

Betonisandwich – seinäelementtien lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Mika Pälvé

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) PÄLVE, Mika	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 2.5.2013
	Sivumäärä 77	Julkaisun kieli SUOMI
		Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi Betonisandwich – seinäelementtien lämpö- ja kosteustekninen toiminta		
Koulutusohjelma Rakennustekniikan Koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) KONTTINEN, Jukka KORPINEN, Jussi		
Toimeksiantaja(t) Rakennusteollisuus/Betoniteollisuus SUIKKA, Arto		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Saarijärvellä sijaitsevan Jyväskylän ammattikorkeakoulun Luonnonvarainstituutin betonisandwich-seinäelementteihin sijoitettujen mitta-antureiden tuloksia. Mitta-anturit mittasivat lämpötilaa sekä suhteellista kosteutta seinäelementtien eri syvyyksissä. Tuloksia käsiteltiin home- ja mikrobikasvuston kannalta sekä verrattiin saatuja mittaustuloksia Petteri Ormiskankaan, vuonna 2009 valmistuneessa diplomityössä, laskemiin tuloksiin. Osana työtä oli myös rakennuksen lämpökamerakuvaus. Kuvauksella pyrittiin tarkastelemaan elementtisaumojen sekä ikkunaliitosten toimivuutta sekä varmistamaan mitta-antureiden toiminta.</p> <p>Teoriaosuudessa käsitellään lyhyesti mikrobikasvuston syntyyn liittyviä perusteita ja käydään läpi Petteri Ormiskankaan laskelmien tuloksinassa käyttämiä menetelmiä ja tuloksia. Mittaustulosten analysointi tehtiin eri rakennetyypeille niin, että saman U-arvon omaavia rakenteita verrattiin keskenään ja lopuksi tehtiin yleisiä päätelmiä näistä kaikista.</p> <p>Työn perusteella lämmöneristepaksuudella havaittiin olevan vaikutusta suhteellisen kosteuden käyttäytymiseen eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Paksuutta kasvatettaessa kosteuden maksimiarvot nousivat. Tuuletusurien käyttö pienensi eristetilan kosteuden vuorokausivaihtelua, eristemateriaalista riippumatta. Teoreettisten laskelmien todettiin ottavan huomioon liian suuresti viistosateiden vaikutus ja tuuletuksen puuttumisen havaittiin vaikuttavan tuloksiin. Ilman suuntien vaikutus on myös huomattava tekijä suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kannalta rakenteissa. Saatujen mittaustulosten perusteella kahdessa vuodessa päästään hyviin kosteusarvoihin, eikä tämän jälkeen ole havaittavissa suurempaa maksimikosteuden laskua tai nousua.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Betonisandwich- seinäelementti, lämpö- ja kosteustekninen toiminta, EPS, PUR, Mineraalivilla		
Muut tiedot		



Author(s) PÄLVE, Mika	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 2.5.2013
	Pages 77	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title Temperature and moisture behavior of concrete sandwich panels		
Degree Programme Civil Engineering		
Tutors(s) KONTTINEN, Jukka KORPINEN, Jussi		
Assigned by Rakennusteollisuus/Betoniteollisuus SUIKKA, Arto		
Abstract <p>The aim of this bachelor's thesis was to investigate measuring results of the pads, which are placed in sandwich panels of JAMK building in Saarijärvi. The panels are measured concerning the temperature and relative humidity in three different spots of the panels. The results are analyzed by taking into account the microbe growth and comparing the results with the theoretical calculations made by Petteri Ormiskangas in year 2009. Part of the thesis was to use thermal camera shooting for the building. The aim of the shooting was to consider the window intersection and how the concrete panels are joined.</p> <p>The theoretical part of this study focused on the microbe growth and calculation results as well as the analyzing methods used by Petteri Ormiskangas. The measuring results were analyzed by comparing structures with the same U- value after which some more analysis is carried out for all structures.</p> <p>The thickness of insulation affects the relative humidity on the interface of the insulation and the surface of the panel. When insulation thickness grew the relative humidity rose. Ventilation trail affects the relative humidity changing daily in insulations by decreasing them. In the theoretical calculations it is noticed that they take the diagonal rain too widely into consideration. The missing of the ventilation and wind influence also affects the results remarkably. Compass point of the panels affects the relative humidity and temperature in the panels. In two year time period the moisture stays or decreases resulting in good values and after this the moisture does not increase anymore.</p>		
Keywords concrete sandwich panels, temperature, moisture, EPS, PUR, mineral wool		
Miscellaneous		

Sisältö

Käsitteet ja määritelmät.....	5
1. TYÖN LÄHTÖKOHDAT.....	6
1.1 Yleistä.....	6
1.2 Tavoitteet.....	6
2. RAKENTEEN TEOREETTINEN TARKASTELU.....	7
2.1 Home- ja mikrobikasvuston edellytykset.....	7
2.2 Teoriaa Ormiskankaan laskelmista.....	8
3. KOERAKENNUKSEN MITTAUSDATAN ANALYSOINTI.....	9
3.1 Yleistä.....	9
3.2 Mittausolosuhteet.....	14
3.3 Rakennetyyppien vertailu.....	16
3.3.1 U-arvo 0,24.....	16
3.3.2 U-arvo 0,17.....	20
3.3.3 U-arvo 0,16.....	24
3.3.4 U-arvo 0,11.....	29
4. RAKENTEIDEN LÄMPÖKAMERAKUVAUS.....	35
4.1 Yleistä.....	35
4.2 Kuvien analysointi.....	35
4.2.1 Rakennetyypit US1, US2 ja US3.....	37
4.2.2 Rakennetyypit US4 ja US5.....	41
4.2.3 Rakennetyypit US6 ja US7.....	44
4.2.4 Rakennetyypit US8 ja US9.....	46
5. MITTAUSTULOSTEN VERTAILU TEOREETTISIIN LASKELMIIN.....	47
5.1 Yleistä.....	47
5.2 US1.....	49
5.3 US2.....	51
5.4 US3.....	54

5.5 US4	55
5.6 US5	57
5.7 US6	59
5.8 US7	61
5.9 US8	63
5.10 US9	65
6. TULOKSET	68
6.1 Lämpökamerakuvaus	68
6.2 Rakennetyyppien vertailu ja mikrobikasvusto	68
6.3 Mittaustuloksien ja laskelmien vertailu	69
7. POHDINTA.....	71
Lähteet.....	74

TAULUKOT

Taulukko 1. Rakennetyypit sekä ilmansuunta, johon rakenne on suunnattu.....	10
Taulukko 2. Lämpökuvauksen aikaiset olosuhteet.	36
Taulukko 3. Rajalämpötiloja eri ulkoilman lämpötiloilla. (Paloniitty 2004, 59)	37

KUVIOT

Kuvio 1. Rakennuksen pohjakuva, josta näkee rakennetyyppien sijainnin.	11
Kuvio 2. Mittauspisteiden sijainti seinällä	12
Kuvio 3. Mittauspisteiden sijainti seinärakenteessa.....	13
Kuvio 4. Multia Karhilan sääaseman mukaiset tiedot sademäärästä Saarijärvellä mittausjakson ajalta 5.4.2010 – 29.6.2012. (Siiskonen 2013).....	15
Kuvio 5. Saarijärven lämpötilan ja suhteellisen kosteuden (Siiskonen 2013) vaihtelut mittausjakson ajalta 5.4.2010 – 29.6.2012.	15
Kuvio 6. Rakennetyyppien US1 ja US2 suhteellisen kosteuden vaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.	17
Kuvio 7. Rakennetyyppien US1 ja US2 lämpötilavaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.	18
Kuvio 8. Rakennetyyppien US1 ja US2 suhteellisen kosteuden vaihtelut eristeen keskivaiheilla.	19
Kuvio 9. Rakennetyyppien US3 ja US5 suhteellisen kosteuden vaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.	21

Kuvio 10. Rakennetyyppien US3 ja US5 lämpötilavaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.....	22
Kuvio 11. Rakennetyyppien US3 ja US5 suhteellisen kosteuden vaihtelut eristeen keskivaiheilla.....	23
Kuvio 12. Rakennetyypin US5 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Aikajaksona 14.10.11 - 14.1.12.....	24
Kuvio 13. Rakennetyyppien US6 ja US7 suhteellisen kosteuden vaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.....	25
Kuvio 14. Rakennetyyppien US6 ja US7 lämpötilavaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.....	26
Kuvio 15. Rakennetyyppien US6 ja US7 suhteellisen kosteuden vaihtelut eristeen keskivaiheilla.....	27
Kuvio 16. Rakennetyypin US6 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Aikajaksona 14.8.11 - 14.1.12.....	28
Kuvio 17. Rakennetyypin US7 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Aikajaksona 14.9.10 - 14.3.11.....	29
Kuvio 18. Rakennetyyppien US8 ja US9 suhteellisen kosteuden vaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.....	30
Kuvio 19. Rakennetyyppien US8 ja US9 lämpötilavaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.....	31
Kuvio 20. Rakennetyyppien US8 ja US9 suhteellisen kosteuden vaihtelut eristeen keskivaiheilla.....	32
Kuvio 21. Rakennetyypin US8 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Aikajaksona 14.10.10 - 14.3.11.....	33
Kuvio 22. Rakennetyypin US9 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Aikajaksona 14.2.11 - 14.9.11.....	34
Kuvio 23. Ikkunaliitoksen lämpökamera kuva, ulkoseinän rakennetyypinä US1.	38
Kuvio 24. Lämpökamerakuva (Kuvio 23) vastaava normaalikuva.	38
Kuvio 25. Lämpökamerakuva huoneen ylänurkasta, ulkoseinän rakennetyypinä US1.	39
Kuvio 26. Lämpökamerakuva, (Kuvio 25), vastaava normaalikuva.....	39
Kuvio 27. Lämpökamerakuva ulkoapäin rakennetyypistä US1.	40
Kuvio 28. Lämpökamerakuva (Kuvio 27) vastaava normaalikuva.	40
Kuvio 29. Kuorielementinliitos yläpohjaan.....	41
Kuvio 30. Lämpökamera kuva ulkoseinän ja yläpohjan liittymästä, rakennetyyppi US4.	42
Kuvio 31. Lämpökamerakuva (Kuvio 30) vastaava normaalikuva.	42
Kuvio 32. Lämpökamerakuva ulkoseinästä, rakennetyyppi US4.....	43
Kuvio 33. Lämpökamerakuva (Kuvio 32) vastaava normaalikuva.	43
Kuvio 34. Lämpökamerakuva ikkunaliittymästä, rakennetyyppi US7.....	44
Kuvio 35. Lämpökamerakuva (Kuvio 34) vastaava normaalikuva.	44
Kuvio 36. Lämpökamerakuva ulkoseinästä, rakennetyyppi US7.....	45

Kuvio 37. Lämpökamerakuva (Kuvio 36) vastaava normaalikuva.	45
Kuvio 38. Lämpökamerakuva ikkunaliittymästä, rakennetyyppi US8.....	46
Kuvio 39. Lämpökamerakuva ulkoseinästä, rakennetyyppi US8.....	47
Kuvio 40. Ormiskankaan käyttämät ilmasto-olosuhteet Espoossa. (Ormiskangas 2009. 45)	48
Kuvio 41. Saarijärven ilmasto, laskenta jakson ajalta, 14.4.2010 - 29.6.2012.	49
Kuvio 42. Petteri Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US1. (Ormiskangas 2009, 54)..	50
Kuvio 43. Koerakennuksen rakennetyypin US1 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.	51
Kuvio 44. Petteri Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US2. (Ormiskangas 2009, 61)..	52
Kuvio 45. Koerakennuksen rakennetyypin US2 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.	53
Kuvio 46. Petteri Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US3. (Ormiskangas 2009, 66)..	54
Kuvio 47. Koerakennuksen rakennetyypin US3 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.	55
Kuvio 48. Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US4. (Ormiskangas 2009, 71)	56
Kuvio 49. Koerakennuksen rakennetyypin US4 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.	57
Kuvio 50. Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US5. (Ormiskangas 2009, 78)	58
Kuvio 51. Koerakennuksen rakennetyypin US5 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.	59
Kuvio 52. Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US6. (Ormiskangas 2009, 87)	60
Kuvio 53. Koerakennuksen rakennetyypin US6 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.	61
Kuvio 54. Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US7. (Ormiskangas 2009, 94)	62
Kuvio 55. Koerakennuksen rakennetyypin US7 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.	63
Kuvio 56. Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US8. (Ormiskangas 2009, 103)	64
Kuvio 57. Koerakennuksen rakennetyypin US8 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.	65
Kuvio 58. Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US9. (Ormiskangas 2009, 109)	66
Kuvio 59. Koerakennuksen rakennetyypin US9 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.	67

Käsitteet ja määritelmät

EPS

Eriste, joka on valmistettu paisutetusta polystyreenimuovista.

Kastepiste

Lämpötila, johon ilman pitäisi laskea, jotta ilmassa oleva vesihöyry alkaisi tiivistyä.

Koerakennus

Koerakennuksella tarkoitetaan tässä työssä Saarijärvelle rakennettua koululaitosta jonka seinärakenteisiin sijoitettujen mitta-antureiden antamia tuloksia tulkitaan.

PUR

Eriste, joka on valmistettu polyuretaanista.

RH

Suhteellinen kosteus, joka ilmaisee prosentteina kuinka paljon tietyssä lämpötilassa on vesihöyryä siihen nähden, kuinka paljon sitä kyseisessä lämpötilassa voi enimmillään olla.

U-arvo

Jatkuvuustilassa rakennusosan läpäisevän lämpövirran tiheys, kun rakennusosan eri-puolilla vallitsee yksikön suuruinen lämpötilaero, yksikkönä (W/m^2K).

1. TYÖN LÄHTÖKOHDAT

1.1 Yleistä

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää nykyisin käytössä olevien lämmöneristysmääräykset täyttävien sekä näitä parempien lämmöneristysratkaisuiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa betonisandwich-elementeissä. Työssä käsitellään lyhyesti mikrobikasvuston kehittymiselle oleellisia olosuhteita ja näiden perusteella tarkastellaan seinärakenteista saatuja tuloksia.

Työssä käytettiin Saarijärvellä sijaitsevan Jyväskylän ammattikorkeakoulun Luonnonvarainstituutin koululaitosrakennusta ja sen seinärakenteisiin rakennusvaiheessa sijoitettujen mitta-antureiden keräämiä tietoa. Osana työtä oli Petteri Ormiskankaan vuonna 2009 valmistuneessa diplomityössä laskettujen tulosten vertailu näihin Saarijärven koerakennuksessa toteutuneisiin tuloksiin. Kolmantena tehtävänä oli tehdä lämpökamerakuvaus kyseiselle rakennukselle, jonka avulla on tarkasteltu elementtisaumojen sekä ikkunaliittymien lämmönpitävyyttä. Työn tilaajana on Rakennus-/Betoniteollisuus.

1.2 Tavoitteet

Tavoitteena oli selvittää kuinka eri eristepaksuudet ja niiden materiaalit vaikuttavat kosteuden ja lämpötilan käyttäytymiseen rakenteessa, sekä niiden vaikutusta itse rakenteen toimintaan. Tuloksista oli tarkoitus saada selville, onko seinärakenteeseen sen rakentamisen jälkeen mahdollisesti muodostumassa mikrobikasvustolle otollisia olosuhteita.

Mittaustuloksia verrattiin Petteri Ormiskankaan tekemiin teoreettisiin laskelmiin. Tätä kautta saatiin tietoa laskelmien paikkansa pitävyydestä. Saatujen mittaustulosten ja analysoinnin perusteella oli mahdollisuus myös kertoa seinärakenteen tulevas- ta kosteudesta.

2. RAKENTEEN TEOREETTINEN TARKASTELU

2.1 Home- ja mikrobikasvuston edellytykset

Ympäristössämme on valtava määrä erilaisia mikro-organismeja eli mikrobeja, kuten home- ja lahottajasieniä sekä bakteereja. Näitä mikrobeja on niin ihmisissä, rakennusmateriaaleissa kuin ulkoilmassakin, joissa niillä on tärkeä tehtävä, eivätkä näin ollen välttämättä aiheuta vaaraa. Rakennuksissa nämä voivat aiheuttaa erilaisia ongelmia niin rakenteille kuin sen käyttäjille. (RIL 250-2011, 151.)

Bakteereiden ja homeiden kasvulle edellytyksenä on ympäröivän ilman lämpötila sekä kosteus, joita ne tarvitsevat erityisesti kehittyäkseen. Muita tarpeita ovat mm. happi, ravinteet sekä oikeanlaisten olosuhteiden riittävän pitkä kesto aika. Materiaalilla, jolla mikrobien oletetaan kasvavan, on myös merkitystä. Kriittisenä suhteellisen kosteuden arvona voidaan pitää 75 %:ia ja lämpötilan vastaavana arvona +5 °C:tta. Tällöin mikrobien on mahdollista kehittyä materiaalien pinnoille ja vaurioittaa materiaalia. (RIL 250-2011, 152-153.)

Homeille otollisimmat kasvuolosuhteet saavutetaan kun suhteellinen kosteus nousee yli 90 %:n ja samalla lämpötila on yli 20 °C:tta. Tällöin homeet ja homesienet voivat kehittyä silmin havaittaviksi jopa muutamassa päivässä. Alemmissakin lämpötiloissa homeiden kasvu on mahdollista, mutta tämä vaatii pitkäaikaisia sekä korkeita RH pitoisuuksia. Toisaalta alle 90 %:n RH- pitoisuuksissa kehittyminen on myös hyvin mahdollista, aivan kuten edellä on mainittu 75 % kehittymisen alkamisrajaksi, tällöin kuitenkin vaaditaan myös korkeita lämpötila olosuhteita. Alle +5 °C:een lämpötila voi myös olla otollinen kasvuolosuhde, mikäli pinnan suhteellinen kosteus on pitkäaikaisesti yli 90 %:ia. (RIL 250-2011, 155.)

Eri materiaaleilla on erilaiset vastustuskyvyt hometta vastaan, joten ne on jaoteltu neljään homeutumisherkkyysluokkaan. Luokat ovat: hyvin herkkä (runsaasti ravinteita sisältävä puu), herkkä (höylätty puu, puupohjaiset levyt), kohtalaisen kestävä (se-

mentti- ja muovipohjaiset materiaalit ja mineraalivilla) ja kestävä (lasi- ja metallimateriaalit). TTY ja VTT ovat mallintaneet ”Homemallin”, jonka mukaan kohtalaisen kestävä materiaalit vaativat 97 %:n kosteuden ja +22 °C:een lämpötilan sekä 20 viikon vaikutusajan, jotta homeen kasvu voi alkaa. (RIL 250-2011, 156-157.)

2.2 Teoriaa Ormiskankaan laskelmista

Tässä luvussa käsitellään Petteri Ormiskankaan teoreettisten laskelmien tuloksia ja niiden analysoinnin perusteita. Näiden perusteella pystymme tulkitsemaan ja vertailemaan Saarijärveltä saatuja mittaustuloksia laskelmiin. Erityisesti kiinnitetään huomiota eristeen ja ulkokuoren kohdalta tehtyihin havaintoihin.

