

LÄMPÖVIRRRAN LABORATORIOMITTAUSTEN JA
LASKELMIEN VÄLISET EROAVAISUUDET

Marko Myllymäki
2011
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

LÄMPÖVIRRRAN LABORATORIOMITTAUSTEN JA LASKELMIEN VÄLISET EROAVAISUUDET

Marko Myllymäki
Opinnäytetyö
4.4.2011
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Rakennustekniikka	Insinöörityö	34	+	5
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Korjaus- ja uudisrakentaminen	4.4.2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Oulun seudun ammattikorkeakoulu	Marko Myllymäki			
Työn nimi	Laboratorio-olosuhteissa tehtyjen mittausten ja tietokonelaskelmien erot			
Avainsanat	Lämpövirta, pintalämpötilat, olosuhdehuone, Comsol Multiphysics			

Oulun seudun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa on olosuhdehuone, jossa on tehty rakennusfysikaalisia mittauksia jo monen vuoden ajan. Olosuhdehuoneessa tehtävien mittausten ja tietokoneella tai käsin tehtyjen mittauksia vastaavien rakennusfysikaalisten laskelmien eroista ei ollut varmaa tutkimustietoa. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää teoreettisen laskennan ja laboratoriomittaustulosten välisiä eroja.

Syksyllä 2009 käynnistettiin kaksi yhteistyössä tehtävää opinnäytetyötä. Näitä opinnäytetöitä varten tehtiin kolme erilaista mitattavaa rakennetta, joille tehtiin keskenään vertailukelpoisia mittauksia. Saatujen mittaustuloksien perusteella tehtiin vastaavat tietokonelaskelmat Comsol Multiphysics –ohjelmalla. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin mittaustulosten ja laskelmien välisiä eroja, ja tulevassa Tapio Oikaraisen opinnäytetyössä tutkitaan mittaustuloksiin vaikuttavia tekijöitä.

Saatujen mittaustulosten ja tietokonelaskelmien perusteella voitiin määrittää mittausten- ja laskelmien virhemarginaali noin ± 5 %. Lisäksi saatiin tietoa rakenteiden keskellä olevista optimaalisista mittauspisteistä. Myös laboratorio-olosuhteita vastaava pintavastusarvo $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ saatiin määritettyä seinärakenteiden laskelmia varten ja esimerkiksi tutkimushuoneen ilmanpuhaltimien vaikutuksista rakenteen pinnasta mitattuun lämpövirtaan saatiin lisää tietoa.

Degree Programme	Thesis	Pages	+	Appendices
Civil Engineering	B.Sc	34	+	5
Line	Date			
Housebuilding and Renovation	29.3.2011			
Commissioned by	Author			
Oulu University of Applied Sciences	Marko Myllymäki			
Thesis title				
Differences between measurements in laboratory conditions and computer calculations				
Keywords				
Heat flux, surface temperatures, room of conditions, Comsol Multiphysics				

The purpose of this thesis was to find out differences between the theoretical calculations and the physical condition measurements of building structures arranged at the building laboratory of the Oulu University of Applied Sciences. The physical condition measurements have been performed for many years. However, there differences between measurements and corresponding computer or hand-made calculations have not been studied and documented.

In autumn 2009 two theses were launched. Three different types of building structures were built and comparable measurements were performed for them. Then Comsol Multiphysics program was used for computer calculations, which were based on the measurement results. In this thesis, the differences between the calculations and the measurements results were studied, whereas student Tapio Oikarainen will analyze in his own thesis the starting and boundary values of physical conditions that influence on the measurement results.

As a result of this thesis, it was possible to define the error margins of computer calculations and measurement results. Additionally, the information concerning the optimal measurement points was defined. The surface resistance value corresponding to the conditions was also quantified. New information of laboratory environmental effects to the measurements results was achieved.

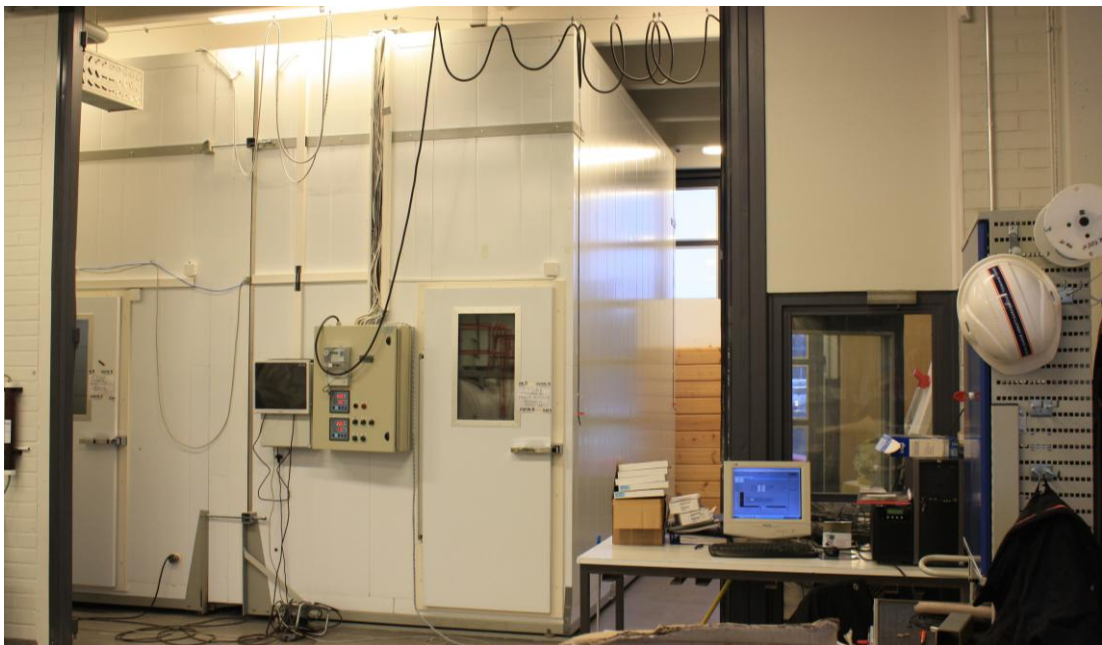
SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLTÖ.....	5
1 JOHDANTO	6
2 LÄMMÖN SIIRTYMINEN RAKENTEESSA.....	8
2.1 Lämmön siirtymisen teoriaa	8
2.2 Lämmön siirtymiseen vaikuttavia tekijöitä	9
3 LÄMPÖVIRTALASKELMISSA KÄYTETYT OHJELMAT JA LASKENTA- ARVOT	11
4 KÄYTETYT RAKENTEET JA MITTAUSLAITTEET	13
4.1 Yhden levyn rakenne.....	15
4.1.1 Ilman tuulensuojakangasta tehty mittaus	15
4.1.2 Tuulensuojakankaalla suojatulle rakenteelle tehdyt mittaukset.....	16
4.2 Kahden levyn rakenne.....	19
4.2.1 Rakenteen eri laidoilla havaittu ero lämpövirrassa	20
4.2.2 Erot korostuvat suuremmalla lämpötilaerolla	21
4.3 Kolmen levyn rakenne.....	23
5 LASKENTATULOSTEN ANALYYSI JA POHDINTA.....	27
5.1 Mittaustavan muutokset	27
5.2 Mittausten häiriötekijät.....	28
5.3 Laskennan tarkkuus	30
5.4 Laskelmista tehtävät johtopäätökset	31
LÄHTEET.....	33
LIITTEET	34

1 JOHDANTO

Oulun seudun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa Oulussa on olosuhdehuone, jossa voidaan tehdä mittauksia noin 2,4 x 2,8 metrin kokoiselle seinärakenteelle (kuva 1). Seinärakenteen molemmille puolille voidaan luoda halutunlaiset kosteus- ja lämpöolosuhteet noin -30–30 °C:n välillä. Kuitenkin laboratorion olosuhteet poikkeavat luonnon olosuhteista.

Olosuhdehuoneessa tehtyjen mittausten ja laskemalla saatujen tulosten vertailukelpoisuudesta ei ollut varmaa tutkimustietoa. Syksyllä 2009 aloitettiin lehtori Kimmo Illikaisen ja laboratorioinsinööri Ilkka Räänän johdolla kaksi yhteistyössä tehtävää opinnäytetyötä. Insinööriopiskelija Tapio Oikaraisen tulevassa opinnäytetyössä tutkitaan mittausmenetelmien vaikutusta saatuihin tuloksiin ja tässä opinnäytetyössä tutkittiin laskelmien ja saatujen mittaus tulosten eroavaisuuksia.



KUVA 1. Rakennuslaboratorion olosuhdehuone

Opinnäytetyössä mitattiin seinärakenteita, joissa lämpö siirtyi johtamalla. Rakenteista pyrittiin tekemään mahdollisimman yhtenäisiä ja yksinkertaisia,

jotta laskelmat olisivat yksinkertaisia ja mahdollisia epätarkkuutta aiheuttavia tekijöitä olisi mahdollisimman vähän. Tämän opinnäytetyön laskelmat ja lämpövirtaa mallintavat kuvat on tehty Comsol Multiphysics –ohjelmalla. Laskelmissa käytetyt lämpötilat on todellisia mittauksista saatuja arvoja. Materiaalien ominaisarvoina on käytetty materiaalivalmistajien ilmoittamia arvoja. Myös kosteutta mitattiin, mutta se jätettiin tässä tutkimuksessa lähes huomioimatta, koska sen huomioon ottaminen vaikeuttaisi laskelmien tekemistä ja lisäisi tutkimusten laajuutta huomattavasti.

2 LÄMMÖN SIIRTYMINEN RAKENTEESSA

2.1 Lämmön siirtymisen teoriaa

Lämpö siirtyy rakenteessa tai tilassa kolmella eri tavalla: johtumalla, säteilemällä ja konvektion avulla eli ilmavirtauksen mukana. Kiinteissä aineissa ja nesteissä esiintyy lämmön johtumista. Johtumisessa molekyylien liike-energiaa siirtyy molekyylistä toiseen eli tapahtuu lämmön virtaamista. Lämpö pyrkii virtaamaan lämpimästä kylmempään päin, eli lämpötilaero pyrkii tasoittumaan väliaineessa. (1, s. 37.)

Säteilyssä energia siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä valon nopeudella. Kaikki lämpötilaltaan nollapisteen yläpuolella olevat kappaleet lähettävät eli emittoivat säteilyä. Eniten säteilyä emittoi niin sanottu musta kappale. Todellisten pintojen säteilyteho Q_s on pienempi kuin mustan pinnan säteilyteho Q_m . Tätä pintojen välistä suhdetta Q_s/Q_m kutsutaan emissiviteetiksi ϵ . Pinnan emissivisyys voidaan laskea kaavalla 1. (2, s. 12.)

$$Q_s = \epsilon \times Q_m = \sigma \times T^4$$

KAAVA 1

Q_s = todellisen pinnan säteilyteho, W/m^2

Q_m = mustan pinnan säteilyteho, W/m^2

ϵ = emissiviteettikerroin

σ = $5,67 \times 10^{-8}$, $W/m^2 \times K^4$

T = kappaleen lämpötila, °K

Konvektiolla tarkoitetaan lämmön siirtymistä kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Se voi olla pakotettua tai luonnollista. Pakotetussa konvektiossa neste tai kaasu liikkuu ulkopuolisen voiman vaikutuksesta, esimerkiksi tuulen- tai koneellisen ilmanvaihdon vaikutuksesta. (1, s.37.) Esimerkiksi tämän työn mittauksissa tutkimushuoneen ilmanvaihtolaitteista aiheutuu pakotettua konvektiota (kuva 2).



KUVA 2. Kuvassa tutkimushuone eli niin sanottu sisäilmahuone

Lämmöneristeissä tai esimerkiksi ikkunan ilmaraoissa esiintyy luonnollista konvektiota. Lämpimän pinnan läheisyydessä oleva ilma lämpenee, jolloin sen tiheys pienenee ja se pyrkii virtaamaan ylöspäin. Kylmän pinnan läheisyydessä ilma jäähtyy ja virtaa alaspäin. Näin ilmarakoon tai rakenteen sisälle muodostuu luonnollinen ilmankierto, joka kuljettaa sekä lämpöä että kosteutta. Mitä tiiviimpää käytetty lämmöneriste on, sitä vähemmän luonnollista konvektiota esiintyy. (1, s. 31.)

2.2 Lämmön siirtymiseen vaikuttavia tekijöitä

Lämmön siirtymisellä pinnoilla tarkoitetaan lämpötilan muutosta ilman ja kiinteän aineen välillä. Kyseistä ilmiötä kuvataan pintavastuksilla ja kyseistä tietoa tarvitaan erilaisissa lämpölaskelmissa. Myös kosteuden haihtumista tai tiivistymistä pinnoille tarkasteltaessa tarvitaan vastaavia tietoja. (2, s. 30.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman lämmöneristysohjeen C4 mukaan vaakasuoran lämpövirran sisäpuolisena pintavastuksena käytetään arvoa $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2 \times \text{K)/W}$. Ulkopuolisena vaakasuoran lämpövirran pintavastuksena käytetään $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2 \times \text{K)/W}$. (6, s. 16.)

Lämmönjohtavuus λ ilmoittaa lämpömäärän, joka siirtyy sekunnissa neliömetrin suuruisen ja metrin paksuisen homogeenisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero pintojen välillä on 1 °C. Yksikkönä käytetään $\text{W/m}^\circ\text{C}$ tai W/mK . (1, s. 38; 6, s. 3.)

Keskimääräinen lämmönjohtavuus ilmoittaa aineen lämmönjohtavuuden yksittäisten mittaustulosten aritmeettisen keskiarvon, kun mittaukset on suoritettu 10 °C:n lämpötilassa. Rakennusosan lämmönläpäisykerroimen laskennassa ja muissa rakennusfysiikan laskelmissa käytetään yleensä EN-standardien mukaan määritettyjä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja tai muita hyväksyttävällä tavalla määritettyjä, rakennusosalle soveltuvia lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja. (6, s. 3, 4.)

Pintalämpötilalla tarkoitetaan rakenteen pinnassa olevaa lämpötilaa. Suorien pintojen pintalämpötila lasketaan kaavalla 2. (4, s. 36.)

$$t_p = t_i \pm q / \alpha_p$$

KAAVA 2

t_p = pinnan lämpötila, °C

t_i = pintaa ympäröivän ilman lämpötila, °C

q = rakenteen lämmönläpäisy, W/m^2

α_p = pinnan siirtymäluku, $\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

+ tai – merkki riippuu lämpövirran suunnasta

3 LÄMPÖVIRTALASKELMISSA KÄYTETYT OHJELMAT JA LASKENTA-ARVOT

Opinnäytetyön rakenteita mitattiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion olosuhdehuoneessa. Olosuhdehuone koostuu kahdesta mittaushuoneesta, joiden välissä on noin 2400 x 2800 mm:n kokoinen aukko (kuva 3). Tuohon aukkoon voidaan tehdä seinärakenne, jolle voidaan tehdä mittauksia halutunlaisissa kosteus- ja lämpöolosuhteissa. Suurimmillaan lämpötilat voivat olla noin -30 °C:n ja +30 °C:n välillä.



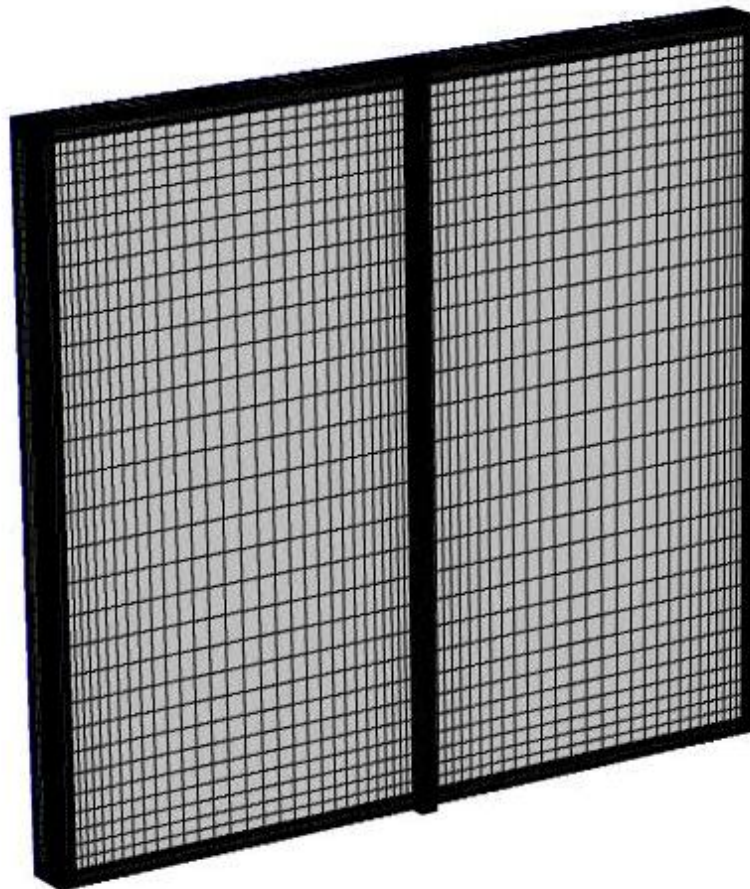
KUVA 3. Keskeneräinen seinärakenne olosuhdehuoneessa

Olosuhdehuoneessa voidaan siis tehdä hyvin todellisia olosuhteita vastaavia mittauksia. Tässä työssä käytetään myöhemmin termejä ulko- ja sisälämpötila, joilla tarkoitetaan olosuhdehuoneeseen tehtyjen seinärakenteiden eri puolilta mitattuja lämpötiloja. Näiden olosuhdehuoneesta mitattujen todellis-

ten ilma- ja pintalämpötilojen perusteella tehtiin Comsol Multiphysics –ohjelmalla laskelmia, joita verrattiin rakenteista mitattuihin lämpövirta-arvoihin.

Comsol Group on eri sovellusalojen ilmiöiden mallinnus- ja simulointiohjelmistotuotteiden kehitykseen ja markkinointiin erikoistunut yritys. Opinnäytetyön laskelmissa käytettiin Comsol Multiphysics –ohjelmaa, ja erityisesti sen Heat Transfer Module –laskentamoduulia. Laskelmissa käytettiin pääasiassa 3.5-ohjelmaversiota, mutta havainnollistavien kuvien ja käyrien tulostukseen käytettiin myös 4.0a-ohjelmaversiota. (5)

Laskelmat perustuvat Comsoliin tehtyihin 2D-laskentamalleihin. Laskentamalleissa on käytetty rakenteen rajapintoihin tihentyviä laskentaverkkoja (kuva 4). Näin esimerkiksi ohjelmasta tulostetuista lämpötilakuvaajista saadaan tarkempia arvoja eri materiaalien rajapinnoista, missä todellisten mittausten anturitkin sijaitsevat.



KUVA 4. Tietokonelaskelmissa käytettyjen laskentaverkkojen periaatekuva

4 KÄYTETYT RAKENTEET JA MITTAUSLAITTEET

Opinnäytetyössä pyrittiin rakentamaan mahdollisimman yksinkertaisia rakenteita. Aluksi rakenteissa oli tarkoitus käyttää pelkästään 50 mm:n EPS-levyjä, mutta väliin tulevien lämpövirran mittauslevyjien vuoksi päätettiin levyjen välissä käyttää 50 mm:n mineraalivillaa, joten rakenteeseen ei jäänyt ilmarakoja. (Kuva 5.)

