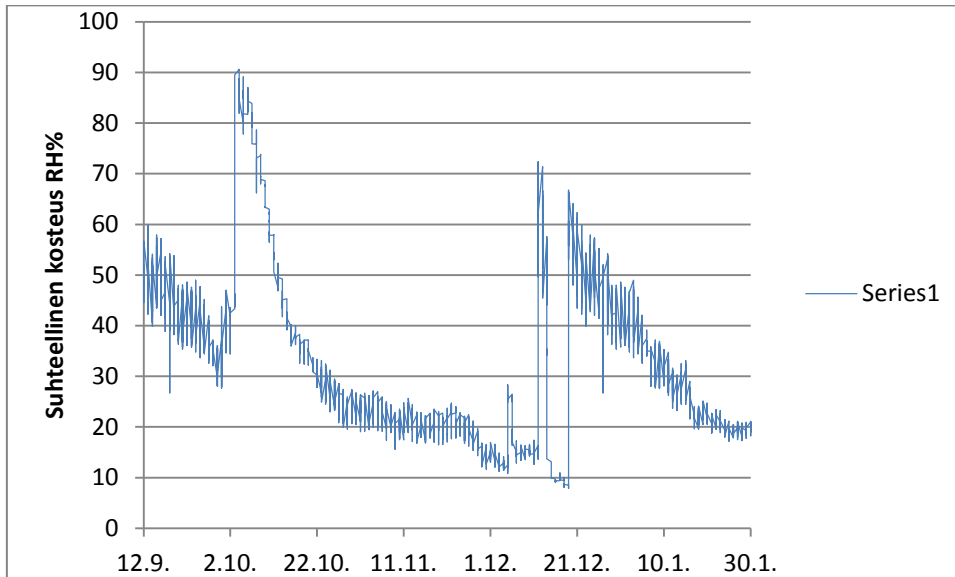
KUVA 12. Ulkoilman suhteellinen kosteus RH mittausjaksolla

Myös sisätilasta mitatuista lämpö- ja kosteusarvoista tehtiin Wufiin sopiva tiedosto. Kuvassa 13 on lämpötiladata sisätilasta. Sisälämpötilan mittauksessa oli mittausjakson alussa pientä ongelmaa. Kuvasta 13 näkee, että mittausdatassa on samanlaisia jaksoja. Tämä johtuu siitä, että mittausjakson alusta puuttuvaa lämpötiladataa jouduttiin siirtämään mittausjakson loppupuolelta alkuun. Näin saatiin riittävän pitkältä ajalta tuloksia.



KUVA 13. Sisätilan lämpötila °C mittausjaksolla

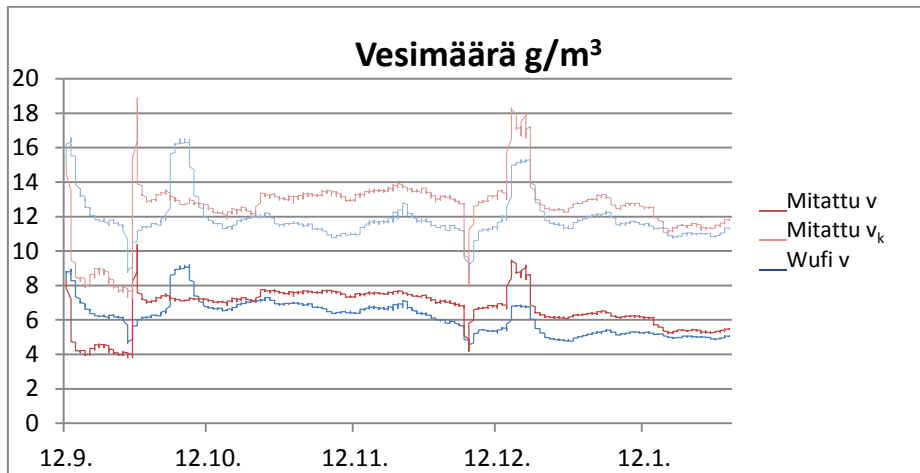
Kuvassa 14 on esitetty sisätilan suhteellinen kosteus mittausjaksolla. Mittauksen aikana tapahtuvat suuret kosteuspitoisuuden vaihtelut johtuvat tarkoituksella sisätilaan tuoduista kosteuslähteistä.



KUVA 14. Sisätilan suhteellinen kosteus RH mittausjaksolla

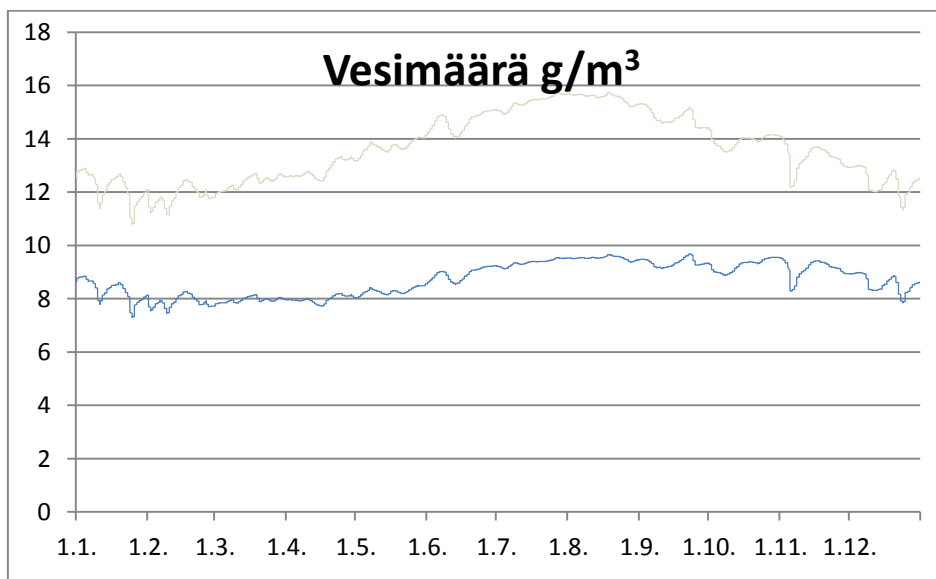
5.1.1 Mittauspiste 1

Mittauspiste 1 sijaitsee vasemman runkotolpan sisäpinnassa. Mittauksen alussa tapahtuvista vesihöyrypitoisuuksien vaihteluista ei löytynyt selvyyttä. Mittauksen tasaannuttua simuloitu data seuraa aika hyvin mitattua dataa. Jos vertaillaan mittauksen ajalla vallitsevaa keskimääräistä vesihöyrypitoisuutta $6,62 \text{ g/m}^3$ ja simuloitua keskimääräistä vesihöyrypitoisuutta $6,14 \text{ g/m}^3$, ero on pieni $0,48 \text{ g/m}^3$. Kuvassa 15 näkyy kuinka 12.12 alkaen hetkellinen sisälämpötilan nousu ja kosteus näkyy sekä mitatussa että simuloitussa käyrässä vesihöyrypitoisuuden kasvuna.



KUVA 15. Vesihöyrypitoisuus v mittauspisteessä 1

Kun rakenne saatiin mallinnettua Wufiin riittävän tarkasti, siirrettiin vuoden ajalta mitattu Oulun säädata ohjelmaan ja simuloitiin rakenne 4 vuoden ajalta. Tarkasteluun otettiin viimeisen vuoden mittaukset. Alla olevaan kuvaan 16 on laskettu mittausajalta saadun datan kyllästysvesihöyrymäärä v_k ja todellinen vesihöyrymäärä v .

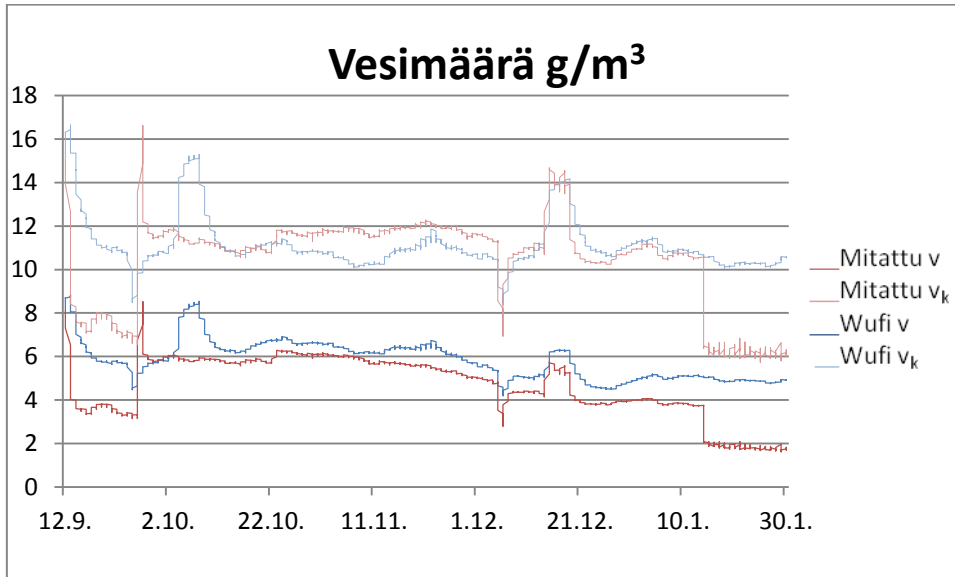


KUVA 16. Oulun säädatalla simuloitun mittauspisteen 1 vesipitoisuus v

5.1.2 Mittauspiste 2

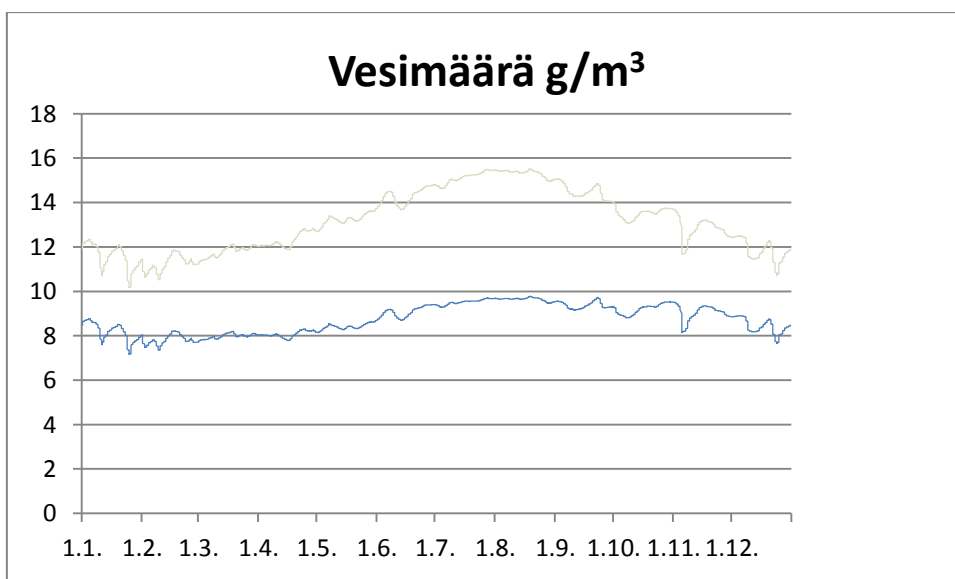
Kuvassa 17 on esitetty mittauspisteen 2 mitatuista arvoista laskettu vesihöyrypitoisuus v ja kyllästysvesihöyrypitoisuus v_k sekä wufilla simuloitu samasta pis-

teestä laskettu vesihöyrypitoisuus ja kyllästysvesihöyrypitoisuus. Mitattu tulos ja simuloitu tulos korreloivat aika hyvin toisiaan. Mittauksen loppupuolella tapahtuva vesihöyrypitoisuuden laskeminen johtuu rakenteeseen tarkoituksella tehdystä reiästä, joka laski mittauspisteessä olevan rakenteen lämpötilaa.



KUVA 17. Vesihöyrypitoisuus mittauspisteessä 2

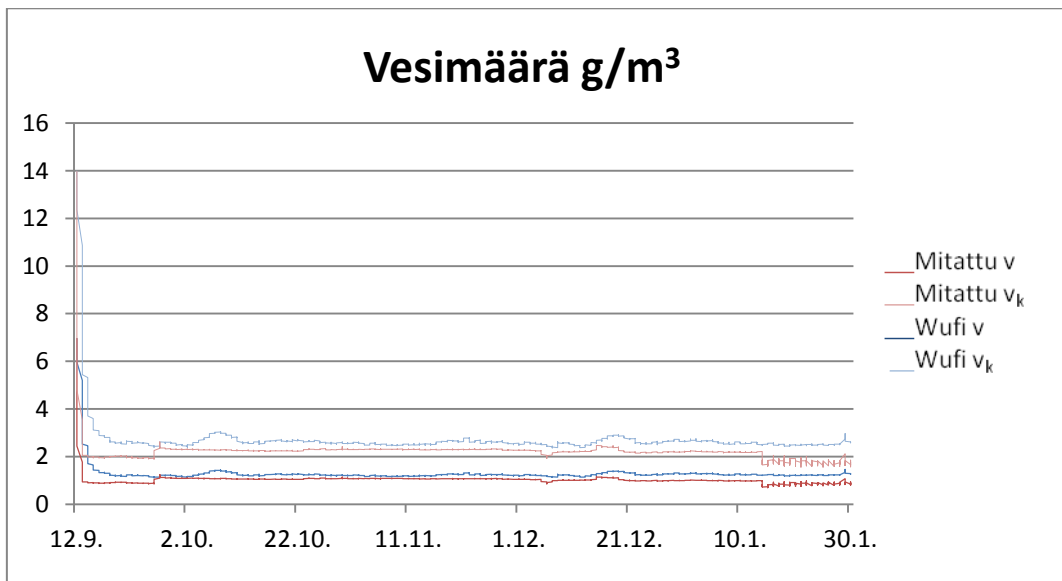
Kuvaa 18 tarkasteltaessa näkee, että todellinen vesihöyrypitoisuus vaihtelee syksyn $9,6 \text{ g/m}^3$ ja talven $7,1 \text{ g/m}^3$ välillä, kun kyllästymisvesihöyrypitoisuus vaihtelee talven $10,3 \text{ g/m}^3$ ja syksyn $15,4 \text{ g/m}^3$.