Ulkoseinärakenteille yleisimpiä ja merkittävimpiä kosteusrasituksia ovat rakennuskosteus, viistosade ja sisäilman kosteus. Lisäksi olosuhteet, joissa rakenne sijaitsee, vaikuttavat rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Näitä ovat mm. auringon vaikutus, tuuli ja lämpötilat rakenteen ympärillä. (Ormiskangas 2009, 18)

Ormiskankaan (2009) mukaan Espoon ilmastossa, jossa julkisivu on suunnattu kohti etelää, pysyy rakenteiden eristetila kosteampana, kuin muilla ilmansuunnilla ja ilmasto-olosuhteilla. Ilman tuuletusta rakenteet eivät päässeet kuivumaan vaan syksyiset viistosateet pääsivät kastelemaan rakennetta niin, että rakenteen ulkokuoren kosteus palasi samalle tasolle vuodesta toiseen. Etelään suunnatulla julkisivulla tuuletuksen ansiosta poistuneet kosteudet olivat varsin suuria, joten tuuletusuria voidaan käyttää rakenteen kuivattamiseen. Suurin hyöty saatiin mineraalivilla eristeellä, kun puolestaan EPS ja PUR eristeillä tuuletuksen hyöty pieneni. Tässä kuitenkin on tehty oletus että EPS ja PUR eristeet eivät ehdi luovuttamaan kosteutta yhtä nopeasti kuin tuuletusura sitä kuivattaa. Eristekerroksen paksuudella havaittiin pieni vaikutus tuuletuksen kautta poistuvaan kosteuteen. Tämä johtui paksun eristekerroksen suuremmasta vesihöyrynvastuksesta, jolloin ulospäin siirtyvä kosteuden määrä on pienempi. Toinen syy oli tuuletusuran lämpötila, joka pysyy suurilla eristepaksuuksilla pienempänä lämmöneristyksen parantuessa. (Ormiskangas 2009, 121, 123-124.)

Kosteuspitoisuus laski, Espoon eteläistä julkisivua lukuun ottamatta, kaikilla julkisivun rakenteilla. Ormiskankaan (2009) mukaan, rakennuskosteus pystyy poistumaan kaikista rakenteista ilman tuuletustakin muutamassa vuodessa. Tämä edellyttää, ettei rakenteeseen vaikuta suuria kosteusrasituksia. (Ormiskangas 2009, 124)

Suhteellisen kosteuden tarkastelu tehtiin ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa. Vuodenaikojen mukainen vaihtelu oli suurempaa villaeristeillä ja keskimääräisesti EPS ja PUR eristeillä suhteellinen kosteus oli pienin. Espoon olosuhteissa suhteellisen kosteuden osalta alimmat arvot olivat villaeristeillä 70 %, puolestaan EPS- ja PUR- eristeiden alimmat arvot olivat noin 90 %. Ormiskangas (2009) toteaa myös että EPS- ja PUR- eristeillä suurin kosteus ei ollut aina eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa vaan eristeen sisässä, muutaman sentin päässä rajapinnasta. (Ormiskangas 2009, 126)

3. KOERAKENNUKSEN MITTAUSDATAN ANALYSOINTI

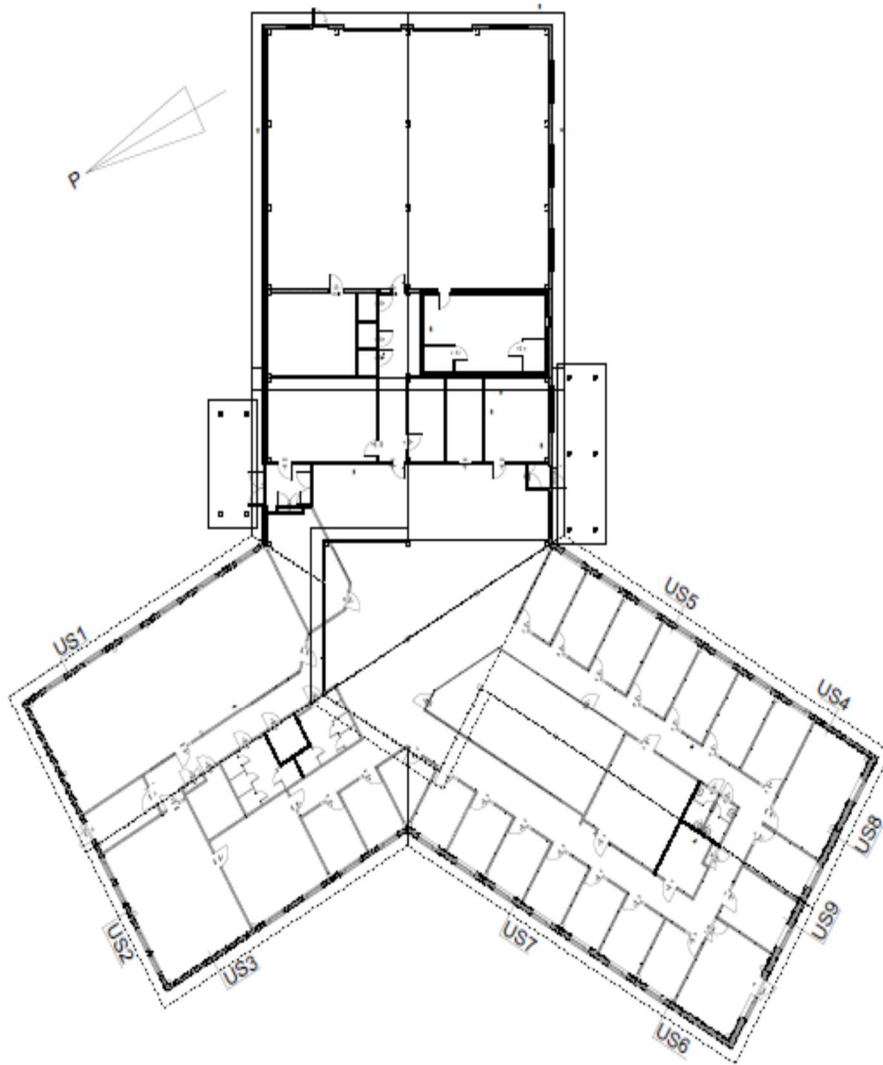
3.1 Yleistä

Saarijärven koerakennukseen on rakennettu yhdeksän erilaista ulkoseinätyyppiä ja näihin jokaiseen on sijoitettu mitta-anturit, joiden tulokset tuli purkaa ja analysoida. Mittausdata saatiin Aimo Pelliseltä, joka tutkii samaisen rakennuksen lattiarakenteiden tuloksia.

Rakennetyyppejä on yhdeksän kappaletta, joista kolme on vuoden 2007 lämmöneristemääräykset täyttäviä rakenteita. Neljässä rakennetyypissä täyttyy tämän hetkiset, vuoden 2010, lämmöneristemääräykset ja kahdessa rakennetyypissä on tämän hetkisiä määräyksiä paremmat rakenteet. Eristemateriaaleina rakenteissa on käytetty mineraalivilla-, EPS- ja PUR- eristeitä. Mineraalivillaeristeisissä seinissä on aina tuuletusurat, kun puolestaan EPS- ja PUR- eristeiset seinät ovat ilman tuuletusuria, lukuun ottamatta yhtä EPS- eristeistä rakennetyyppiä, jossa on tuuletusurat. Rakennetyypit on kuvattu tarkemmin taulukossa 1 ja niiden sijainti pohjakuvassa kuviossa 1.

Taulukko 1. Rakennetyypit sekä ilmansuunta, johon rakenne on suunnattu.

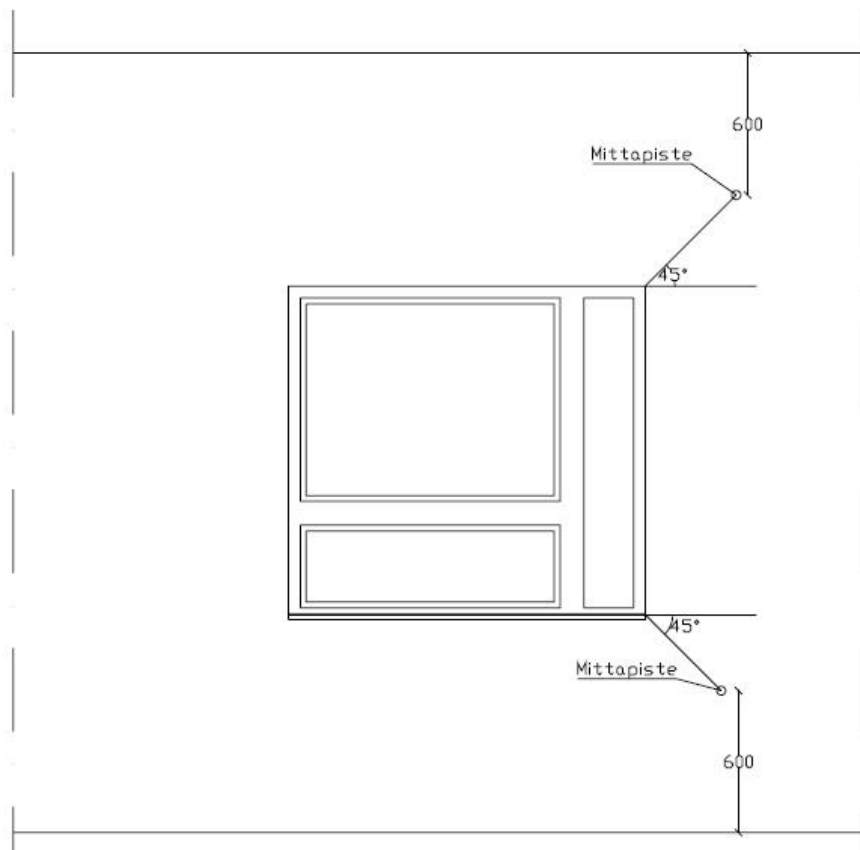
Rakennetyyppi	Eriste	U-arvo, W/m ² *K	Eristeen paksuus	Ulkokuo- ren pak- suus	Sisäkuo- ren pak- suus	Ilman- suunta
US1	Villa (tuule- tusurat)	0,24	160	70	80	Itä
US2	EPS	0,24	160	70	80	Pohjoinen
US3	PUR	0,17	160	70	80	Länsi
US4	PUR	0,14	190	70	100	Kaakko
US5	EPS (tuu- le- tusurat)	0,17	190	70	100	Kaakko
US6	Villa (tuule- tusurat)	0,16	240	70	100	Luode
US7	EPS	0,16	240	70	100	Luode
US8	Villa (tuule- tusurat)	0,11	350	70	100	Lounas
US9	EPS	0,11	350	70	100	Lounas



Kuvio 1. Rakennuksen pohjakuva, josta näkee rakennetyyppien sijainnin.

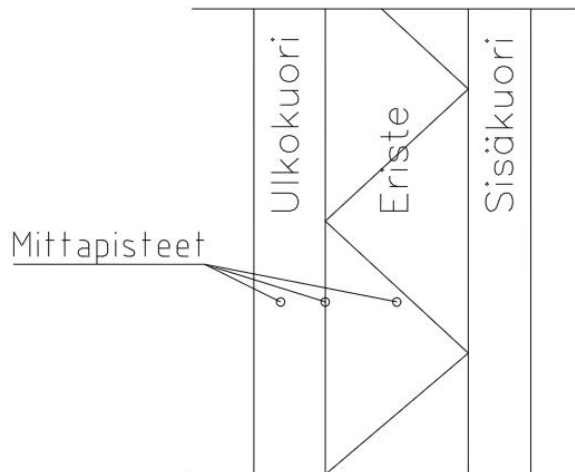
Rakennuksen seinäelementit on valmistanut ja toimittanut Betsset Oy. Yritykseltä saatujen tietojen mukaan elementit on valmistettu 1.5.2009-8.7.2009 välisenä aikana ja ne ovat toimitettu työmaalle kahdesta kolmeen viikkoon valmistuksesta. (Immonen 2013.)

Mitta-antureita on sijoitettu tutkittaviin elementteihin kahteen eri korkeuteen sekä kolmeen eri syvyyteen. Kuviossa 2 nähdään antureiden sijoittelu, alemmat anturit ovat 600 mm lattiapinnasta ja 45 astetta ikkunan alanurkasta alaspäin. Ylemmät anturit ovat puolestaan 600 mm päässä elementin yläreunasta ja ikkunanurkasta 45 astetta ylöspäin.



Kuvio 2. Mittauspisteiden sijainti seinällä

Kuviossa 3 nähdään antureiden sijoittelu syvyysuunnassa. Ensimmäinen on noin 30 mm:n päässä ulkokuoren ulkopinnasta, toinen anturi on ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa ja kolmas eristeen keskellä. Anturit mittaavat suhteellista kosteutta ja lämpötilaa kyseisissä pisteissä. Tässä työssä käsitellään eristeen ja ulkokuoren rajapinnasta ja eristeen keskeltä saatuja tuloksia. Ulkokuoren tulokset jätetään tulkitsematta.



Kuvio 3. Mittauspisteiden sijainti seinärakenteessa

Mitta-antureiden tulosten virhemarginaali on tuotevalmistajan mukaan lämpötila-arvoille $\pm 1^\circ\text{C}$ astetta ja kosteusarvoille $\pm 4\%$ yksikköä. Lisäksi on mahdollista, että kosteusanturoiden pinnalle muodostuu kosteutta, jolloin tämä näkyy tuloksissa 100 %:n kosteusarvona.

Mittaustulosten tarkastelussa kiinnitetään huomiota ulkokuoren ja eristeen rajapinnan sekä eristeen keskikohdan arvoihin. Ulkokuoren ja eristeen rajapinnan tuloksia käsitellään U-arvon perusteella siten, että saman U-arvon omaavia rakenteita vertaillaan toisiinsa. Näin saadaan selville miten eristemateriaali vaikuttaa rakenteen kosteuteen ja lämpötilaan. Tämän lisäksi tarkastellaan eristeen keskivaiheen suhteellisen kosteuden vaihteluja.

Mittausdatan tulokset sijoittuvat noin kahden vuoden ajalle, alkaen 14.4.2010 ja päättyen 29.6.2012. Tuloksien määrä vaihteli 50 - 150 tulokseen vuorokaudessa, tästä ei aivan varmaa tietoa ole, mutta luultavasti aina arvon vaihtuessa antura on kirjannut uuden tuloksen muistiin. RH- arvoja oli yleisesti vähemmän kuin lämpötila-arvoja, tästä johtuen tulokset on sijoitettu omiin taulukoihin, jotta niitä voidaan lukea paremmin.

Kuvaajissa on aikavälillä 16.5 - 13.8.2010 hyppäys, joka johtuu ukkosen aiheuttamasta katkoksesta. Tämä ei aiheuta ongelmia tuloksien tulkintaan, kun se on näin alussa mittausjaksoa.

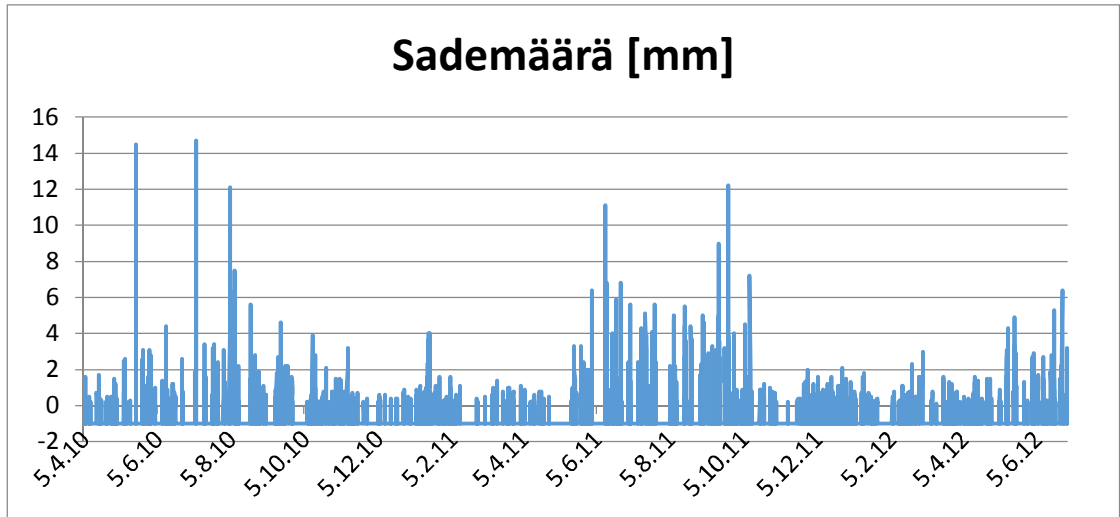
3.2 Mittausolosuhteet

Tuloksia vertailtaessa on otettava huomioon ilmansuunnat, johon rakenteet on suunnattu, sillä tuuli ja tuulensuunnat sekä viistosateiden ja auringon vaikutus vaihtelevat ilmansuunnittain. Näiden vaikutus voi olla huomattava mentäessä seinältä toiselle. Ilmatieteen laitokselta saatujen tietojen mukaan tarkasteltavalla ajanjaksolla yleisin tuulen ilmansuunta on ollut pohjoinen, n. 35 % tuulista (Siiskonen 2013).