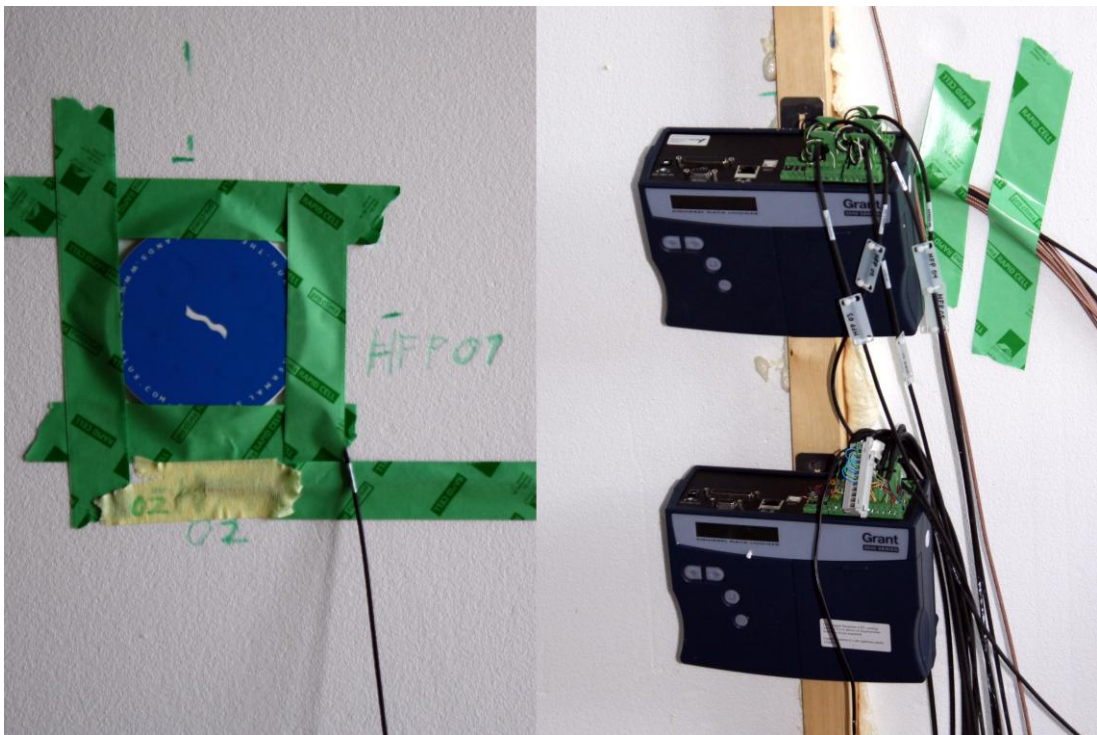


KUVA 5. Opinnäytetyön mittauksissa käytetyt rakenteet

Rakenteita varten rakennuslaboratorion olosuhdehuoneeseen tehtiin tukirunko 48x48 mm:n puutavarasta. Koko mittausaukon kokoisia EPS-levyjä ei ollut saatavilla, joten käytettiin kahta rinnakkain olevaa 1200 x 2600 mm:n kokoista levyä. Ensimmäisessä mittauksessa mittauspisteitä oli enemmän, koska etsittiin tulosten kannalta parasta mittauspaikkaa. Lopulta päädyttiin käyttämään sekä korkeus- että leveysuunnassa levyn keskellä olevaa kohtaa.

Mittaushuoneen puhaltimista oletettiin tulevan tavanomaisia olosuhteita voimakkaampi ilmavirtaus mitattavan rakenteen pintaan. Sen vuoksi noin puolen metrin päähän mitattavasta rakenteesta laitettiin tuulensuojakangas. Tilan ilmanlämpötila on mitattu noin 5 cm:n etäisyydeltä rakenteen pinnasta, tuulensuojakankaan ja rakenteen välistä.

Lämpövirran mittauksiin käytettiin tammikuussa 2010 kalibroituja Huseflux Thermal Sensors HFP –lämpövirtalevyjä. Lämpötilan ja kosteuden mittauksiin käytettiin HygroClip2-mittareita, joissa on ROTRONIC Hygromer IN-1 –kosteusanturit ja Pt100 1/3 Class B –lämpötila-anturit. Antureiden mittaus-tarkkuudeksi on ilmoitettu $\pm 0,8$ %rh ja $\pm 0,1$ °C. Tiedot lämpövirtalevyiltä sekä lämpötila- ja kosteusantureilta kerättiin talteen minuutin välein Grant 2040 Series Squirrel Data Logger –tiedonkeruulaitteilla. (Kuva 6.)

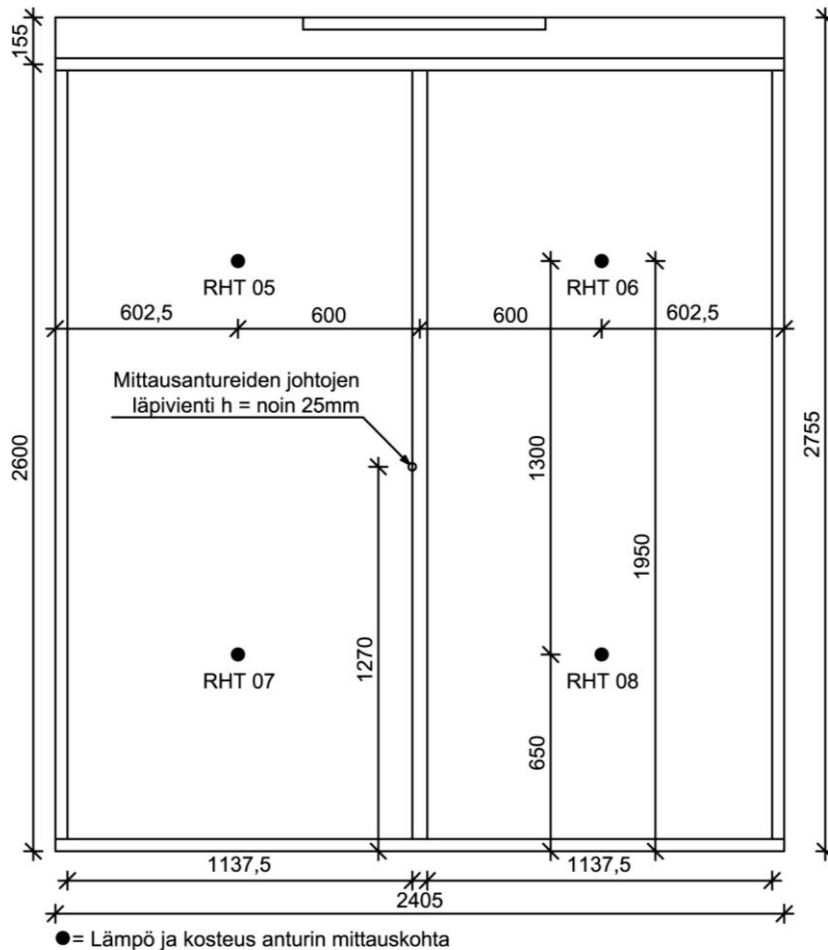


KUVA 6. Opinnäytetyössä käytetyt mittalaitteet

Laskelmissa käytettiin EPS-levylle λ -arvoa $0,033$ W/mK ja mineraalivillalle λ -arvoa $0,037$ W/mK. Kun laskelmia tehtiin mitatun ilmanlämpötilan perusteella, käytettiin vertailulaskelmissa rakenteen pintavastuksena $0,13$ m²K/W. (7, s. 3; 8, s. 1.)

4.1 Yhden levyn rakenne

Ensimmäiset mittaukset tehtiin pelkästään 50 mm:n EPS-levyn rakenteelle. Mittauksessa käytettiin viittä eri mittauspistettä, joilla pyrittiin selvittämäänärkevimmat mittauspaikat (kuva 7).



KUVA 7. Yhden levyn seinärakenne säähuoneesta katsottuna (6)

4.1.1 Ilman tuulensuojakangasta tehty mittaus

Ensimmäinen mittaus tehtiin teoreettisella 30 °C:n lämpötilaerolla, jossa tavoitteena oli 30 °C:n sisälämpötila ja 0 °C:n ulkolämpötila. Ohuen seinärakenteen lämpötila- ja kosteusolosuhteet tasaantuvat nopeasti, joten ensimmäisen mittauksen vertailulaskelmien lämpötila- ja lämpövirta-arvot voitiin

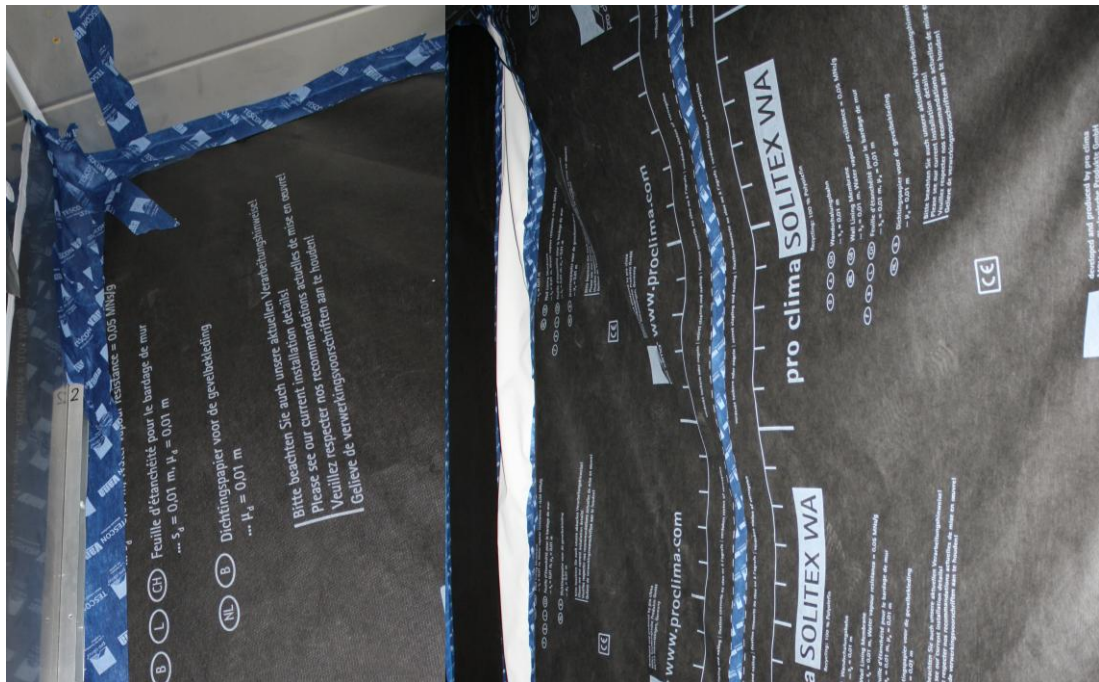
ottaa 2. mittausvuorokauden kohdalta 24 tunnin ajalta. Tämän mittauksen aikana tuulensuojakangasta ei ollut vielä asennettu.

Tuona aikana rakenteen sisäpuolen pintalämpötilan keskiarvo oli 27,7 °C ja ulkopuolen pintalämpötilan keskiarvo oli 3,8 °C. Sisäpuolen pintalämpötilan vaihteluväli mittausvuorokauden aikana oli ±0,9 °C. Ulkopuolen pinnasta mitattiin lyhytaikaisesti jopa 1,2 °C keskiarvoa alhaisempi lämpötila.

Comsolilla tehtiin mitattujen pintalämpötilojen keskiarvoilla laskelmat, ja rakenteen laskennalliseksi lämpövirraksi saatiin 15,761 W/m². Lämpövirralaskelman, ja lämpövirran keskiarvon ero on 2,7 %. (Liite 3/3.)

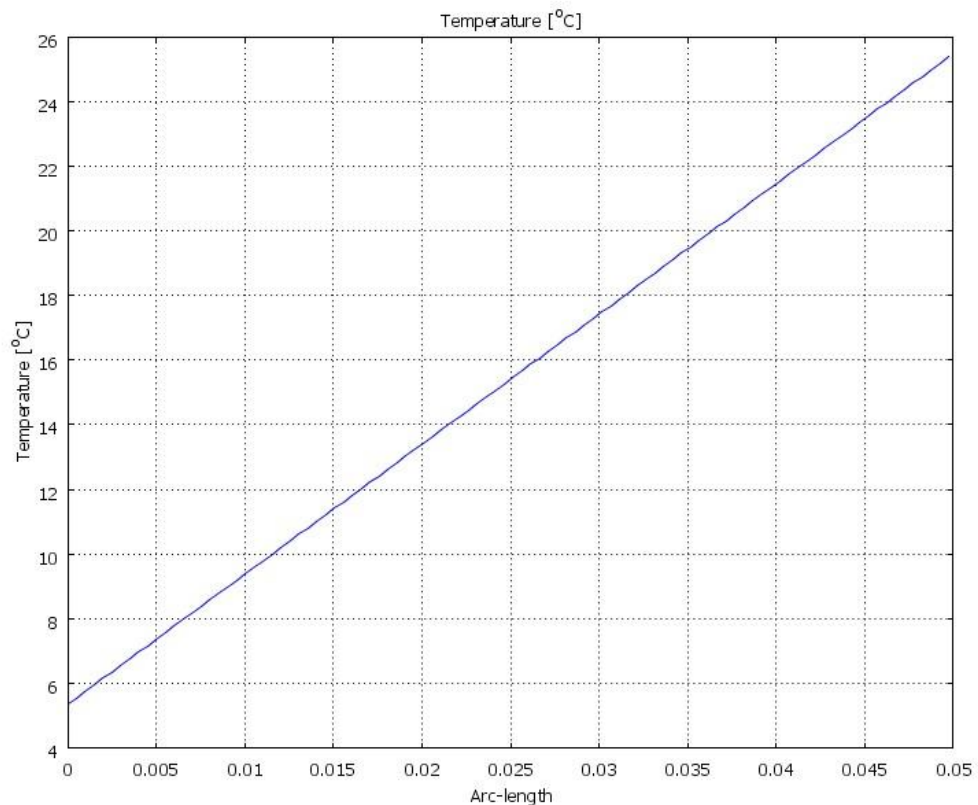
4.1.2 Tuulensuojakankaalla suojatulle rakenteelle tehdyt mittaukset

Ensimmäisen rakenteen mittauksissa havaittiin suurta vaihtelua pintalämpötiloissa. Mittaushuoneen ilmastointilaitteista aiheutuvaa ilmavirtausta ja lämpötilan vaihtelua tasaamaan asennettiin tuulensuojakangas noin puolen metrin päähän rakenteesta sen molemmille puolille (kuva 8).



KUVA 8. Tuulensuojakangas teipattuna rakenteen suojaksi

Ensimmäinen tuulensuojakankaan kanssa tehty mittaus tehtiin samalla 30 °C:n teoreettisella lämpötilaerolla kuin ilman tuulensuojakangasta tehty mittaus. Päätettiin, että otetaan kaikista mittauksista mittausdata 24 tunnin ajalta sellaisesta paikasta, jossa vaihtelu on pientä. 2.–3. mittausvuorokauden kohdalta otetun vertailujakson sisäilman keskilämpötila oli 27,2 °C ja sisätilan pintalämpötilan keskiarvo oli 25,7 °C. Ulkopuolen keskilämpötila oli 3,6 °C ja pintalämpötilan keskiarvo oli 5,7 °C. Rakenteen pinnasta mitattiin keskimäärin 13,675 W/m² lämpövirta. (Kuva 9.)



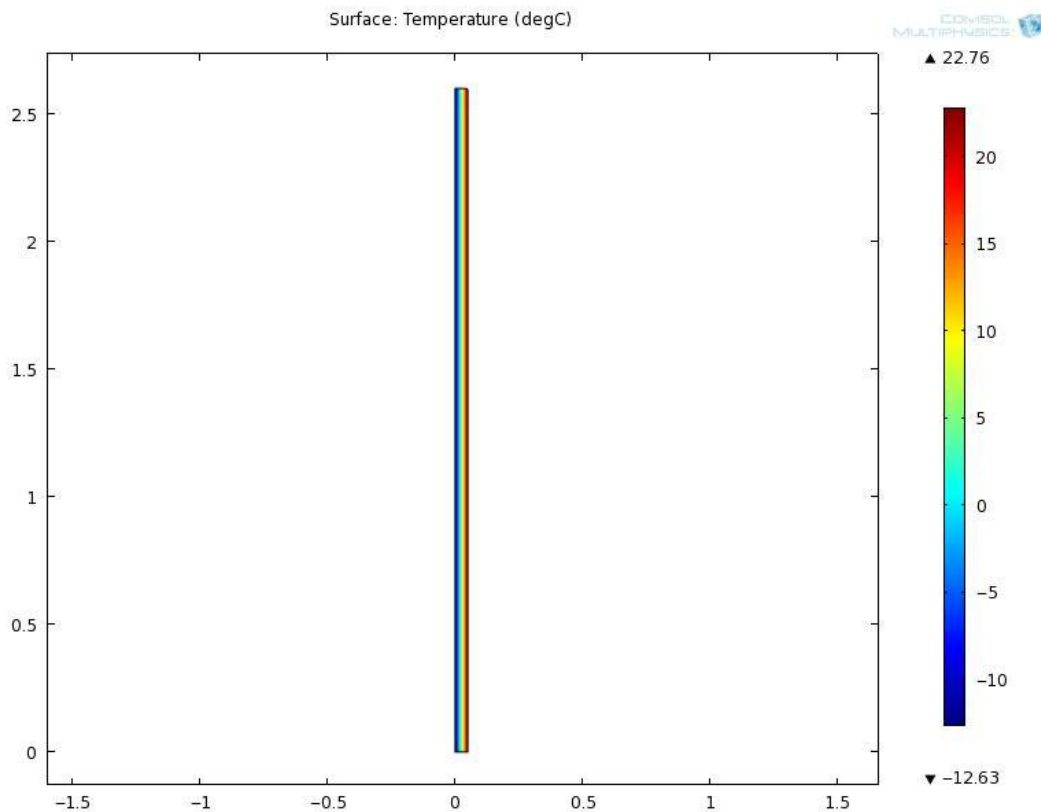
KUVA 9. Yhden EPS-levyn mittauksen lämpötilan muutos

Pintalämpötiloilla laskettaessa saatiin lämpövirraksi 13,185 W/m², jonka ero mitattuun lämpövirtaan on noin 3,6 %. Ilmanlämpötiloilla laskettaessa pyrittiin hakemaan pintavastus, jolla päästäisiin mahdollisimman lähelle mitattua lämpövirtaa. Käytettäessä pintavastuksina 0,10 m²K/W päästiin alle yhden prosentin eroon. Mutta myöhemmät laskelmat osoittivat, että 0,13 m²K/W:n pintavastuksilla laskettaessa saadaan eri laskelmien välille vertailukelpoiset

arvot. Tuolla pintavastuksella saatiin lämpövirraksi $13,282 \text{ W/m}^2$, jonka ero mitattuun lämpövirtaan on noin 2,9 %.

Kolmas yhden levyn rakenteelle tehty mittaus oli teoreettisella 50 °C :n lämpötilaerolla, jossa tavoitteena oli 30 °C :n sisälämpötila ja -20 °C :n ulkolämpötila. Laskennassa käytetyt mittausarvot otettiin 4.–5. mittausvuorokauden kohdalta. Sisäilman keskilämpötila oli $25,8 \text{ °C}$ ja pintalämpötilan keskiarvo oli $23,3 \text{ °C}$. Ulkopuolen keskilämpötila oli $-15,7 \text{ °C}$ ja pintalämpötilan keskiarvo oli $-11,7 \text{ °C}$. Seinärakenteen pinnasta mitattiin tuona aikana keskimäärin $23,042 \text{ W/m}^2$ lämpövirta.

Mittausajan pintalämpötilojen keskiarvolla laskettaessa saatiin lämpövirraksi $23,102 \text{ W/m}^2$, jonka ero mitattuun lämpövirran keskiarvoon on 0,3 %. Käytettäessä $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ pintavastuksia ja mittausajan ilmanlämpötilojen keskiarvoja saatiin laskennalliseksi lämpövirraksi $23,363 \text{ W/m}^2$, jonka ero mitattuun lämpövirran keskiarvoon on noin 1,4 %. Kun käytettiin sisäpinnan pintavastuksena $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ ja ulkopinnan pintavastuksena $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$ päästiin ilmanlämpötiloilla laskettaessa samaan 0,3 %:n tarkkuuteen kuin pintalämpötiloilla laskettaessa. (Kuva 10.)