KUVA 18. Oulun säädatalla simuloitun mittauspiste 2 vesipitoisuus

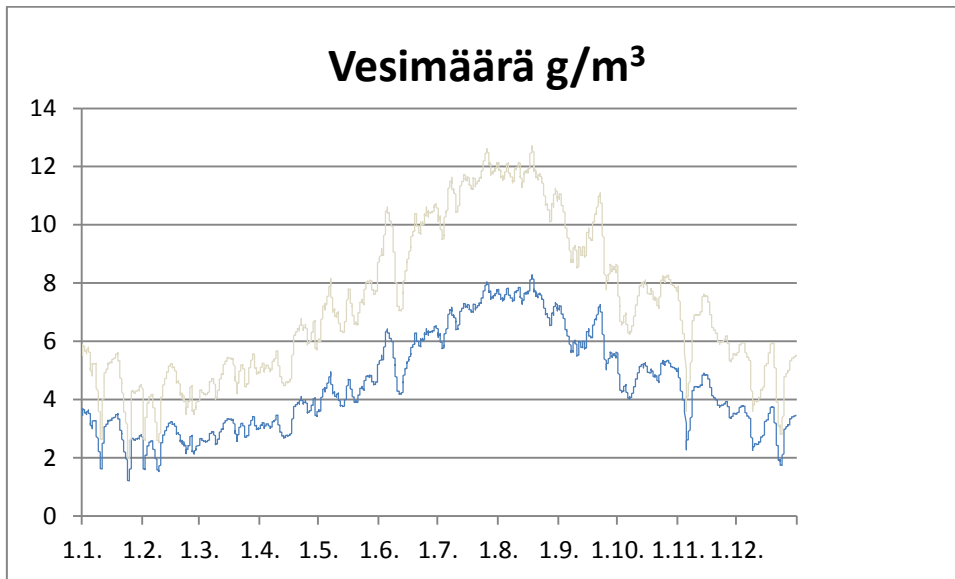
5.1.3 Mittauspiste 3

Mittauspiste 3 sijaitsi lähimpänä rakenteen ulkopintaa. Mittausolosuhteet olivat erittäin vaativat ja kuvasta 19 näkee, että mittauspisteen lämpötila pysyi koko mittauksen ajan pakkasen puolella. Näin todellinen vesihöyrypitoisuus pysyi matalana mittauksen ajan. Mitattu data ja simuloitu data ovat hyvin lähellä toisiinsa. Mittausjakson loppupuolella tapahtuva vesipitoisuuden pieneneminen johtuu rakenteeseen tehdystä reiästä.



KUVA 19. Vesihöyrypitoisuus mittauspisteessä 3

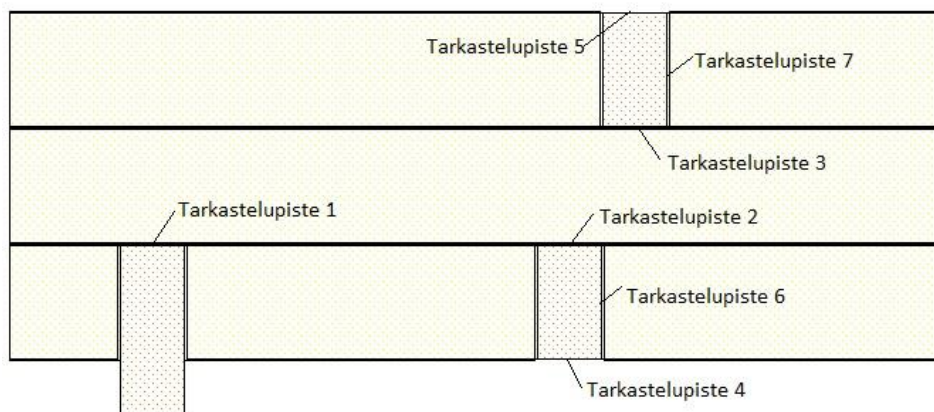
Oulun säädatalla simuloitaessa mittauspisteen 3 lämpötila noudatti aikalalla ulkona olevan sään lämpötiloja pysyen kuitenkin muutaman asteen lämpimämpänä. Kuvasta 20 näkee, kuinka mitattavan pisteen todellinen vesihöyrypitoisuus vaihteli pakkasjakson $1,2 \text{ g/m}^3$ ja syksyn $8,3 \text{ g/m}^3$ välillä. Kuitenkin kyllästyvesihöyrypitoisuuden vaihdellessa talven 2 g/m^3 ja $12,6 \text{ g/m}^3$ välillä.



KUVA 20. Oulun säädatalla simuloidun mittauspisteen 3 vesipitoisuus

5.2 Homeindeksin määrittäminen

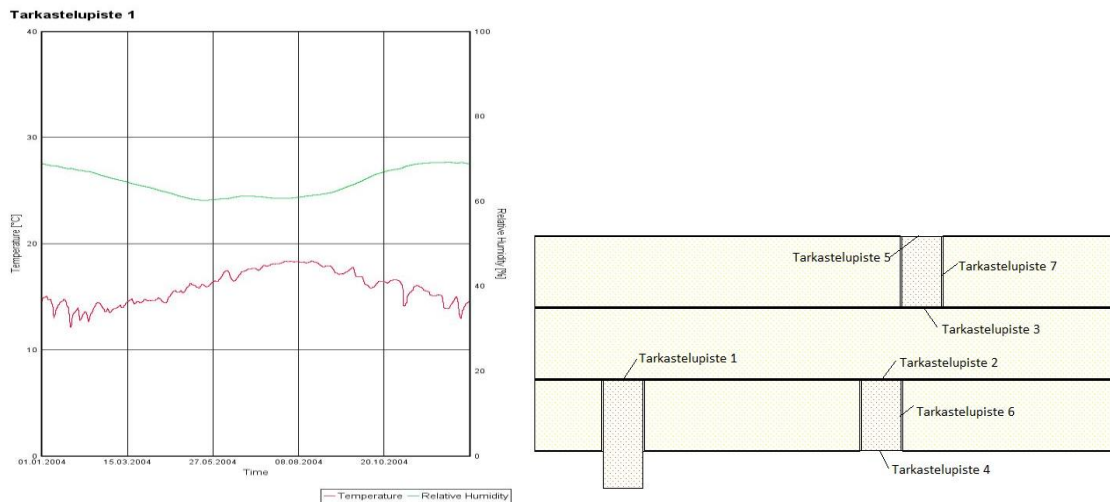
Rakenteesta otettiin homeindeksitarkasteluun yhteensä seitsemän pistettä. Kolme tarkastelupistettä sijaitsi jo mittauksessa käytössä olleissa pisteissä. Lisäksi tarkasteluun otettiin rakenteen sisäpinnan läheisyydestä yksi piste, ulkoilmasta rakenteen välittömästä läheisyydestä yksi piste ja kahden runkotolpan keskeltä pisteet. Näillä tarkastelupisteillä saadaan riittävä varmuus rakenteen mahdollisesta homeutumisriskistä. Kuvassa 21 on näkyvillä homeindeksinlaskennan tarkastelupisteet



KUVA 21. Homeindeksin laskentaan otetut tarkastelupisteet

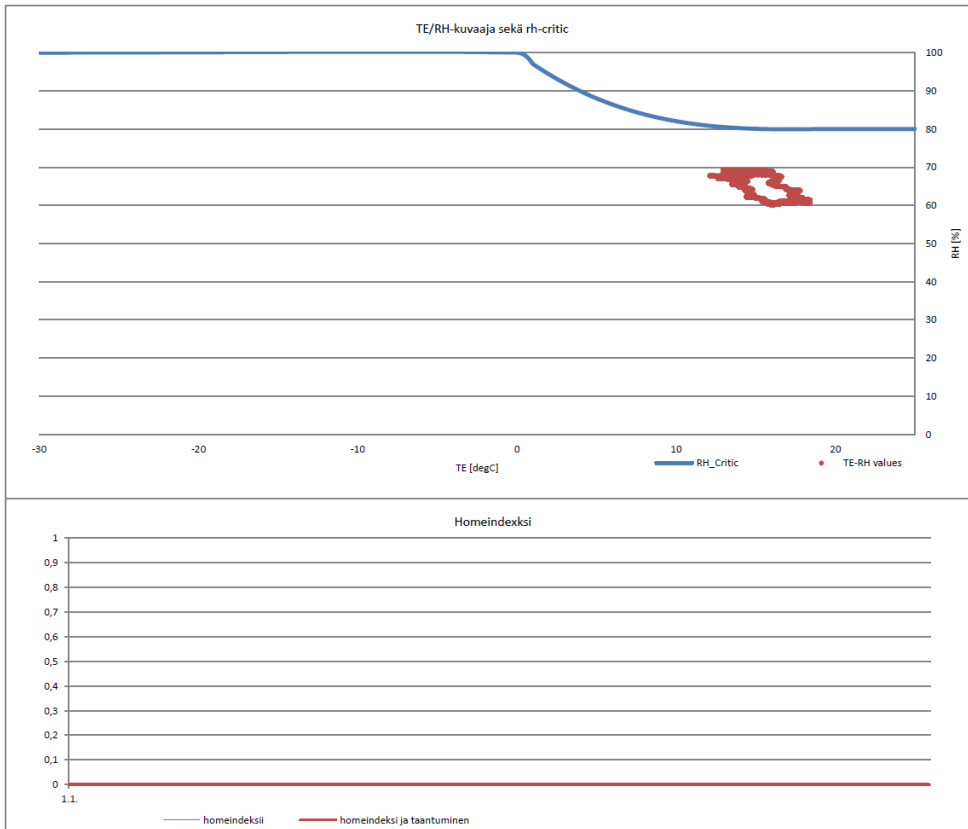
5.2.1 Tarkastelupiste 1

Ensimmäinen tarkastelupiste sijaitsi vasemman puoleisen runkotolpan kylmemmän puolen pinnassa. Etäisyys rakenteen sisäpintaan oli 123 mm. Kuvassa 22 on esitetty tarkastelussa olevan pisteen suhteellinen kosteus RH ja lämpötila °C. Rakenteessa on lämpötilan kannalta suotuisat olosuhteet homeen kasvuun, mutta suhteellinen kosteus ei nouse rakenteessa yli 80 %:iin, jolloin tarkasteltavassa pisteessä ei ole homeen kasvuun riittäviä oloja.



KUVA 22. Tarkastelupisteen 1 suhteellinen kosteus RH ja lämpötila °C

Kuvassa 23 olevassa TE/RH-kuvaajassa näkyy alue, jossa homeen kasvuun tarvittava alue RH_{crit} on sinisen viivan yläpuolella. Punaiset pisteet ovat tarkasteltavan ajankohdan jokaiselta tunnilta otettuja arvoja. Kuvaajasta huomaa, että tarkasteltavan pisteen olosuhteet pysyvät koko ajan aika normaalilla tasolla. Liitteessä 1 on raportti Homeindeksin laskennan tuloksista.



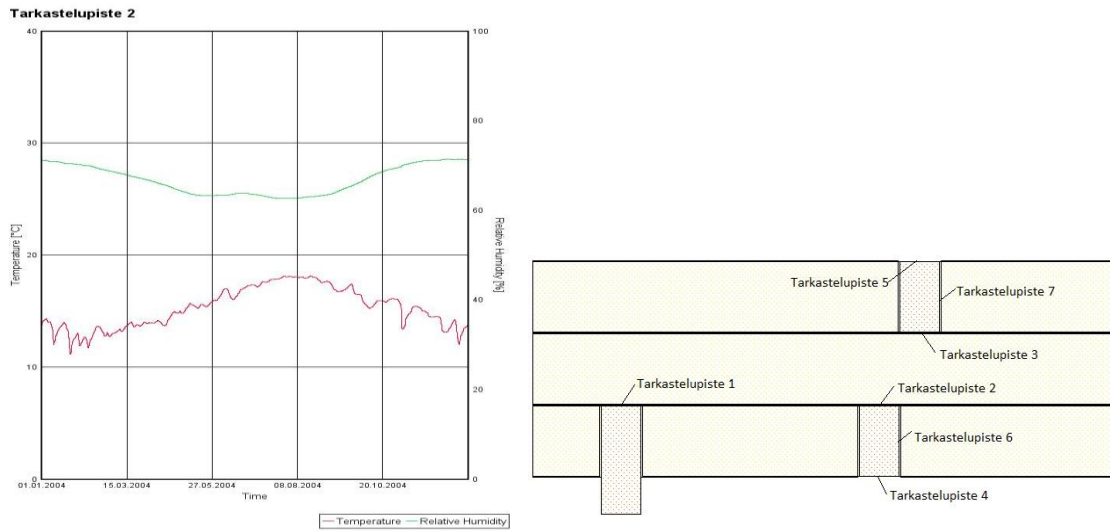
Homeindeksi

	Homeindeksi
Homeindeksin nousu yhteensä	0,0
Homeindeksi taantuminen huomioituna	0,0