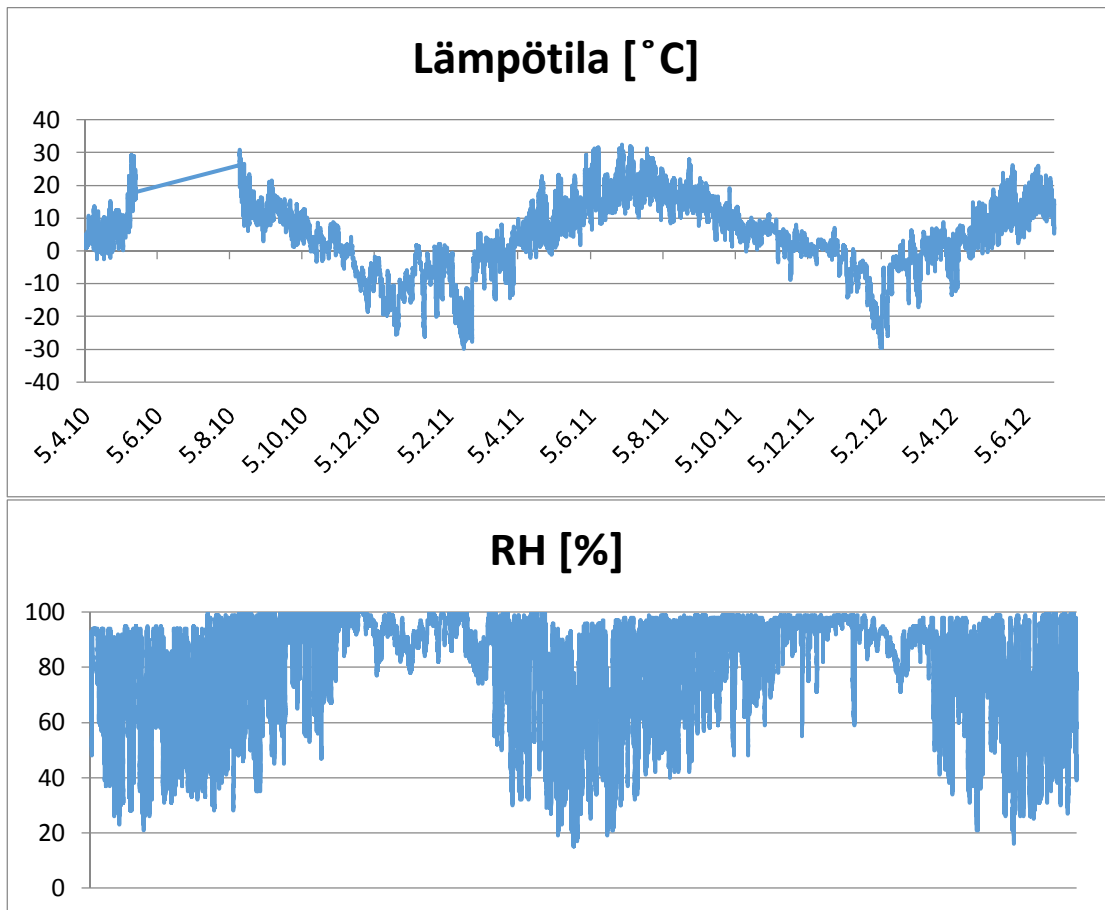
Viistosateiden määrä on vuositasolla 20-30 % pystysuoran sateen määrästä ja painottuu pää sääntöisesti syyskuukausille. Viistosateet rasittavat eniten ulkoseinien yläosia sekä nurkkia, riippuen räystäiden koosta sekä maaston muodoista ja mahdollisista esteistä. (Björkholz 1997, 41)

Ylemmän ja alemman mittauspisteen välillä oli joitakin huomattavia eroja RH- pitoisuuksien osalta, jotka voidaan tulkita viistosateesta johtuviksi. Tuloksista havaittiin myös, että yläosan mittauspisteissä RH- pitoisuus pysyy suurempana ympäri vuoden. Suurempien kosteuspitoisuuksien johdosta tarkastelu tehtiin ylemmän mittauspisteen tuloksille ja jätettiin alemmat tulokset tulkitsematta.

Saamissani tuloksissa oli virheitä ulkoilman suhteellisen kosteuden arvoissa ja myös sademäärä tiedot puuttuivat kokonaan, joten nämä tulokset piti hankkia ilmatieteenlaitokselta. Saamani tulokset eivät ole suoraan Saarijärvellä toteutuneita, vaan lähimmän sääaseman tuloksia, joka tässä tapauksessa oli Multia Karhilan havaintoasema, noin 32 km päässä Saarijärveltä. Kuvioissa 4 ja 5 on esitetty sademäärät, ulkoilmanlämpötila sekä ulkoilman suhteellinen kosteus, mittausjakson ajalta.



Kuvio 4. Multia Karhilan sääaseman mukaiset tiedot sademäärästä Saarijärvellä mittausjakson ajalta 5.4.2010 – 29.6.2012. (Siiskonen 2013)



Kuvio 5. Saarijärven lämpötilan ja suhteellisen kosteuden (Siiskonen 2013) vaihtelut mittausjakson ajalta 5.4.2010 – 29.6.2012.

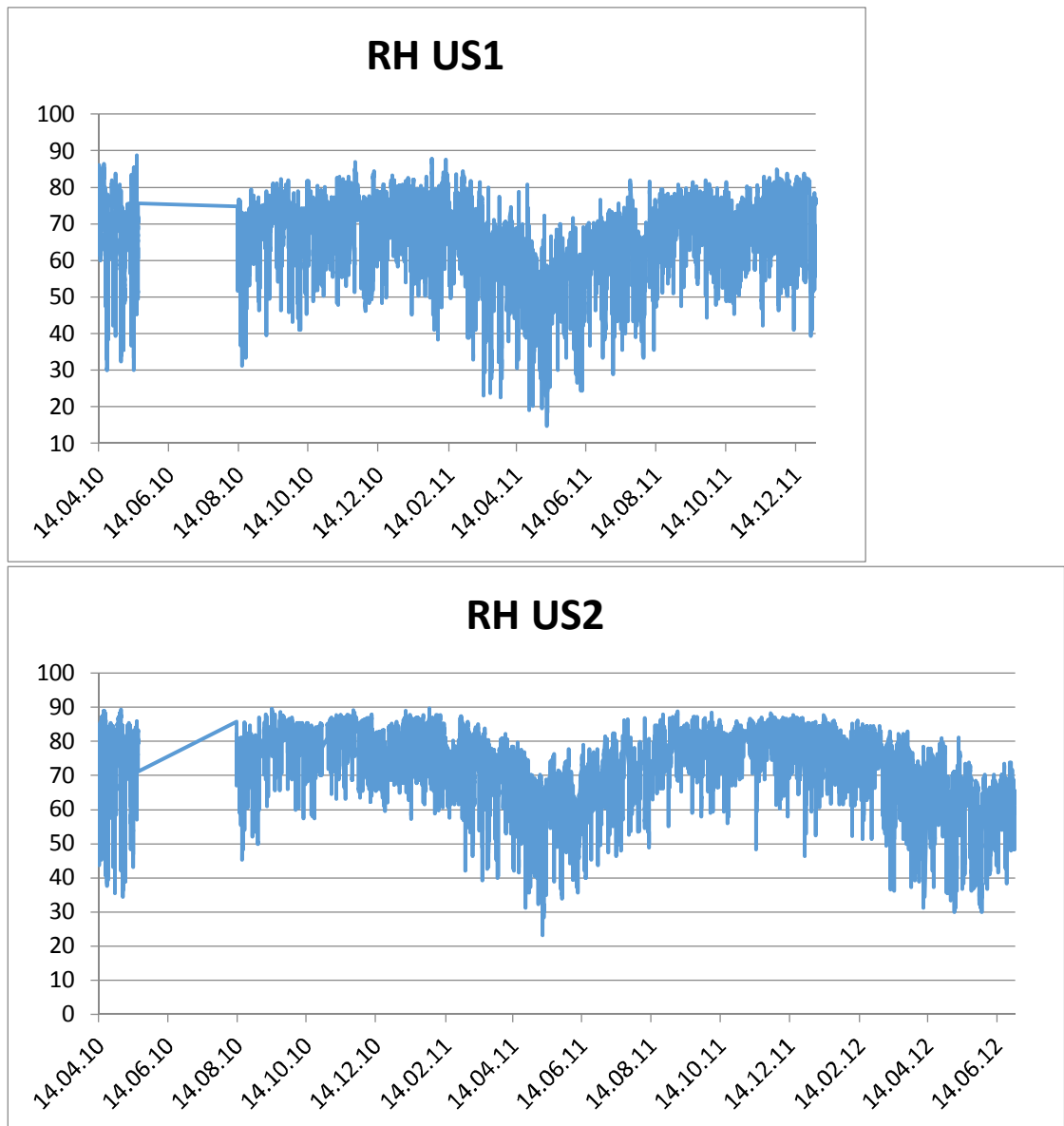
3.3 Rakennetyyppien vertailu

3.3.1 U-arvo 0,24

Rakennetyyppien US1 ja US2 lämmönläpäisykertoimet ovat 0,24 W/m²K. Rakennetyypissä US1 on eristemateriaalina uritettu mineraalivilla ja US2:ssa eristeenä on EPS, molempien rakenteiden eristevahvuus on 160 mm. US1 rakennetyypin mittaustuloksia on lyhyemmältä ajalta, joten vertailu tehdään vain tältä ajanjaksolta.

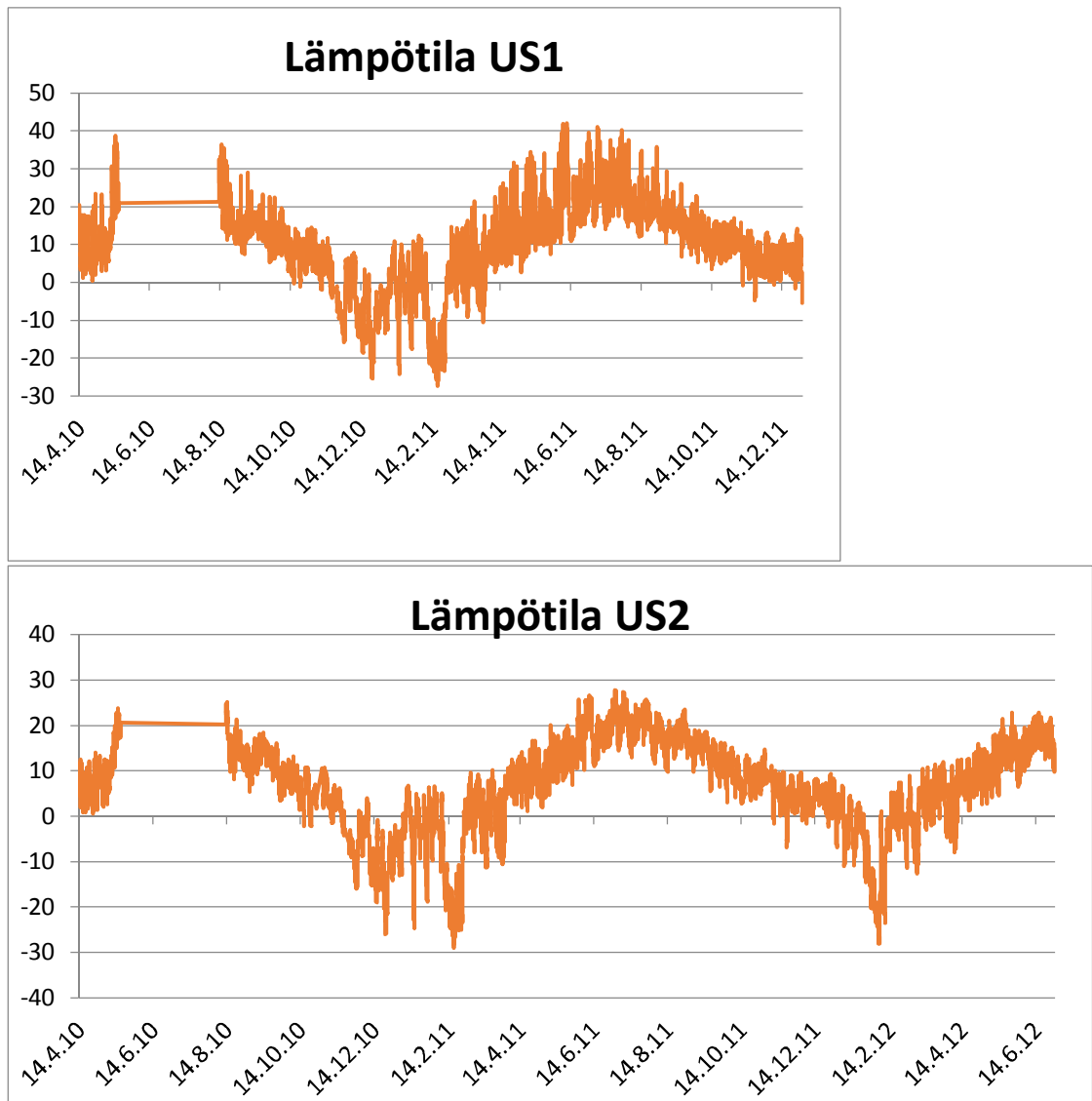
Kuvioissa 6 ja 7 on esitetty rakenteiden RH- pitoisuuksia sekä lämpötiloja eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Rakennetyyppi US1 on suunnattu kohti itää ja US2 puolestaan kohti pohjoista.

Rakenteiden suhteellisen kosteuden vaihtelut ovat vuoden aikojen mukaan samantyyppiset. Suurimmat arvot ovat talvella ja minimi kesällä. US1:n maksimi arvot ovat hieman yli 80 % kun taas US2:n arvot ovat lähempänä 90 %:ia. US1:n minimiarvot käyvät kesällä 20 %:ssa ja US2:n puolestaan 30 %:ssa. Molemmilla rakenteilla on selvästi havaittavissa vuorokausivaihteluita koko mittausjakson ajalta, vaihtelut ovat 20-40 %:n välillä.



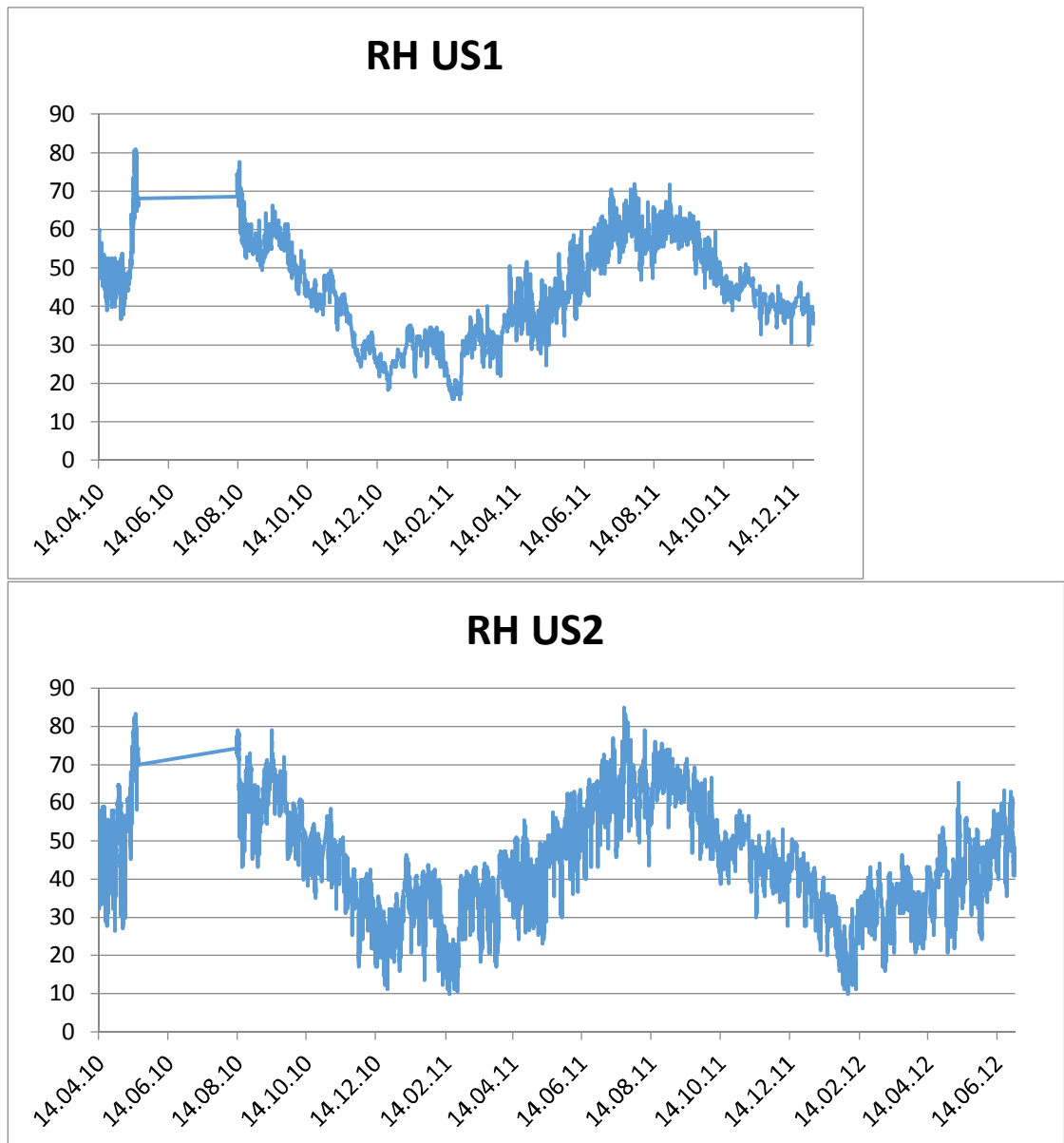
Kuvio 6. Rakennetyyppien US1 ja US2 suhteellisen kosteuden vaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.

Kuviossa 7 on esitetty lämpötilojen vaihtelua eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa rakennetyypillä US2. Tuloksista huomataan, että US2:n maksimi lämpötilat ovat 5°C :tta ulkolämpötilaa (ks. kuvio 5) pienemmät. US1:n vastaavat arvot ovat 10°C :tta ulkolämpötilaa korkeammat. Talven arvoissa ei huomattavia eroja ole. Kesän lämpötilaerot voidaan selittää ilman suunnan vaikutuksella. Rakenne US1 on suunnattu kohti itää, näin ollen auringon lämmittävä vaikutus on suurempi, kuin rakennetyyppi US2:lle, joka on suunnattuna kohti pohjoista.



Kuvio 7. Rakennetyyppien US1 ja US2 lämpötilavaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.

Kuviossa 8 on esitetty rakenteiden suhteellisen kosteuden vaihtelua eristeiden keski- vaiheilla. Molemmilla rakenteilla on havaittavissa kosteuden vaihtelut tasaisesti eri vuodenaikojen mukaan. Rakennetyypillä US1 nähdään jo vuoden jälkeen laskevia suhteellisen kosteuden arvoja, jolloin suurimmat arvot ovat 70 %, kun ne alussa olivat 80 %. Kuvaajista on myös havaittavissa että rakenteessa US2, on paljon enemmän vuorokausivaihteluita. Tuloksista nähdään että kosteus siirtyy syksyisin eristetilasta ulospäin ja keväisin ulkoa eristetilaan päin.



Kuvio 8. Rakennetyyppien US1 ja US2 suhteellisen kosteuden vaihtelut eristeen keskivaiheilla.