KUVA 10. Yhden levyn rakenteen lämpötilakuva

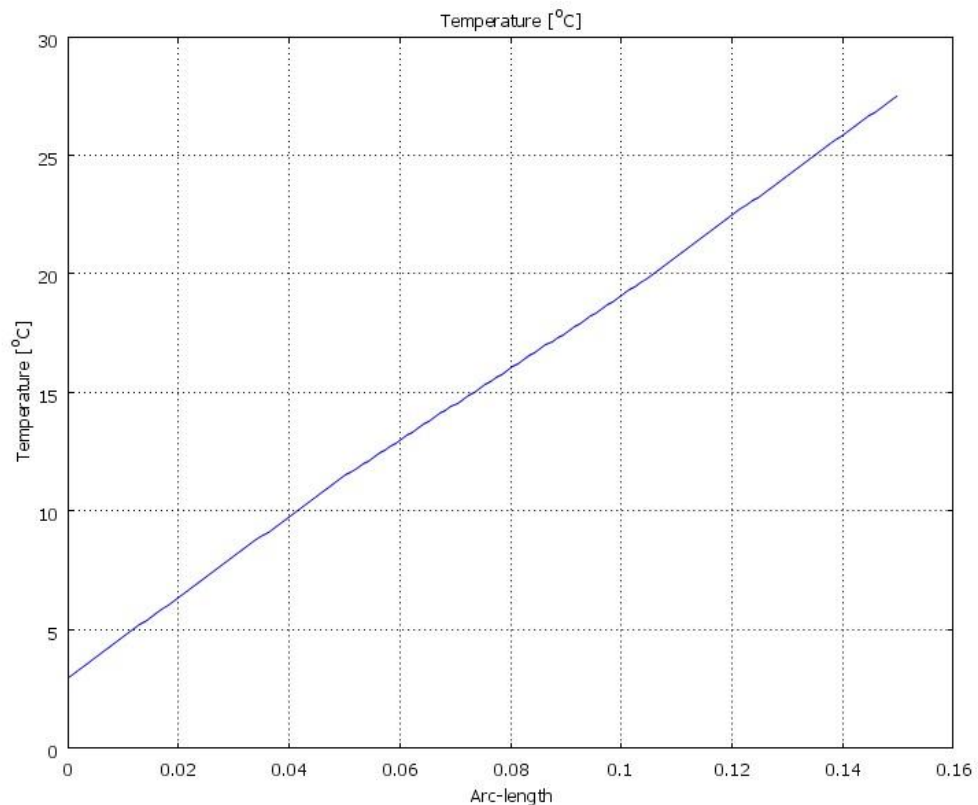
4.2 Kahden levyn rakenne

Yhden levyn mittausten jälkeen tehtiin kahden EPS-levyn rakenne, jossa käytettiin kahta mittauspistettä, eli levyn ulkopinnassa sekä rakenteen sisällä eri materiaalien rajapinnoissa oli mittausanturit samalla kohdalla. Kahden- ja kolmen EPS-levyn rakenteissa oli levyjen välissä aina 50 mm:n mineraalivillaa. Mineraalivillalla saatiin minimoitua rakenteesta ilmavälit, joita olisi saattanut tulla EPS-levyn pintaan asennettujen mittausantureiden vuoksi. Myös kahden- ja kolmen levyn rakenteissa tehdyissä mittauksissa käytettiin samoja 30 °C:n ja 50 °C:n teoreettisia lämpötilaeroja kuin yhden levyn mittauksessa.

4.2.1 Rakenteen eri laidoilla havaittu ero lämpövirrassa

Mitä paksumpi rakenne on, sitä pidemmän ajan se vaatii ennen kuin rakenteen lämpötilaerot ovat tasaantuneet. Sen vuoksi mittausarvot otettiin 6. mittausvuorokauden kohdalta. Sisäilman lämpötilan keskiarvo oli 28,3 °C ja ulkoilman lämpötilan keskiarvo oli 2,2 °C.

Rakenteen oikeasta reunasta säähuoneesta eli niin sanotusti ulkoa katsottaessa mitattiin pintalämpötilan keskiarvoksi sisäpinnasta 27,8 °C ja ulkopinnasta 3,1 °C. Rakenteen pinnasta mitattiin keskimäärin 5,275 W/m²:n lämpövirta ja rakenteen välistä keskimäärin 5,171 W/m²:n lämpövirta. (Kuva 11.)



KUVA 11. Kahden EPS-levyn rakenne

Käytettäessä ilmanlämpötilojen keskiarvoja ja 0,13 m²K/W pintavastuksia saatiin laskennalliseksi lämpövirraksi 5,608 W/m². Sen ero rakenteen oikeasta reunasta mitatuilla arvoilla tehtyihin laskelmiin on 5,9 %. Pintalämpötilojen keskiarvoilla laskettuna lämpövirraksi saadaan 5,637 W/m². Sen ero ra-

kenteesta mitattuun keskiarvoon on 6,5 %. Vertailuarvona käytettiin ensimmäisen rakenteen tapaan pinnasta mitattua lämpövirran keskiarvoa. Rakenteen välistä mitattuun lämpövirran keskiarvoon verrattuna ero on 7,8 %, kun laskelmat on tehty ilmanlämpötilojen perusteella, ja 8,3 %, kun laskelmat on tehty pintalämpötilojen perusteella.

Samalta mittausjaksolta rakenteen vasemmasta reunasta säähuoneesta katsottaessa mitattiin pintalämpötilan keskiarvoksi sisäpinnasta 27,8 °C ja ulkopinnasta 3,1 °C. Rakenteen pinnasta mitattiin keskimäärin 5,440 W/m²:n lämpövirta ja rakenteen välistä keskimäärin 5,338 W/m²:n lämpövirta.

Ilmanlämpötilojen keskiarvoilla lasketun lämpövirran ja rakenteen pinnasta mitatun lämpövirran keskiarvon ero rakenteen vasemmassa reunassa on 3,0 %, ja vastaava ero pintalämpötiloilla laskettuna on 3,3 %. Rakenteen välistä mitattuun lämpövirran keskiarvoon verrattuna ero on 4,8 % ilman lämpötiloilla ja 5,1 % pintalämpötiloilla laskettuna.

4.2.2 Erot korostuvat suuremmalla lämpötilaerolla

Myös 50 °C:n teoreettisen lämpötilaeron mittauksissa havaittiin samanlaisia eroavaisuuksia kuin rakenteen eri reunalta mitatuissa tuloksissa.

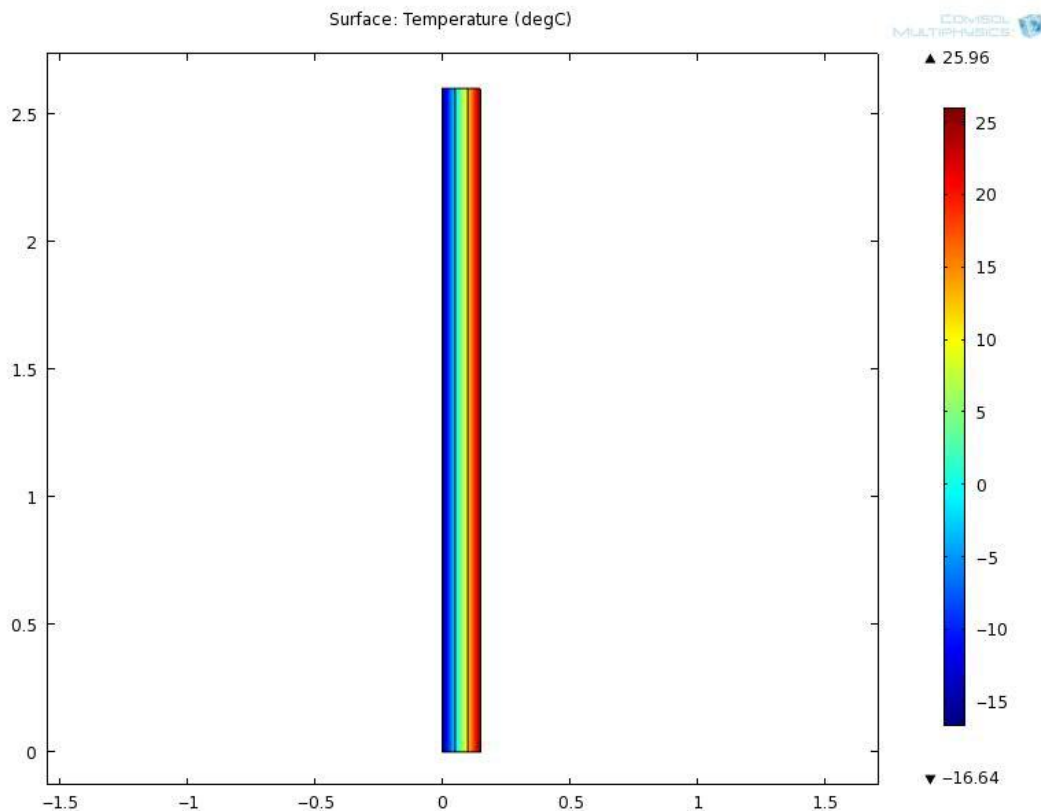
Rakenteesta mitatut arvot otettiin 3.–4. mittausvuorokauden kohdalta. Ilmanlämpötilan keskiarvo oli 27,2 °C sisällä ja ulkona -17,9 °C. Rakenteen oikeasta reunasta mitattiin pintalämpötilojen keskiarvoiksi sisäpinnasta 26,5 °C ja ulkopinnasta -16,5 °C. Rakenteen pinnasta mitattiin keskimäärin 8,834 W/m²:n lämpövirta ja rakenteen välistä 8,194 W/m².

Laskelmat tehtiin samoilla perusteilla kuin aikaisempien mittauksien kohdalla. Ilmanlämpötiloilla laskettuna lämpövirraksi saatiin 9,723 W/m². Oikean reunan pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirraksi saatiin 9,817 W/m².

Ilman lämpötilojen mukaan lasketun lämpövirran ero on 9,1 % rakenteen pinnasta mitattuun lämpövirtaan verrattuna. Pintalämpötilojen mukaan las-

kettuna ero on 10,0 %. Rakenteen välistä mitattuun lämpövirtaan verrattuna ero on suurempi, ilmanlämpötilojen mukaan laskettuna 15,7 % ja pintalämpötilojen mukaan laskettuna 16,5 %.

Rakenteen vasemmasta reunasta mitattiin sisäpinnan keskilämpötilaksi 26,4 °C ja ulkopinnan keskilämpötilaksi -16,5 °C. Rakenteen lämpövirran keskiarvo pinnasta mitattuna oli 9,081 W/m² ja rakenteen välistä mitattuna 8,855 W/m². Vasemman reunan pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirraksi saatiin 9,794 W/m². Ilmanlämpötilojen mukaiset arvot olivat samat kuin oikealla puolella. (Kuva 12.)



KUVA 12. Kahden levyn rakenteen lämpötilakuva

Rakenteen vasemman reunan pinnasta mitatun lämpövirran ja ilman lämpötilojen mukaan lasketun lämpövirran ero on 6,6 %. Pintalämpötilojen mukaan laskettuna ero on 7,3 %. Rakenteen välistä mitattuun lämpövirtaan verrattuna ero on suurempi, ilmanlämpötilojen mukaan laskettuna 11,7 % ja pintalämpötilojen mukaan laskettuna 12,3 %.

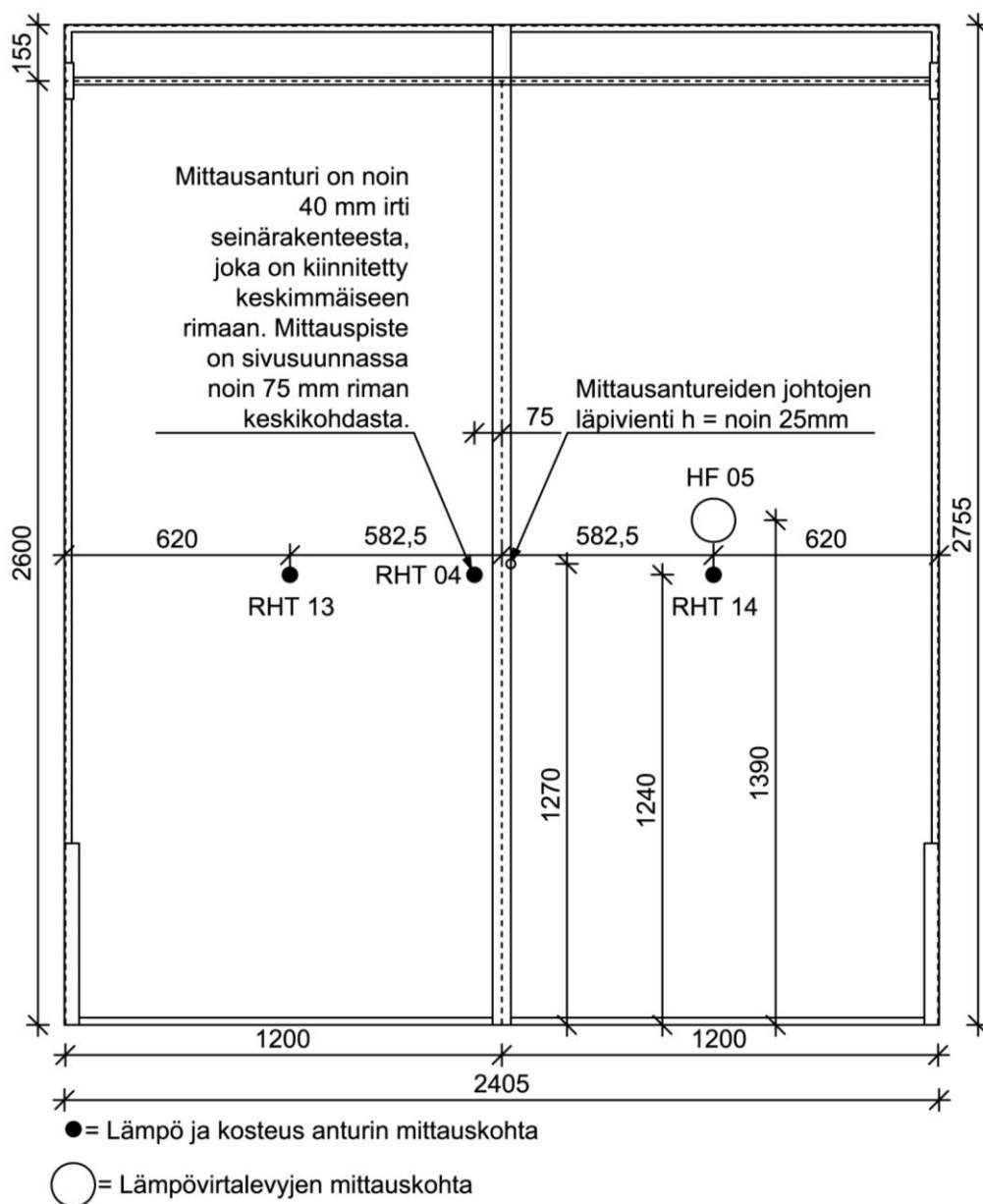
4.3 Kolmen levyn rakenne

Kolmen levyn rakenne oli aivan samanlainen kuin kahden levyn rakenne, mutta rakenteessa oli vain yksi villa- ja yksi EPS-kerros enemmän. Myös mitausanturit sijoitettiin samaan tapaan kuin kahden levyn rakenteessa (kuva 13).

Seinärakenne tutkimushuoneesta päin katsottuna.

Mittauspisteet kolmelle EPS-levykerrokselle tuulensuojakankaalla.

Säähuoneesta päin laskettuna 3:n EPS-levyn tutkimushuoneen puoleinen pinta.



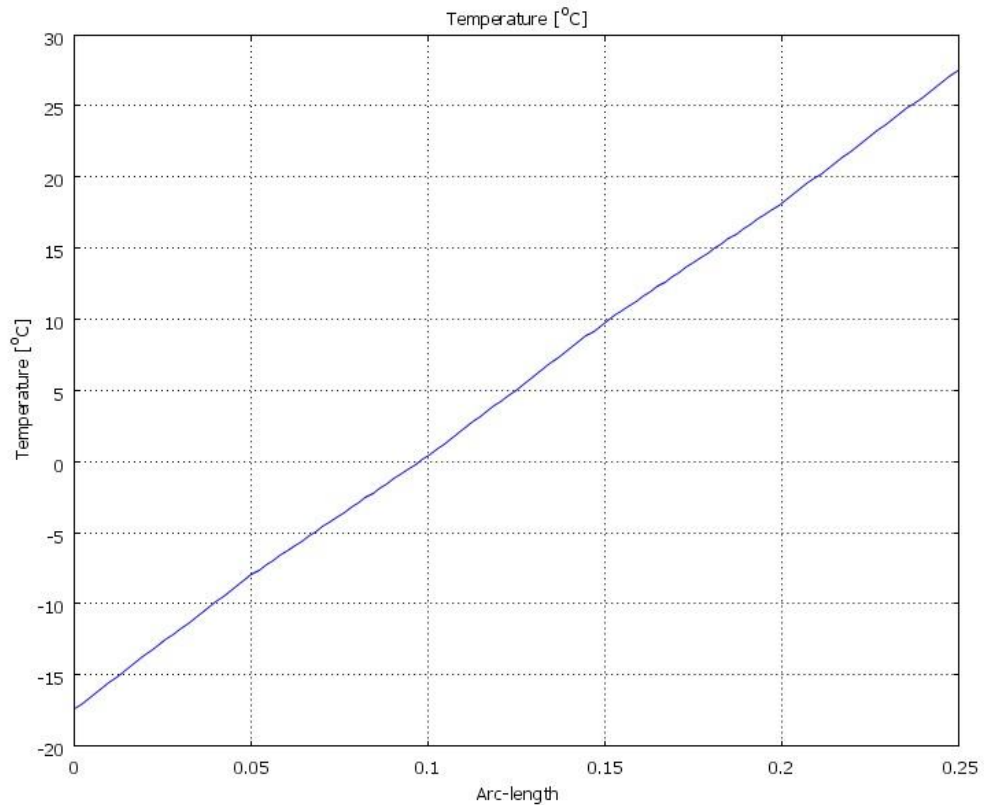
KUVA 13. Kolmen EPS-levyn seinärakenne (6)

Teoreettisen 30 °C:n lämpötilaeron laskenta-arvot otettiin kuudennen mittausvuorokauden kohdalta. Sisäpuolen ilmanlämpötilan keskiarvo oli 28,9 °C ja ulkopuolen 1,9 °C. Sisäpuolen pintalämpötilan keskiarvo oli 28,5 °C ja ulkopuolen 2,5 °C. Rakenteen pinnasta mitatun lämpövirran keskiarvo oli 3,643 W/m², ja rakenteen välistä mitattiin keskimäärin 3,428 W/m²:n lämpövirta.

Rakenteelle tehtiin samanlaiset tietokonelaskelmat kuin aikaisemmille rakenteillekin. Ilmanlämpötiloilla tehtyjen laskelmien mukaan lämpövirraksi saatiin 3,599 W/m² ja pintalämpötiloilla lämpövirraksi saatiin 3,591 W/m². Rakenteen pinnasta mitattuun lämpövirran keskiarvoon verrattuna ilmanlämpötilojen mukaisen lämpövirran ero on 2,8 % ja pintalämpötilojen mukaisen lämpövirran ero on 2,6 %. Rakenteen välistä mitattuun lämpövirran keskiarvoon verrattuna ilmanlämpötiloista laskemalla saadun lämpövirran ero on 4,8 % ja pintalämpötiloista laskemalla saadun lämpövirran ero on 4,6 %.

Teoreettisen 50 °C:n lämpötilaeron laskenta-arvot otettiin 24 tunnin ajanjaksoilta seitsemännen mittausvuorokauden kohdalta. Sisäpuolen ilmanlämpötilan keskiarvo oli 28,4 °C ja ulkopuolen -18,2 °C.

Säähuoneesta päin katsottuna rakenteen vasemmalla puolella sisäpuolen pintalämpötilan keskiarvo oli 27,8 °C ja ulkopuolen pintalämpötilan keskiarvo oli -17,3 °C. Pinnasta mitattiin keskimäärin 5,908 W/m²:n lämpövirta ja rakenteen välistä keskimäärin 5,535 W/m²:n lämpövirta (kuva 14).



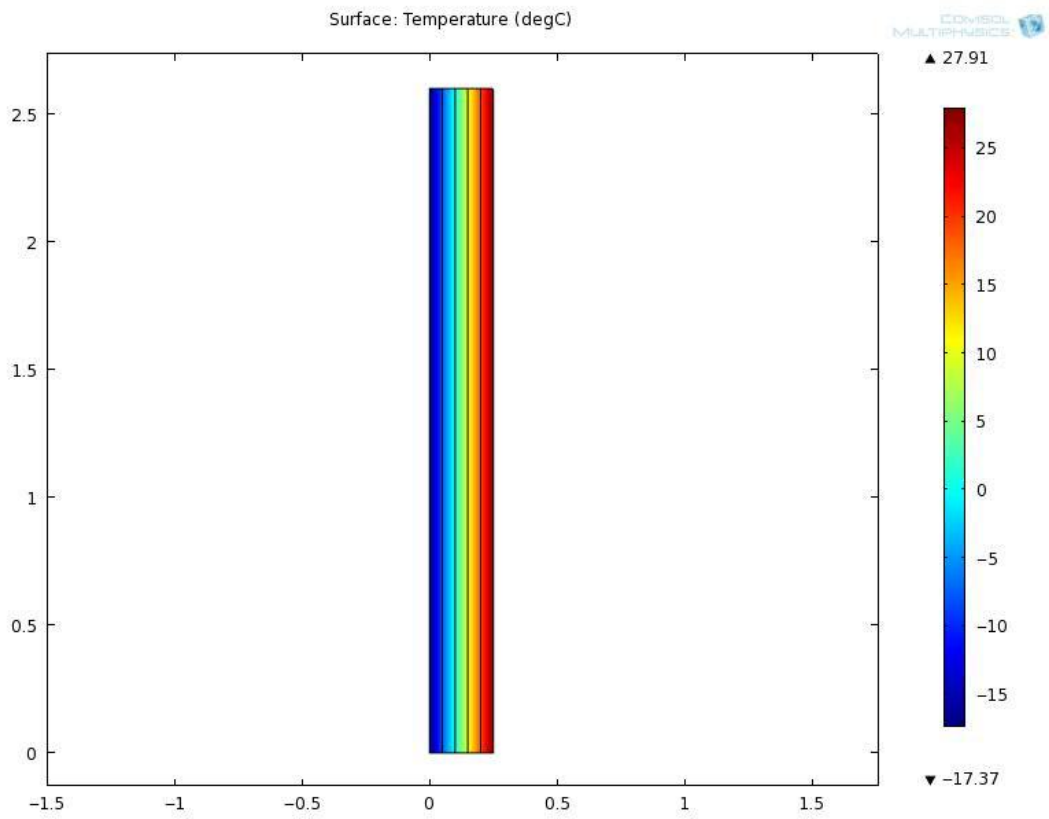
KUVA 14. Kahden EPS-levyn rakenteen lämpötilan muutos

Säähuoneesta päin katsottuna rakenteen oikealla puolella sisäpuolen pintalämpötilan keskiarvo oli 27,9 °C ja ulkopuolen pintalämpötilan keskiarvo oli -17,4 °C. Rakenteen välistä mitattiin keskimäärin 5,465 W/m²:n lämpövirta. Rakenteen oikealla puolella ei ollut pinnassa lämpövirran mittausta, eli siitä ei saatu vertailuarvoja.