KUVA 23. Homeindeksin määrittäminen tarkastelupisteessä 1

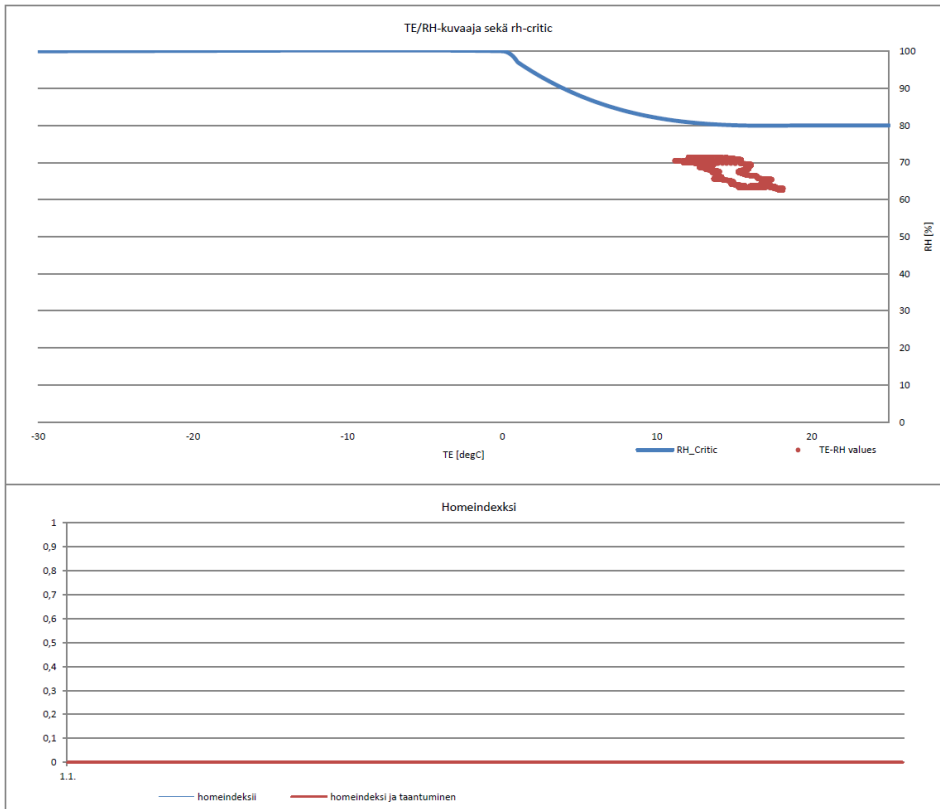
5.2.2 Tarkastelupiste 2

Toinen tarkastelupiste sijaitsi oikeassa runkotolpassa. Etäisyys rakenteen sisäpintaan oli 80 mm. Lämpötila- ja kosteuskäyrä on aikalailla samanlainen kuin tarkastelupisteessä 1, johtuen tarkastelupisteen sijainnista. Kuvassa 24 on näkyvillä tarkasteltavan rakenteen lämpötila °C ja suhteellinen kosteus RH simuloidulta ajalta.



KUVA 24 Tarkastelupisteen 2 suhteellinen kosteus RH ja lämpötila °C

Kuvassa 25 on Excel-sovelluksella laskettu homeindeksi. Vaikka tarkasteltavan pisteen lämpötila °C pysyy koko ajan homeen kasvulle suotuisissa olosuhteissa, ei pisteeseen tutkimusten perusteella voi syntyä homeen kasvua, koska suhteellinen kosteus RH pysyy koko ajan alle 80 %:ssa. Liitteessä 2 on homeindeksiraportti kokonaisuudessaan.



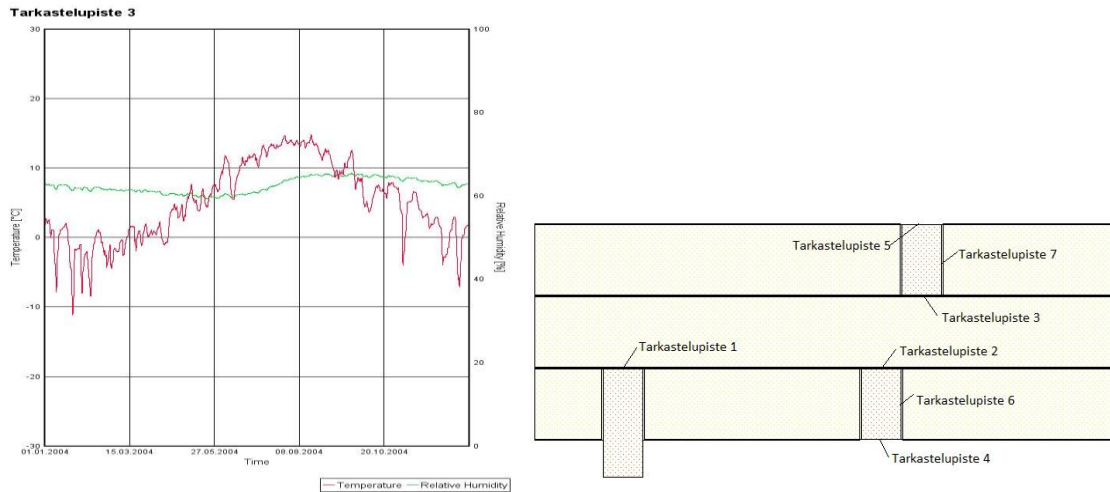
Homeindeksi

	Homeindeksi
Homeindeksin nousu yhteensä	0,0
Homeindeksi taantuminen huomioituna	0,0

KUVA 25. Homeindeksin määrittäminen tarkastelupisteessä 2

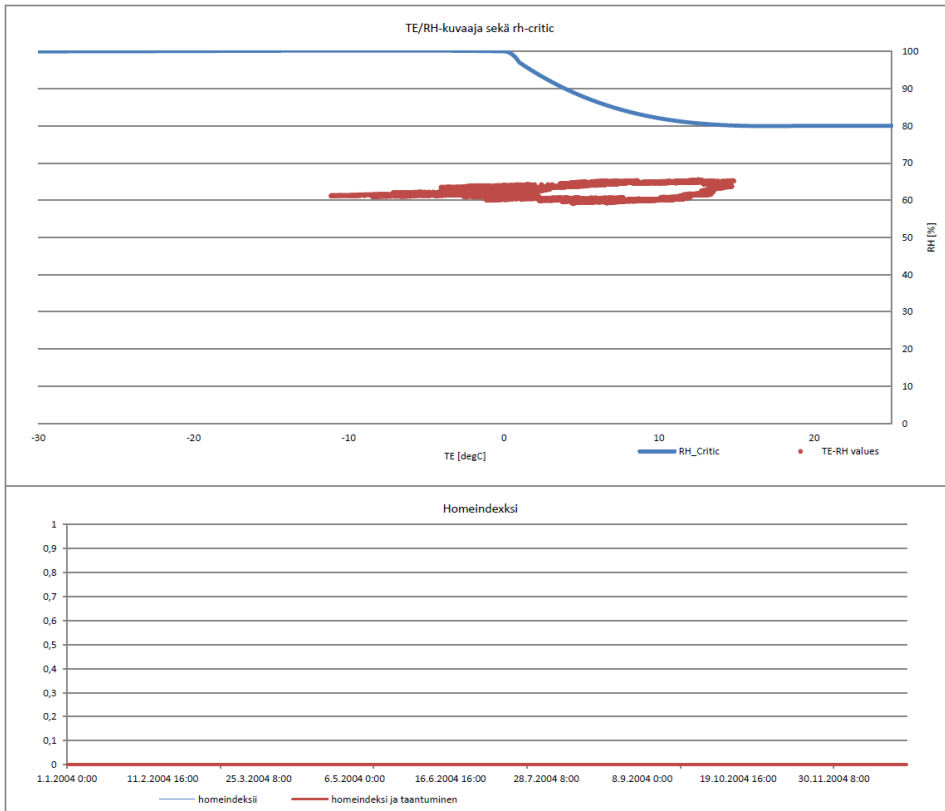
5.2.3 Tarkastelupiste 3

Tarkastelupiste 3 sijaitsi 80 mm:n päässä rakenteen ulkopinnasta. Pisteän lämpötila °C vaihtelikin ulkona vallitsevan lämpötilan mukaan. Kuvasta 26 käy ilmi, että suhteellinen kosteus RH nousee syksyn märkien kelien vaikutuksesta.



KUVA 26. Tarkastelupisteen 3 suhteellinen kosteus RH ja lämpötila °C

Tarkastelupisteen sijaitessa lähellä ulkopintaa huomataan kuvasta 27, kuinka rakenteen lämpötila vaihtelee eri vuoden aikana. Homeelle suotuisia olosuhteita ei kuitenkaan synny tarkastellulle pisteelle suhteellisen kosteuden RH pysyessä alle 80 %:ssa. Homeindeksin laskennan tulokset löytyvät liitteestä 3.



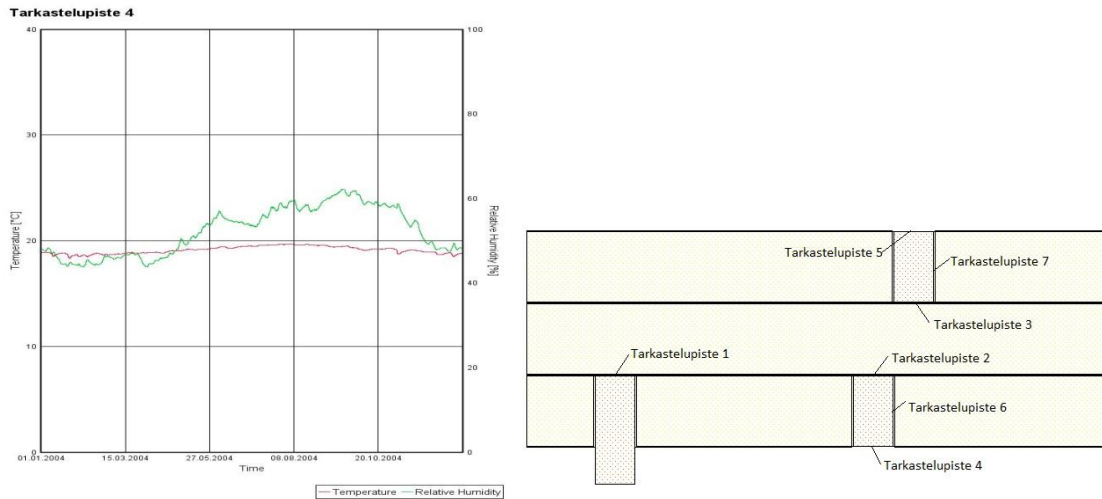
Homeindexi

	Homeindexi
Homeindexin nousu yhteensä	0,0
Homeindexi taantuminen huomioituna	0,0

KUVA 27. Homeindexin määrittäminen tarkastelupisteessä 3

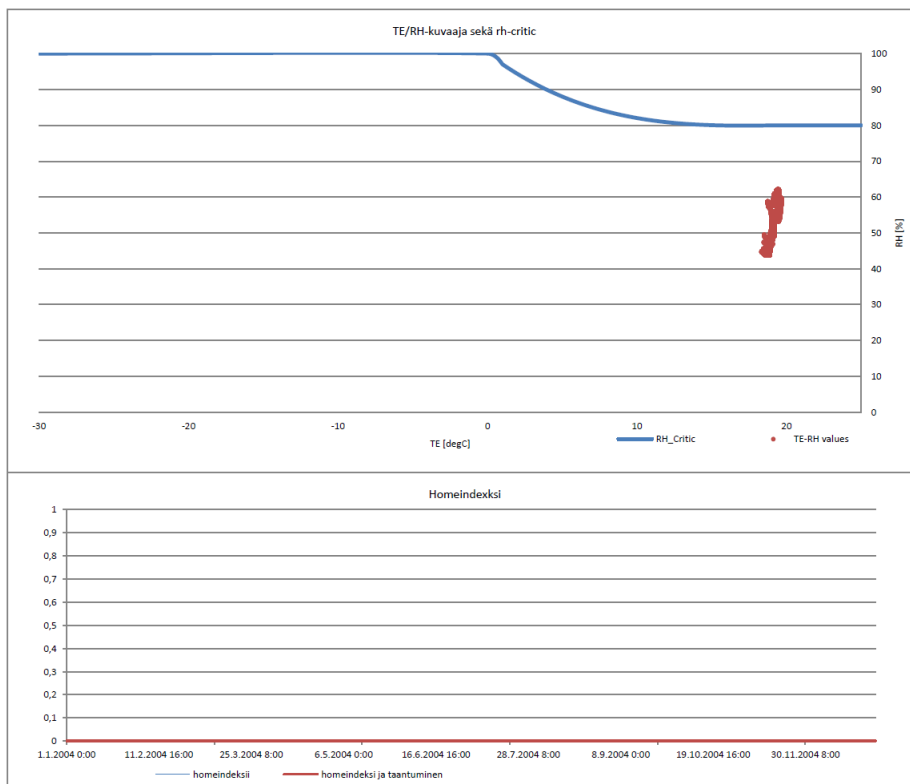
5.2.4 Tarkastelupiste 4

Kuvan 28 tarkastelu otettiin rakenteen sisäpinnan välittömästä läheisyydestä. Tulokset kuvaavat huoneilmassa vallitsevia olosuhteita. Lämpötila on melkein vakio koko ajan. Suhteellinen kosteus RH vaihtelee talven 42 %:n ja syksyn 62 %:n välillä.