Homekasvuston mahdollinen kehitys

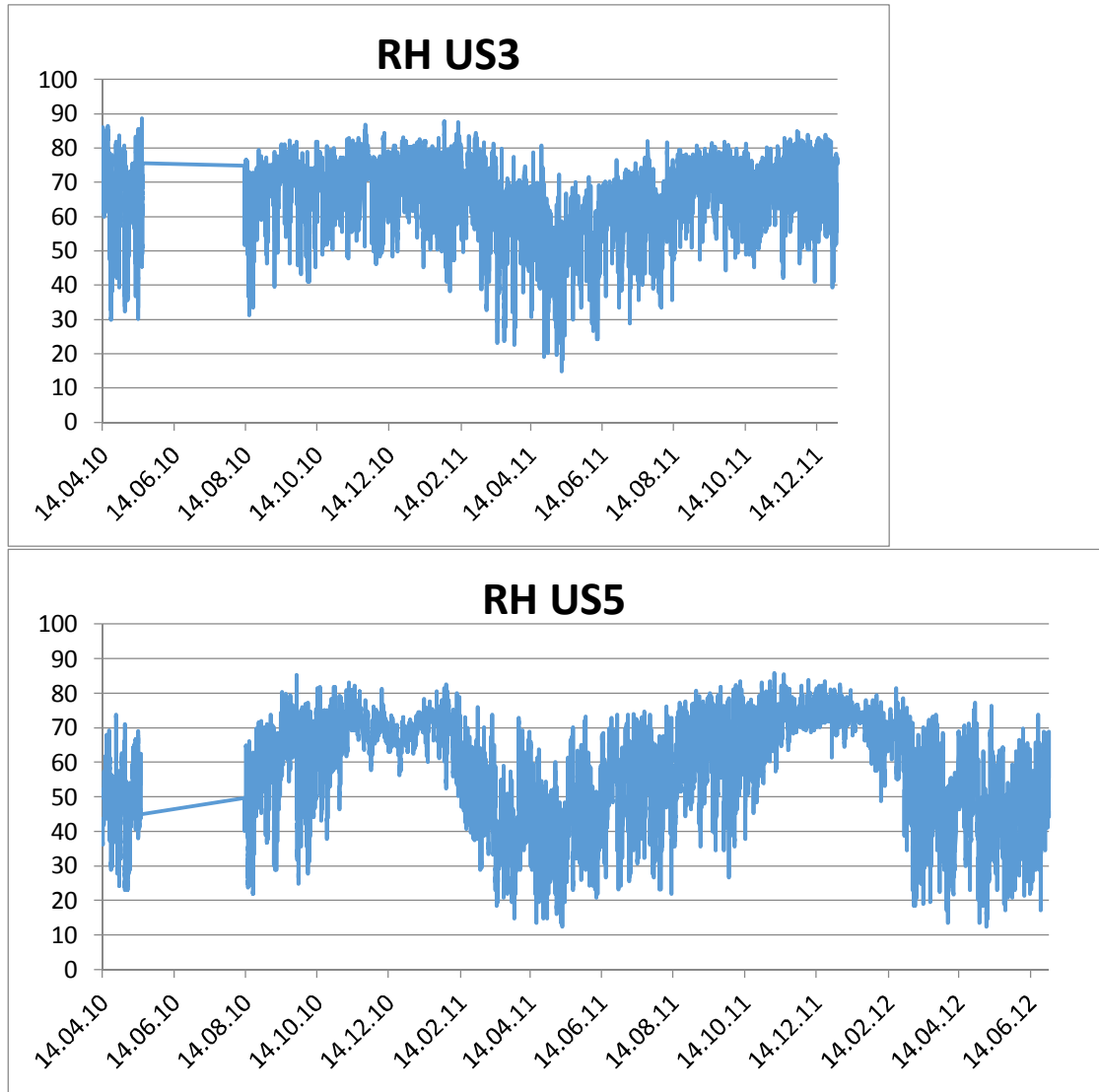
Rakenteissa US1 ja US2 ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH- pitoisuudet ylittävät 75 % ja lämpötilat ovat 30 °C:n ja 40 °C:n välillä, mutta nämä olosuhteet eivät vaikuta samanaikaisesti. Teoriassa voisi mikrobikasvuston synty olla mahdollista, mutta rakenteissa kosteuden vaihtelut ovat vuorokausi tasolla melko suuria, eikä näin ollen olosuhteiden vaikutus ole kovin pitkäkestoista. Eristetilan suhteelliset kosteudet eivät viittaa mikrobien syntyyn.

3.3.2 U-arvo 0,17

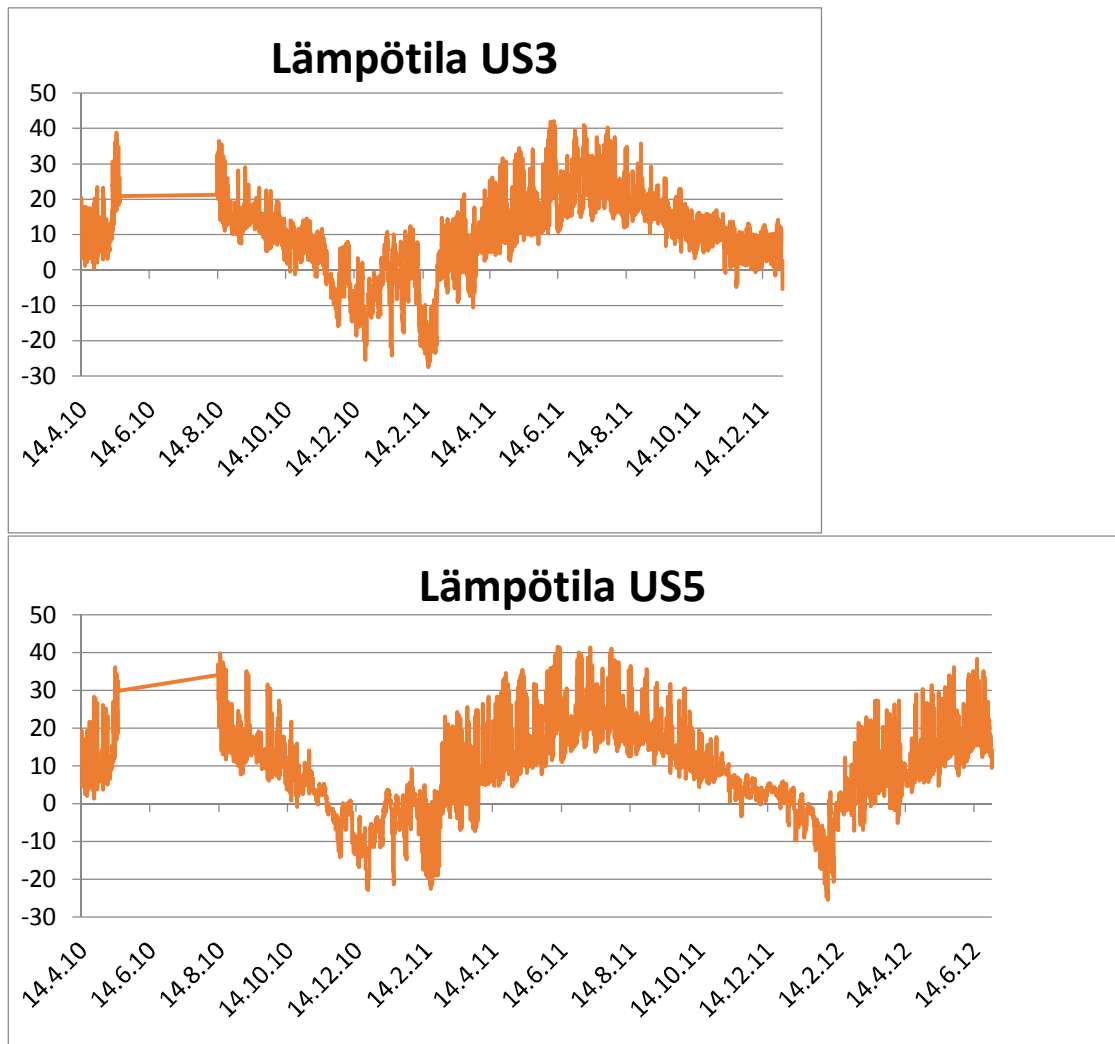
Rakennetyyppien US3 ja US5 lämmönläpäisykertoimet ovat 0,17 W/m²K. Rakennetyypissä US3 on 160 mm PUR- eriste ja US5:ssä on 190 mm tuuletturitetty EPS- eriste. Rakenteiden sisäkuoret ovat myös erivahvuiset, US3:ssa sisäkuori on 80 mm ja US5:ssä 100 mm.

Rakennetyyppi US3 on suunnattu kohti länttä ja US5 puolestaan kohti kaakkoa. Kuvioissa 9 ja 10 on esitetty rakenteiden RH- pitoisuuksia sekä lämpötiloja ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.

Lämpötiloissa ei rakenteilla ole eroja, vaikka rakenteet ovat eri vahvuiset. US3:n suhteellinen kosteus ei vaihtelee yhtä selvästi vuoden aikojen mukaan kuin US5:ssä, jolla nähdään selvemmin että suhteellinen kosteus nousee talvea kohti ja laskee kesällä. Kosteuden maksimi- ja minimiarvot ovat molemmilla 80 % ja minimiarvot 20 %. Vuorokausivaihtelut ovat havaittavissa molemmilla rakenteilla, kuitenkin niin että US5:llä ne jäävät talvella pienemmiksi.

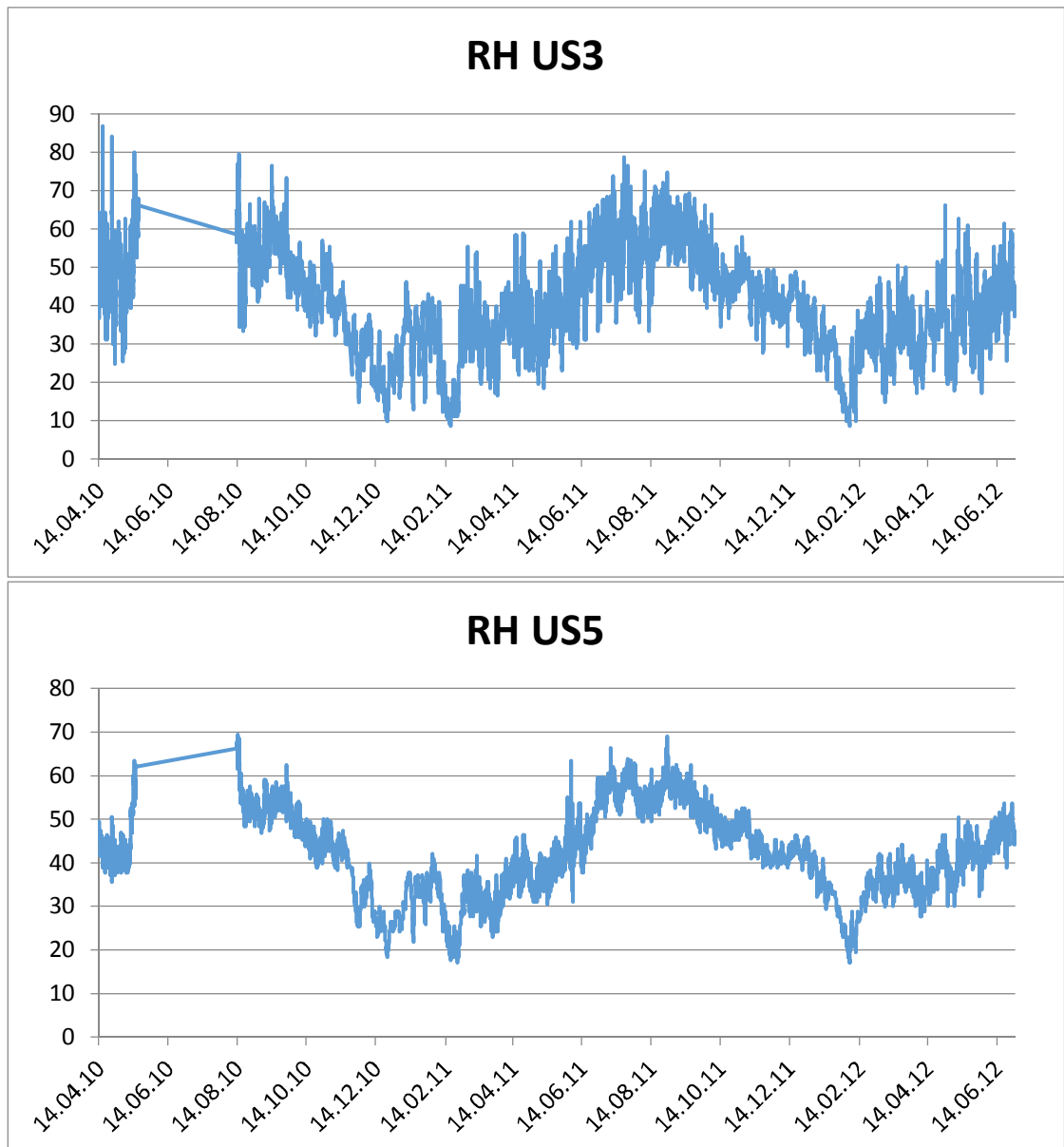


Kuvio 9. Rakennetyyppien US3 ja US5 suhteellisen kosteuden vaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.



Kuvio 10. Rakennetyyppien US3 ja US5 lämpötilavaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.

Rakenteiden eristekerrosten suhteellisten kosteuksien vaihtelut näkyvät kuviossa 11. Molemmissa rakennetyypeissä on havaittavissa hyvin vuodenaikojen vaihtelut ja niiden vaikutus suhteelliseen kosteuteen. US3:ssa on havaittavissa suurempia vuorokausivaihteluita. Kosteuden maksimiarvot ovat rakennetyypissä US3 80 % ja minimiarvot 10 %. Vastaavasti US5:n arvot näyttäisivät jäävän maksimissaan 70 %:iin ja minimissään 20 %:iin.



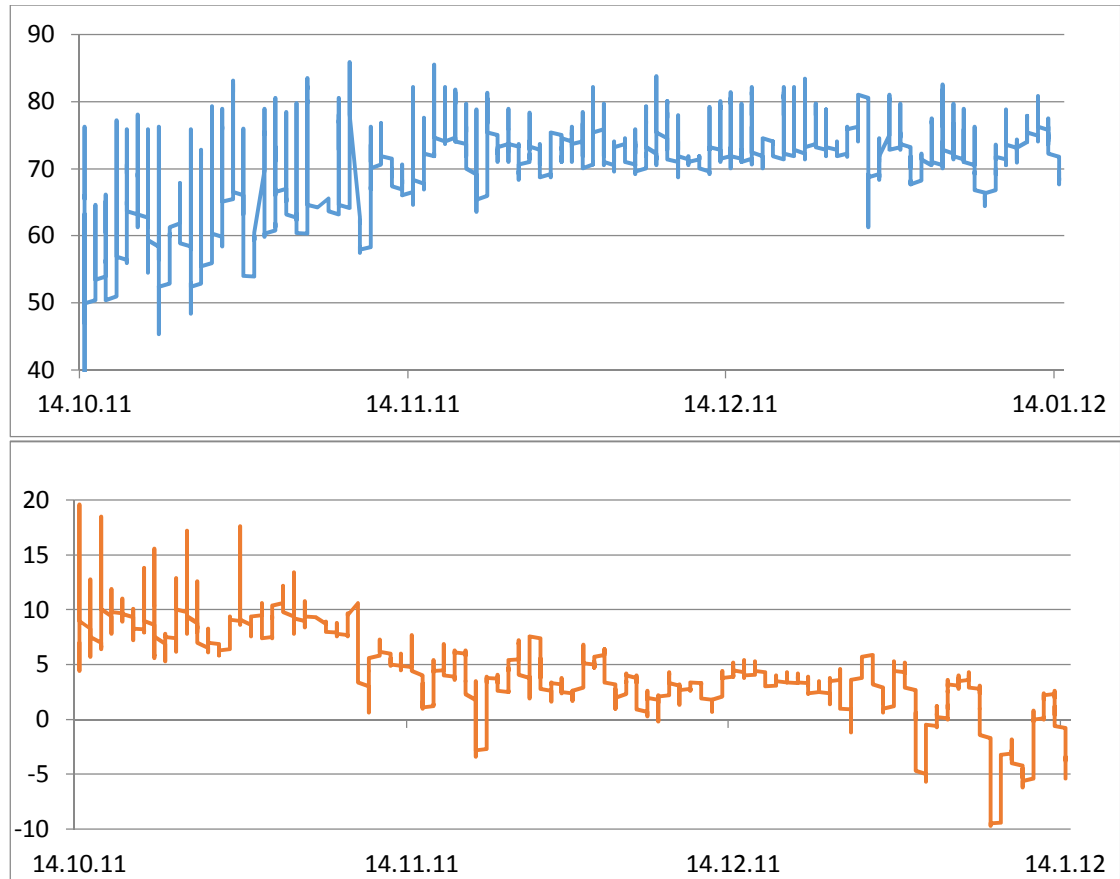
Kuvio 11. Rakennetyyppien US3 ja US5 suhteellisen kosteuden vaihtelut eristeen keskivaiheilla.

Homekasvuston mahdollinen kehitys

Rakennetyypin US5 suhteellista kosteutta ja lämpötilaa eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa on kuvattu kuviossa 12, niin että pystytään tarkastelemaan mahdollista homekasvuston kehitystä.

Suhteellinen kosteus on 70 - 80 % ja lämpötila 0- 5 °C:n välillä. Nämä olisivat teoriassa olosuhteet joissa mikrobikasvustoa voi alkaa kasvaa, mutta ottaen huomioon vain

kuukauden aikajakson, ei rakenteeseen ole tämän mittausjakson aikana odotettavissa homekasvuston kehitystä.



Kuvio 12. Rakennetyypin US5 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Aikajaksona 14.10.11 - 14.1.12

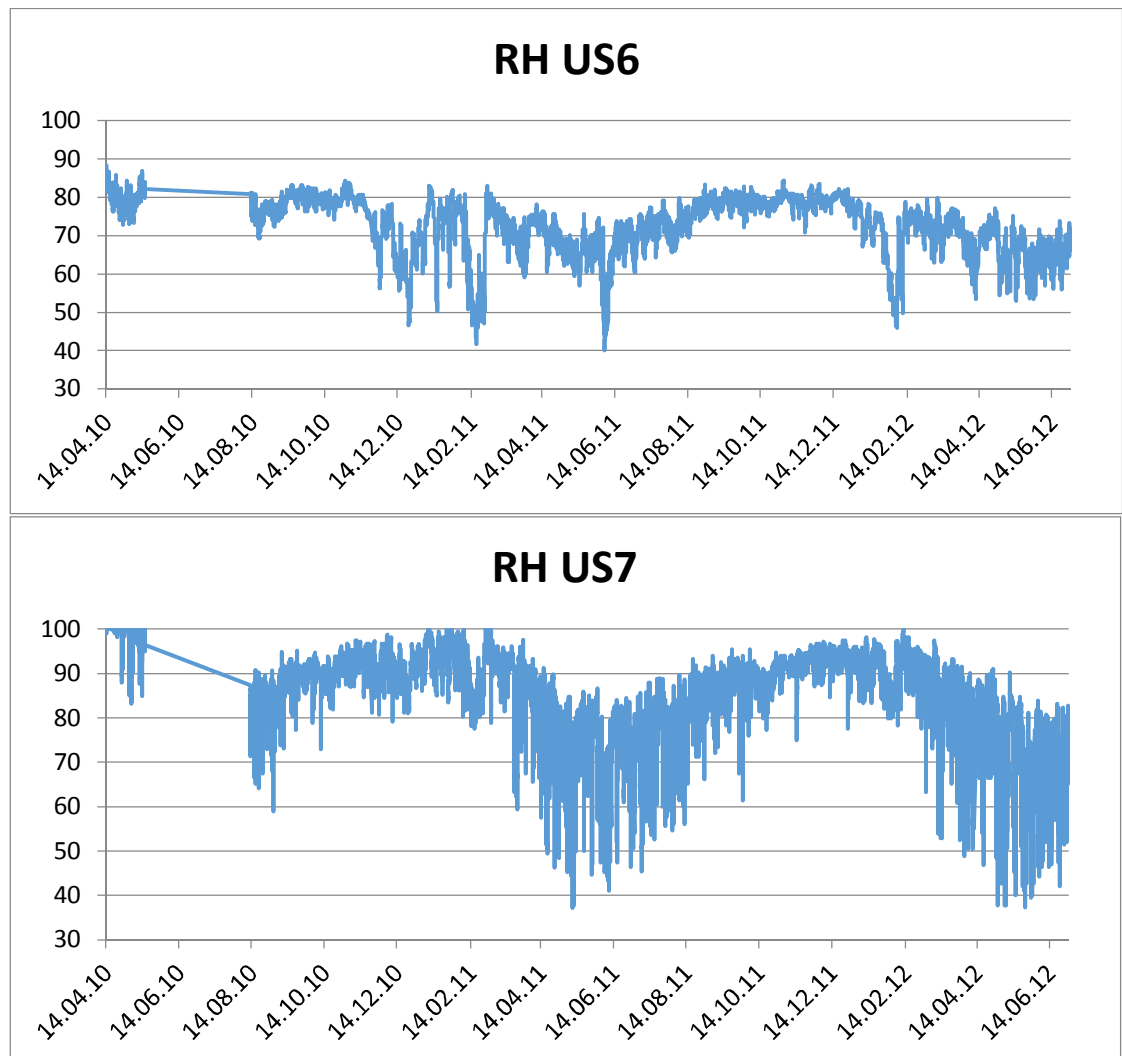
3.3.3 U-arvo 0,16

Rakennetyyppien US6 ja US7 lämmönläpäisykertoimet ovat 0,16 W/m²K. US6 rakenteen eristeenä on uritettu mineraalivilla ja US7:ssä EPS. Eristevahvuus on molemmissa 240 mm.