Rakenteen vasemmasta reunasta mitattujen ja laskettujen lämpövirta-arvojen ero on 4,9 % ilmanlämpötiloilla laskettaessa ja 5,0 % pintalämpötiloilla laskettaessa, kun verrataan pinnasta mitattuun lämpövirtaan. Rakenteen välistä mitattuun keskimääräiseen lämpövirtaan verrattessa ero on 10,8 % ilmanlämpötiloilla laskettaessa ja 11,0 % pintalämpötiloilla laskettaessa.

Oikeasta reunasta mitattujen ja laskettujen lämpövirta-arvojen ero on 9,8 % ilmanlämpötiloilla laskettaessa ja 10,4 % pintalämpötiloilla laskettaessa, kun verrataan rakenteen välistä mitattuun lämpövirtaan. Näistä arvoista voidaan

päätellä, että ero pinnasta mitattuun lämpövirtaan on olisi ollut alle 5 %. (Kuva 15.)



KUVA 15. Kolmen levyn rakenteen lämpötilakuva

5 LASKENTATULOSTEN ANALYYSI JA POHDINTA

Opinnäytetyön mittauksissa käytettiin kahta lämpöfysikaalisilta ominaisuuksiltaan saman kaltaista ainetta. EPS-levyn lämmönvastus on 0,033 W/mK ja mineraalivillan 0,037 W/mK. Kosteusfysikaalisilta ominaisuuksiltaan nämä materiaalit ovat hyvin erilaisia, mutta tämän opinnäytetyön kohdalla kosteutta ei oteta huomioon.

EPS-levyllä ja mineraalivillalla saatiin hyvin yksinkertainen ja tiivis rakenne aikaiseksi. Välissä oleva mineraalivilla painui mittaustureiden kohdalta hieman kasaan, eikä väliin jäänyt ilmarakoja. Ilman mineraalivilla käyttöä rakenteisiin olisi helposti voinut jäädä ilmarakoja, joiden huomioon ottaminen laskennassa on vaikeaa.

5.1 Mittaustavan muutokset

Rakenteelle tehdyissä mittauksissa otettiin minuutin välein mittausdata talteen. Mittausten jälkeen tehtiin pääasiassa Tapio Oikaraisen toimesta tarkasteluja mittaustulosten tarkkuudesta ja vaihteluista. Havaittuja epätarkkuutta aiheuttavia tekijöitä pyrittiin karsimaan mittaushuoneeseen tehdyillä parannuksilla. Näistä mittaukseen vaikuttavista tekijöistä Tapio Oikarainen kertoo tarkemmin tulevassa opinnäytetyössään.

Ensimmäisen levyn mittausten aikana havaittiin, että mittaushuoneiden ilmanvaihdosta aiheutuu rakenteen mittauksiin häiriöitä. Sen vuoksi rakenteesta puolen metrin päähän rakenteen molemmille puolille asennettiin tuulensuojakangas. Tällä saatiin pienennettyä rakenteen pintalämpötilan vaihtelua ja näin myös lämpövirran vaihtelu pieneni.

Yhden levyn mittauksilla saatiin vertailukelpoisia tuloksia, mutta tärkeää tietoa oli myös optimaalisten mittauspisteiden kartoitus. Ensimmäisessä rakenteessa oli siis viisi eri mittauspistettä, mutta saatujen tulosten perusteella mittauspisteiden määrä voitiin tiputtaa kahteen mittauspisteeseen.

Kahden- ja kolmen levyn rakenteissa mittauspisteet sijoitettiin mahdollisimman kauas mahdollisista epätarkkuutta aiheuttavista tekijöistä. Epätarkkuutta voivat aiheuttaa muun muassa rakenteen reunojen tiivistämiseen käytetty polyuretaanivaaho tai mitattavan rakenteen puinen tukirunko. Mahdollisimman keskellä mitattavaa rakennetta olevilla mittauspisteillä voitiin siis saada samankaltaiset mittausolosuhteet kuin tietokonelaskennassa tai käsilaskennassa yleensä käytetään.

5.2 Mittausten häiriötekijät

Mittausten aikana mahdollisia häiriötekijöitä pyrittiin poistamaan, mutta myöhemmin tehdyssä tarkemmassa tulosten käsittelyssä on havaittu erilaisia muutoksia mittausdatassa.

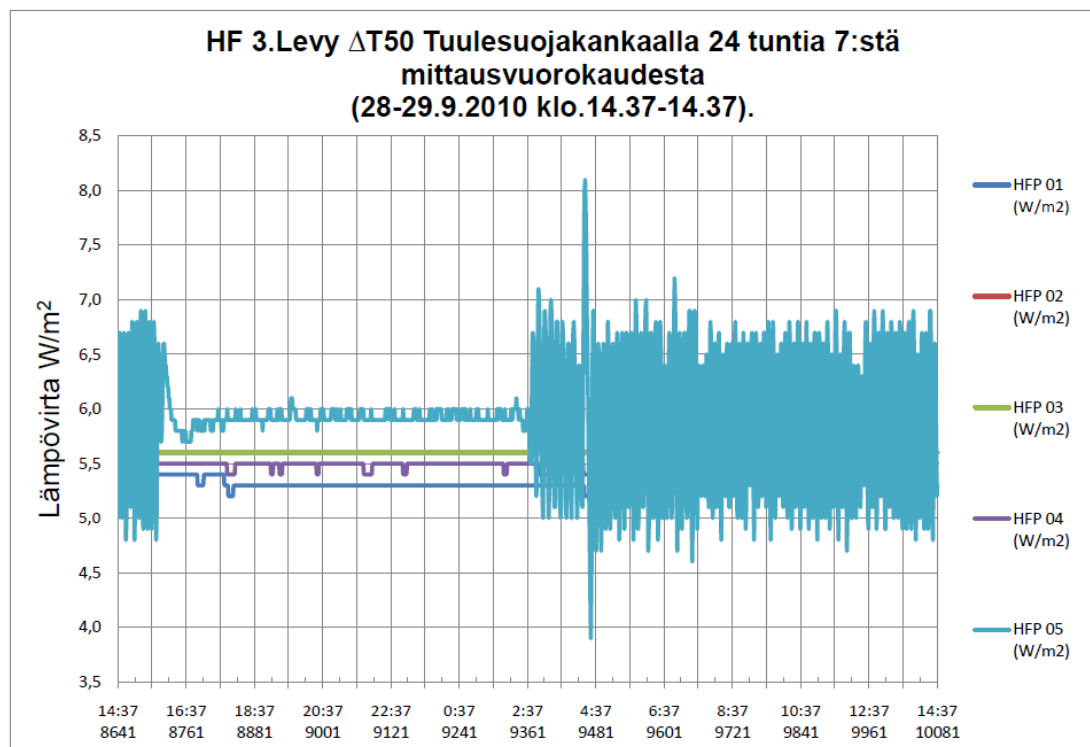
Kahden- ja kolmen levyn rakenteissa havaittiin huomattavan suuri ero mitatun keskimääräisen lämpövirran ja keskilämpötiloilla lasketun lämpövirran välillä. Tarkemmassa laskennassa huomattiin, että kun rakennetta katsotaan säähuoneesta päin, rakenteen oikeassa reunassa ero laskennalliseen lämpövirtaan on noin 3 % suurempi vasemman reunan eroon verrattuna. Myös pintalämpötiloissa havaittiin eroavaisuutta. Teoreettisella 30 °C:n lämpötilaerolla virhe menee mittalaitteiden virhemarginaaliin, mutta suuremmalla 50 °C:n teoreettisella lämpötilaerolla pintalämpötilojen erot korostuvat. Esimerkiksi kolmen levyn rakenteessa ero on jo 0,5 °C:n luokkaa, millä on vaikutusta esimerkiksi ilmanlämpötiloilla tehtyjen laskelmien suhteen. Mittaushuoneisiin tulevat ovet ovat oikean puoleisella seinällä, joten ne saattavat vuotaa ja aiheuttaa häiriötä.

Myös rakenteen välistä ja rakenteen pinnasta mitatussa lämpövirrassa havaittiin noin 2-5 %:n ero, joka suureni, kun mittauksen lämpötilaero kasvoi. Vertailuarvona laskelmien ja mittausten välillä käytettiin pinnasta mitattua lämpövirtaa, koska yhden levyn rakenteesta lämpövirtaa sekä lämpö- ja kosteusolosuhteita mitattiin vain rakenteen pinnasta. Rakenteen pinnasta ja välistä mitattujen lämpövirta-arvojen eroissa ei havaittu merkittävää poik-

keamaa, kun tilannetta tarkastellaan rakenteen oikean ja vasemman reunan suhteen.

Myöhemmin, kun mittaukset oli jo tehty, saatiin selville, että ilmeisesti laboratorion olosuhdehuoneen ilmanvaihdon automatiikka ei ole toiminut toivotulla tavalla. Sen vuoksi lämpövirrassa on tapahtunut melko voimakkaita muutoksia. Nämä muutokset vääristävät mittausajanjaksojen keskiarvoja ja sen myötä myös laskentatuloksia.

Kuvaajista käy ilmi, että lämpövirran keskiarvon suuruusluokka on oikea, noin $0,5 \text{ W/m}^2$, mutta vaihtelu on ollut huomattavan suurta. Saman aikaisista lämpötilan ja kosteuden kuvaajista käy ilmi, että lämpötilan muutokset eivät kuitenkaan ole olleet niin merkittäviä. Vastaavanlaista voimakasta vaihtelua oli tapahtunut myös muissa mittauksissa. (Liite 5.) (Kuva 16.)

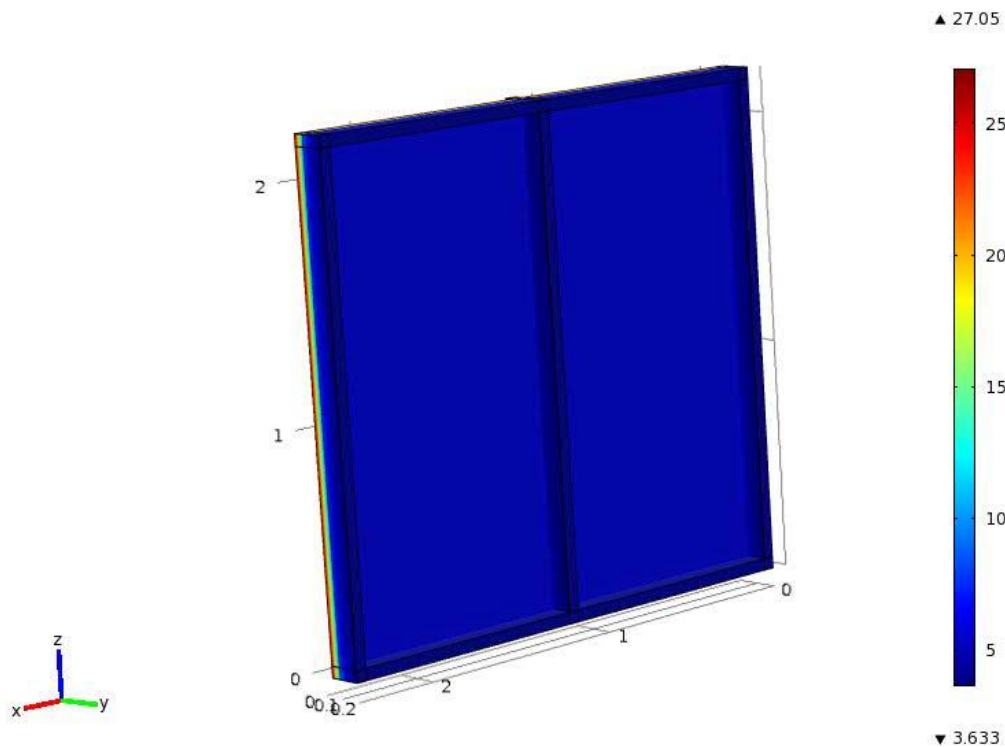


KUVA 16. HFP 05 –lämpövirtalevyn mittausarvojen vaihtelu (6)

5.3 Laskennan tarkkuus

Rakenteelle tehdyissä laskelmissa käytettiin minuutin välein mitatun datan keskiarvoja kolmen desimaalin tarkkuudella. Kuitenkin mittalaitteiden valmistajien ilmoittamat virhemarginaalit ovat huomattavasti suuremmat, esimerkiksi lämpötila-anturilla jo aiemmin ilmoitettu $\pm 0,1$ °C.

Rakenteesta mitatut ilmanlämpötilat mitattiin noin 5 cm:n etäisyydeltä rakenteen pinnasta. Ilmanlämpötila-anturi oli kiinnitettynä rakenteen keskellä olevaan tukitolppaan. Pystysuunnassa ilmanlämpötilamittaus oli samalla korkeudella, kuin lämpövirtalevyt ja pintalämpötilan mittaus, mutta vaakatasossa ilmanlämpötilan mittaus oli noin 60 cm:n päässä muista mittalaitteista. Tämän vuoksi voidaan olettaa, että lämpötila ei ole aivan totuuden mukainen. Myös mitattavan rakenteen puisista tukirakenteista aiheutuu muutoksia pintalämpötiloissa (kuva 17). Esimerkiksi kahden- ja kolmen levyn rakenteen mittaustuloksista voidaan kuitenkin pintalämpötilojen perusteella todeta, että lämpötilan ero eri laidoilla rakennetta on todennäköisesti samaa luokkaa tai pienempi kuin mittalaitteiden virhemarginaali. (Liite 3.)



KUVA 17. Yhden EPS-levyn rakenteen 3D-malli Comsol 4.0 -ohjelmasta

Laskelmia tehtiin tietokoneella Comsol Multiphysics –ohjelmalla sekä pintalämpötilojen perusteella, että ilmanlämpötilojen perusteella. Ilmanlämpötilan laskennassa on tärkeää käyttää oikeaa pintavastusarvoa. Jos oletetaan pintalämpötilojen mukaan tehdyn tietokonelaskelman olevan oikein, voidaan laskea tietokoneella lasketun lämpövirran ja mitatun lämpövirran keskiarvon ero. Pyrkimällä saman suuruiseen eroon mitatun ilmanlämpötilan keskiarvojen mukaan tehdyn lämpövirtalaskelman ja mitatun lämpövirran keskiarvon välillä, voidaan laskea oikea pintavastus.

Laskelmissa ja niissä tehdyissä vertailuissa on käytetty kolmen desimaalin tarkkuudella olevia arvoja ja lämpövirta on huomioitu kuuden desimaalin tarkkuudella. Kuitenkin mittalaitteet on kalibroitu vain yhden desimaalin tarkkuuteen, joten kaikki muutkin laskenta-arvot pitää huomioida vain tuolla tarkkuudella. Tämä pienentää laskettujen ja mitattujen arvojen prosentuaalisia eroja.

5.4 Laskelmista tehtävät johtopäätökset

Opinnäytetyön painopiste oli siis lämpöfysikaalinen tarkastelu lämpövirran kannalta. Sen vuoksi osa mittaustiedoista jätettiin huomioimatta. Esimerkkinä tällaisista ovat rakenteen kosteuskäyttäytyminen ja rakenteen sisäiset lämpötilat.

Kuten jo aiemmin todettiin, havaittiin rakenteen pinnasta ja rakenteen välistä mitatussa lämpövirrassa 0-5 %:n ero sen mukaan mitä suurempi lämpötilaero on. Pinnasta mitatut lämpövirran arvot olivat siis lähempänä laskenta-arvoja.

Rakenteen mittauservoissa, erityisesti lämpövirrassa havaittiin poikkeamaa rakenteen eri reunoilla. Kun huomioidaan lähemmäksi laskelmia saadut mittauservat, voidaan todeta, että hyvin toimivassa olosuhdehuoneessa tehtyjen lämpövirran mittausten ja pintalämpötilojen mukaan tehtyjen lämpövirtalaskelmien välillä päästään noin ± 5 %:n tarkkuuteen. Vastaavasti käyttämällä $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$:n pintavastusta olosuhdehuoneessa 5 cm:n etäisyydellä raken-

teen pinnasta mitattujen ilmanlämpötilojen mukaan tehtävissä laskelmissa saadaan sama laskentatulokset kuin pintalämpötilojen mukaan tehdyissä laskelmissa. Rakenteen suojana suositellaan käytettäväksi tuulensuojakangasta, jolla saadaan pienennettyä pinnasta mitatun lämpövirran vaihtelua.

Tämän ja Tapio Oikaraisen opinnäytetyön pohjalta olisi jatkossa hyvä tehdä lisätutkimuksia esimerkiksi siitä, miten lämpövirta ja pintavastukset vaikuttavat rakenteen välistä mitattuihin lämpötiloihin. Ja myös rakenteen kosteusolosuhteet on jätetty huomioimatta, mutta mittausdata on Oulun seudun ammattikorkeakoululla olemassa, eli siitä riittäisi vielä moneen opinnäytetyöhön taustamateriaalia.

LÄHTEET

1. Siikanen, Unto 1996. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.
2. Björkholtz, Dick 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy.
3. Ympäristöministeriö – Siimes, Suvi-Anne – Ahokas, Raimo 2002. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. Helsinki: C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/rakentamismaaraykset>. Hakupäivä 28.2.2011.
4. Björkholtz, Dick – Louhenkilpi, Kari – Saarimaa, Juho – Siitonen, Veijo – Vilvala, Jaakko – Vähäkallio, Pentti 1984. Lämmön- ja kosteudeneristys. RIL 155. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto.
5. Multiphysics Modelling and Simulation Software – COMSOL. 2011. Saatavissa: <http://www.comsol.fi>. Hakupäivä 1.3.2011.
6. Oikarainen, Tapio 2011. Opinnäytetyötä varten tehty materiaali.
7. EPS-Rakennuseristeteollisuus. 2004. RT K-36781. EPS-lämmöneristeet. Saatavissa: <http://www.eps-eriste.fi/fin/eps-eristeet>. Hakupäivä 8.1.2010.
8. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. 2008. ISOVER KL 37 –tuoteseloste. Saatavissa: <http://www.isover.fi/Tuotesivu/?intProductCategoryID=52&intProductID=17756&tuoteseloste=1>. Hakupäivä 29.9.2010.

LIITTEET

Liite 1. Rakenne 1. Opinnäytetyön rakennelaskelmat.

Liite 2. Rakenne 2. Opinnäytetyön rakennelaskelmat.

Liite 3. Rakenne 3. Opinnäytetyön rakennelaskelmat.

Liite 4. Mittaustulosten keskiarvoja, maksimi- ja minimiarvoja. Tapio Oikarainen.

Liite 5. Lämpötila-, kosteus- ja lämpövirtakuvaajat. Tapio Oikarainen.