KUVA 28. Tarkastelupisteen 4 suhteellinen kosteus RH ja lämpötila °C

Kuvasta 29 näkee, että rakenteen sisäpinnan suhteellinen kosteus RH ei kuitenkaan nouse homeen kasvuille tarvitseviin lukemiin. Liitteessä 4 on homeindeksin laskennan tulokset kokonaisuudessaan



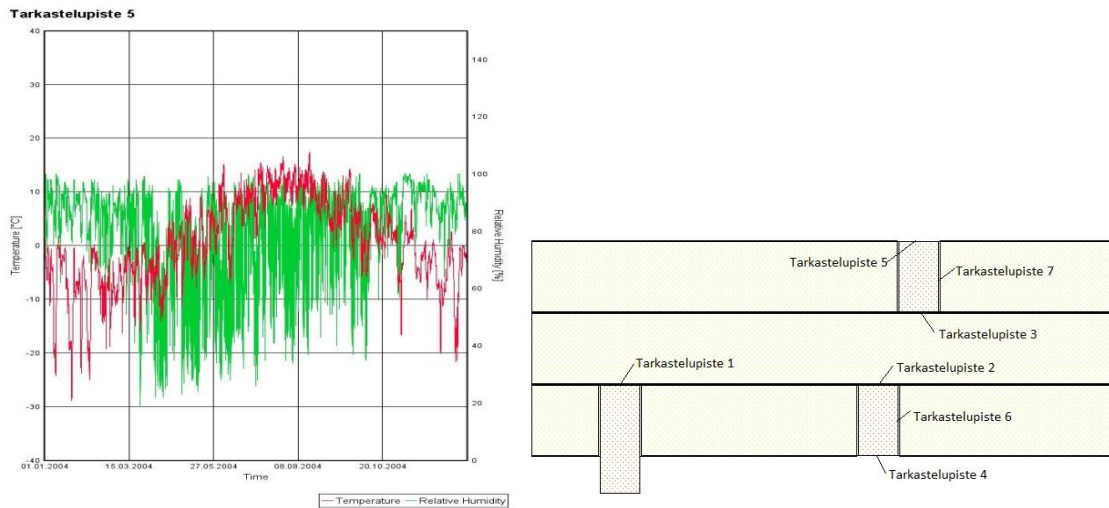
Homeindeksi

	Homeindeksi
Homeindeksin nousu yhteensä	0,0
Homeindeksi taantuminen huomioituna	0,0

KUVA 29. Homeindeksin määrittäminen tarkastelupisteessä 4

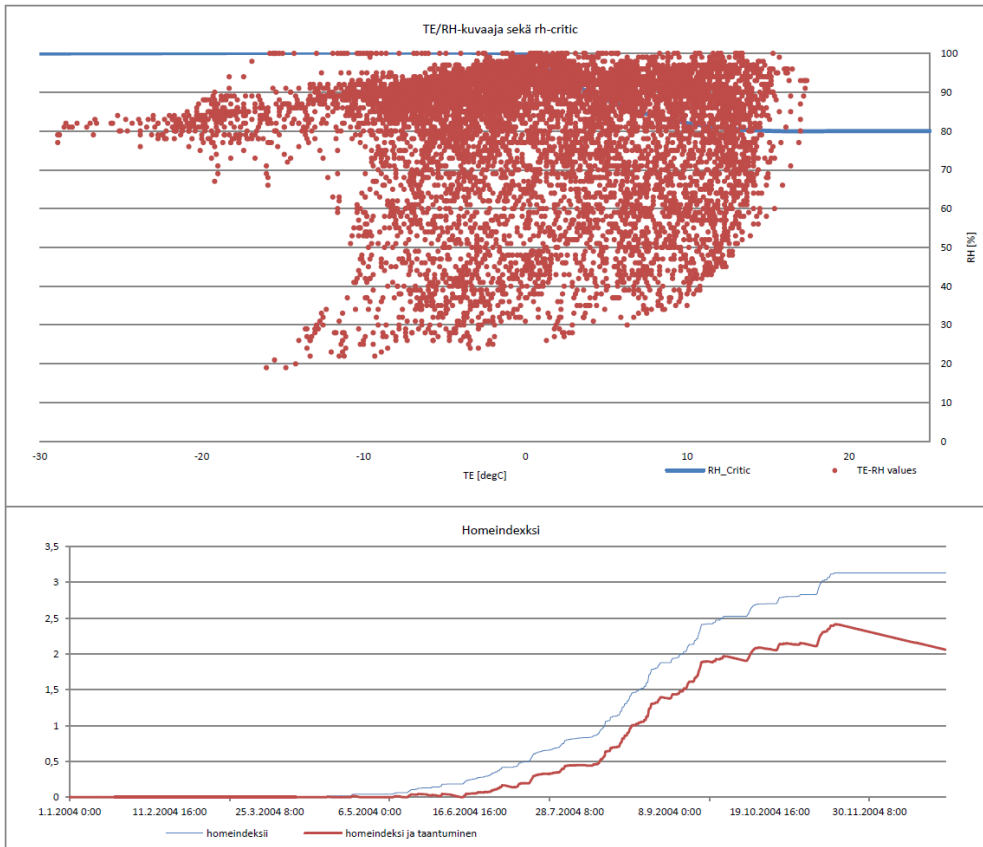
5.2.5 Tarkastelupiste 5

Kuvasta 30 näkee, että suhteellinen kosteus RH vaihtelee 20 %:n ja 100 %:n välillä. Tarkasteltava piste onkin seinärakenteen ulkopinnassa. Seinän ulkopintaan muodostuukin homeriskin ylittävä kosteusrasitus. Näin ulkopintaan voi muodostua homeen kasvua.



KUVA 30. Tarkastelupisteen 5 suhteellinen kosteus RH ja lämpötila °C

Homeindeksin laskennan mukaan kriittisen suhteellisen kosteuden RH pisin jakso ajoittuu syksyille ja sen kesto on kolme vuorokautta ja 22 tuntia. Kuvasta 31 näkee, että kriittisellä alueella pisteitä sijaitsee 21 %. Tarkastelupisteen homeindeksi on taantuma huomioiden 2.1, joka tarkoittaa sitä, että rakenteen pintaan saattaa muodostua mikroskoopilla havaittavaa kasvua. Liitteessä 5 on homeindeksin määrittäminen kokonaisuudessaan.



Lämpötila/kosteus pisteiden sijainti

kriittisellä alueella	Prosentti osuus
piste alueella	21,0 %
piste alueen ulkopuolella	79,0 %

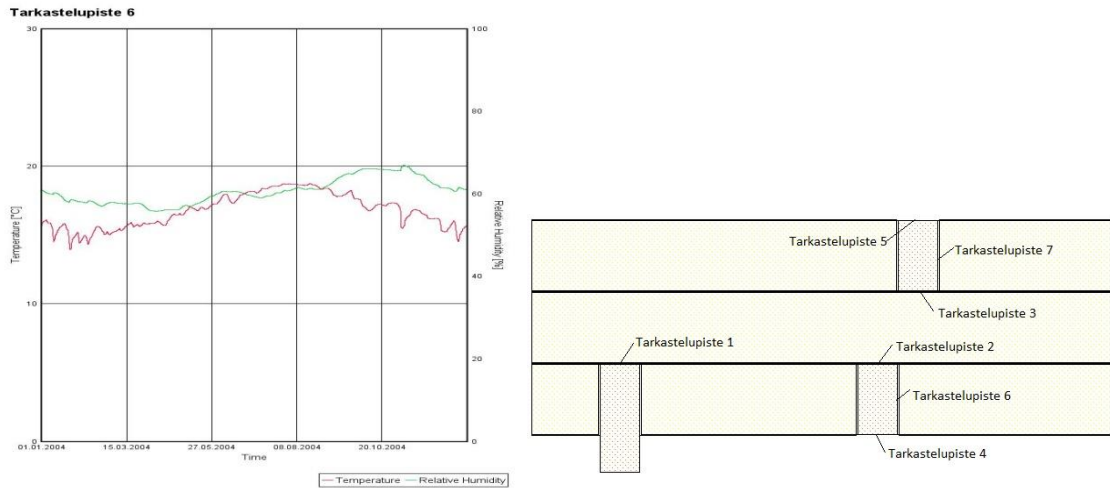
Kriittisen suhteellisen kosteuden 4 pisintä jaksoa

Homeindeksi	Homeindeksi	Jakson alkuaika	Kesto	Homeindeksi
		1 10.10.2004 3:00	3 vrk, 22 h	0,2
		2 11.11.2004 4:00	3 vrk, 4 h	0,1
		3 7.11.2004 20:00	3 vrk, 1 h	0,2
		4 18.9.2004 18:00	2 vrk, 16 h	0,2
Homeindeksin nousu yhteensä	3,1			
Homeindeksi taantuminen huomioituna	2,1			

KUVA 31. Homeindeksin määrittäminen tarkastelupisteessä 5

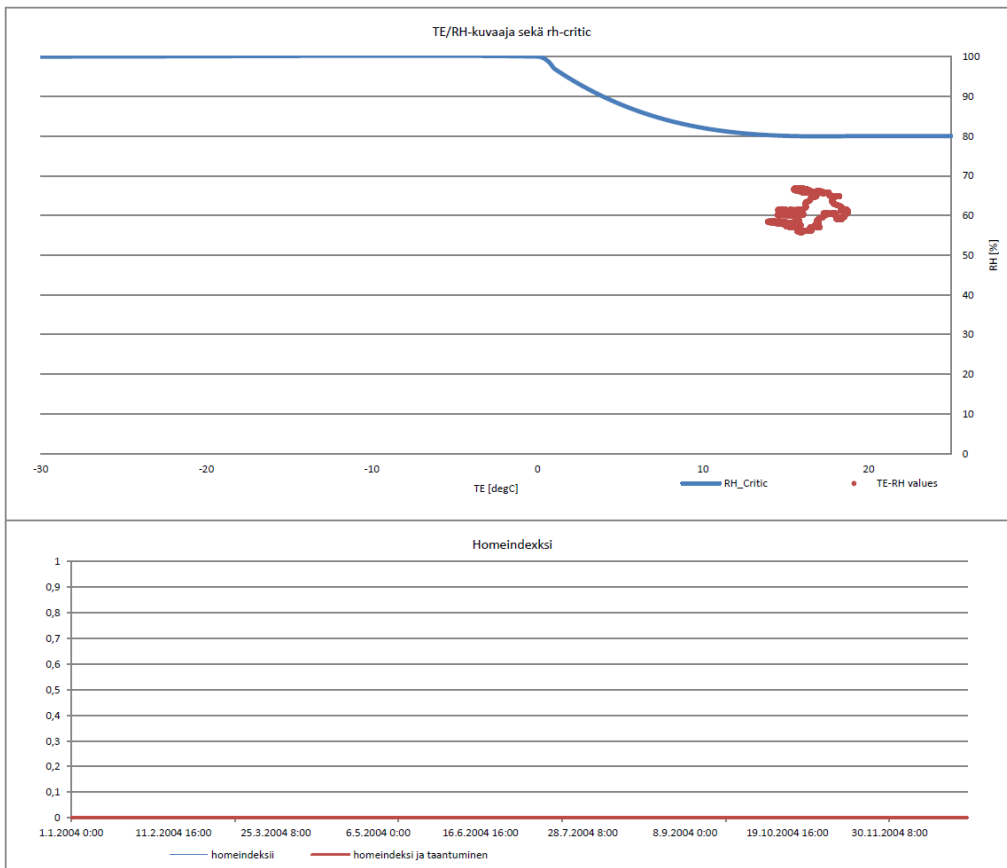
5.2.6 Tarkastelupiste 6

Kuudes tarkastelupiste sijaitsi oikean puoleisen runkotolpan oikeassa reunassa puun ja eristeen rajapinnassa. Etäisyys seinärakenteen sisäpinnasta oli noin 40 mm. Kuvassa 32 on suhteellisen kosteuden RH ja lämpötilan °C vaihtelusjakson aikana.



KUVA 32. Tarkastelupisteen 6 suhteellinen kosteus RH ja lämpötila °C

Kuvan 33 mukaan tarkastelupisteen suhteellinen kosteus RH ei nouse tarkasteltavan ajankohdan aikana homeen kasvulle riittävälle tasolle. Liitteessä 6 on homeindeksin laskennan tulokset kokonaisuudessaan



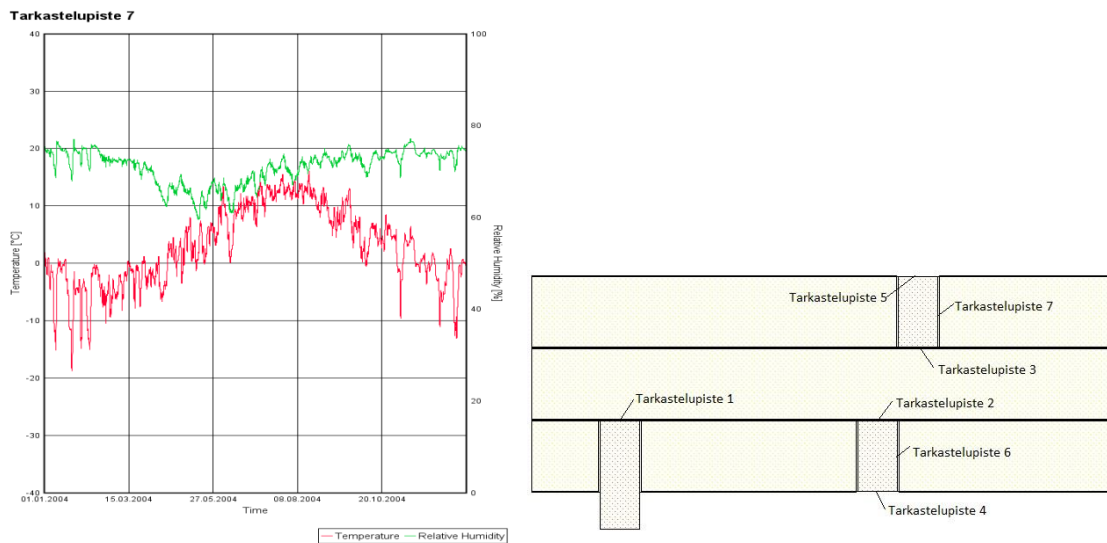
Homeindeksi

	Homeindeksi
Homeindeksin nousu yhteensä	0,0
Homeindeksi taantuminen huomioituna	0,0