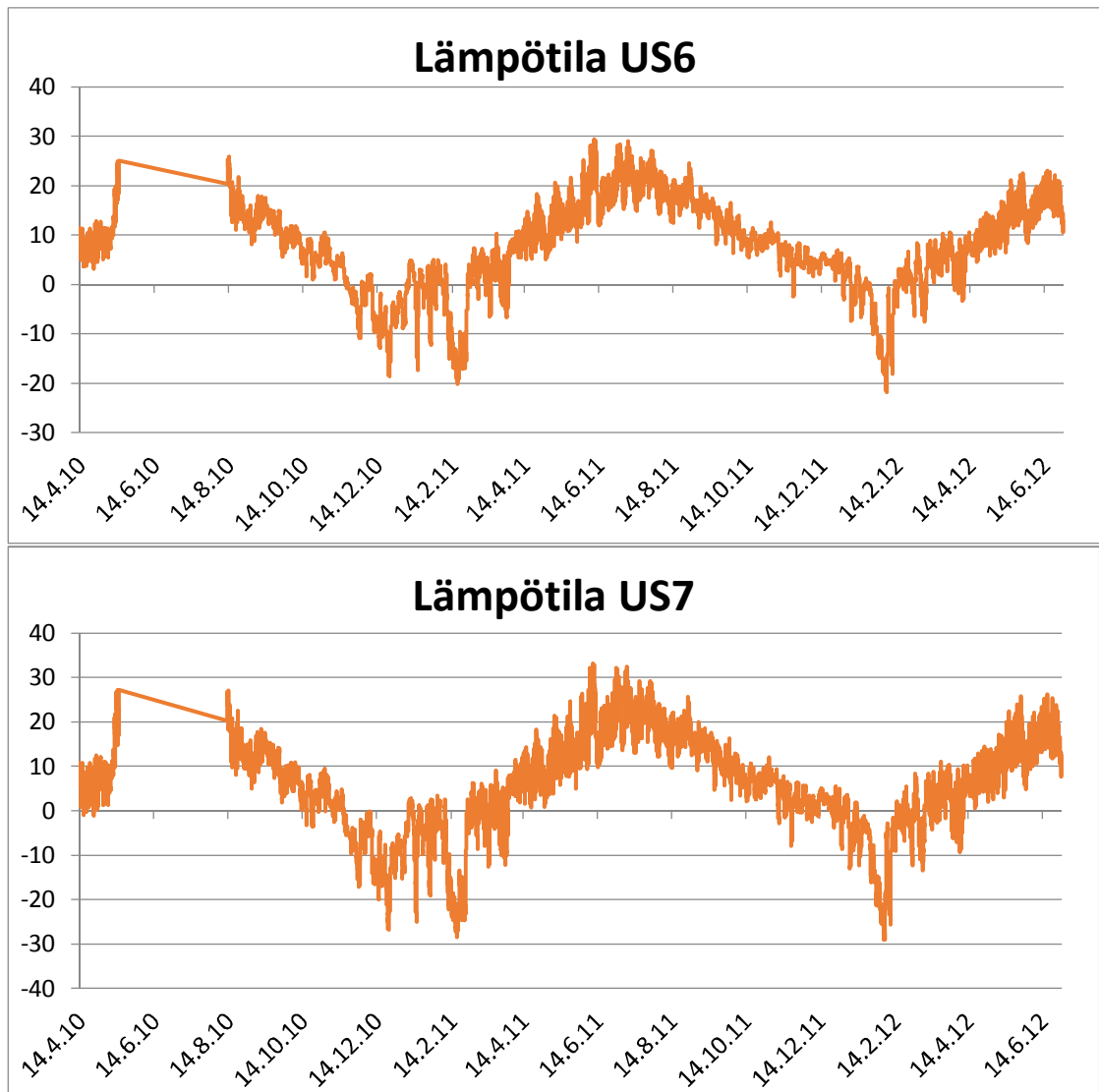
Rakenteet ovat suunnattu molemmat kohti luodetta, joten tulokset ovat suoraan verrattavissa toisiinsa sää olosuhteiden puolesta. Kuvioissa 13 ja 14 on esitetty rakenteiden suhteellisten kosteuksien sekä lämpötilojen muutoksia eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.

Lämpötilojen osalta rakenteilla ei ole paljon eroa. Korkeimmat lämpötilat ovat lähellä toisiaan, noin $+30^{\circ}\text{C}$:tta. Puolestaan rakennetyypin US6 alin lämpötila talvella on -20°C :tta, kun US7:llä vastaava arvo on -30°C astetta.

Suhteellisen kosteuden osalta tuloksissa on suuret eroavaisuudet. Vuosisykli on havaittavissa molemmissa, mutta US6 rakenteen suhteellisen kosteuden pysyessä reilun 80 %:n ja 40 %:n välissä, nousee US7:ssä kosteudet kahden ensimmäisen talvikauden aikana jopa 100 %. Tämä johtuu suuresta alkukosteudesta. Myös vuorokausivaihtelut ovat huomattavasti suuremmat rakennetyypissä US7.

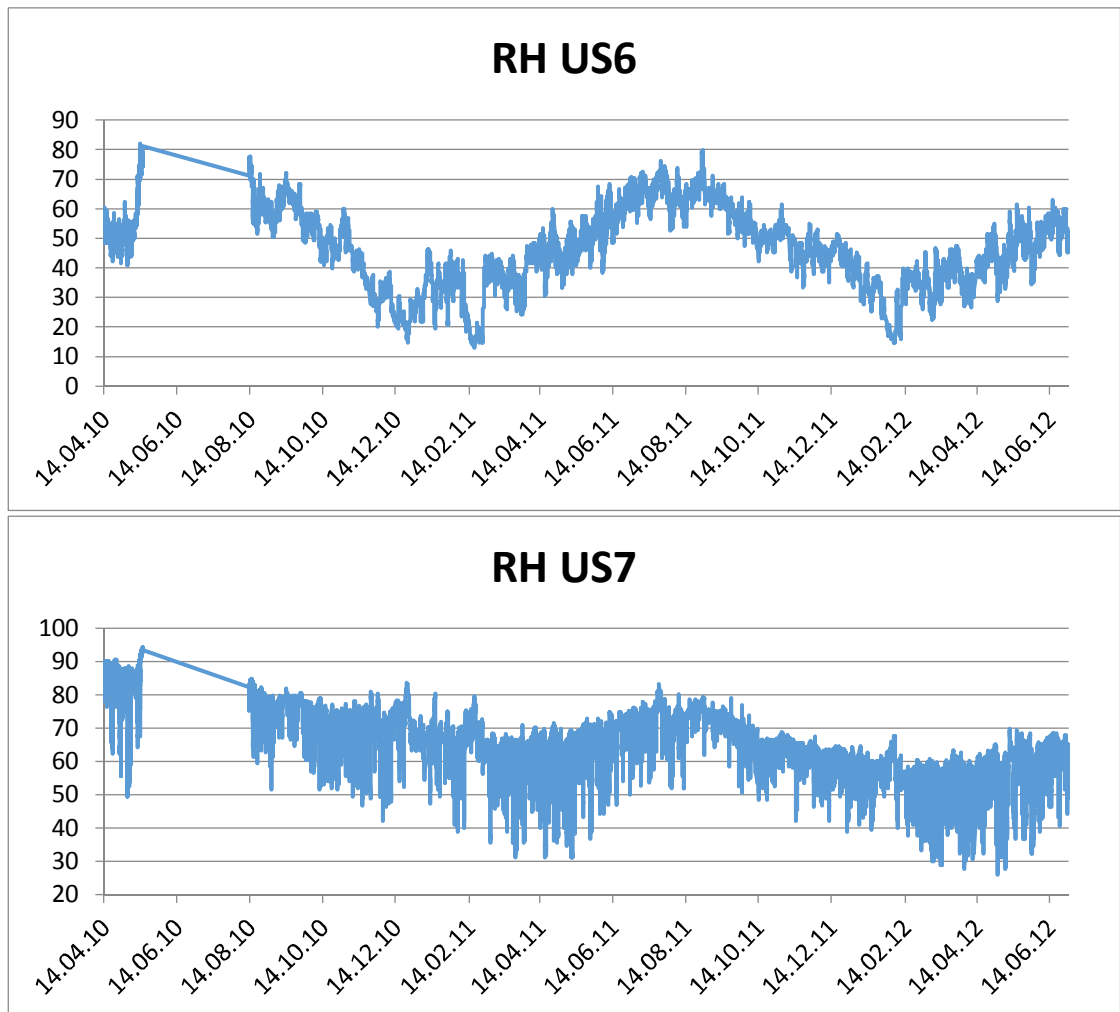


Kuvio 13. Rakennetyyppien US6 ja US7 suhteellisen kosteuden vaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.



Kuvio 14. Rakennetyyppien US6 ja US7 lämpötilavaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.

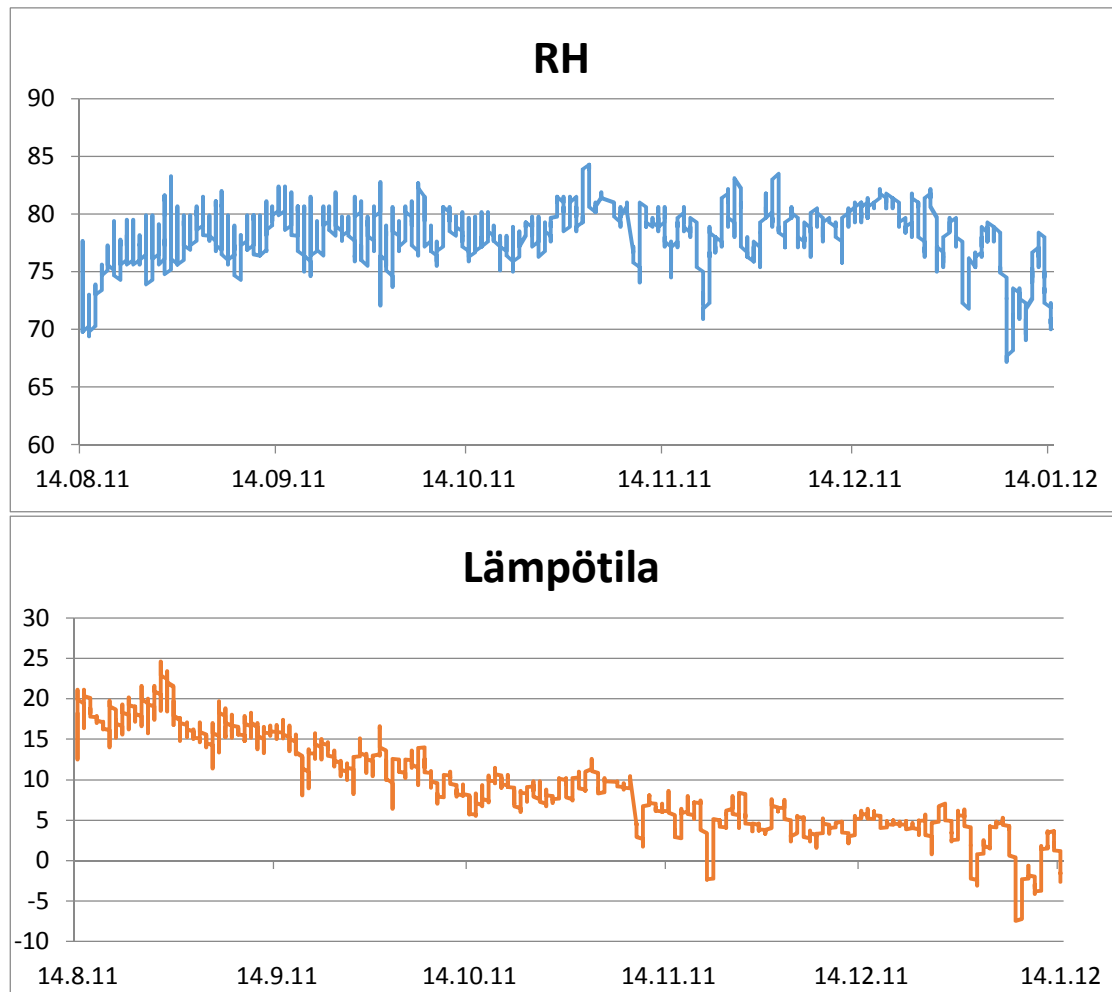
Kuviossa 15 on rakenteiden suhteellisen kosteuden muutokset eristeen keskivaiheilla, josta on nähtävissä vuoden ajan vaihtelut molemmilla rakennetyypeillä sekä US6:n pienemmät vuorokausivaihtelut. US7:n tulokset viittaisivat mahdolliseen elementin kastumiseen tai suojausten peittämiseen suuren alkukosteuden johdosta. Toki eristeen kuivuminen on toiminut hyvin ja on tarkastelujakson aikana osoittanut selvästi laskevaa trendiä. Eristetilassa on havaittavissa myös vuorokausivaihteluiden erot, US6:ssa niiden ollessa pienemmät kuin US7:ssä



Kuvio 15. Rakennetyyppien US6 ja US7 suhteellisen kosteuden vaihtelut eristeen keskivaiheilla.

Homekasvuston mahdollinen kehitys

Kuviossa 16 on esitetty rakennetyypin US6 suhteellisen kosteuden ja lämpötilan vaihteluja. Tarkastelu jaksona on 14.8.11 - 14.1.12, jolloin teoriassa olisi otollisimmat olosuhteet mikrobikasvustolle. RH on lähes neljä kuukautta yli 75 % ja lämpötila samaisen ajan yli viiden asteen, toki lämpötila laskee jakson loppua kohden, mutta teoriassa rakenteeseen voisi syntyä mikrobikasvustoa. Eristetilassa suhteellisen kosteuden tulokset eivät viittaa mikrobien kasvulle otollisiin olosuhteisiin.

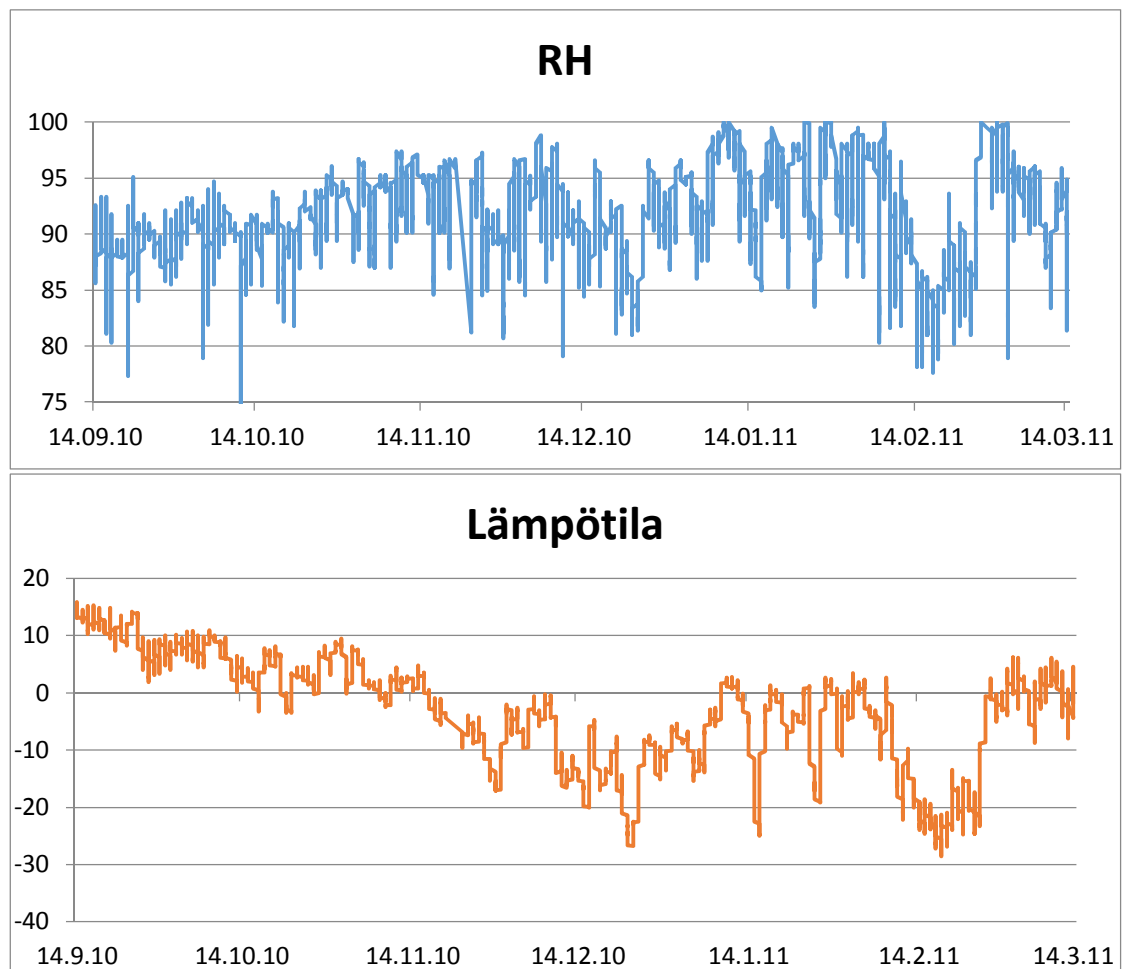


Kuvio 16. Rakennetyypin US6 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Aikajaksona 14.8.11 - 14.1.12

Kuviossa 17 on esitetty rakennetyypin US7 suhteellisen kosteuden ja lämpötilan vaihtelua eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Tarkastelu jaksona on 14.9.10 – 14.3.11, jolloin teoriassa olisi hyvät olosuhteet mikrobien muodostumiselle.