LASKETTAVA RAKENNE

<u>Materiaali</u>	<u>Paksuus</u>	<u>Lämmönjohtavuus</u>
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$

Sisä-/ulkopuolen lämpötila	$T_s = 30 \text{ °C} / T_u = 0 \text{ °C}$
Lämpötilaero	$\Delta T = 30 \text{ °C}$

MITATUT OLOSUHTEET

Mittausarvot 24 tuntia 2-3. vuorokaudesta

	Anturi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
EPS/sisäpinta	Ilmanlämpötila [°C]	27,199	26,890	27,830
	Pintalämpötila [°C]	25,714	25,330	26,490
	Lämpövirta [W/m²]	13,675	10,200	18,700
EPS/ulkopinta	Ilmanlämpötila [°C]	3,622	2,510	4,180
	Pintalämpötila [°C]	5,736	6,300	4,630
Lämpötilaero (keskiarvoista)		$\Delta T = 23,577 \text{ °C}$		

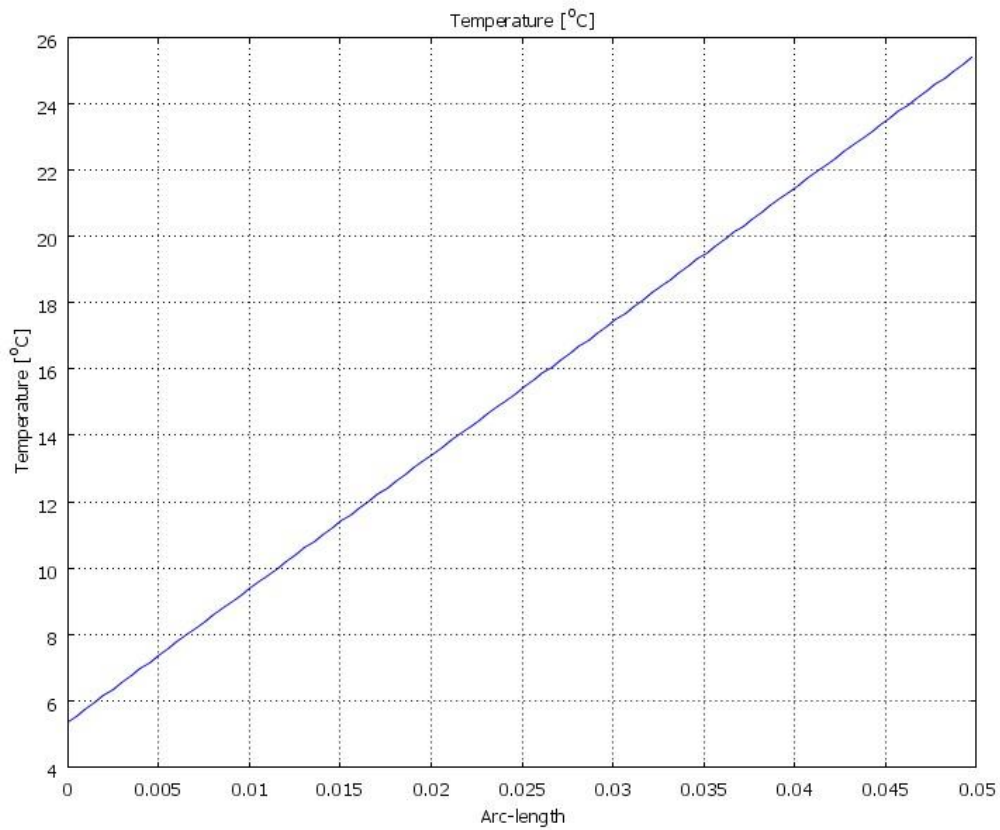
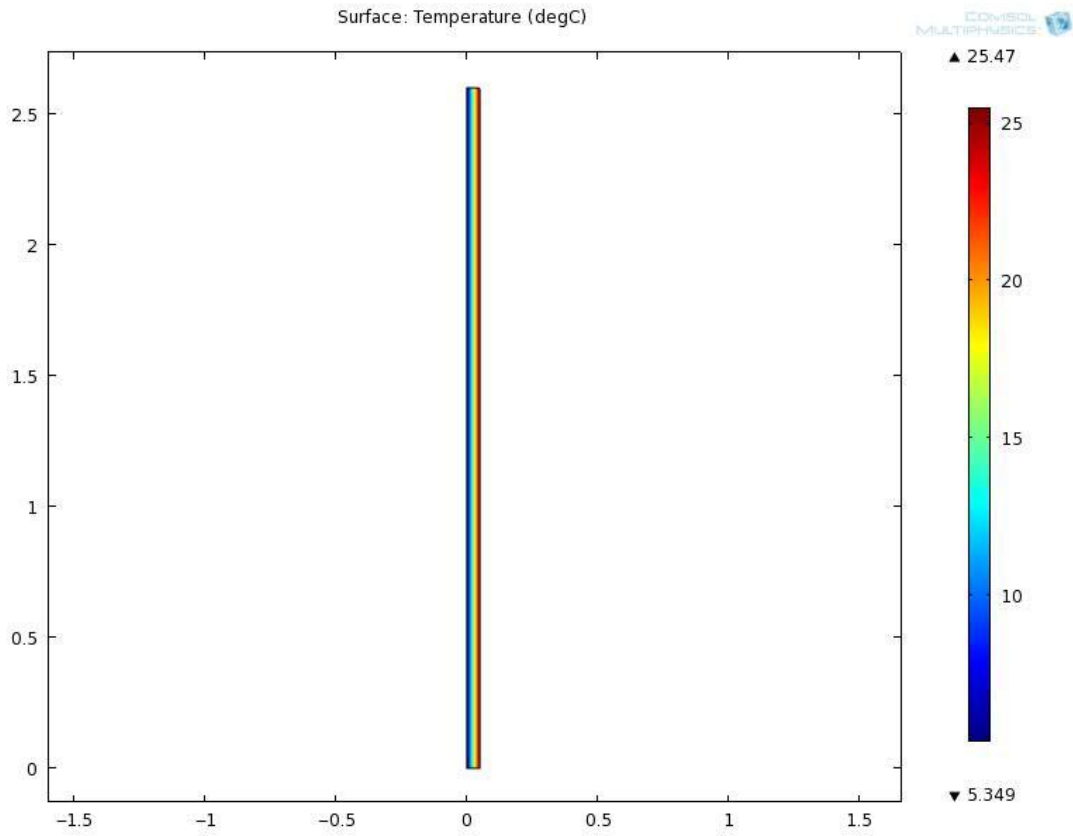
LASKENTATULOKSET (COMSOL 2D)

Sisäp. pintavastus $R_{j,s} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Ulkop. pintavastus $R_{j,u} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Sisäp. lämpötila $T_s [\text{°C}]$	Ulkop. lämpötila $T_u [\text{°C}]$	Lämpövirta $\phi [\text{W/m}^2]$
0,13	0,10	25,443	4,973	13,510002
0,13	0,13	25,472	5,349	13,281683
0,10	0,10	25,824	4,997	13,746307
0,11	0,10	25,439	4,922	13,666626
		25,714	5,736	13,185480

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero käytettäessä $R_{j,s} = 0,11$ & $R_{j,u} = 0,10$ pintavastuksia on **0,06 %**

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero käytettäessä $R_j = 0,13$ pintavastuksia on **2,9 %**

Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero on **3,6 %**



Laskelmissa on käytetty mitattuja ilmanlämpötiloja ja pintavastuksena $R_j = 0,13$

LASKETTAVA RAKENNE

Materiaali	Paksuus	Lämmönjohtavuus
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$

Sisä-/ulkopuolen lämpötila	$T_s = 30 \text{ °C} / T_u = 0 \text{ °C}$
Lämpötilaero	$\Delta T = 30 \text{ °C}$

MITATUT OLOSUHTEET

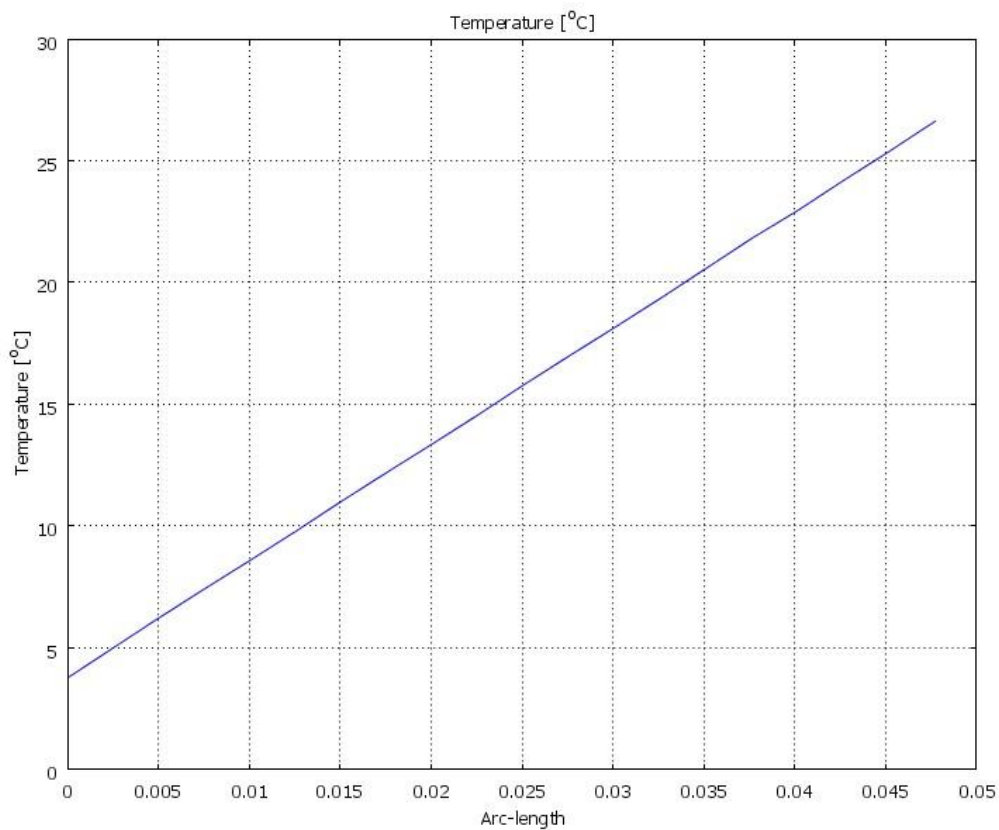
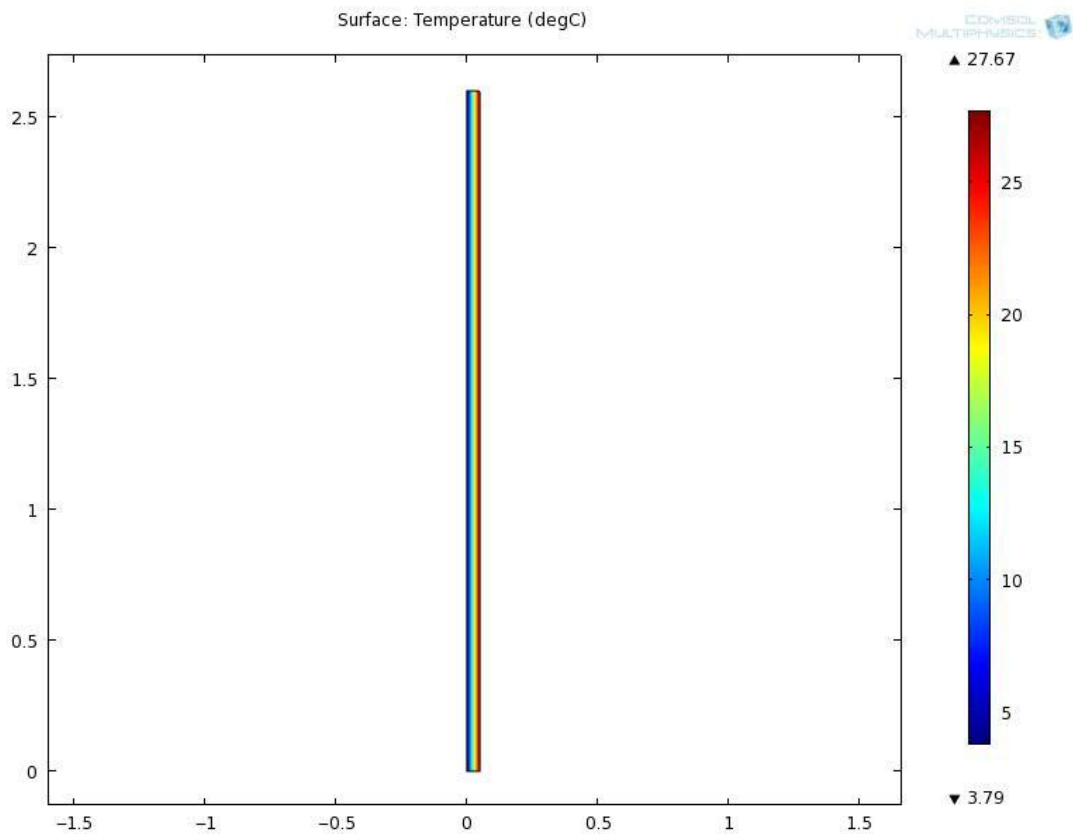
Mittausarvot 24 tuntia 3. vuorokaudesta, ilman tuulensuojakangasta

	Anturi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
EPS/sisäpinta	Pintalämpötila [°C]	27,670	26,920	28,610
	Lämpövirta [W/m²]	16,200	10,000	25,700
EPS/ulkopinta	Pintalämpötila [°C]	3,790	2,560	4,460
Lämpötilaero (keskiarvoista)		$\Delta T = 23,880 \text{ °C}$		

LASKENTATULOKSET (COMSOL 2D)

Sisäp. pintavastus $R_{j,s} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Ulkop. pintavastus $R_{j,u} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Sisäp. lämpötila $T_s [\text{°C}]$	Ulkop. lämpötila $T_u [\text{°C}]$	Lämpövirta $\phi [\text{W/m}^2]$
		27,670	3,790	15,7608

Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero on **2,7 %**



Laskelmissa on käytetty mitattuja pintalämpötiloja

LASKETTAVA RAKENNE

Materiaali	Paksuus	Lämmönjohtavuus
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$

Sisä-/ulkopuolen lämpötila	$T_s = 30 \text{ °C} / T_u = -20 \text{ °C}$
Lämpötilaero	$\Delta T = 50 \text{ °C}$

MITATUT OLOSUHTEET

Mittausarvot 24 tuntia 4-5. vuorokaudesta

	Anturi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
EPS/sisäpinta	Ilmanlämpötila [°C]	25,800	25,470	26,190
	Pintalämpötila [°C]	23,277	22,920	23,730
	Lämpövirta [W/m²]	23,042	27,400	19,200
EPS/ulkopinta	Ilmanlämpötila [°C]	-15,672	-15,130	-15,980
	Pintalämpötila [°C]	-11,726	-11,220	-12,070
Lämpötilaero (keskiarvoista)		$\Delta T = 41,472 \text{ °C}$		

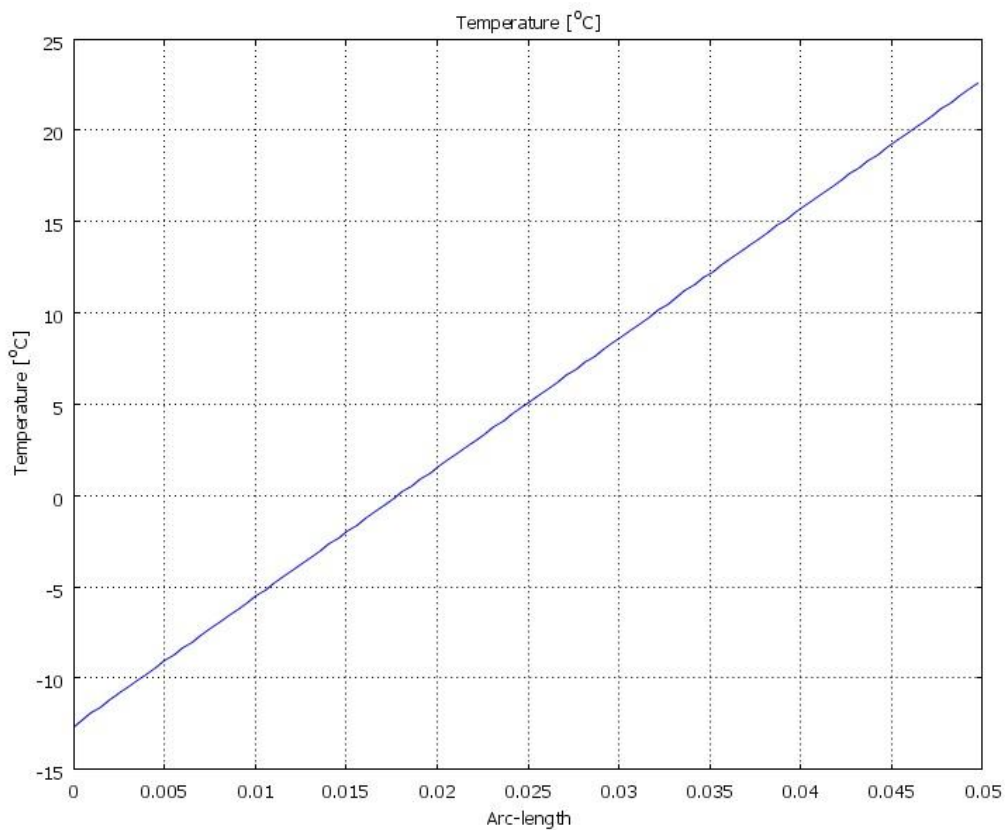
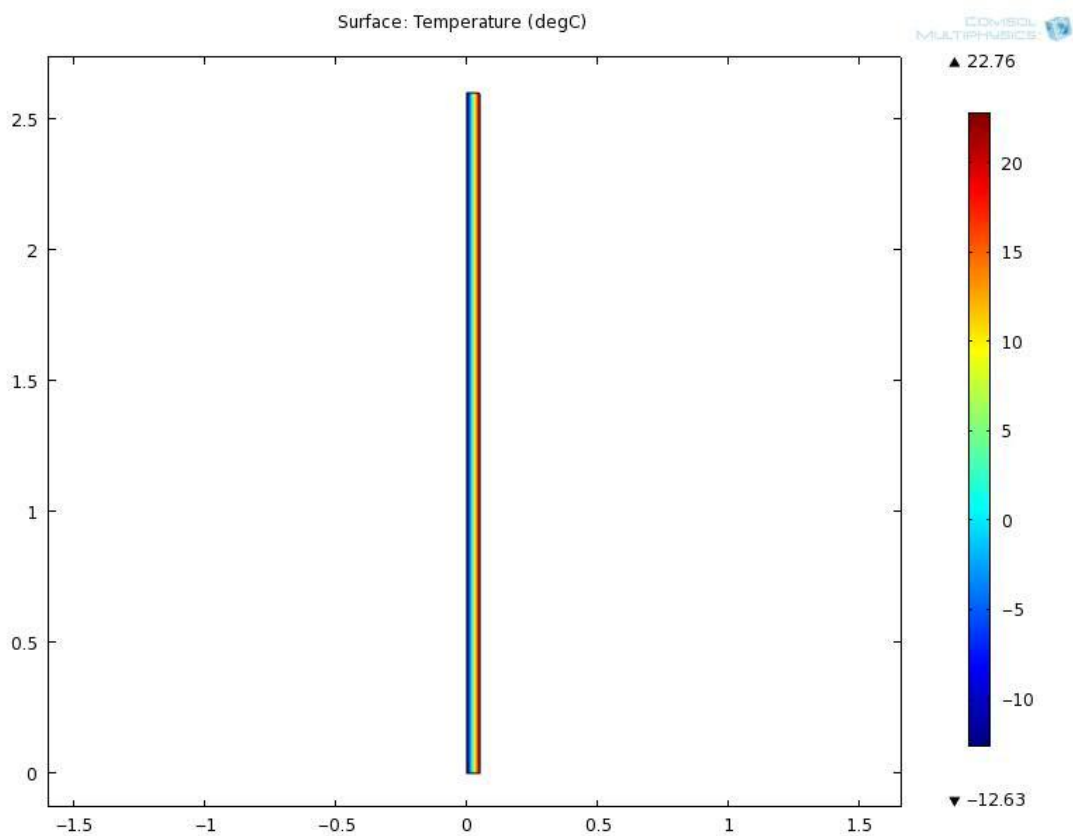
LASKENTATULOKSET (COMSOL 2D)

Sisäp. pintavastus $R_{j,s} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Ulkop. pintavastus $R_{j,u} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Sisäp. lämpötila $T_s [\text{°C}]$	Ulkop. lämpötila $T_u [\text{°C}]$	Lämpövirta $\phi [\text{W/m}^2]$
0,13	0,10	22,711	-13,296	23,764126
0,13	0,13	22,763	-12,635	23,362513
0,10	0,10	23,382	-13,254	24,179778
0,13	0,15	22,797	-12,207	23,102228
		23,277	-11,726	23,101980

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero käytettäessä $R_{j,s} = 0,13$ & $R_{j,u} = 0,15$ pintavastuksia on **0,26 %**

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero käytettäessä $R_j = 0,13$ pintavastuksia on **1,4 %**

Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero on **0,26 %**



Laskelmissa on käytetty mitattuja ilmanlämpötiloja ja pintavastuksena $R_j = 0,13$

LASKETTAVA RAKENNE

Materiaali	Paksuus	Lämmönjohtavuus
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Mineraalivilla	50mm	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Sisä-/ulkopuolen lämpötila		$T_s = 30 \text{ °C} / T_u = 0 \text{ °C}$
Lämpötilaero		$\Delta T = 30 \text{ °C}$

MITATUT OLOSUHTEET

Mittausarvot 24 tuntia 6. vuorokaudesta, rakenteen oikea reuna säähuoneesta katsottuna.