KUVA 33 Homeindeksin määrittäminen tarkastelupisteessä 6

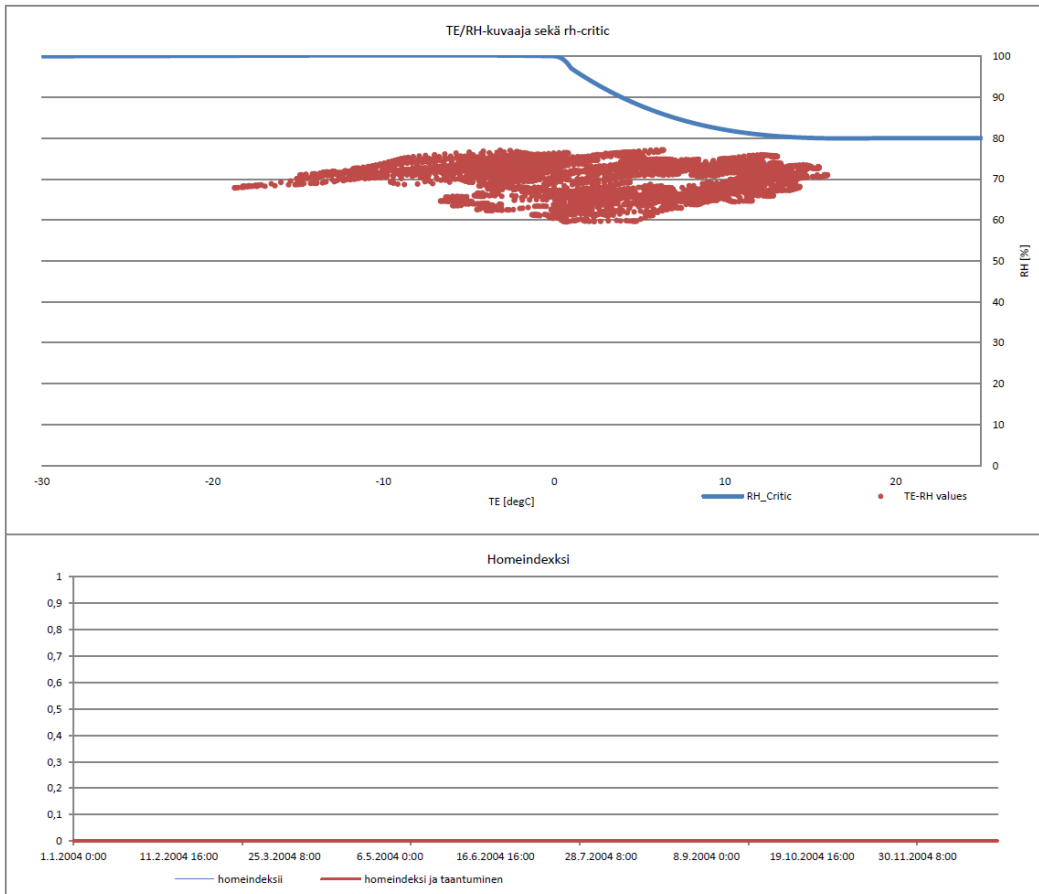
5.2.7 Tarkastelupiste 7

Tarkastelupiste 7 sijaitsi rakenteessa ulomman runkotolpan keskivaiheilla oikeassa reunassa eristeen ja puun rajapinnassa. Etäisyys rakenteen ulkopinnasta tarkastelupisteeseen oli 40 mm. Tässä pisteessä suhteellinen kosteus RH vaihteli 60 %:n ja 78 %:n välillä.



KUVA 33. Tarkastelupisteen 7 suhteellinen kosteus RH ja lämpötila °C

Kuvassa 35 näkee, kuinka lämpötila °C vaihtelee tarkasteltavassa pisteessä. Suhteellinen kosteus RH ei kuitenkaan nouse yli 80 %:iin missään vaiheessa. Liitteessä 7 on homeindeksin laskennan tulokset kokonaisuudessaan.



Homeindeksi

	Homeindeksi
Homeindeksin nousu yhteensä	0,0
Homeindeksi taantuminen huomioituna	0,0

KUVA 35. Homeindeksin määrittäminen tarkastelupisteessä 7

6 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa oli tavoitteena saada polyuretaanisen seinärakenteen kosteustekninen toimivuus selville. Tutkimusta varten oli rakennettu testihuone, jolla saatiin käytännön mittaustuloksia tutkimukseen. Tutkimukset toteutettiin Dometalot Oy:n tehtaalla.

Rakennusmääräysten tiukentuessa rakenteiden paksuudet tulevat kasvamaan. Käytettäessä polyuretaania seinärakenteessa rakentamisen aikainen kosteuden hallinta on ensisijaisen tärkeää. Rakentamisen aikana rakenteeseen joutuva kosteus voi olla erittäin haitallista rakenteelle. Polyuretaani erittäin hyvän vesihöyryvastuksen omaavana aineena ei päästä rakentamisen aikana joutuvaa kosteutta kovin helposti pois rakenteesta. Myös saumojen riittävän tarkka teip-paaminen vähentää mahdollisen kosteuden pääsyä rakenteeseen.

Tutkimuksessa käytettiin rakenteen mallintamiseen Wufi 2d -ohjelmaa. Rakenne mallinnettiin täsmällisesti Wufi-ohjelmaan. Simuloidusta datasta ja mitatusta datasta laskettiin vesihöyrypitoisuus ja verrattiin keskenään. Tulosten ollessa riittävän yhtenäiset tehtiin rakenteeseen simulointi Oulun säädatalla.

Oulun säädatalla simuloidusta rakenteesta otettiin tarkasteluun seitsemän pistettä ja jokaiseen pisteeseen laskettiin homeindeksi. Homeindeksin Excel-pohjainen laskentasovellus oli kehitetty Oulun ammattikorkeakoululla Tampereen yliopistolla tehdyn diplomityön pohjalta.

Tutkimustulosten perusteella rakenteessa ei ole homeen kasvulle riittäviä olosuhteita. Ainoa paikka, jossa kasvustoa voi esiintyä, on rakenteen ulkopinnassa, joka on tyypillistä ulkona vallitsevien olosuhteiden johdosta.

Seinärakenteen tutkiminen kohdistui pelkästään seinän tutkimiseen. Vaikka rakenne itsessään tutkimusten perusteella on toimiva, rakenteen liittymäkohtien, ikkunoiden liittymien ja läpivientien riittävän tarkka suunnittelu ja toteutus nousevat erittäin merkityksellisiksi rakenteen toimivuuden kannalta. Edellä mainitut asiat ovat sellaisia, joita on hankala testata etukäteen erilaisilla mallinnusohjelmilla.

LÄHTEET

1. Siikanen, Unto 1996. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto.
2. Kosteuslähteet. 2008. Saatavissa:
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteustekninen_toiminta/kosteuslahteet. Hakupäivä 25.2.2013.
3. Björkholtz, Dick 1987. Lämpö ja kosteus. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy.
4. Lehtoviita, Timo – Laine, Ensio – Alitalo, Sanna 2004. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. Kosteus. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2010. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö.
5. Mikael Mäkitalo 2012. Puurunkoisten ulkoseinien kosteustekninen toimivuus nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.
6. RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

LIITTEET

Liite 1 Tarkastelupiste 1 Homeindeksi

Liite 2 Tarkastelupiste 2 Homeindeksi

Liite 3 Tarkastelupiste 3 Homeindeksi

Liite 4 Tarkastelupiste 4 Homeindeksi

Liite 5 Tarkastelupiste 5 Homeindeksi

Liite 6 Tarkastelupiste 6 Homeindeksi

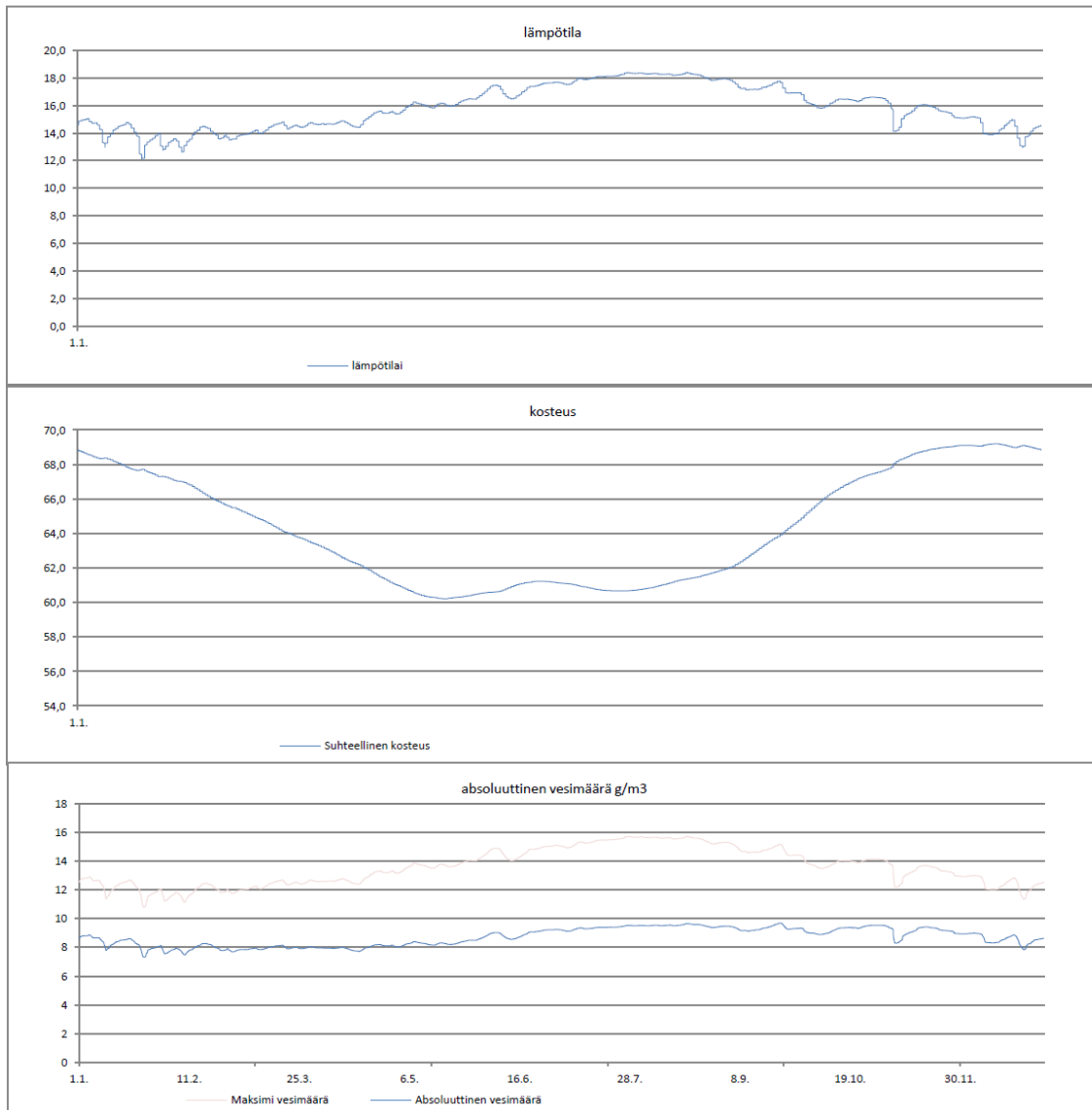
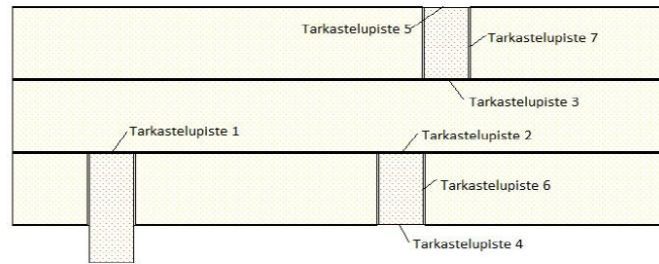
Liite 7 Tarkastelupiste 7 Homeindeksi

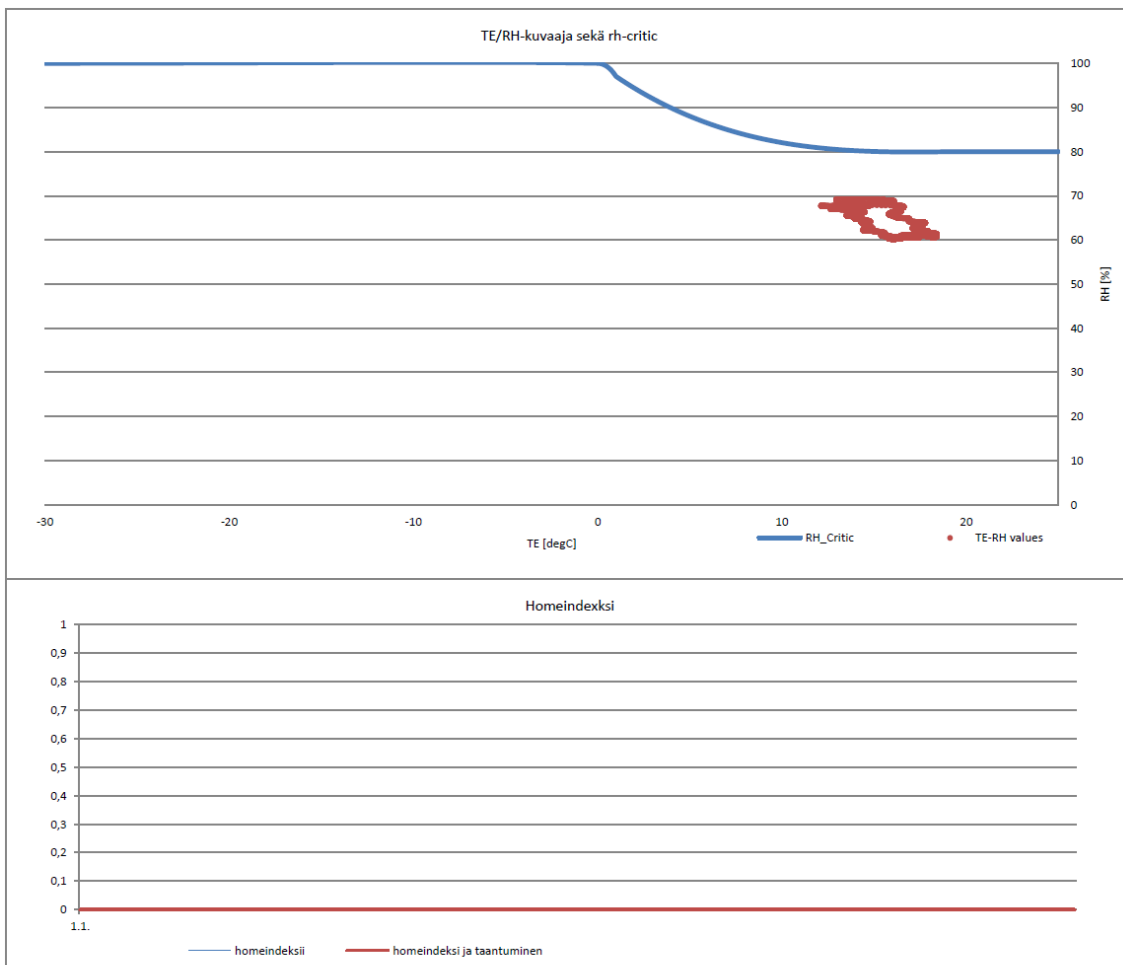
Tarkastelupiste 1

Tarkastelupisteet:

7.3.2013 13:08

Tarkasteluajanjakso
1.1.2004 0:00 -
31.12.2004 23:00





Lämpötila/kosteus pisteiden sijainti

kriittisellä alueella	Prosentti osuus
piste alueella	0,0 %
piste alueen ulkopuolella	100,0 %

Kriittisen suhteellisen kosteuden 4 pisintä jaksoa

Jakson alkuaika	Kesto	Homeindexsi
1		
2		
3		
4		

Homeindexsi

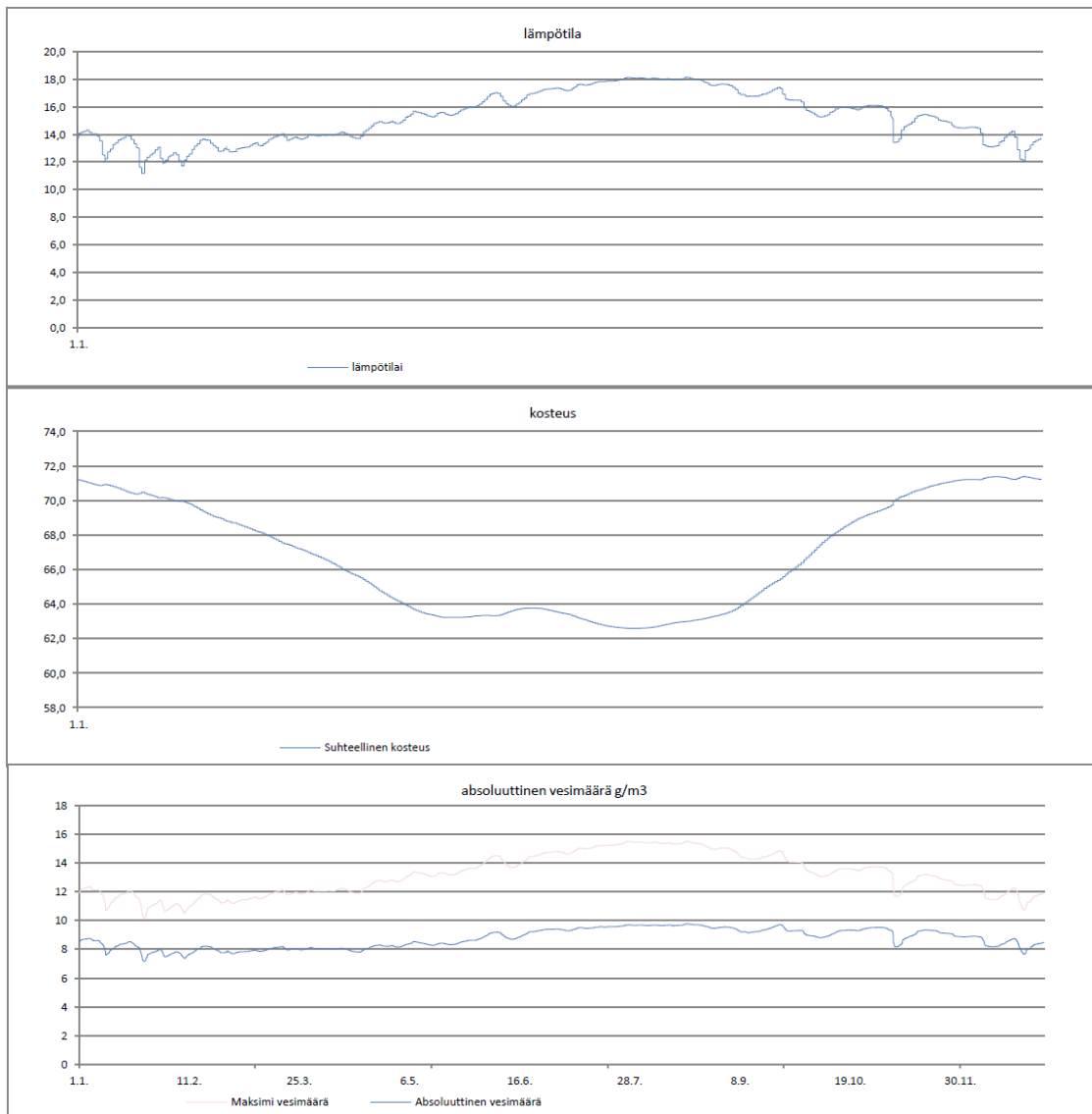
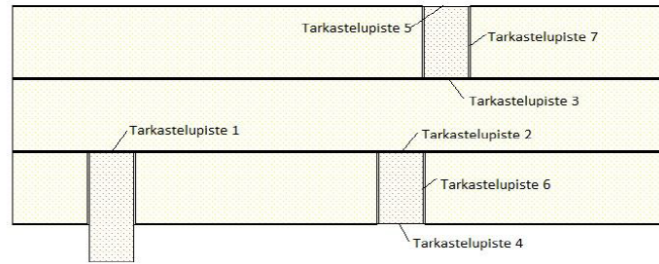
	Homeindexsi
Homeindeksin nousu yhteensä	0,0
Homeindexsi taantuminen huomioituna	0,0

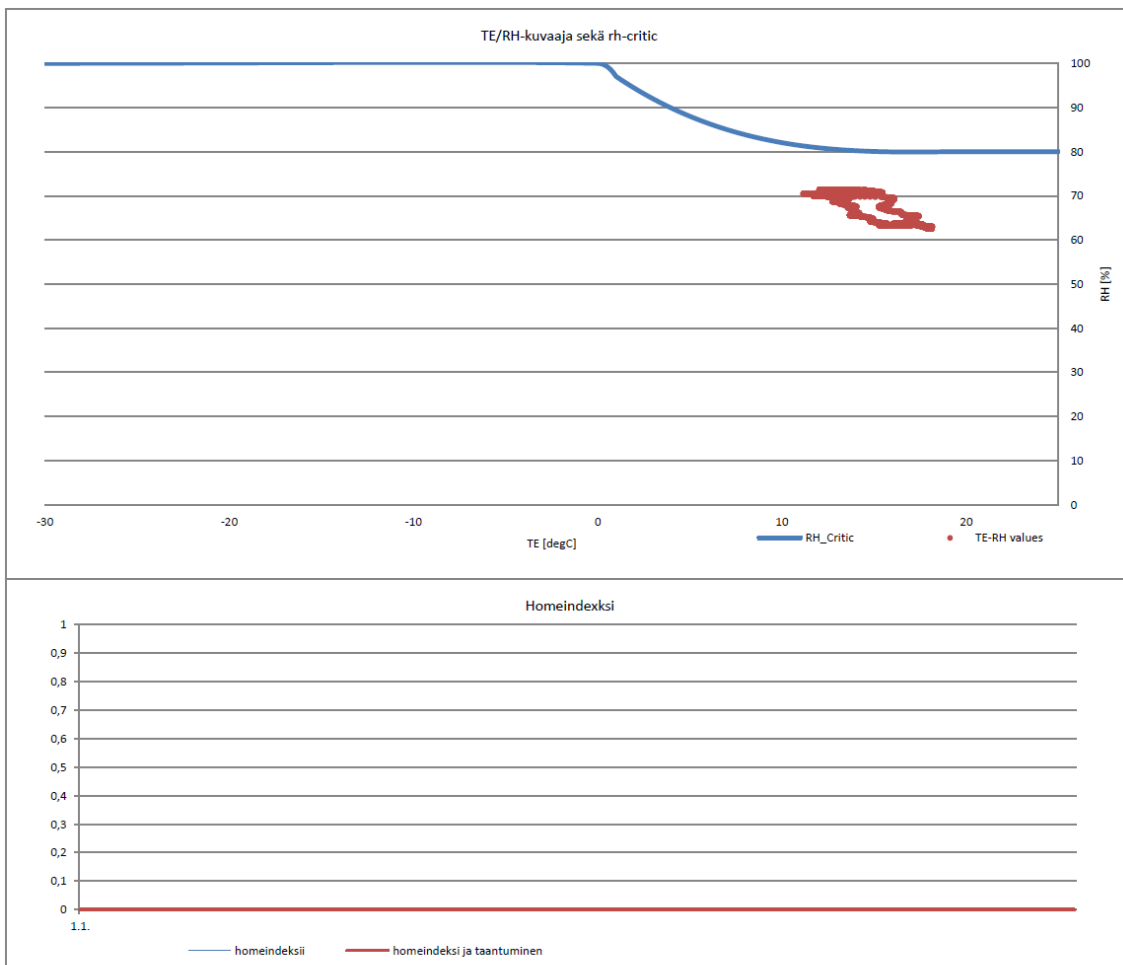
Tarkastelupiste 2

Tarkastelupisteet:

7.3.2013 13:10

Tarkasteluajanjakso
1.1.2004 1:00 -
31.12.2004 23:00





Lämpötila/kosteus pisteiden sijainti

kriittisellä alueella	Prosentti osuus
piste alueella	0,0 %
piste alueen ulkopuolella	100,0 %

Kriittisen suhteellisen kosteuden 4 pisintä jaksoa

Jakson alkuaika	Kesto	Homeindeksi
1		
2		
3		
4		

Homeindeksi

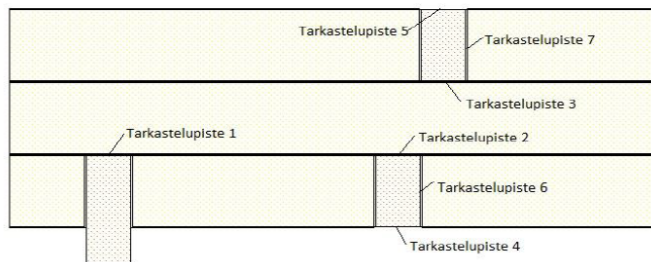
	Homeindeksi
Homeindeksin nousu yhteensä	0,0
Homeindeksi taantuminen huomioituna	0,0

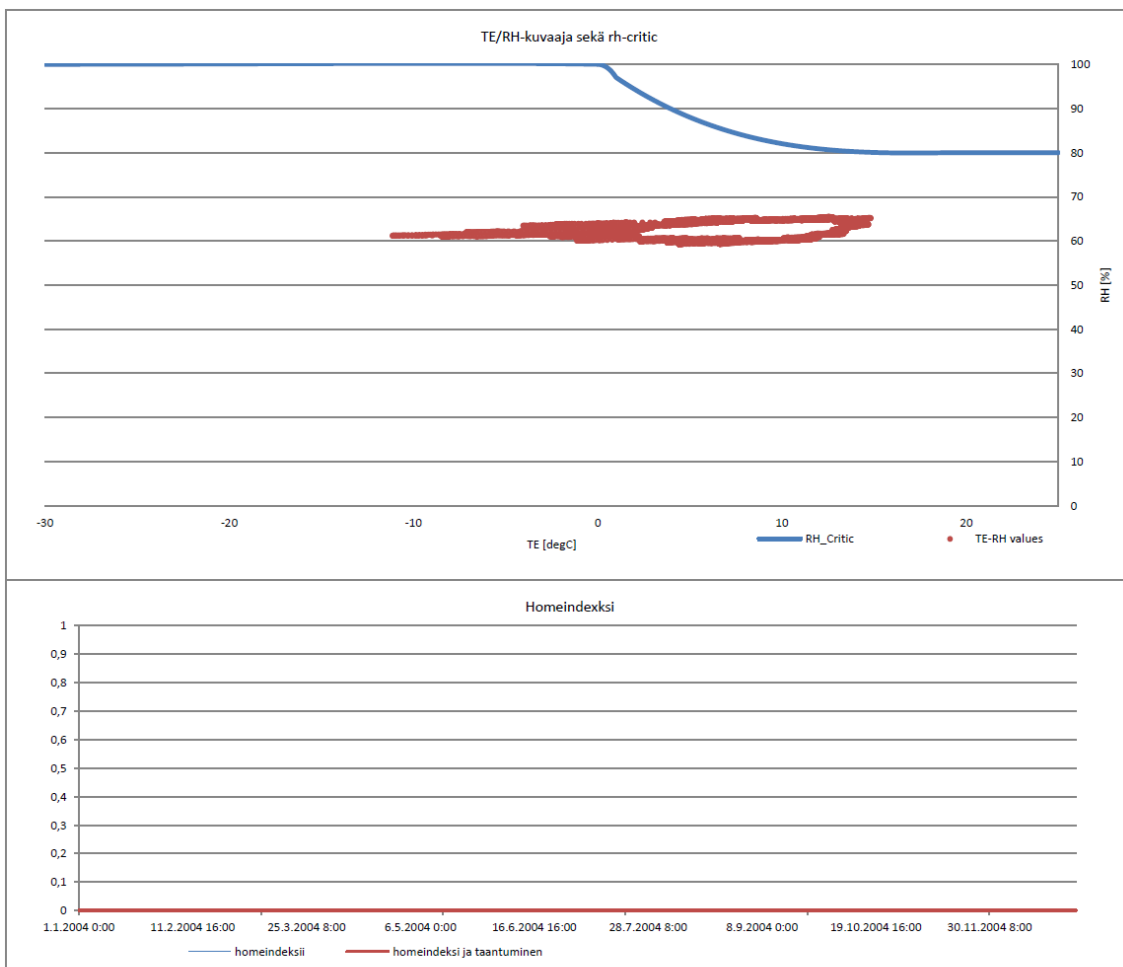
Tarkastelupiste 3

Tarkastelupisteet:

7.3.2013 13:12

Tarkasteluajanjakso
1.1.2004 0:00 -
31.12.2004 23:00





Lämpötila/kosteus pisteiden sijainti

kriittisellä alueella	Prosentti osuus
piste alueella	0,0 %
piste alueen ulkopuolella	100,0 %

Kriittisen suhteellisen kosteuden 4 pisintä jaksoa

Jakson alkuaika	Kesto	Homeindeksi
1		
2		
3		
4		

Homeindeksi

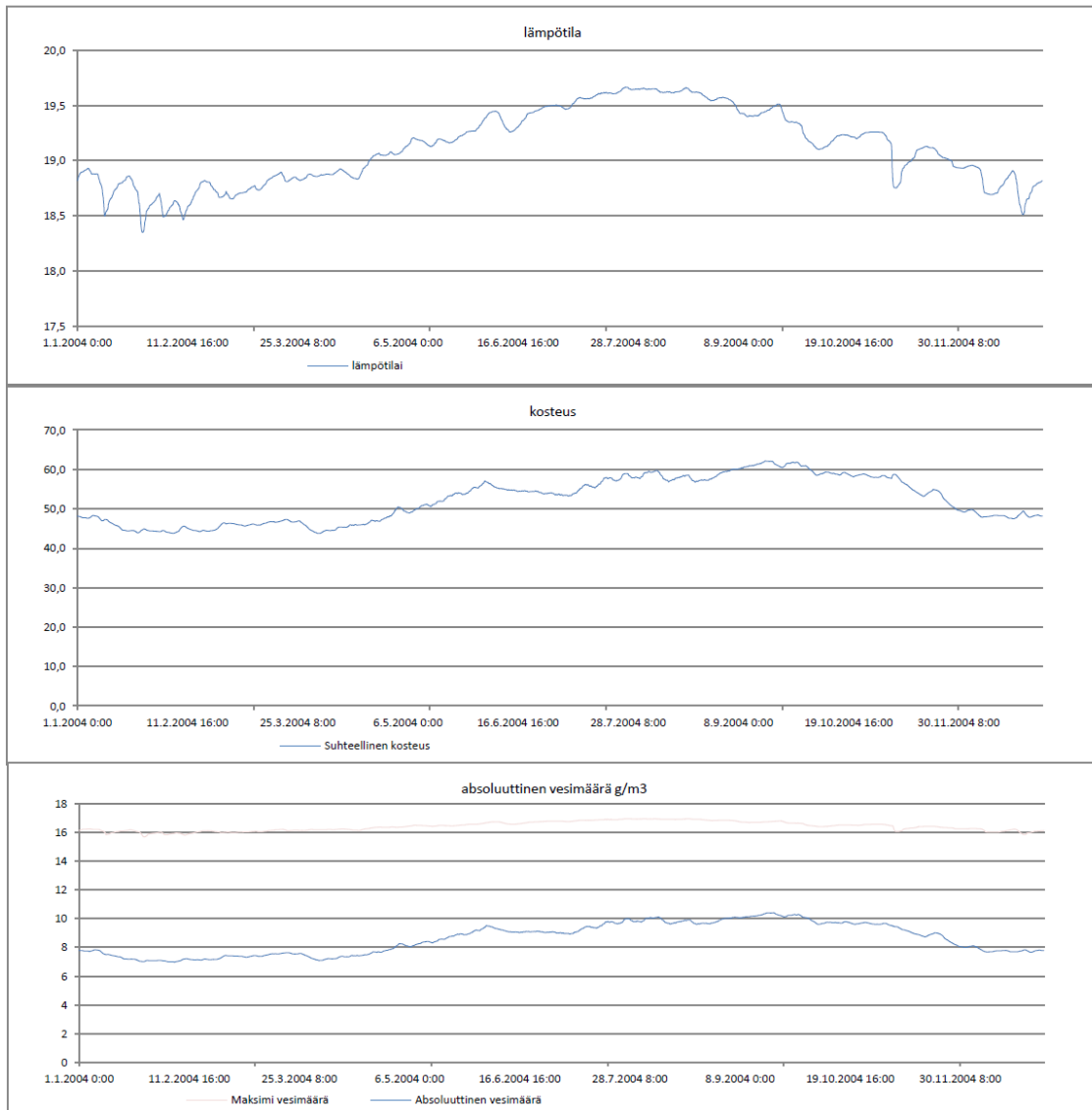
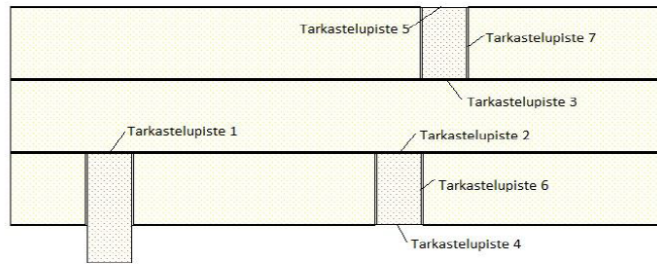
	Homeindeksi
Homeindeksin nousu yhteensä	0,0
Homeindeksi taantuminen huomioituna	0,0

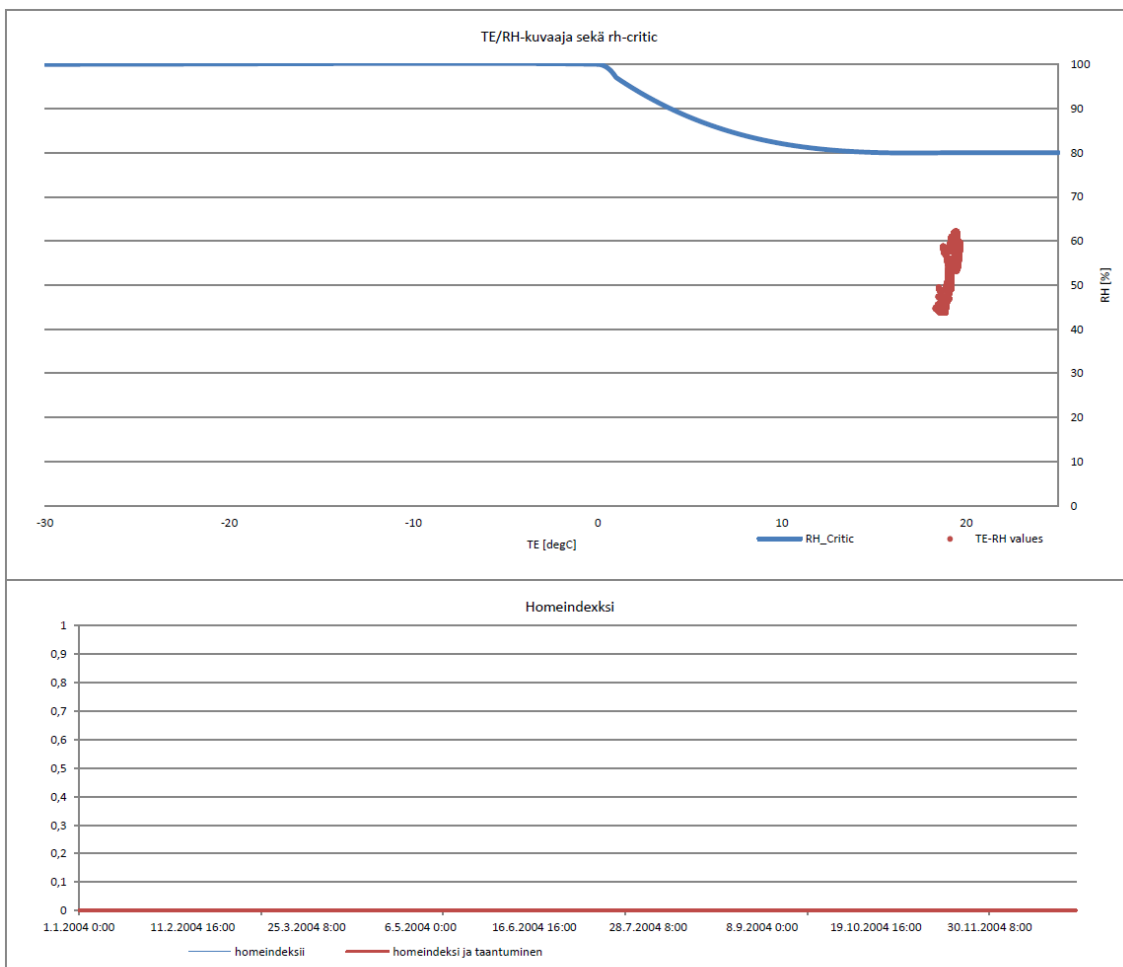
Tarkastelupiste 4

Tarkastelupisteet:

7.3.2013 13:15

Tarkasteluajanjakso
1.1.2004 0:00 -
31.12.2004 23:00





Lämpötila/kosteus pisteiden sijainti

kriittisellä alueella	Prosentti osuus
piste alueella	0,0 %
piste alueen ulkopuolella	100,0 %

Kriittisen suhteellisen kosteuden 4 pisintä jaksoa

Jakson alkuaika	Kesto	Homeindeksi
1		
2		
3		
4		

Homeindeksi

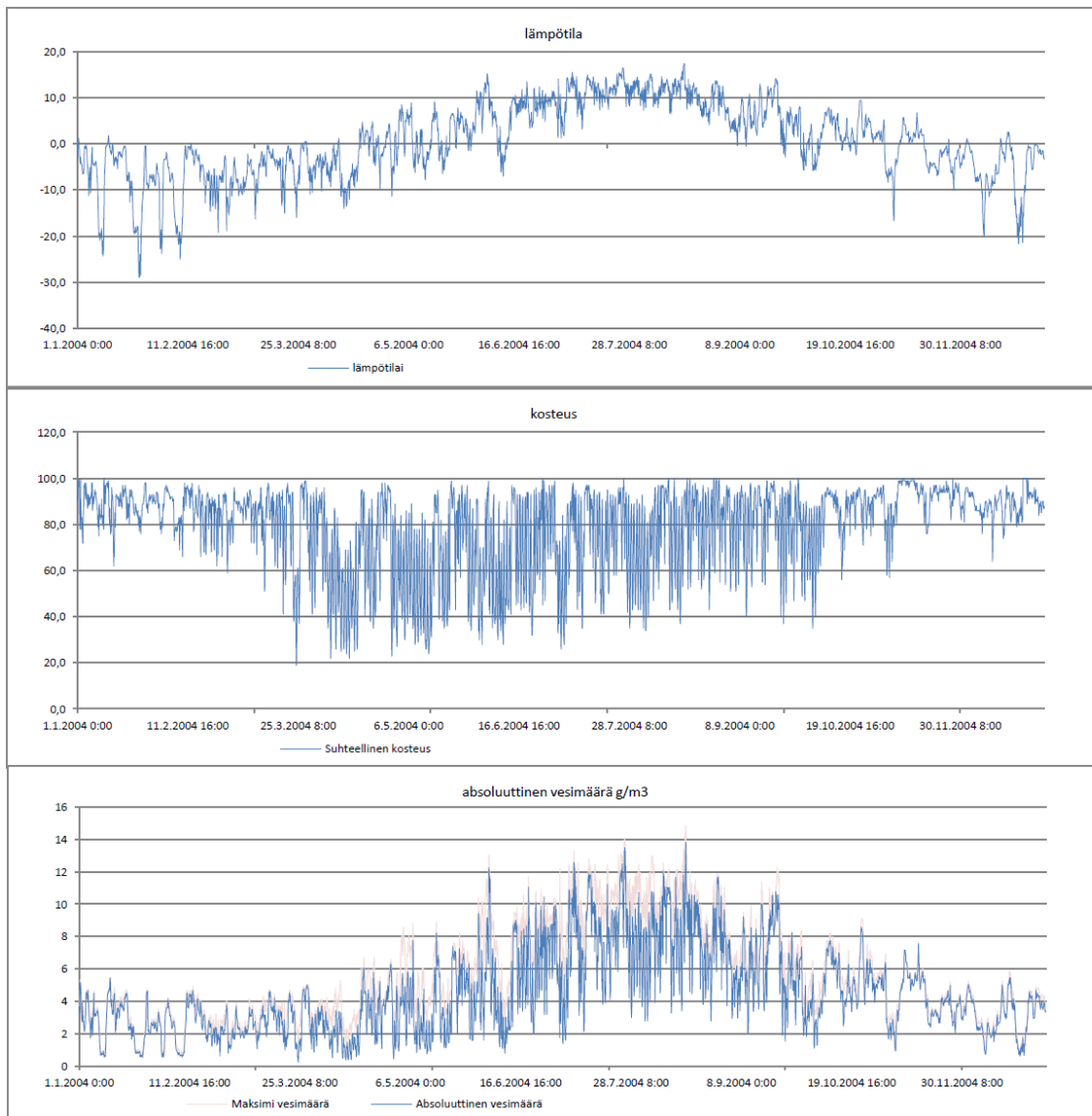
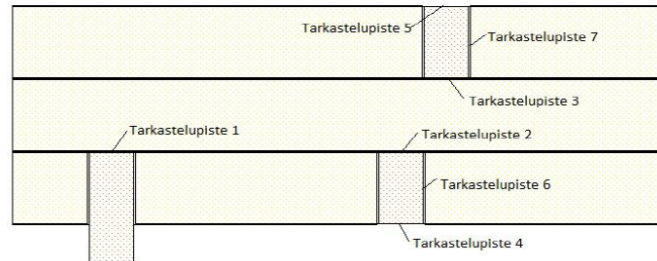
	Homeindeksi
Homeindeksin nousu yhteensä	0,0
Homeindeksi taantuminen huomioituna	0,0