Suhteellinen kosteus on puolen vuoden ajan yli 80 %, mutta lämpötila olosuhteet ovat vain reilun kuukauden ajan yli 0 °C. Eikä lämpötila ylitä tällöin 20 °C astetta, jolloin varmuudella rakenteeseen voisi syntyä mikrobeja. Eristetilassa suhteellisen kosteuden tulokset eivät viittaa mikrobien kasvulle otollisiin olosuhteisiin.

Tammi- helmikuussa näyttäisi olevan kuitenkin mahdollista että kosteutta tiivistyy rakenteisiin suuren kosteuspitoisuuden ja alhaisien lämpötilojen johdosta.



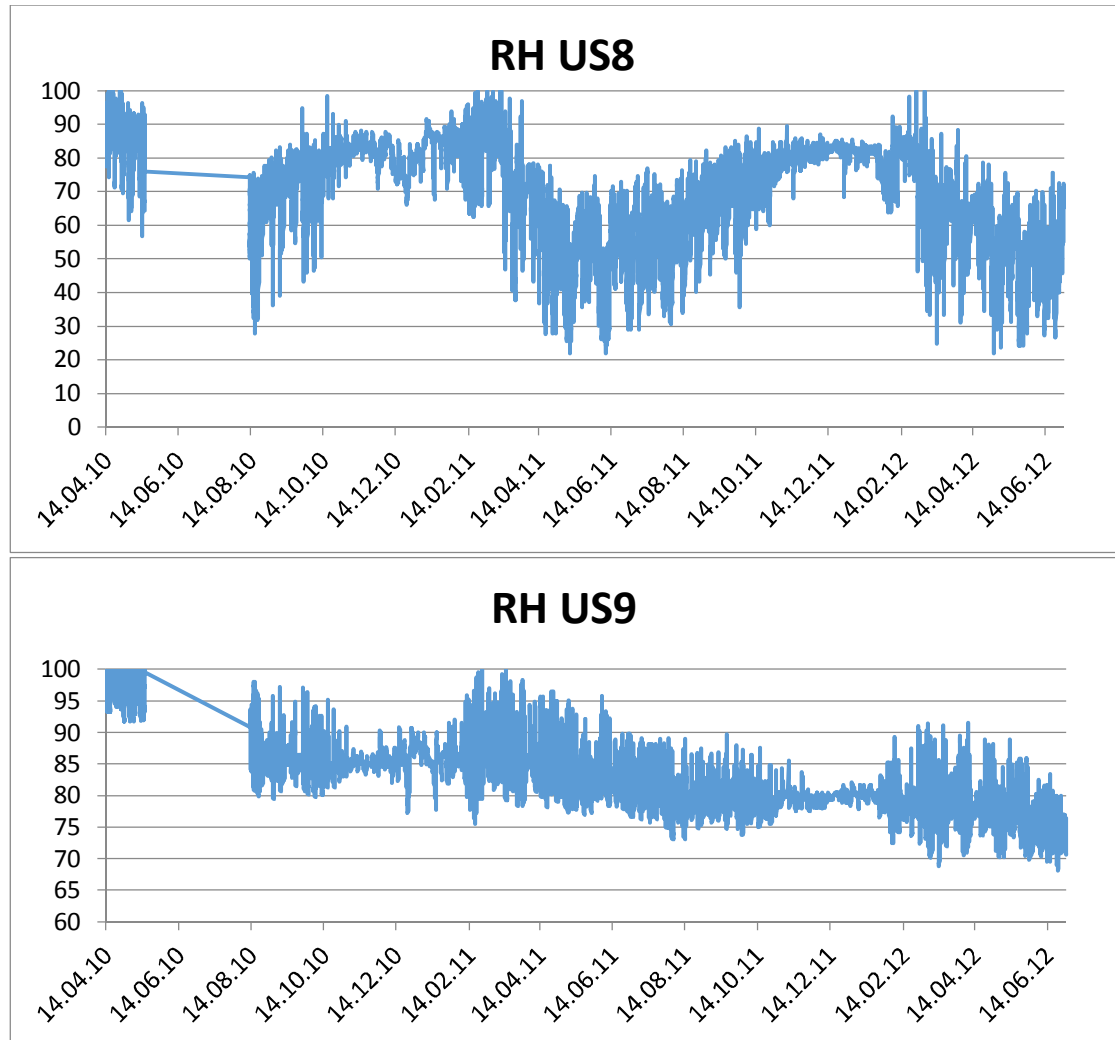
Kuvio 17. Rakennetyypin US7 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Aikajaksona 14.9.10 - 14.3.11.

3.3.4 U-arvo 0,11

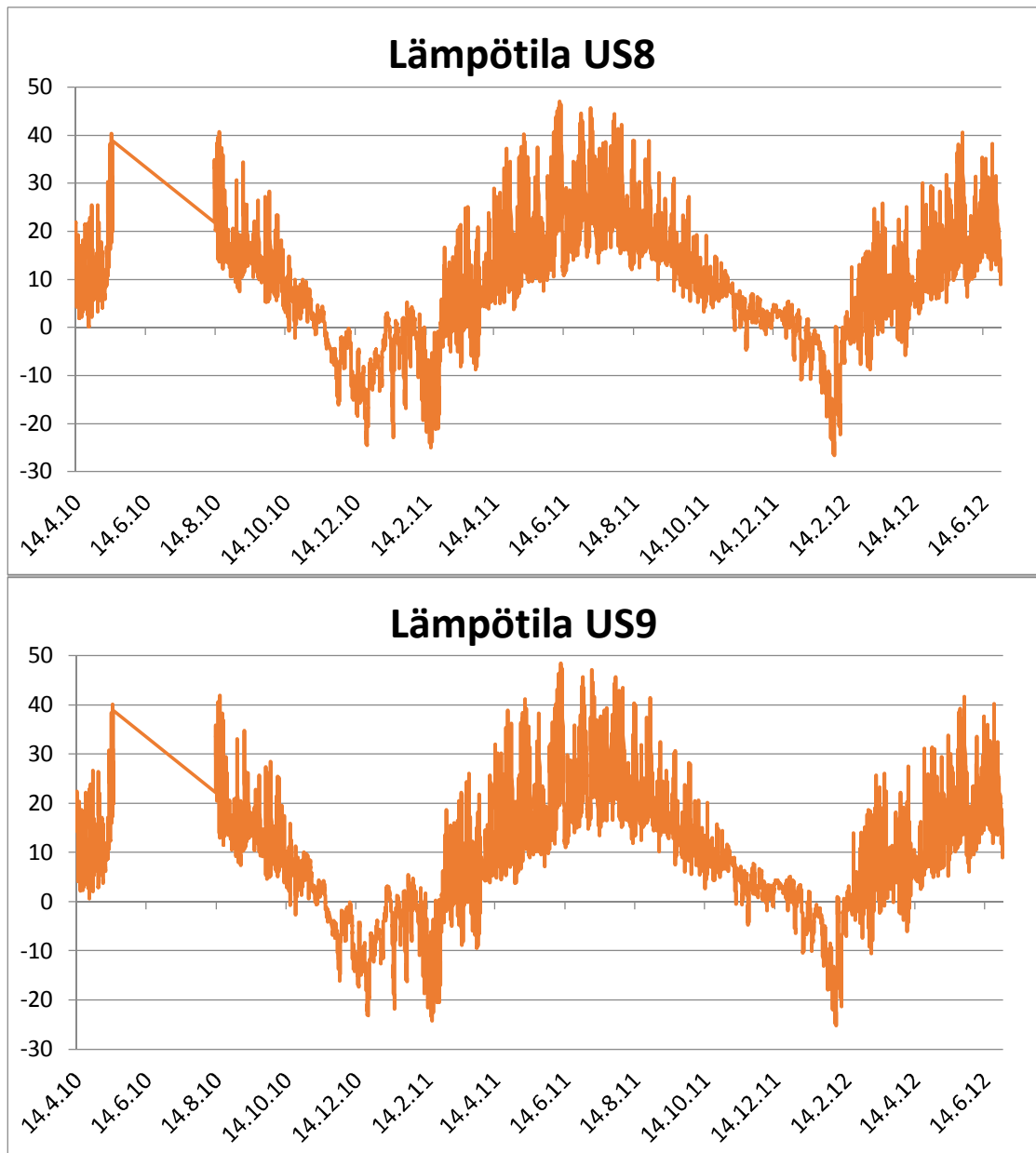
Rakennetyypeillä US8 ja US9 lämmönläpäisykerroin on $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$. Eristeinä ovat uritettu mineraalivilla ja EPS, joiden rakennevahvuus on 350 mm. Molemmat rakenteet on suunnattu kohti lounasta.

Kuvioissa 18 ja 19 on esitetty rakenteiden suhteellisten kosteuksien ja lämpötilojen vaihteluja eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Suhteellisen kosteuden arvoissa havaitaan US8:lla suurempia vuodenaikojen mukaisia vaihteluita. Kesäisin kosteus on 20 %:ssa ja talvisin jopa 100 %. US9:llä suhteellinen kosteus pysyy koko mittausjakson ajan yli 70 %:n ja maksimi arvot ovat myös 100 %. Molempien rakenteiden suhteellisen kosteudet maksimit näyttävät kuitenkin laskevan tarkastelujakson aikana.

Lämpötilaeroja ei ole havaittavissa eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa näiden kahden rakennetyypin välillä.

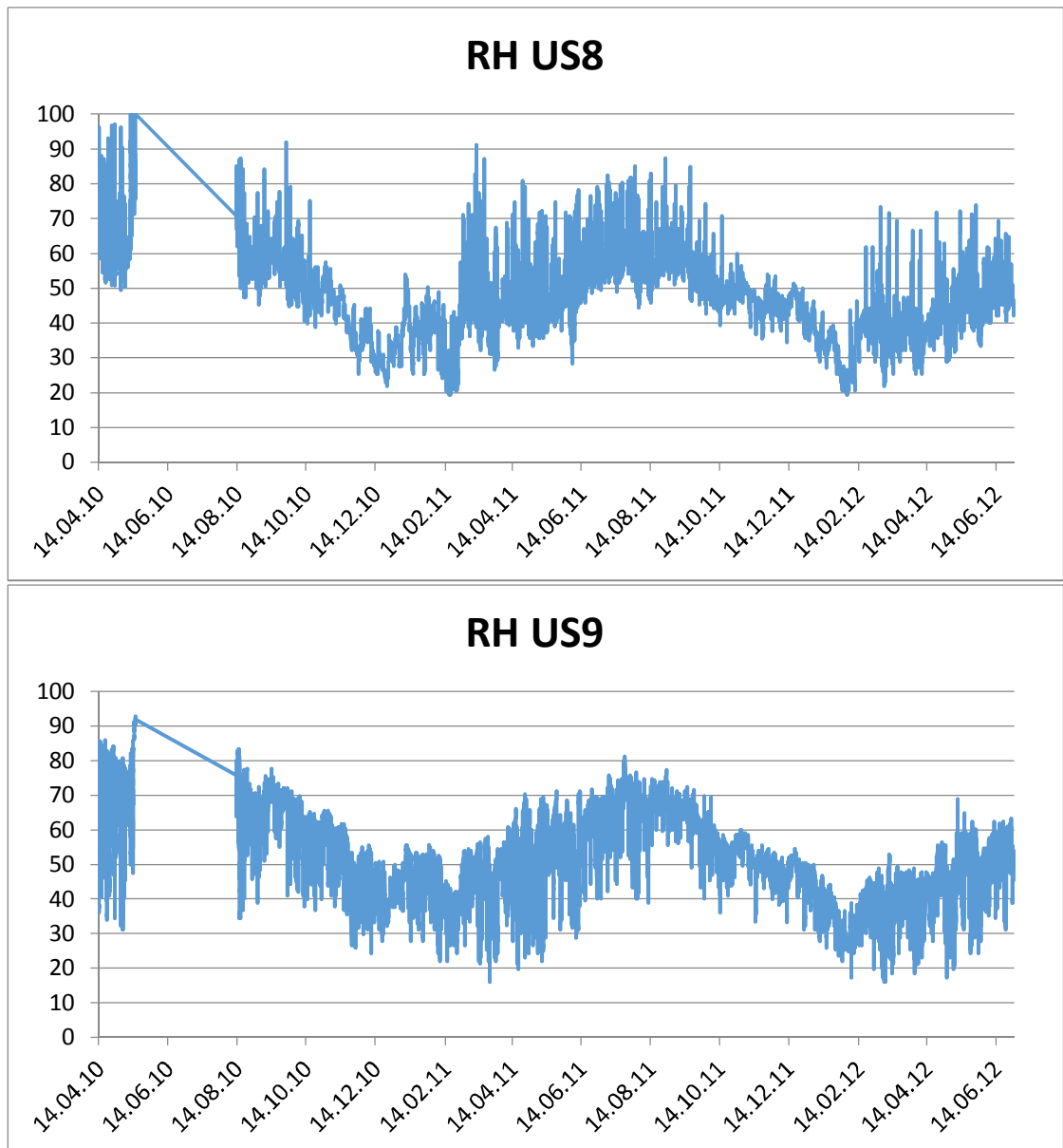


Kuvio 18. Rakennettyypien US8 ja US9 suhteellisen kosteuden vaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.



Kuvio 19. Rakennetyyppien US8 ja US9 lämpötilavaihtelut ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa.

Kuviossa 20 on esitetty rakenteiden suhteellisten kosteuksien muutoksia eristeen keskivaiheilla. Toisin kuin eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa, kosteus erot eivät ole yhtä selkeitä. Molemmista rakenteista ensimmäisen vuoden jälkeen suhteellinen kosteus on suurimmillaan 80 %:n tienoilla. Molemmilla rakenteilla on havaittavissa vuorokausivaihteluita, mutta US8:lla ne jäävät pienemmiksi talvikuukausina. Molemmissa rakenteissa on nähtävissä kosteuden laskua tarkastelujakson aikana.



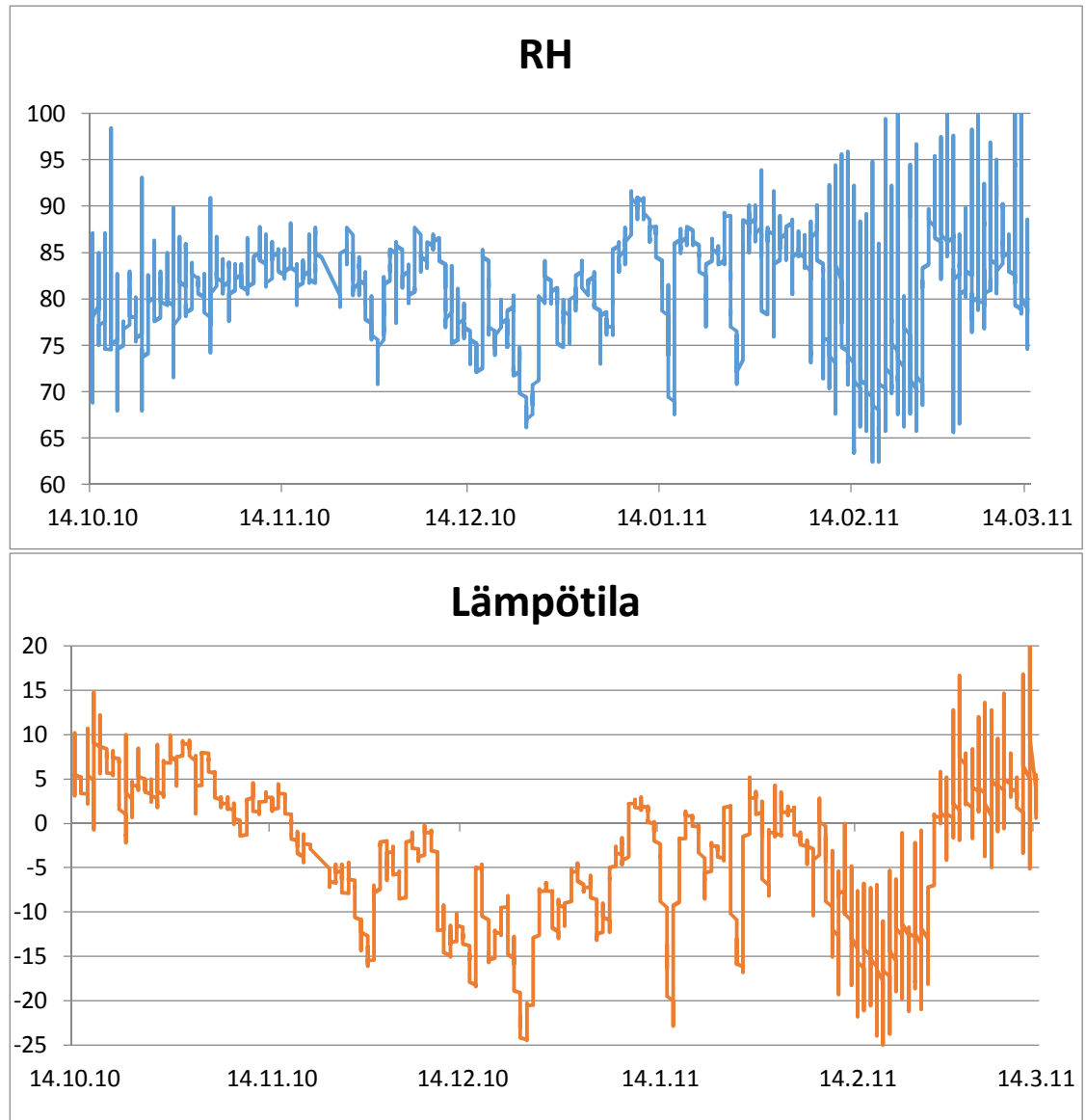
Kuvio 20. Rakennetyyppien US8 ja US9 suhteellisen kosteuden vaihtelut eristeen keskivaiheilla.

Homekasvuston mahdollinen kehitys

Kuviossa 21 on esitetty rakennetyypin US8 suhteellisen kosteuden ja lämpötilan vaihteluja ajanjaksolla 14.10.10 – 14.3.11. Tarkastelujakson ajan alussa ja lopussa oli havaittavissa hyvät olosuhteet mikrobin kehitykselle.