	Anturi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
EPS/sisäpinta	Ilmanlämpötila [°C]	28,273	28,120	28,450
	Pintalämpötila [°C]	27,807	27,620	28,000
	Lämpövirta [W/m²]	5,275	3,600	7,600
EPS-MV	Lämpötila [°C]	19,814	19,470	20,020
MV-EPS	Lämpötila [°C]	11,533	10,850	11,930
	Lämpövirta [W/m²]	5,171	5,000	5,500
EPS/ulkopinta	Ilmanlämpötila [°C]	2,243	1,180	2,810
	Pintalämpötila [°C]	3,107	1,910	3,660
Lämpötilaero (keskiarvoista)		$\Delta T = 26,030 \text{ °C}$		

LASKENTATULOKSET (COMSOL 2D)

Sisäp. pintavastus $R_{j,s} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Ulkop. pintavastus $R_{j,u} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Sisäp. lämpötila $T_s [\text{°C}]$	Ulkop. lämpötila $T_u [\text{°C}]$	Lämpövirta $\phi [\text{W/m}^2]$
0,13	0,10	27,539	2,807	5,644395
0,13	0,13	27,544	2,972	5,607914
0,10	0,10	27,705	2,811	5,681354
		27,807	3,107	5,637140

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero pinnasta mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on **5,9 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero pinnasta mitattuun arvoon on **6,5 %**

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on **7,8 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon on **8,3 %**

LASKETTAVA RAKENNE

Materiaali	Paksuus	Lämmönjohtavuus
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Mineraalivilla	50mm	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$

Sisä-/ulkopuolen lämpötila	$T_s = 30 \text{ °C} / T_u = 0 \text{ °C}$
Lämpötilaero	$\Delta T = 30 \text{ °C}$

MITATUT OLOSUHTEET

Mittausarvot 24 tuntia 6. vuorokaudesta, rakenteen vasen reuna säähuoneesta katsottuna.

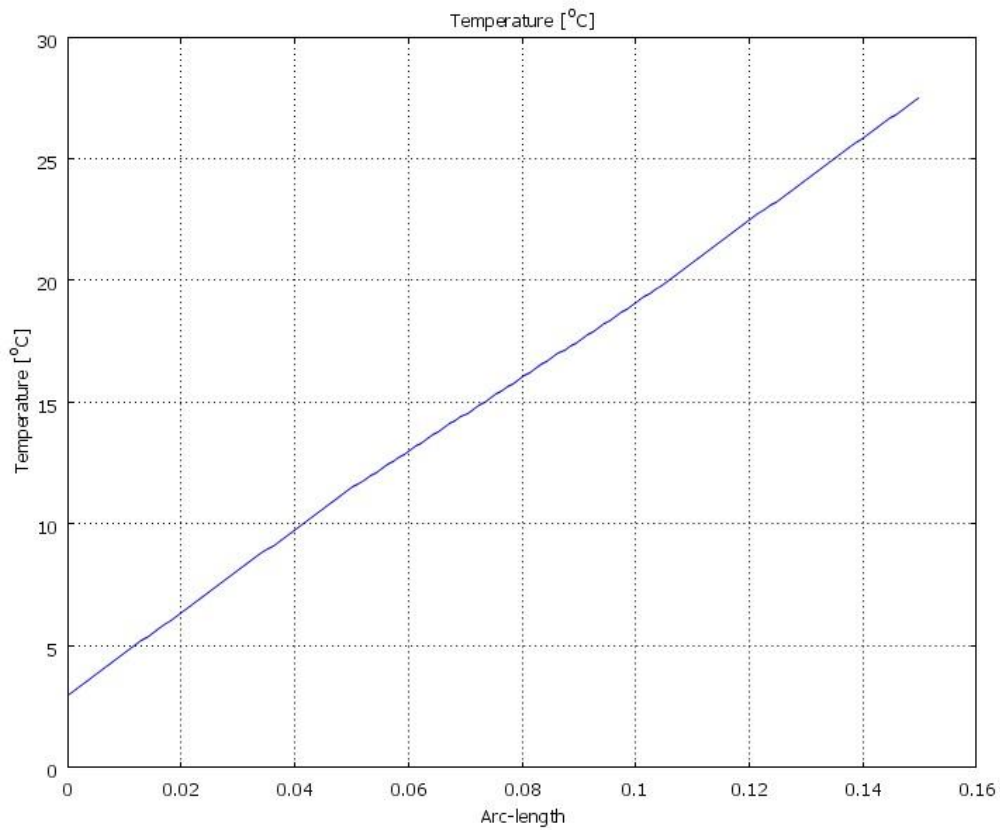
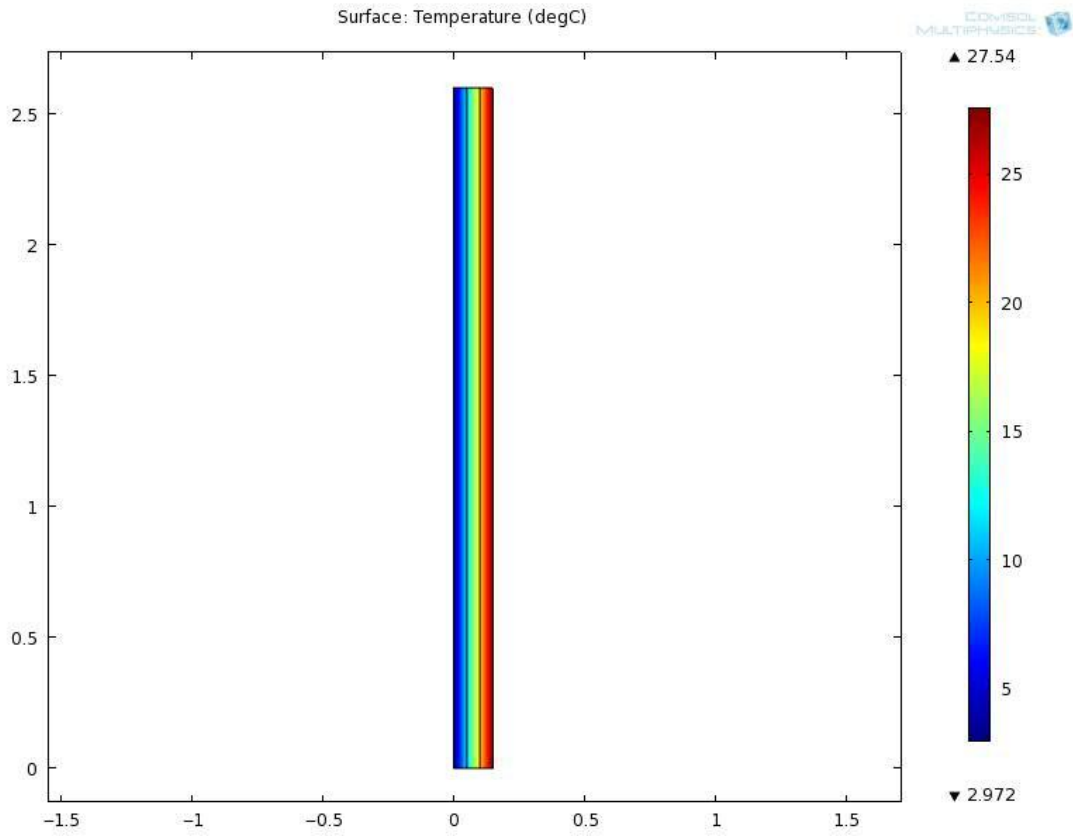
	Anturi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
EPS/sisäpinta	Ilmanlämpötila [°C]	28,273	28,120	28,450
	Pintalämpötila [°C]	27,758	27,600	27,980
	Lämpövirta [W/m²]	5,440	4,000	7,600
EPS-MV	Lämpötila [°C]	19,769	19,450	19,960
MV-EPS	Lämpötila [°C]	11,762	11,180	12,100
	Lämpövirta [W/m²]	5,338	5,200	5,600
EPS/ulkopinta	Ilmanlämpötila [°C]	2,243	1,180	2,810
	Pintalämpötila [°C]	3,120	1,940	3,710
Lämpötilaero (keskiarvoista)		$\Delta T = 26,030 \text{ °C}$		

LASKENTATULOKSET (COMSOL 2D)

Sisäp. pintavastus $R_{j,s} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Ulkop. pintavastus $R_{j,u} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Sisäp. lämpötila $T_s [\text{°C}]$	Ulkop. lämpötila $T_u [\text{°C}]$	Lämpövirta $\phi [\text{W/m}^2]$
0,13	0,10	27,539	2,807	5,644395
0,13	0,13	27,544	2,972	5,607914
0,10	0,10	27,705	2,811	5,681354
		27,758	3,120	5,622990

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero pinnasta mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on **3,0 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero pinnasta mitattuun arvoon on **3,3 %**

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on **4,8 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon on **5,1 %**



Laskelmissa on käytetty ilmanlämpötiloja ja pintavastuksena $R_J = 0,13$

LASKETTAVA RAKENNE

Materiaali	Paksuus	Lämmönjohtavuus
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Mineraalivilla	50mm	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Sisä-/ulkopuolen lämpötila		$T_s = 30 \text{ °C} / T_u = -20 \text{ °C}$
Lämpötilaero		$\Delta T = 50 \text{ °C}$

MITATUT OLOSUHTEET

Mittausarvot 24 tuntia 3-4. vuorokaudesta, rakenteen oikea reuna säähuoneesta katsottuna.

	Anturi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
EPS/sisäpinta	Ilmanlämpötila [°C]	27,226	27,090	27,430
	Pintalämpötila [°C]	26,465	26,290	26,680
	Lämpövirta [W/m²]	8,834	6,700	10,800
EPS-MV	Lämpötila [°C]	12,525	12,650	12,400
MV-EPS	Lämpötila [°C]	-1,901	-2,070	-1,750
	Lämpövirta [W/m²]	8,194	8,100	8,200
EPS/ulkopinta	Ilmanlämpötila [°C]	-17,907	-18,130	-17,390
	Pintalämpötila [°C]	-16,549	-16,010	-16,780
Lämpötilaero (keskiarvoista)		$\Delta T = 45,133 \text{ °C}$		

LASKENTATULOKSET (COMSOL 2D)

Sisäp. pintavastus $R_{j,s}$ [m ² K/W]	Ulkop. pintavastus $R_{j,u}$ [m ² K/W]	Sisäp. lämpötila T_s [°C]	Ulkop. lämpötila T_u [°C]	Lämpövirta ϕ [W/m ²]
0,13	0,10	25,954	-16,928	9,786726
0,13	0,13	25,962	-16,643	9,723473
0,10	0,10	26,241	-16,922	9,850809
		26,465	-16,549	9,816840

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero pinnasta mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on **9,1 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero pinnasta mitattuun arvoon on **10,0 %**

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on **15,7 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon on **16,5 %**

LASKETTAVA RAKENNE

Materiaali	Paksuus	Lämmönjohtavuus
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Mineraalivilla	50mm	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Sisä-/ulkopuolen lämpötila		$T_s = 30 \text{ °C} / T_u = -20 \text{ °C}$
Lämpötilaero		$\Delta T = 50 \text{ °C}$

MITATUT OLOSUHTEET

Mittausarvot 24 tuntia 3-4. vuorokaudesta, rakenteen vasen reuna säähuoneesta katsottuna.

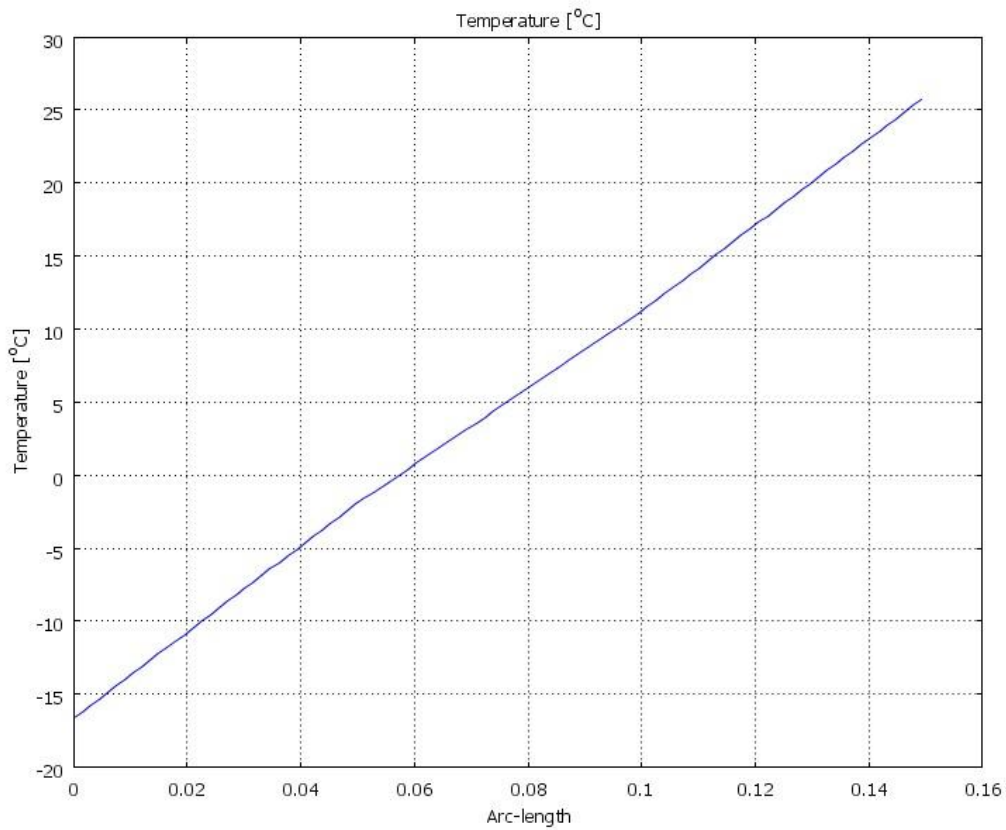
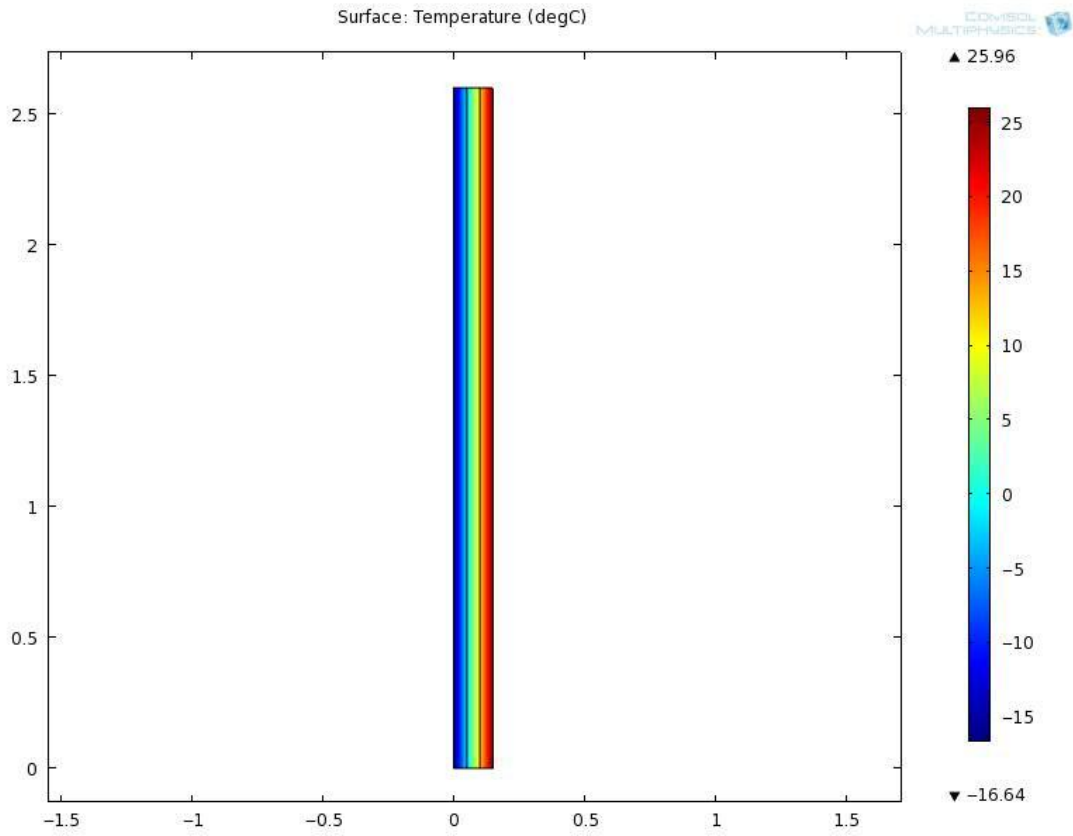
	Anturi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
EPS/sisäpinta	Ilmanlämpötila [°C]	27,226	27,090	27,430
	Pintalämpötila [°C]	26,412	26,280	26,630
	Lämpövirta [W/m²]	9,081	7,100	11,000
EPS-MV	Lämpötila [°C]	12,853	12,750	12,970
MV-EPS	Lämpötila [°C]	-1,198	-1,030	-1,330
	Lämpövirta [W/m²]	8,588	8,500	8,600
EPS/ulkopinta	Ilmanlämpötila [°C]	-17,907	-18,130	-17,390
	Pintalämpötila [°C]	-16,503	-16,710	-15,900
Lämpötilaero (keskiarvoista)		$\Delta T = 45,133 \text{ °C}$		

LASKENTATULOKSET (COMSOL 2D)

Sisäp. pintavastus $R_{j,s} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Ulkop. pintavastus $R_{j,u} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Sisäp. lämpötila $T_s [\text{°C}]$	Ulkop. lämpötila $T_u [\text{°C}]$	Lämpövirta $\phi [\text{W/m}^2]$
0,13	0,10	25,954	-16,928	9,786726
0,13	0,13	25,962	-16,643	9,723473
0,10	0,10	26,241	-16,922	9,850809
		26,412	-16,503	9,794246

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero pinnasta mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on **6,6 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero pinnasta mitattuun arvoon on **7,3 %**

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on **11,7 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon on **12,3 %**



Laskelmissa on käytetty ilmanlämpötiloja ja pintavastuksena $R_J = 0,13$

LASKETTAVA RAKENNE

Materiaali	Paksuus	Lämmönjohtavuus
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Mineraalivilla	50mm	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Mineraalivilla	50mm	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Sisä-/ulkopuolen lämpötila		$T_s = 30 \text{ °C} / T_u = 0 \text{ °C}$
Lämpötilaero		$\Delta T = 30 \text{ °C}$