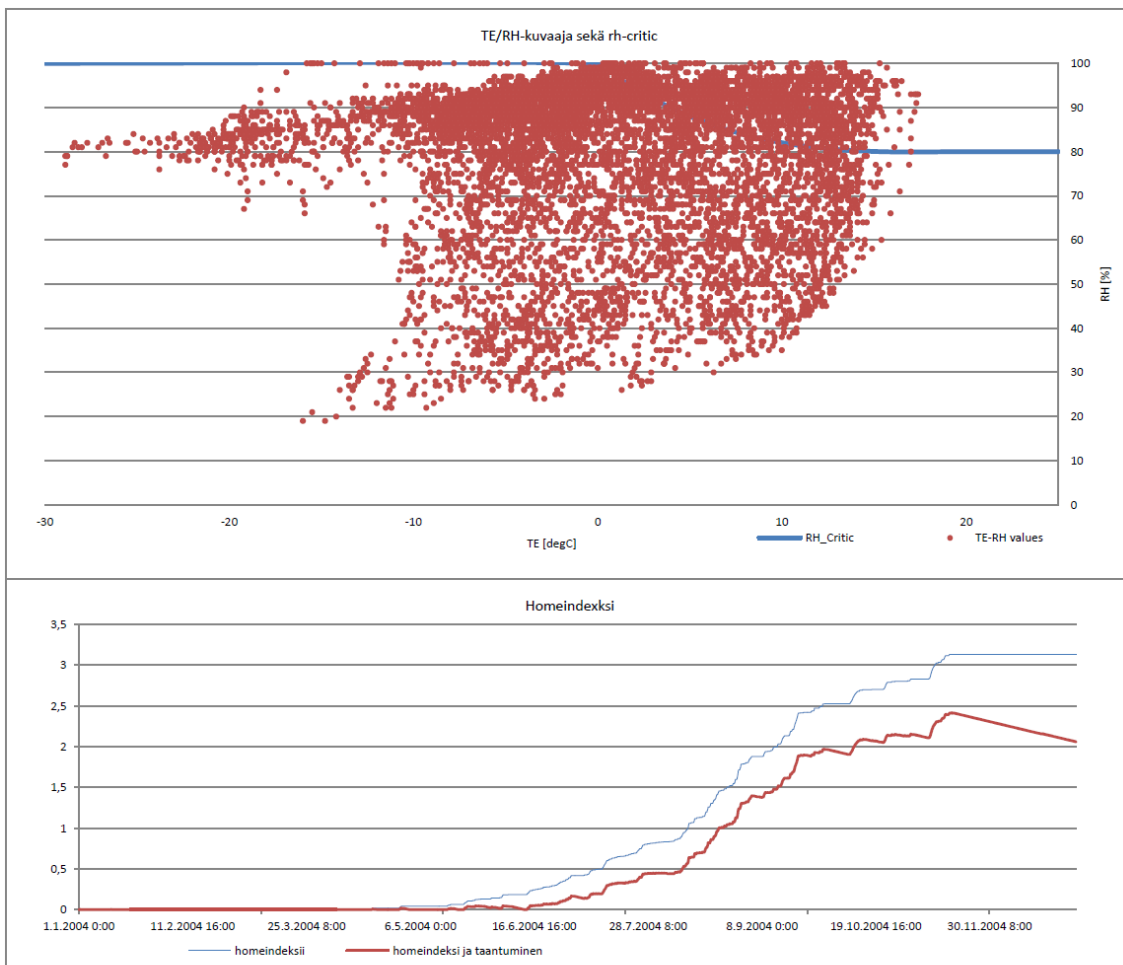
Tarkastelupiste 5

Tarkastelupisteet:

7.3.2013 13:16

Tarkasteluajanjakso
1.1.2004 0:00 -
31.12.2004 23:00





Lämpötila/kosteus pisteiden sijainti

kriittisellä alueella	Prosentti osuus
piste alueella	21,0 %
piste alueen ulkopuolella	79,0 %

Kriittisen suhteellisen kosteuden 4 pisintä jaksoa

Jakson alkuaika	Kesto	Homeindeksi
1 10.10.2004 3:00	3 vrk, 22 h	0,2
2 11.11.2004 4:00	3 vrk, 4 h	0,1
3 7.11.2004 20:00	3 vrk, 1 h	0,2
4 18.9.2004 18:00	2 vrk, 16 h	0,2

Homeindeksi

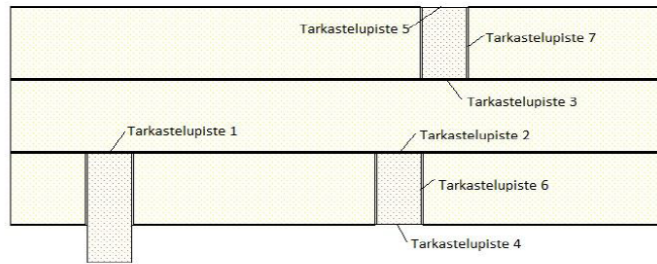
	Homeindeksi
Homeindeksin nousu yhteensä	3,1
Homeindeksi taantuminen huomioituna	2,1

Tarkastelupiste 6

Tarkastelupisteet:

7.3.2013 13:17

Tarkasteluajanjakso
1.1.2004 0:00 -
31.12.2004 23:00





Lämpötila/kosteus pisteiden sijainti

kriittisellä alueella	Prosentti osuus
piste alueella	0,0 %
piste alueen ulkopuolella	100,0 %

Kriittisen suhteellisen kosteuden 4 pisintä jaksoa

Jakson alkuaika	Kesto	Homeindeksi
1		
2		
3		
4		

Homeindeksi

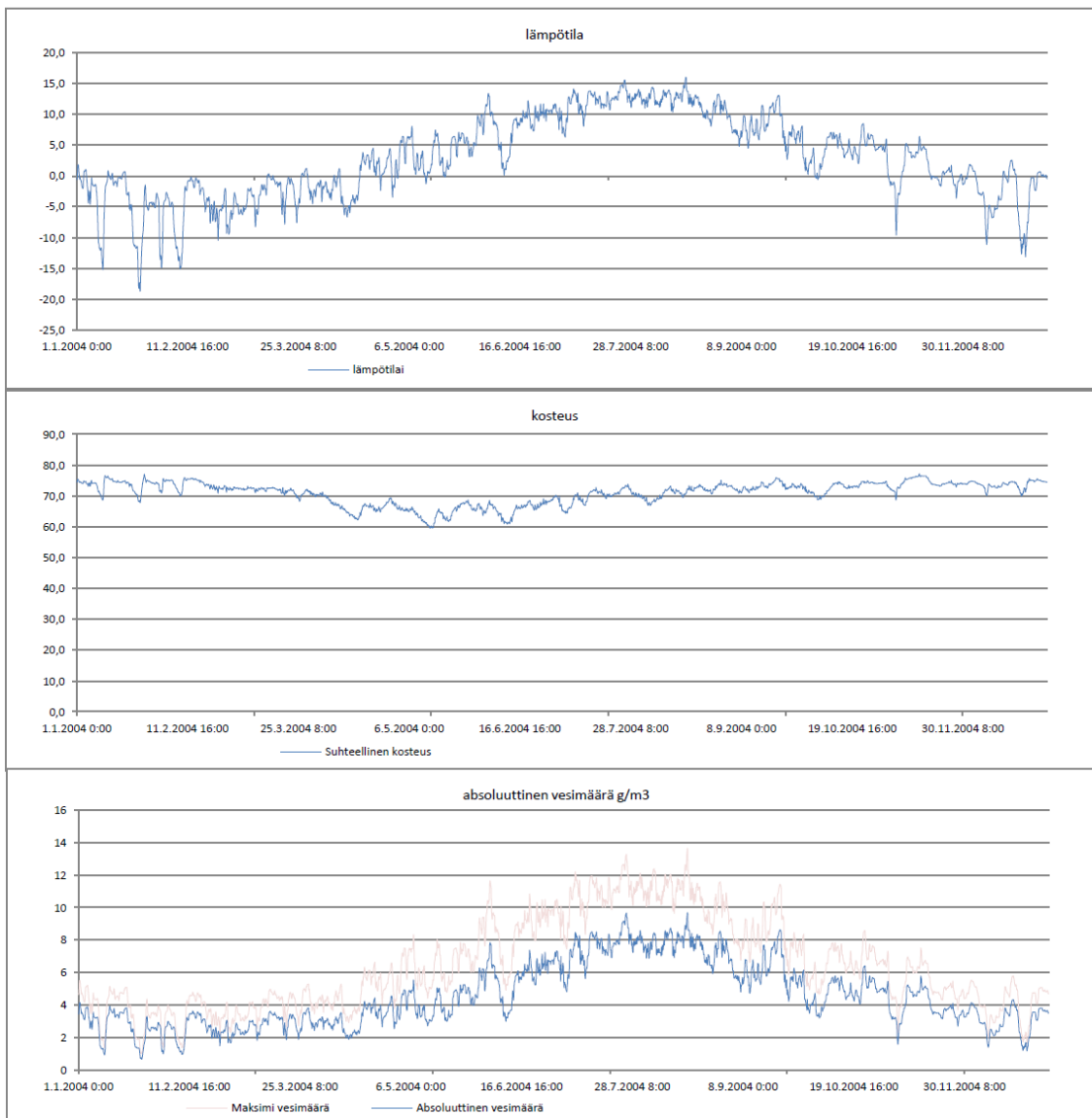
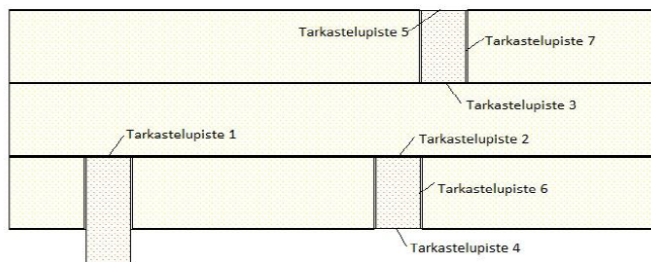
	Homeindeksi
Homeindeksin nousu yhteensä	0,0
Homeindeksi taantuminen huomioituna	0,0

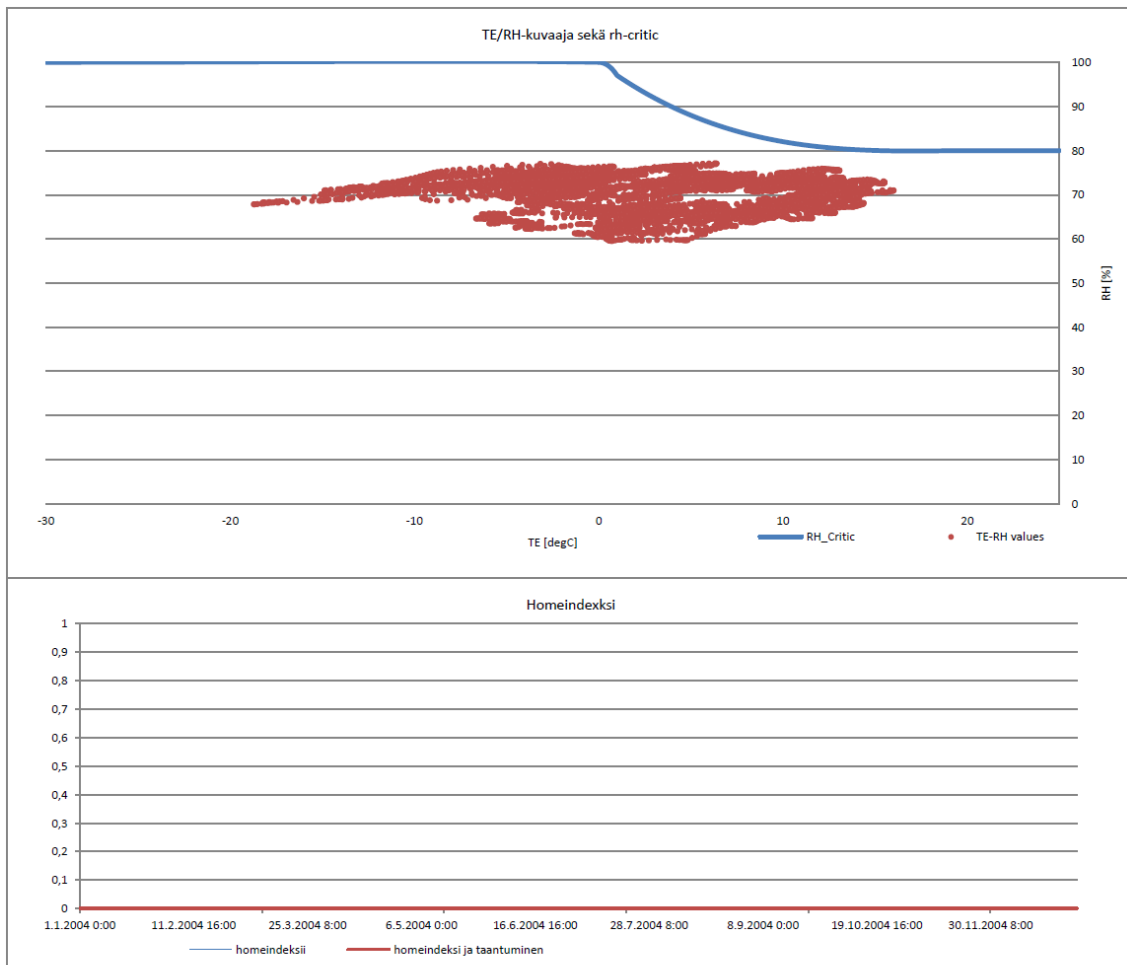
Tarkastelupiste 7

Tarkastelupisteet:

11.3.2013 9:21

Tarkasteluajanjakso
1.1.2004 0:00 -
31.12.2004 23:00





Lämpötila/kosteus pisteiden sijainti

kriittisellä alueella	Prosentti osuus
piste alueella	0,0 %
piste alueen ulkopuolella	100,0 %

Kriittisen suhteellisen kosteuden 4 pisintä jaksoa

Jakson alkuaika	Kesto	Homeindeksi
1		
2		
3		
4		

Homeindeksi

	Homeindeksi
Homeindeksin nousu yhteensä	0,0
Homeindeksi taantuminen huomioituna	0,0