Maaliskuun alussa näyttäisi lämpötilan kohoavan yli 15 °C:n ja samalla RH- pitoisuudet käyvät 100 %:ssa. Nämä eivät ole pitkäkestoisia arvoja, mutta erittäin otollisia

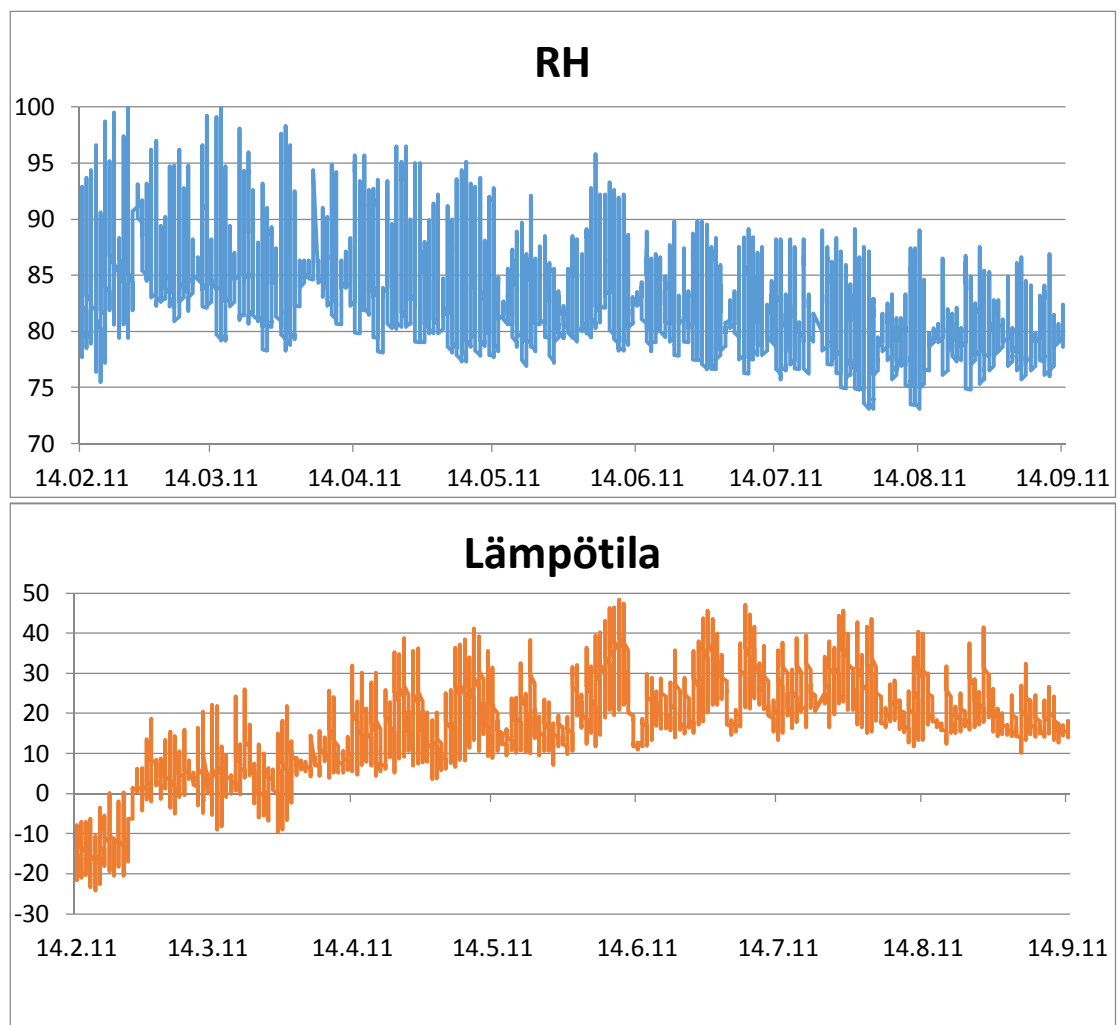
olosuhteita mikrobin kehittymisen kannalta. Huomioitavaa on myös se, että helmikuun loppupuolella on hyvin korkeita RH- pitoisuuksia ja lämpötilat ovat alle -15°C :n. Mitä luultavimmin tämä aiheuttaa kosteuden tiivistymisen eristeen ja ulkokuoren rajapintaan. Eristetilassa ei ole havaittavissa mikrobikasvustolle tai kosteuden tiivistymiselle otollisia olosuhteita.



Kuvio 21. Rakennetyypin US8 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Aikajaksona 14.10.10 - 14.3.11

Kuviossa 22 on esitetty rakennetyypin US9 suhteellisia kosteuksia ja lämpötiloja eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa aikajaksolla 14.2.11 – 14.9.11. Helmikuun puolessa välissä näyttäisi todennäköiseltä että kosteus tiivistyisi rakenteessa, kun RH on 100 % ja lämpötila -10°C .

Rakenteessa on erittäin hyvät olosuhteet mikrobien kehittymiselle kesän aikana, sillä lämpötila on 20°C :n ja 45°C :n välillä ja RH puolestaan 90 %:n ja 75 %:n välillä. Rakenteen suhteellinen kosteus on muutoinkin koko mittausjakson ajan yli 70 %, joten on hyvin todennäköistä että rakenteeseen on syntynyt mikrobikasvustoa. Eristetilassa ei ole havaittavissa riittävän hyviä olosuhteita mikrobeille.



Kuvio 22. Rakennetyypin US9 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Aikajaksona 14.2.11 - 14.9.11

4. RAKENTEIDEN LÄMPÖKAMERAKUVAUS

4.1 Yleistä

Kohteeseen tehtiin lämpökamerakuvaus 24.1.2013. Tarkoituksena oli saada selville rakenteiden lämpötekniinen toimivuus ja nähdä mahdolliset lämpövuodot. Kuvauksen suoritin Jyväskylän ammattikorkeakoululta saamallani lämpökameralla (Therma-CAM S60). Kuvauksessa oli mukana Saarijärvellä toimivat Tapani Sauranen sekä Hannu Vilkkilä, jotka ovat olleet mukana rakennusprojektissa sekä mitta-antureiden asennuksissa.

Itselläni ei ollut aikaisempaa kokemusta lämpökamerakuvauksesta. Pikaopastuksen kameran käyttöön sain Juho Riekkiseltä (JAMK), sekä aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta.

4.2 Kuvien analysointi

Lämpökuvaus on tarkka mittausmenetelmä jolla voidaan tarkastella rakentamisen laatua ja rakenteiden toimivuutta sekä rakenteiden lämpötekniistä toimintaa rakenteita rikkomatta. Kuvauksella voidaan paikallistaa lämpövuotokohdat sekä havaita mahdolliset ilmavuodot, kylmäsilat sekä heikosti eristetyt kohdat. (Paloniitty 2004, 27.)

Lämpökamerakuvauksella pyritään määrittämään kuvattavien pintojen lämpötilaa. Tämä perustuu kuvattavan pinnan lähettämään lämpösäteilyyn joka riippuu pinnan lämpötilasta sekä sen emissiokertoimesta. Emissio kerroin on materiaalikohtainen ja se voi olla välillä 0-1. Alhainen luku kertoo että materiaali on kiiltävää ja sen lähettämästä lämpösäteilystä suurin osa voi olla heijastuksia. Lähellä 1:stä olevat emissiivisyydet ovat materiaaleilla joiden lämpösäteilystä suurin osa on niiden itse lähettämää. Rakennusmateriaaleilla tämä arvo on lähellä 1:stä. (Paloniitty 2004,15-17.)

Rakenteissa havaitut pintalämpötilojen epäsäännöllisyydet eivät aina merkitse virhettä, sillä pintalämpötilat eivät koskaan ole tasalämpöisiä. Kylmäsilat aiheuttavat

yleensä pintalämpötilojen laskua, tällaisia kohtia ovat mm. rakennuksen ulkonurkat ja lattianrajat. Sisäpuolelta kuvattaessa tyypillisiä kohtia joissa on havaittavissa pintalämpötilaeroja ovat nurkat, katon ja seinän sekä lattian liitokset ja ikkuna liitokset. Rakennevirheet aiheuttavat lämpötilaeroja ja niiden kasvaessa tarpeeksi suuriksi, voidaan epäillä rakenteellisia puutteita. (Paloniitty 2004, 27.)

Kuvauksia tehtiin sekä sisä- että ulkopuolelta rakennusta. Tarkastelun kohteena olivat elementtisaumojen ja ikkunoiden tiiveys sekä sisältä päin kuvatessa huoneiden nurkat ja seinä- kattoliittymät ajatellen myös mittaustulosten paikkansapitävyyttä. Olosuhteet kuvauksen aikana näkyvät taulukossa 2.

Taulukko 2. Lämpökuvauksen aikaiset olosuhteet.

Ulkolämpötila	Sisälämpötila	Tuuli	Pilvisuus	Suht.kost. ulkona
- 8	+ 20	1-2 m/s	Puolipilvinen	82 %

Sisätiloja kuvatessa tulisi kuvaus suorittaa 2-4 metrin etäisyydeltä kohdetta ja ulkona alle 10 metrin päästä kohteesta (Paloniitty 2004, 60). Ulkokuvauksissa tästä jouduttiin hieman poikkeamaan olosuhteiden vuoksi. Kuviin on pyritty merkitsemään huomiota herättävät pisteet ja niiden lämpötilat sekä normaalitilannetta kuvaava rakenne ja sen lämpötila pisteessä. Kuvien oikeassa reunassa näkyy lämpötilaskaala joka kyseisessä kuvassa on. Näin ollen ei pidä tehdä päätelmiä vain värien perusteella, vaan tarkastaa kuvaa vastaava lämpötilaskaala.

Joka huoneesta pyrittiin ottamaan 2-4 kuvaa joista selviää ikkunaliitos, ulkoseinän liitos ylä- ja alapohjaan sekä huoneiden nurkkaliittymät. Ulkopuolelta otetuista kuvista tarkasteltiin erityisesti elementtisaumojen ja ikkunaliitoksia.

Taulukossa 3 on esitetty rajalämpötiloja, joissa rakenteissa voidaan olettaa olevan virheitä kun sisälämpötila on 21 °C.

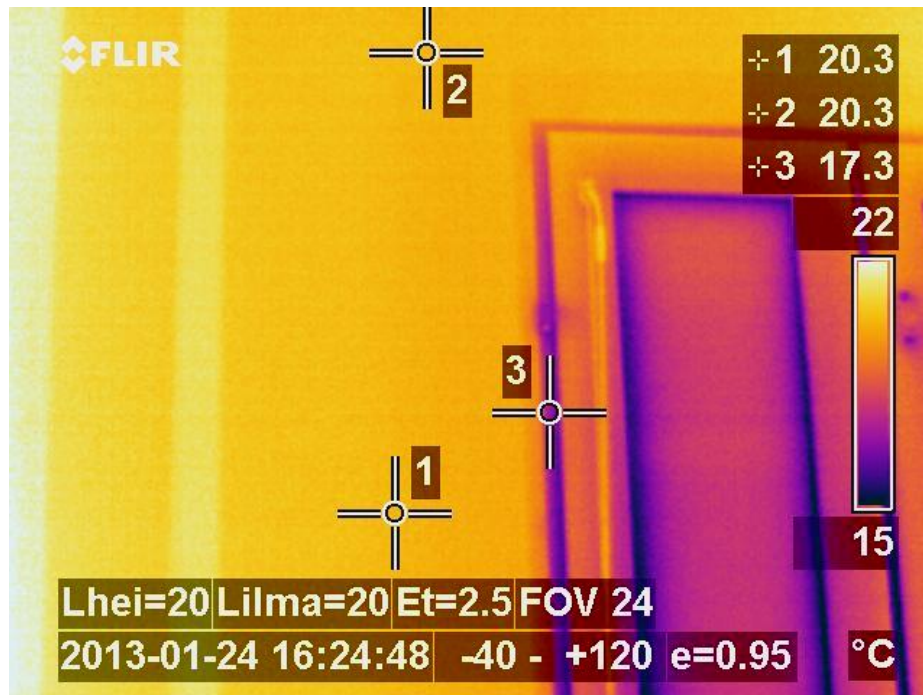
Taulukko 3. Rajalämpötiloja eri ulkoilman lämpötiloilla. (Paloniitty 2004, 59)

Ulkolämpötila [°C]	Sisälämpötila [°C]	Vian lämpötila [°C]	Indeksi
0	21	14,7	70
-5	21	13,2	70
-10	21	11,7	70
-15	21	10,2	70

4.2.1 Rakennetyypit US1, US2 ja US3

Rakennetyypit US1, US2 ja US3 ovat rakenteita joissa on eristeenä 160 mm uritettu mineraalivilla, EPS ja PUR. Kuvia otettiin sisältä ja ulkoa joka huoneesta 2-4 kuvaa, kuvia pyrittiin tarkastelemaan niin että selkeimmät lämpötilaerot ja mahdolliset virheet näkyisivät.

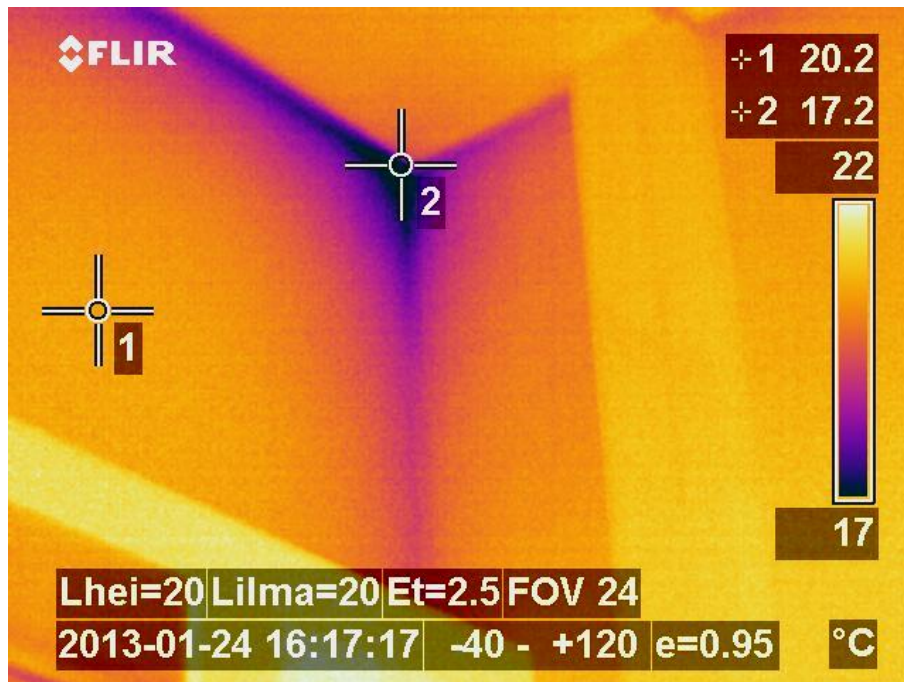
Sisäpuolelta otetuista kuvista voidaan todeta että seinärakenteet pitävät lämpöä normaalisti mitta-antureiden kohdilta, eikä ikkuna- tai ylä- ja alapohjaliitoksissa ole suuria lämpötilaeroja. Suurin ero huomattiin ikkuna liitoksessa, jonka lämpötila oli 3°C:ta alempi kuin seinän lämpötila (ks. kuvat 23 ja 24). Huoneiden nurkissa ja kahden suuremman luokkahuoneen keskellä olevien teräspilareiden ylä- ja alapohjien liitoksissa oli havaittavissa myös samansuuruisia eroja, kuin ikkuna liitoksissa, 2°C - 4°C:ta (ks. kuvat 25 ja 26).



Kuvio 23. Ikkunaliitoksen lämpökamera kuva, ulkoseinän rakennetyyppinä US1.



Kuvio 24. Lämpökamerakuvaa (Kuvio 23) vastaava normaalikuva.



Kuvio 25. Lämpökamerakuva huoneen ylänurkasta, ulkoseinän rakennetyyppinä US1.



Kuvio 26. Lämpökamerakuva, (Kuvio 25), vastaava normaalikuva.

Ulkopuolelta otetuista kuvista saadaan selville, että rakenteet toimivat myös ulkoa päin tarkasteltuna oikein. Vaaka- tai pystysaumoissa ei havaittu oikeastaan minkään-

laisia lämpötilaeroja, ainoastaan saumojen risteyskohdissa oli havaittavissa eroja. Nämä kohdat ovat juurikin huoneiden ylänurkat, joissa oli sisältä päin tarkasteltuna myös lämpötilaeroja (ks. kuviot 27 ja 28).

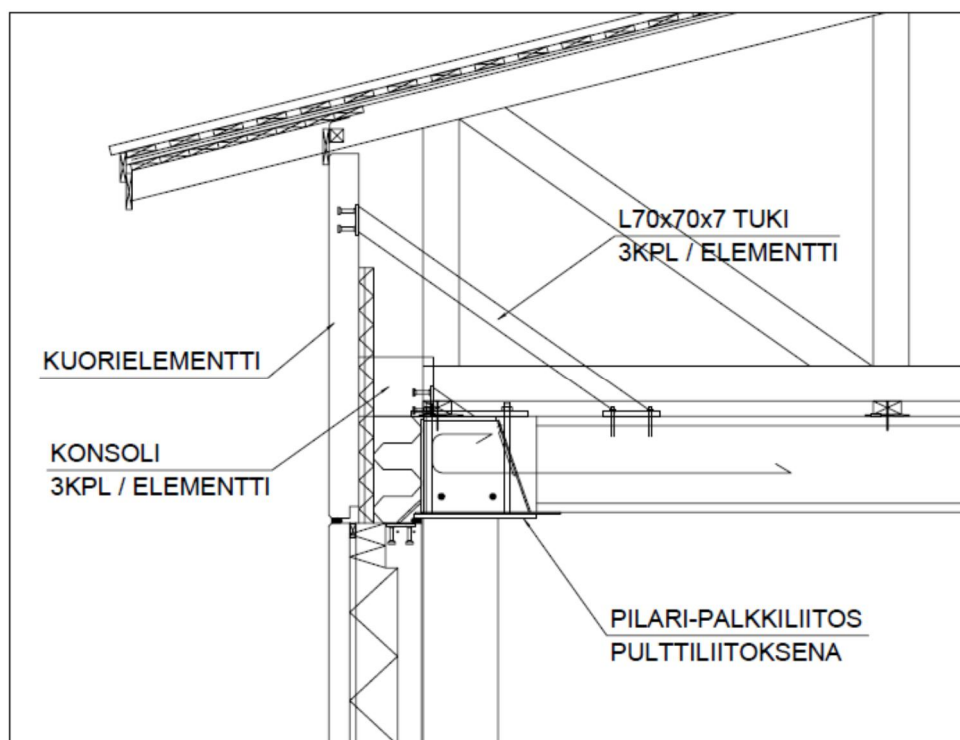


Kuvio 27. Lämpökamerakuva ulkoapäin rakennetyypistä US1.



Kuvio 28. Lämpökamerakuva (Kuvio 27) vastaava normaalikuva.

Kuviossa 27 oli havaittavissa yläpohjasauman yläpuolella tasaisin välein muuta ulko-kuorta noin 4 °C:ta lämpöisempiä kohtia. Nämä ovat kuorielementteihin sijoitettujen konsolien kautta muodostuvia kylmäsiltoja (ks. kuvio 29). Konsolit sijaitsevat rakennuksella sivuseinillä ja vastaavaa lämpötilaeroa ei päätyseinillä ollut havaittavissa.