MITATUT OLOSUHTEET

Mittausarvot 24 tuntia 6. vuorokaudesta

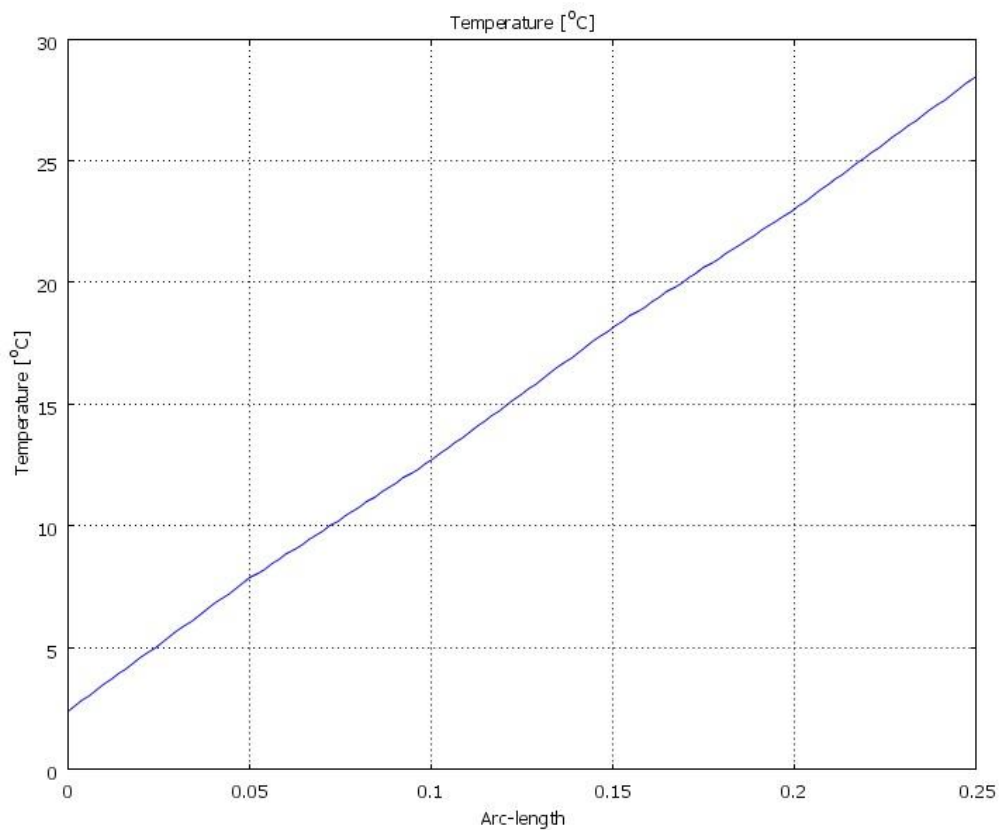
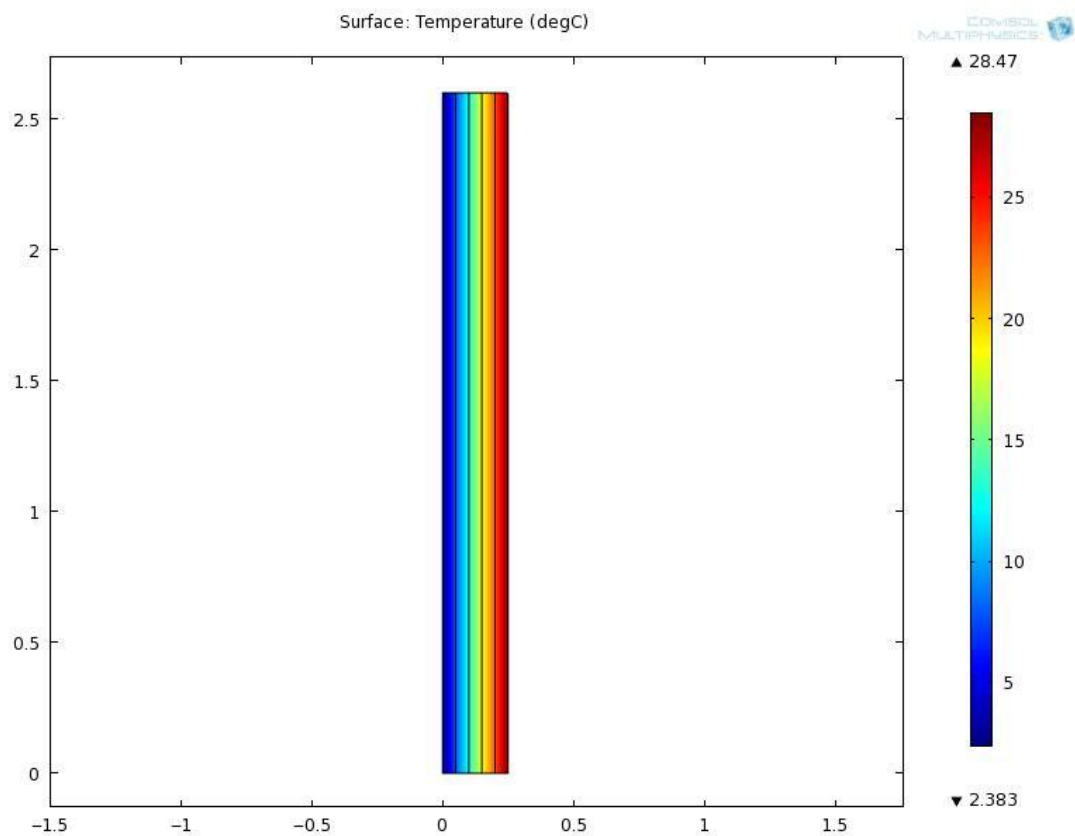
	Anturi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
EPS/sisäpinta	Ilmanlämpötila [°C]	28,940	28,830	29,260
	Pintalämpötila [°C]	28,525	28,380	28,880
	Lämpövirta [W/m²]	3,643	2,000	5,500
EPS-MV	Lämpötila [°C]	20,038	20,020	20,050
MV-EPS	Lämpötila [°C]	18,815	18,630	18,950
	Lämpövirta [W/m²]	3,432	3,400	3,500
	EPS-MV	Lämpötila [°C]	13,428	13,140
MV-EPS	Lämpötila [°C]	8,185	7,640	8,490
	Lämpövirta [W/m²]	3,423	3,300	3,700
	EPS/ulkopinta	Ilmanlämpötila [°C]	1,915	0,820
Pintalämpötila [°C]		2,493	1,310	3,070
Lämpötilaero (keskiarvoista)		$\Delta T = 27,025 \text{ °C}$		

LASKENTATULOKSET (COMSOL 2D)

Sisäp. pintavastus $R_{j,s}$ [m ² K/W]	Ulkop. pintavastus $R_{j,u}$ [m ² K/W]	Sisäp. lämpötila T_s [°C]	Ulkop. lämpötila T_u [°C]	Lämpövirta ϕ [W/m ²]
0,13	0,10	28,470	2,276	3,613858
0,13	0,13	28,472	2,383	3,599418
0,10	0,10	28,577	2,278	3,628414
		28,525	2,493	3,591534

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero pinnasta mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on **2,8 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero pinnasta mitattuun arvoon on **2,6 %**

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on **4,8 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon on **4,6 %**



Laskelmissa on käytetty ilmanlämpötiloja ja pintavastuksena $R_J = 0,13$

LASKETTAVA RAKENNE

Materiaali	Paksuus	Lämmönjohtavuus
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Mineraalivilla	50mm	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Mineraalivilla	50mm	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Sisä-/ulkopuolen lämpötila		$T_s = 30 \text{ °C} / T_u = -20 \text{ °C}$
Lämpötilaero		$\Delta T = 50 \text{ °C}$

MITATUT OLOSUHTEET

Mittausarvot 24 tuntia 7. vuorokaudesta, rakenteen vasen reuna säähuoneesta katsottuna.

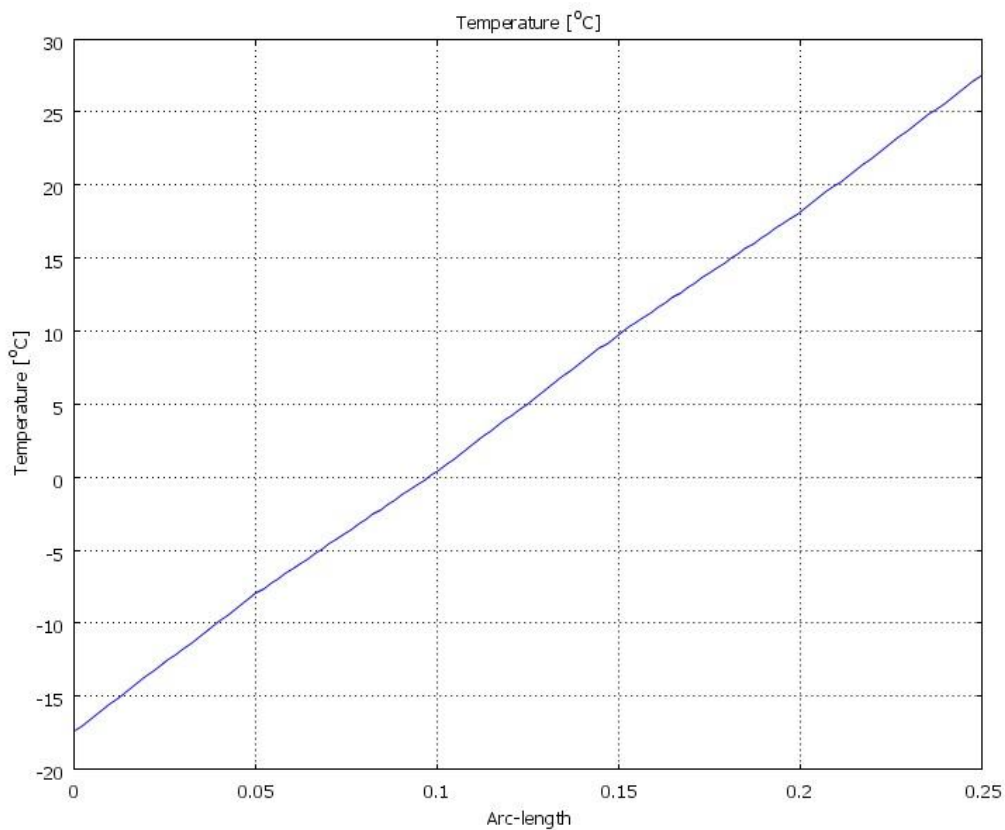
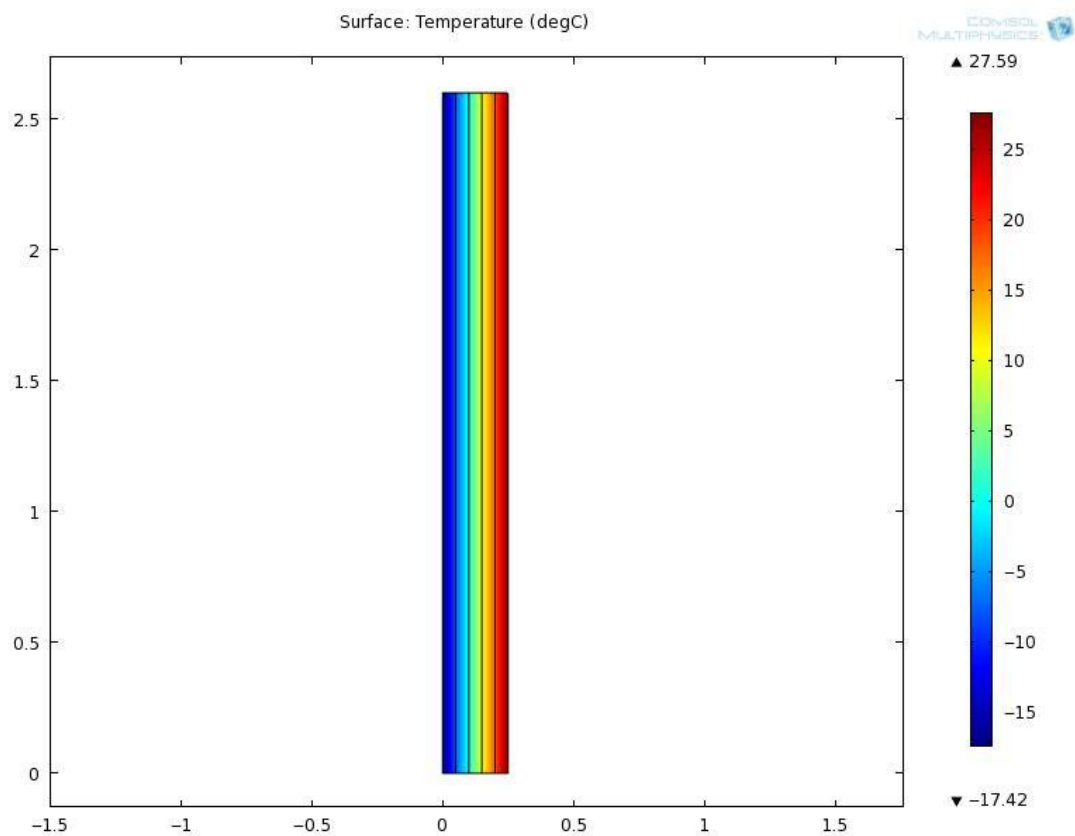
	Anturi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
EPS/sisäpinta	Ilmanlämpötila [°C]	28,398	28,290	28,630
	Pintalämpötila [°C]	27,768	27,650	28,040
	Lämpövirta [W/m²]	5,908	4,200	7,900
EPS-MV	Lämpötila [°C]	20,028	20,020	20,040
MV-EPS	Lämpötila [°C]	11,515	11,440	11,620
	Lämpövirta [W/m²]	5,588	5,500	5,600
EPS-MV	Lämpötila [°C]	2,286	2,200	2,410
MV-EPS	Lämpötila [°C]	-7,070	-6,890	-7,190
	Lämpövirta [W/m²]	5,482	5,400	5,500
EPS/ulkopinta	Ilmanlämpötila [°C]	-18,224	-17,790	-18,450
	Pintalämpötila [°C]	-17,312	-16,790	-17,510
Lämpötilaero (keskiarvoista)		$\Delta T = 46,622 \text{ °C}$		

LASKENTATULOKSET (COMSOL 2D)

Sisäp. pintavastus $R_{j,s}$ [m ² K/W]	Ulkop. pintavastus $R_{j,u}$ [m ² K/W]	Sisäp. lämpötila T_s [°C]	Ulkop. lämpötila T_u [°C]	Lämpövirta ϕ [W/m ²]
0,13	0,10	27,588	-17,601	6,234424
0,13	0,13	27,591	-17,417	6,209513
0,10	0,10	27,772	-17,598	6,259535
		27,768	-17,312	6,219512

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero pinnasta mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on **4,9 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero pinnasta mitattuun arvoon on **5,0 %**

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on **10,8 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon on **11,0 %**



Laskelmissa on käytetty ilmanlämpötiloja ja pintavastuksena $R_j = 0,13$

LASKETTAVA RAKENNE

Materiaali	Paksuus	Lämmönjohtavuus
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Mineraalivilla	50mm	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Mineraalivilla	50mm	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
EPS	50mm	$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$
Sisä-/ulkopuolen lämpötila		$T_s = 30 \text{ °C} / T_u = -20 \text{ °C}$
Lämpötilaero		$\Delta T = 50 \text{ °C}$

MITATUT OLOSUHTEET

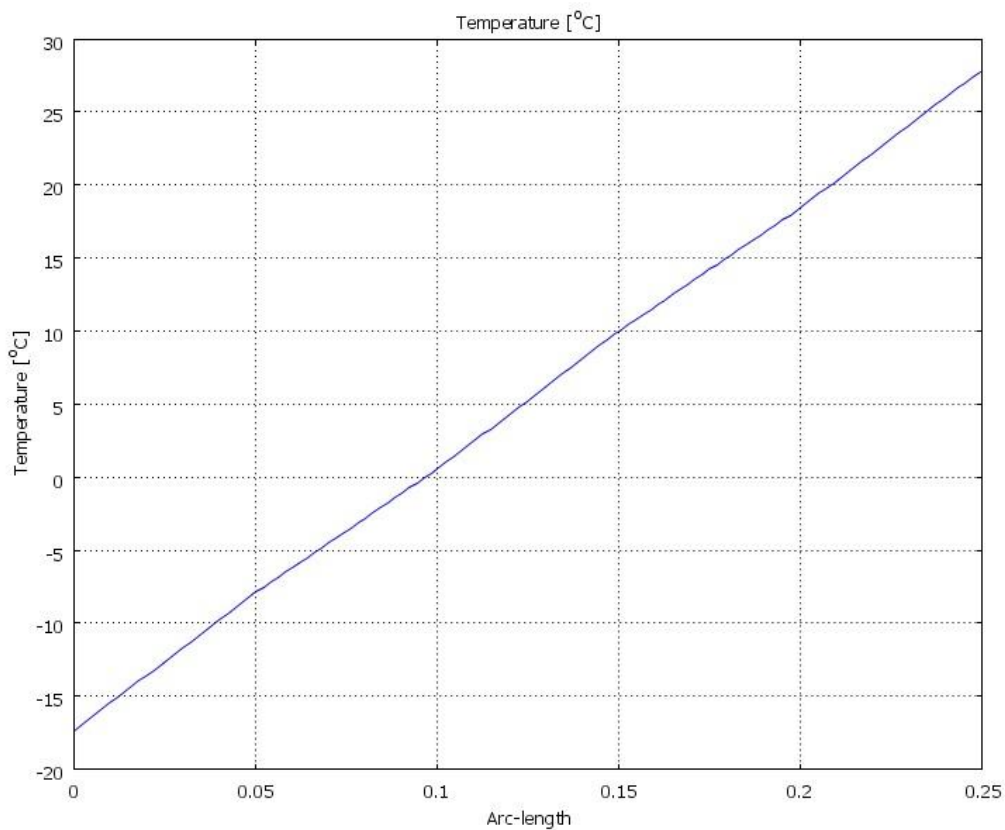
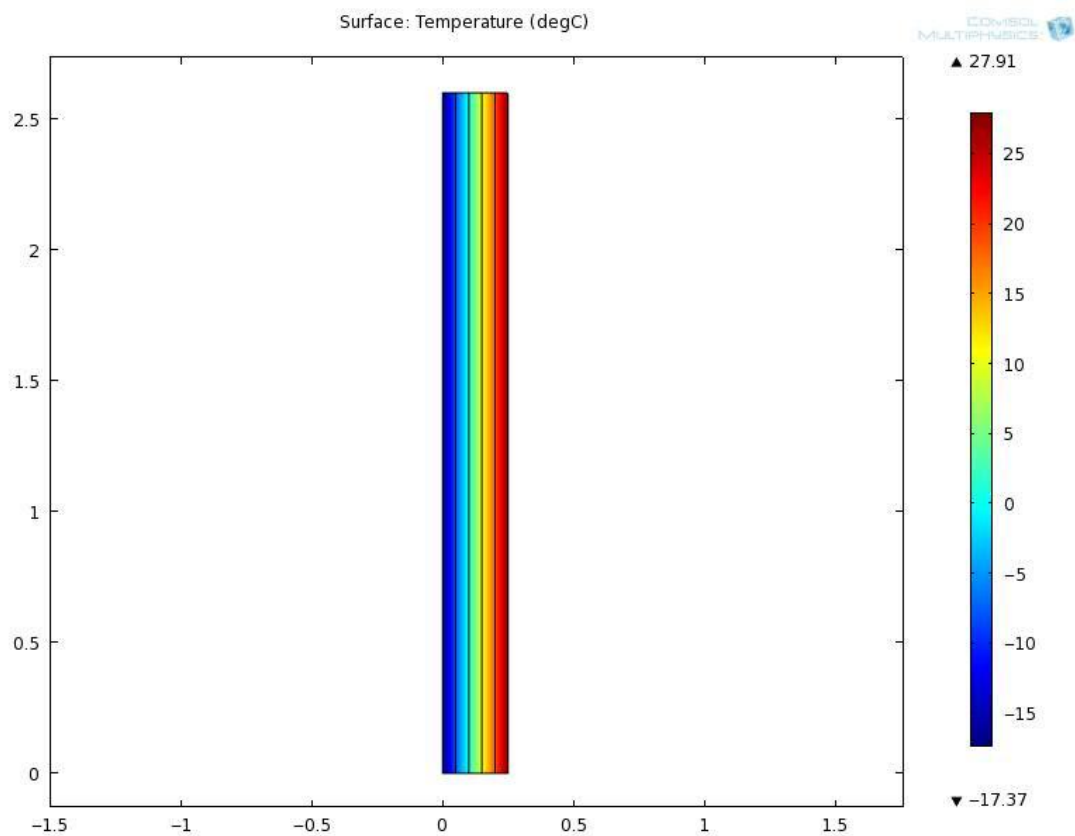
Mittausarvot 24 tuntia 7. vuorokaudesta, rakenteen oikea reuna säähuoneesta katsottuna.

	Anturi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
EPS/sisäpinta	Ilmanlämpötila [°C]	28,398	28,290	28,630
	Pintalämpötila [°C]	27,914	27,670	28,270
EPS-MV	Lämpötila [°C]	19,499	19,430	19,560
MV-EPS	Lämpötila [°C]	11,488	11,390	11,570
	Lämpövirta [W/m²]	5,600	5,600	5,600
EPS-MV	Lämpötila [°C]	2,183	2,070	2,300
MV-EPS	Lämpötila [°C]	-7,349	-7,170	-7,520
	Lämpövirta [W/m²]	5,329	5,200	5,400
EPS/ulkopinta	Ilmanlämpötila [°C]	-18,224	-17,790	-18,450
	Pintalämpötila [°C]	-17,374	-16,840	-17,710
Lämpötilaero (keskiarvoista)		$\Delta T = 46,622 \text{ °C}$		

LASKENTATULOKSET (COMSOL 2D)

Sisäp. pintavastus $R_{j,s} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Ulkop. pintavastus $R_{j,u} [\text{m}^2\text{K/W}]$	Sisäp. lämpötila $T_s [\text{°C}]$	Ulkop. lämpötila $T_u [\text{°C}]$	Lämpövirta $\phi [\text{W/m}^2]$
0,13	0,10	27,588	-17,601	6,234424
0,13	0,13	27,591	-17,417	6,209513
0,10	0,10	27,772	-17,598	6,259535
		27,914	-17,374	6,248209

Mitatun ja lasketun lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon $R_j = 0,13$ pintavastuksilla on on **9,8 %**
Pintalämpötiloilla laskettuna lämpövirran ero välistä mitattuun arvoon on **10,4 %**



Laskelmissa on käytetty pintalämpötiloja

**Mittaustulosten keskiarvoja, maksimi- ja minimi arvot
yhdeltä vuorokaudelta.**

**1.Levy dT30. Tuulesuojakankaalla 24 tuntia 2-3:sta vuorokaudesta
(19-20.5.2010 klo.10.26-10.26)**

Lämpövirta

HF	HFP 01 (W/m ²)	HFP 02 (W/m ²)	HFP 03 (W/m ²)	HFP 04 (W/m ²)	HFP 05 (W/m ²)
Keskiarvot:	13,675	12,854	13,117	13,350	13,539
Maksimi:	18,700	13,600	14,100	15,900	18,200
Minimi	10,200	11,900	12,100	11,000	10,500

Lämpövirtalevyjen paikat:

Vasen levy	Oikea levy
HFP 01 (W/m ²)	HFP 05 (W/m ²)
HFP 03 (W/m ²)	HFP 04 (W/m ²)
	HFP 02 (W/m ²)

(Lämpövirtalevyt on lueteltu seinältä taulukkoon ylhäältä alaspäin ja tutkimushuoneesta päin katsottuna.)

(Lämpövirtalevyjen tarkemmat paikat löytyvät piirustuksista.)

Lämpötilat

T	TE 01 (C)	TE 02 (C)	TE 03 (C)	TE 04 (C)	TE 05 (C)
Keskiarvot:	24,108	24,072	25,714	27,199	3,622
Maksimi:	24,410	24,390	26,490	27,830	4,180
Minimi	23,820	23,770	25,330	26,890	2,510

T	TE 06 (C)	TE 07 (C)	TE 08 (C)
Keskiarvot:	5,736	4,971	5,120
Maksimi:	6,300	5,580	5,680
Minimi:	4,630	3,780	4,040

(Kosteus)/lämpö antureiden paikat:

Säähuoneesta päin katsottuna	
Vasen levy	Oikea levy
TE 07 (C)	TE 06 (C)
	TE 08 (C)
Tutkimuskammioista päin katsottuna*	
Vasen levy	Oikea levy
TE 03 (C)	TE 01 (C)
TE 02 (C)	

(Kaikki lämpöanturit on lueteltu seinältä taulukkoon ylhäältä alaspäin.)

(* = Lämpöanturit on lueteltu säähuoneesta tutkimushuoneeseenpäin ja tutkimushuoneesta päin katsottuna.)

(Lämpöantureiden tarkemmat paikat löytyvät piirustuksista.)

TE 05 (C)= Säähuoneessa runkotolpassa kiinni oleva anturi
on noin 40 mm irti seinärakenteesta, joka mittaa ilman lämpötilan.

TE 04 (C)= Tutkimuskammiossa runkotolpassa kiinni oleva anturi
on noin 40 mm irti seinärakenteesta, joka mittaa ilman lämpötilan.

1. Levy dT50. Tuulensuojakankaalla 4-5. mittausvuorokaudesta 24 Tuntia
(24-25.5.2010 klo. 14.24-14.24)

Lämpövirtalevyjen ja lämpöantureiden paikat ovat samat kuin 1.Levyn dT30:llä.

Lämpövirta

HF	HFP 01 (W/m2)	HFP 02 (W/m2)	HFP 03 (W/m2)	HFP 04 (W/m2)	HFP 05 (W/m2)
Keskiarvot:	23,042	21,096	21,481	22,449	22,920
Maksimi:	27,400	21,500	21,900	24,400	27,400
Minimi	19,200	20,800	21,100	20,400	19,000

Lämpötilat

T	TE 01 (C)	TE 02 (C)	TE 03 (C)	TE 04 (C)	TE 05 (C)
Keskiarvot:	19,570	19,439	23,277	25,800	-15,672
Maksimi:	19,690	19,570	23,730	26,190	-15,130
Minimi	19,420	19,290	22,920	25,470	-15,980

T	TE 06 (C)	TE 07 (C)	TE 08 (C)
Keskiarvot:	-11,726	-13,349	-13,247
Maksimi:	-11,220	-12,770	-12,710
Minimi:	-12,070	-13,720	-13,560

2.Levy dT30. Tuulesuojakankaalla 24 tuntia 6:sta vuorokaudesta
(22-23.8.2010 klo.14.52-14.52)

Lämpövirta

HF	HFP 01 (W/m2)	HFP 02 (W/m2)	HFP 03 (W/m2)	HFP 04 (W/m2)
Keskiarvot:	5,171	5,440	5,275	5,338
Maksimi:	5,500	7,600	7,600	5,600
Minimi	5,000	4,000	3,600	5,200

Lämpövirtalevyjen paikat:

Vasen levy	Oikea levy
HFP 01 (W/m2)	HFP 04 (W/m2)
HFP 03 (W/m2)	HFP 02 (W/m2)

(Lämpövirtalevyt on lueteltu taulukkoon säähuoneesta tutkimushuoneeseen päin ja tutkimushuoneesta päin katsottuna.)

(Lämpövirtalevyt ovat suurinpiirtein tyroksilevyjen keskellä.)

Lämpötilat

T	TE 01 (C)	TE 02 (C)	TE 03 (C)	TE 04 (C)	TE 05 (C)
Keskiarvot:	11,762	11,533	19,769	28,273	2,243
Maksimi:	12,100	11,850	19,960	28,450	2,810
Minimi:	11,180	10,930	19,450	28,120	1,180

T	TE 06 (C)	TE 07 (C)	TE 08 (C)	TE 09 (C)	TE 10 (C)
Keskiarvot:	3,120	19,814	3,107	27,807	27,758
Maksimi:	3,710	20,020	3,660	28,000	27,980
Minimi:	1,940	19,470	1,910	27,620	27,600

(Kosteus)/lämpö antureiden paikat:

Säähuoneesta päin katsottuna	
Vasen levy	Oikea levy
TE 06 (C)	TE 08 (C)
Tutkimuskammioista päin katsottuna*	
TE 02 (C)	TE 01 (C)
TE 07 (C)	TE 03 (C)
TE 09 (C)	TE 10 (C)

(Lämpö/kosteus anturit ovat suurinpiirtein EPS-levyjen keskellä.)

(Kaikki lämpöanturit on lueteltu seinältä taulukkoon ylhäältä alaspäin.)

(* = Lämpöanturit on lueteltu säähuoneesta tutkimushuoneeseenpäin ja tutkimushuoneesta päin katsottuna.)

TE 05 (C)= Säähuoneessa runkotolpassa kiinni oleva anturi
on noin 40 mm irti seinärakenteesta, joka mittaa ilman lämpötilan.

TE 04 (C)= Tutkimuskammiossa runkotolpassa kiinni oleva anturi
on noin 40 mm irti seinärakenteesta, joka mittaa ilman lämpötilan.

**2.Levy dT50. Tuulesuojakankaalla 24 tuntia 3-4:sta vuorokaudesta
(26-27.8.2010 klo.15.31 - 15.31)**

Lämpövirtalevyjen ja lämpöantureiden paikat ovat samat kuin 2.Levyn dT30:llä.

Lämpövirta

HF	HFP 01 (W/m2)	HFP 02 (W/m2)	HFP 03 (W/m2)	HFP 04 (W/m2)
Keskiarvot:	8,194	9,081	8,834	8,588
Maksimi:	8,200	11,000	10,800	8,600
Minimi:	8,100	7,100	6,700	8,500

Lämpötilat

T	TE 01 (C)	TE 02 (C)	TE 03 (C)	TE 04 (C)	TE 05 (C)
Keskiarvot:	-1,198	-1,901	12,853	27,226	-17,907
Maksimi:	-1,030	-1,750	12,970	27,430	-17,390
Minimi:	-1,330	-2,070	12,750	27,090	-18,130

T	TE 06 (C)	TE 07 (C)	TE 08 (C)	TE 09 (C)	TE 10 (C)
Keskiarvot:	-16,503	12,525	-16,549	26,465	26,412
Maksimi:	-15,900	12,650	-16,010	26,680	26,630
Minimi:	-16,710	12,400	-16,780	26,290	26,280

**3 Levyä dT30. Tuulesuojakankaalla 24 tuntia 6:sta vuorokaudesta
(21-22.9.2010 klo.10.42-10.42)**

Lämpövirta

HF	HFP 01 (W/m ²)	HFP 02 (W/m ²)	HFP 03 (W/m ²)	HFP 04 (W/m ²)	HFP 05 (W/m ²)
Keskiarvot:	3,331	3,432	3,440	3,423	3,643
Maksimi:	3,600	3,500	3,500	3,700	5,500
Minimi:	3,200	3,400	3,400	3,300	2,000

Lämpövirtalevyjen paikat:

Vasen levy	Oikea levy
HFP 01 (W/m ²)	HFP 04 (W/m ²)
HFP 03 (W/m ²)	HFP 02 (W/m ²)
	HFP 05 (W/m ²)

(Lämpövirtalevyt on lueteltu taulukkoon säähuoneesta tutkimushuoneeseen päin ja tutkimushuoneesta päin katsottuna.)

(Lämpövirtalevyt ovat suurinpiirtein tyroksilevyjen keskellä.)

Lämpötilat

T	TE 01 (C)	TE 02 (C)	TE 03 (C)	TE 04 (C)	TE 05 (C)
Keskiarvot:	8,185	8,067	13,428	28,940	1,915
Maksimi:	8,490	8,380	13,620	29,260	2,470
Minimi:	7,640	7,520	13,140	28,830	0,820

T	TE 06 (C)	TE 07 (C)	TE 08 (C)	TE 09 (C)	TE 10 (C)
Keskiarvot:	2,493	13,424	2,507	18,853	18,815
Maksimi:	3,070	13,640	3,060	18,990	18,950
Minimi:	1,310	13,090	1,380	18,680	18,630

T	TE 11 (C)	TE 12 (C)	TE 13 (C)	TE 14 (C)
Keskiarvot:	23,531	20,038	28,649	28,525
Maksimi:	23,750	20,050	29,030	28,880
Minimi:	23,400	20,020	28,480	28,380

(Kosteus)/lämpö antureiden paikat:

Säähuoneesta päin katsottuna	
Vasen levy	Oikea levy
TE 06 (C)	TE 08 (C)
Tutkimuskammiosapäin katsottuna*	
TE 02 (C)	TE 01 (C)
TE 07 (C)	TE 03 (C)
TE 09 (C)	TE 10 (C)
TE 11 (C)	TE 12 (C)
TE 13 (C)	TE 14 (C)

(Lämpö/kosteus anturit ovat suurinpiirtein EPS-levyjen keskellä.)
(Kaikki lämpöanturit on lueteltu seinältä taulukkoon ylhäältä alaspäin.)
(* = Lämpöanturit on lueteltu säähuoneesta tutkimushuoneeseenpäin ja tutkimushuoneestapäin katsottuna.)

TE 05 (C)= Säähuoneessa runkotolpassa kiinni oleva anturi
on noin 40 mm irti seinärakenteesta, joka mittaa ilman lämpötilan.

TE 04 (C)= Tutkimuskammiossa runkotolpassa kiinni oleva anturi
on noin 40 mm irti seinärakenteesta, joka mittaa ilman lämpötilan.

3.Levy dT50. Tuulesuojakankaalla 24 tuntia 7:sta mittausvuorokaudesta
(28-29.9.2010 klo.14.36-14.36)

Lämpövirtalevyjen ja lämpöantureiden paikat ovat samat kuin 3.Levyn dT30:llä.

Lämpövirta

HF	HFP 01 (W/m2)	HFP 02 (W/m2)	HFP 03 (W/m2)	HFP 04 (W/m2)	HFP 05 (W/m2)
Keskiarvot:	5,329	5,588	5,600	5,482	5,917
Maksimi:	5,400	5,600	5,600	5,500	8,100
Minimi	5,200	5,500	5,600	5,400	3,900

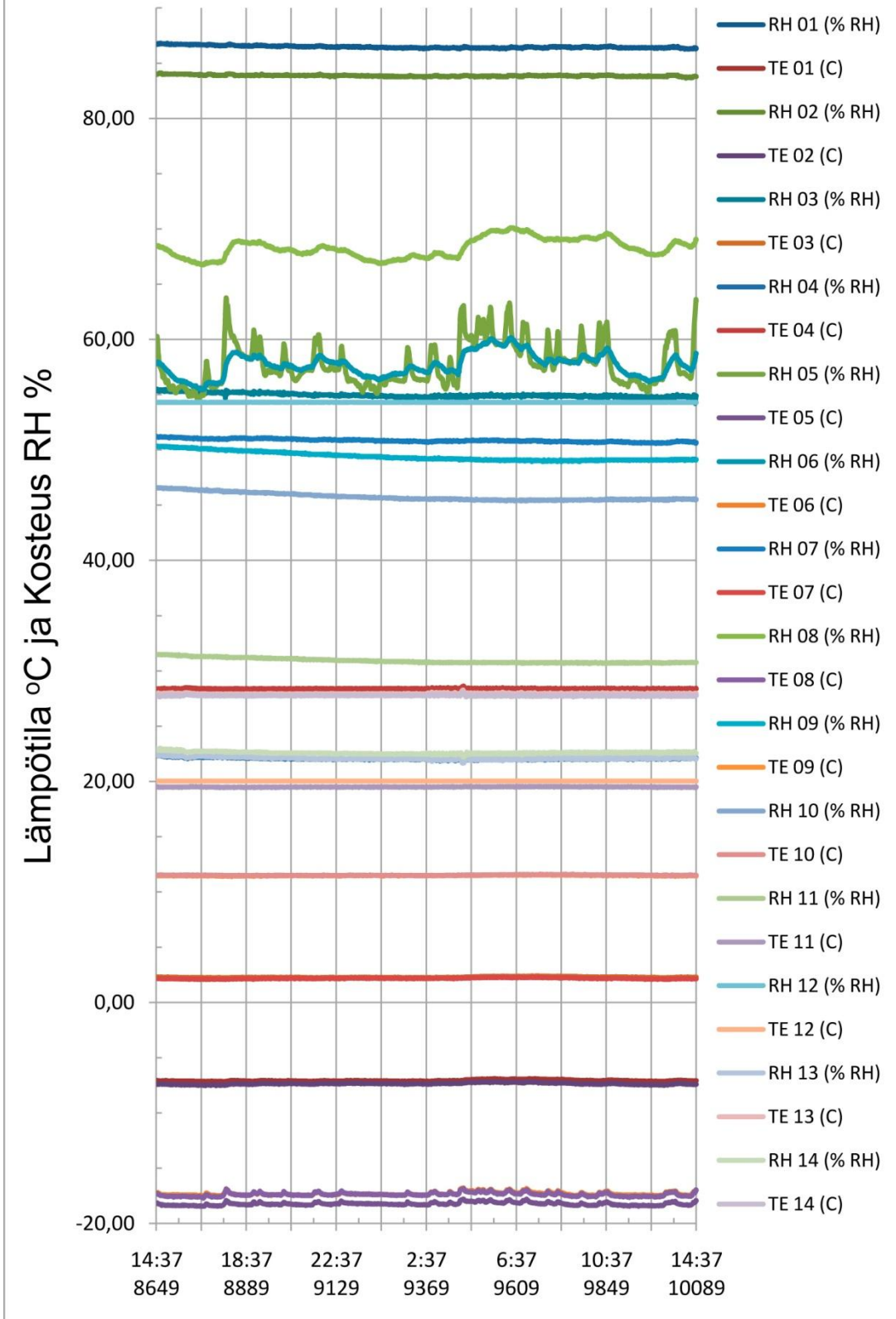
Lämpötilat

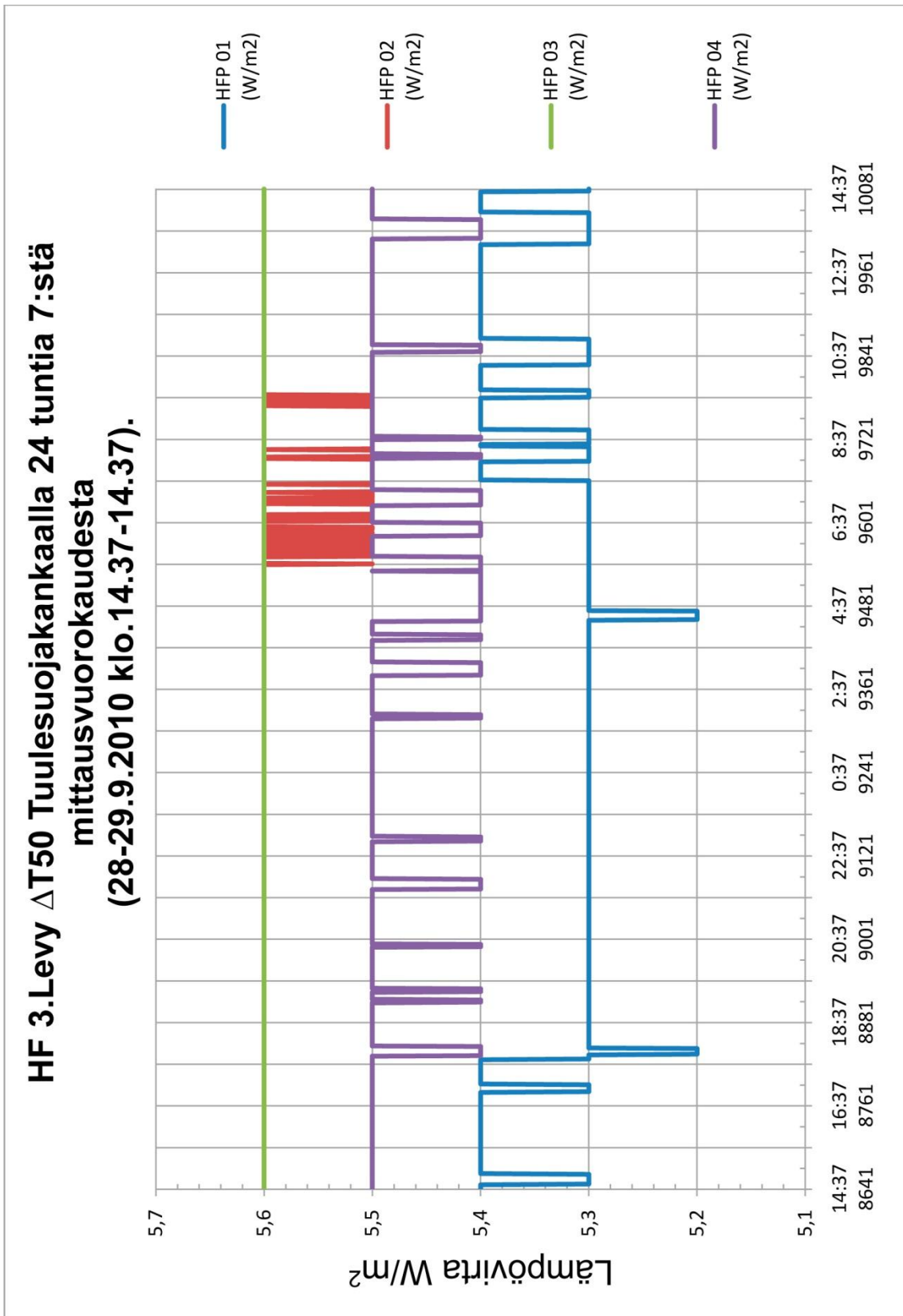
T	TE 01 (C)	TE 02 (C)	TE 03 (C)	TE 04 (C)	TE 05 (C)
Keskiarvot:	-7,070	-7,349	2,286	28,389	-18,224
Maksimi:	-6,890	-7,170	2,410	28,630	-17,790
Minimi	-7,190	-7,520	2,200	28,290	-18,450

T	TE 06 (C)	TE 07 (C)	TE 08 (C)	TE 09 (C)	TE 10 (C)
Keskiarvot:	-17,312	2,183	-17,374	11,488	11,515
Maksimi:	-16,790	2,300	-16,840	11,570	11,620
Minimi:	-17,510	2,070	-17,710	11,390	11,440

T	TE 11 (C)	TE 12 (C)	TE 13 (C)	TE 14 (C)
Keskiarvot:	19,499	20,028	27,914	27,768
Maksimi:	19,560	20,040	28,270	28,040
Minimi:	19,430	20,020	27,670	27,650

**RHT 3.Levy $\Delta T50$ Tuulesuojakankaalla
24 tuntia 7:stä mittausvuorokaudesta
(28-29.9.2010 klo.14.37-14.37).**





**HF 3.Levy ΔT_{50} Tuulesuojakankaalla 24 tuntia 7:stä
mittausvuorokaudesta
(28-29.9.2010 klo.14.37-14.37).**