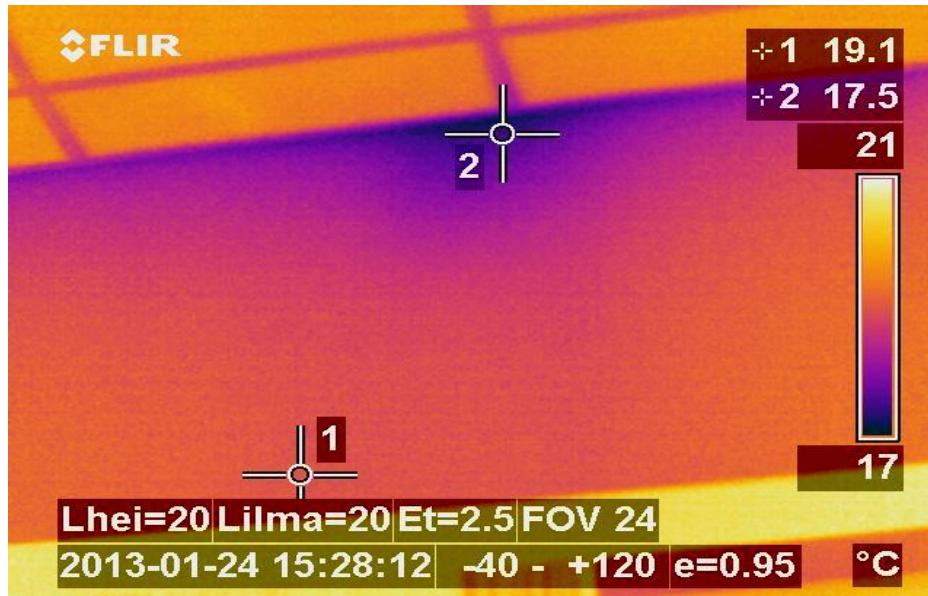
Kuvio 29. Kuorielementinliitos yläpohjaan.

Vertailtaessa näitä kolmea seinärakennetta (US1, US2 ja US3) ja niiden lämmöneristeitä, voidaan lämpökamerakuvien perusteella todeta että eristetyypillä ei ole suurta vaikutusta ulkokuoren lämpötilaan. Ulkokuoren lämpötila vaihteli miinus seitsemän ja miinus kahdeksan asteen välillä. Taulukon 3 mukaisia virhelämpötiloja ei kuvista ollut havaittavissa.

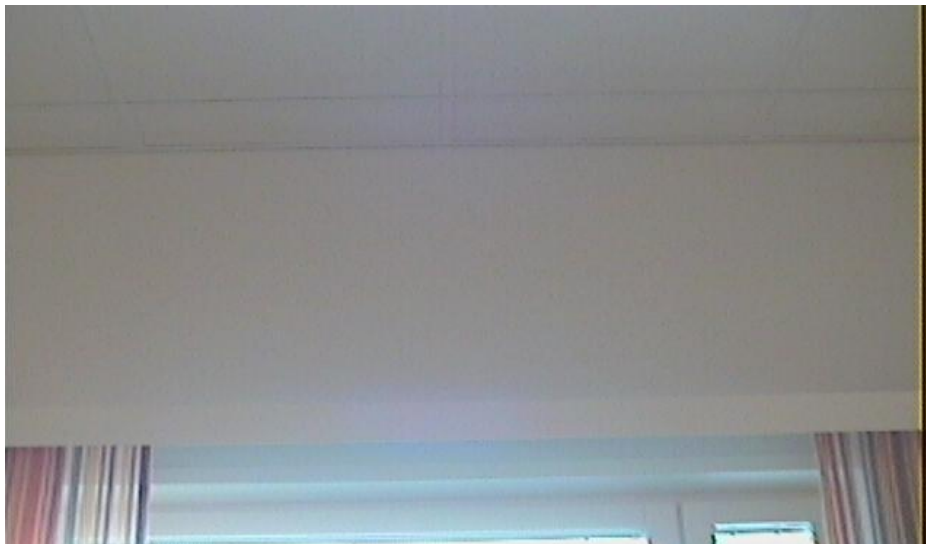
4.2.2 Rakennetyypit US4 ja US5

US4 ja US5 ovat rakenteita joissa eristeenä on 190 mm PUR ja uritettu EPS. Sisäpuolelta tarkasteltuna, kuvien perusteella rakenteissa ei ollut mitään ongelmia, suurimmat lämpötilaerot olivat samaisissa kohdissa kuin aikaisemmissa rakennetyypeissä.

Yläpohjaliitoksien kautta kulkeutuva kylmyys näkyi noin kahden asteen poikkeamana muuhun sisäkuoreen verrattuna (ks. kuviot 30 ja 31).

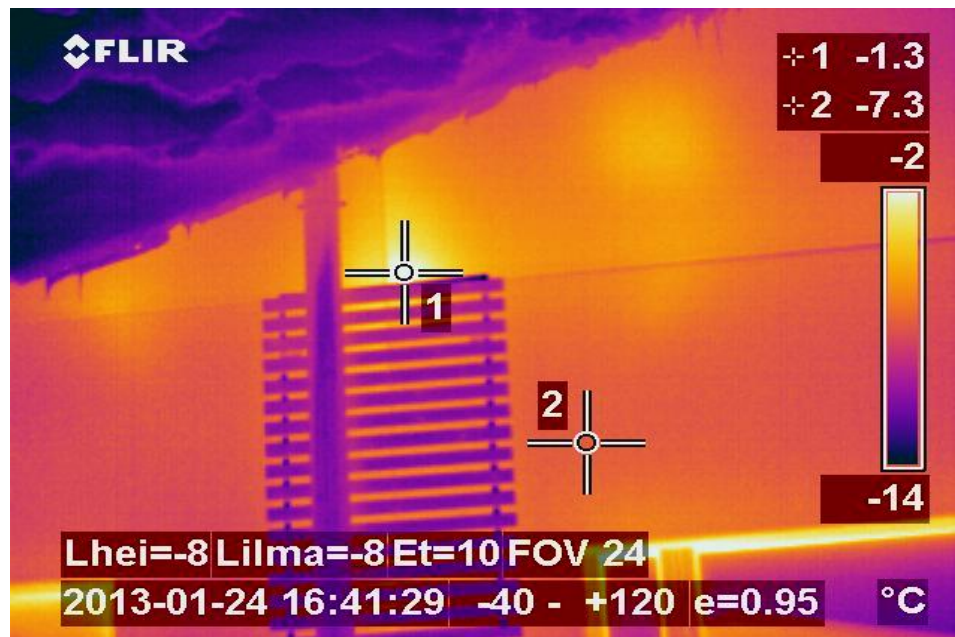


Kuvio 30. Lämpökamera kuva ulkoseinän ja yläpohjan liittymästä, rakennetyyppi US4.



Kuvio 31. Lämpökamerakuvaa (Kuvio 30) vastaava normaalikuva.

Ulkoa otetuista kuvista saadaan selville myös samoja asioita kun edeltävistä rakenteista. Herkimpiä kohtia lämpöhäviöille ovat elementtisaumojen risteyskohdat (ks. kuviot 32 ja 33), joissa oli jopa kuusi astetta lämpöisempiä kohtia, verrattuna elementin lämpötilaan yleisesti.



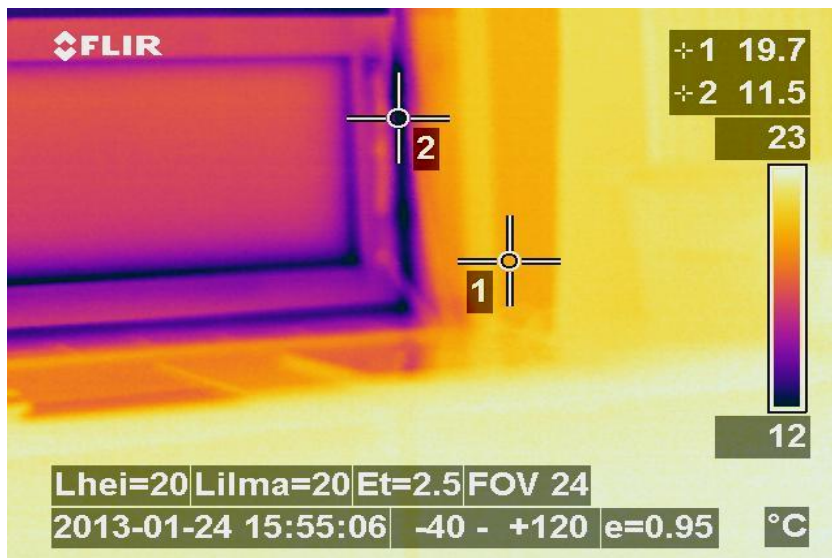
Kuvio 32. Lämpökamerakuva ulkoseinästä, rakennetyyppi US4.



Kuvio 33. Lämpökamerakuvaa (Kuvio 32) vastaava normaalikuva.

4.2.3 Rakennetyypit US6 ja US7

US6 ja US7 rakenteissa on 240 mm eristettä ja eristemateriaaleina on uritettu mineraalivilla ja EPS. Lämpökamerakuvien perusteella sisäkuori pysyisi hivenen lämpimämpänä verrattuna edeltäneisiin rakenteisiin joissa eristettä on vähemmän, myös teräspilareiden kautta johtuva lämpö jäi vähäisemmäksi. Toisaalta ikkunaliittymän lämpötila oli jopa 10°C:tta pienempi kuin muu sisäkuori (ks. kuviot 34 ja 35). Taulukon 3 mukaan rakenteessa voidaan sanoa olevan virhe.

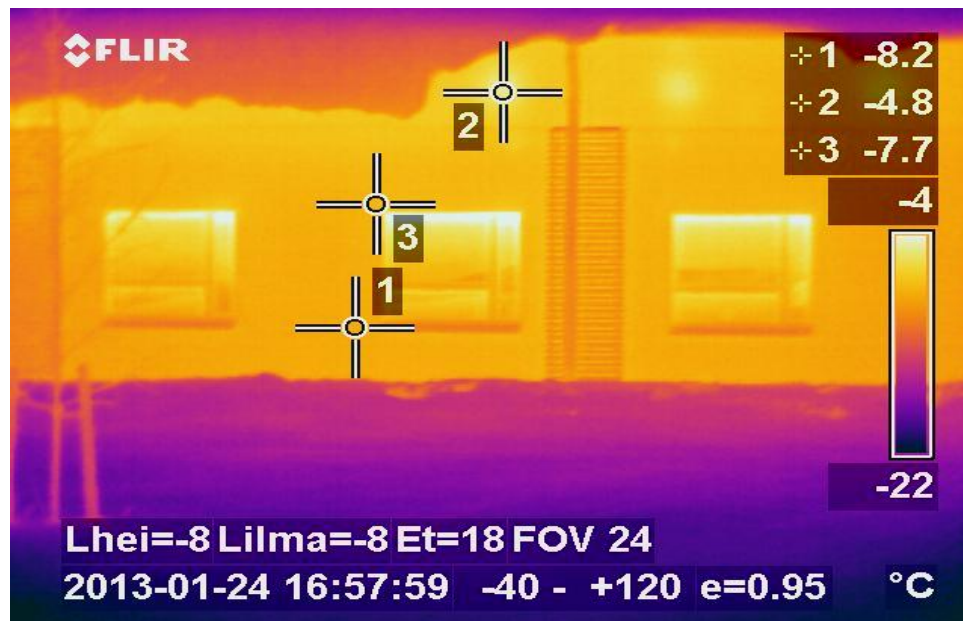


Kuvio 34. Lämpökamerakuva ikkunaliittymästä, rakennetyyppi US7.



Kuvio 35. Lämpökamerakuvaa (Kuvio 34) vastaava normaalikuva.

Ulkopuolta tarkasteltaessa elementtien risteyskohdat ja kuorielementtien konsolien kiinnitykset eivät johtaneet lämpöä ulkokuoreen yhtä voimakkaasti kuin edeltävät rakenteet, joissa eristettä on vähemmän (ks. kuviot 36 ja 37).



Kuvio 36. Lämpökamerakuva ulkoseinästä, rakennetyyppi US7.



Kuvio 37. Lämpökamerakuva (Kuvio 36) vastaava normaalikuva.

4.2.4 Rakennetyypit US8 ja US9

Kahden viimeisen tarkasteltavan rakennetyypin eristepaksuutena on 350 mm ja materiaaleina uritettu mineraalivilla ja EPS eriste. Lämpökamerakuvista voidaan todeta että sisäkuoren lämpötila pysyy samalla tasolla kun US6:lla ja US7:llä. Ainoa huomion arvoinen kohta oli ikkunaliittymässä (ks. kuvio 38). Liittymän lämpötila oli yli kymmenen astetta kylmempi kuin muu sisäkuori. Tässä on havaittavissa selkeä virhe taulukon 3 mukaan.



Kuvio 38. Lämpökamerakuva ikkunaliittymästä, rakennetyyppi US8.

Ulkokuoren (ks. kuvio 39) lämpötila oli hiukan korkeampi kuin muissa rakenneratkaisuissa, mutta näiden kahden eristeiden välillä ei eroja voitu havaita. Kuvassa näkyy myös ikkunaliittymän vuotokohta.



Kuvio 39. Lämpökamerakuva ulkoseinästä, rakennetyyppi US8.

5. MITTAUSTULOSTEN VERTAILU TEOREETTISIIN LASKELMIIN

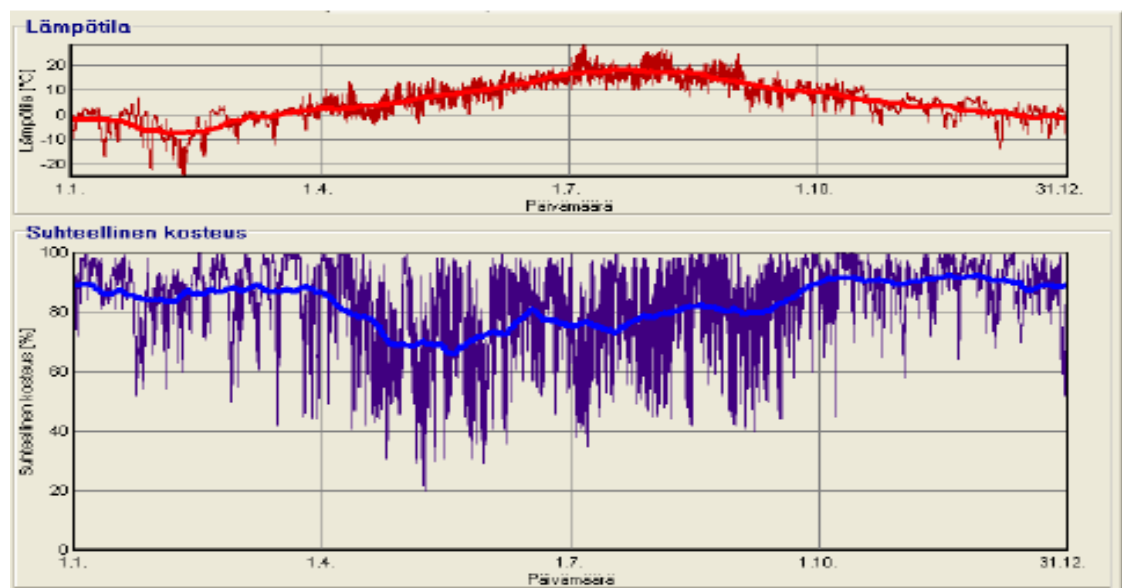
5.1 Yleistä

Ormiskangas on käyttänyt laskelmien tekoon WUFI- laskentaohjelmaa, jolla voidaan mallintaa rakenteita ja laskea niiden kosteus ja lämpötekniisiä ominaisuuksia. Ilmas-
toparametreina on käytetty ohjelman mukana tulleita VTT:n antamia Espoon ilmas-
ton mukaisia tilastoja, jotka ovat hyvin lähellä Saarijärven vastaavia tilastoja. Lasken-
ta on tehty 5 vuoden jaksolle ja koko rakenteen alkukosteus on asetettu 90 %. Las-
kenta ohjelma on ottanut huomioon auringon paisteen sekä viistosateen vaikutuk-
sen, niin että rakenne on suunnattuna kohti etelää. Tuuletuksen vaikutusta ei ole
huomioitu laskelmissa. (Ormiskangas 2009, 47)

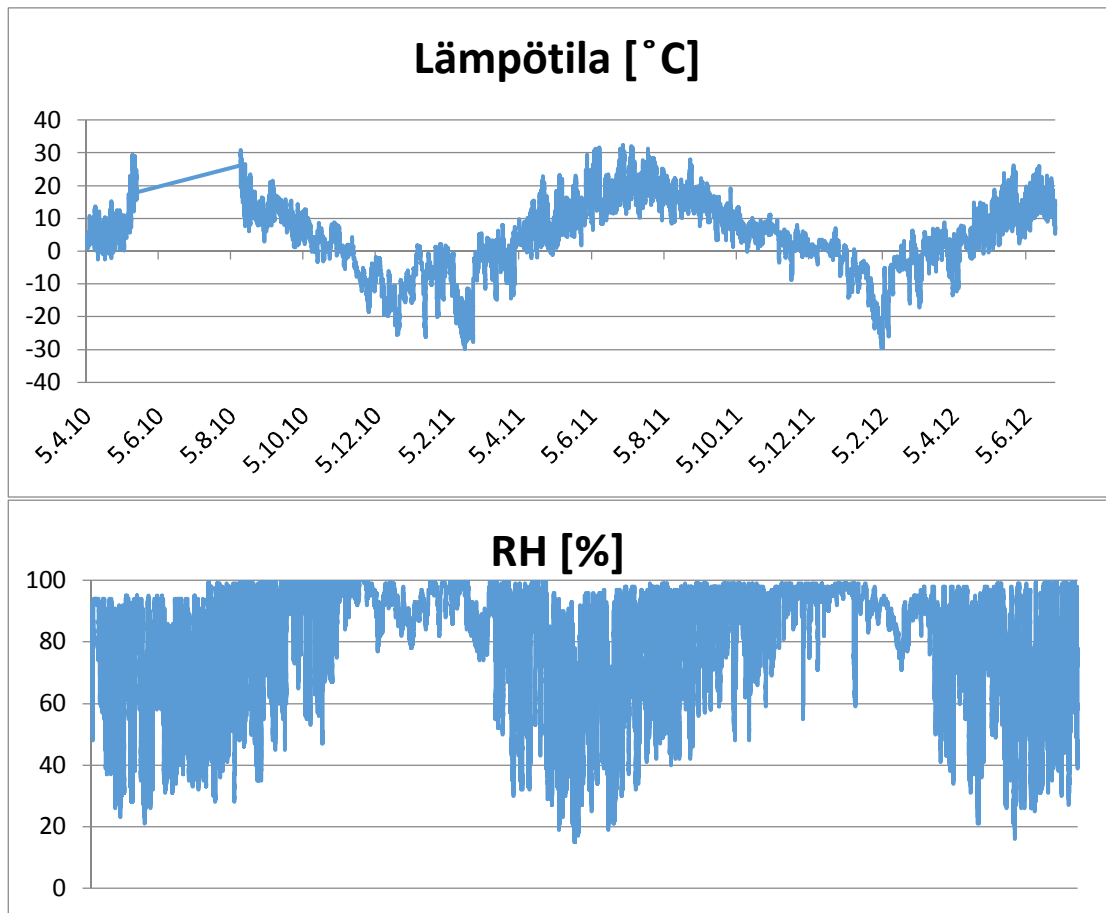
Mittaustulokset Saarijärveltä eivät ole aivan yhtä täsmälliset sillä ilmansuunta vaihte-
lee rakennetyypeittäin eivätkä ne näin ollen ole aivan samassa tilanteessa laskelmien
rakenteisiin verrattuna. Mittausdataa oli kerätty reilun kahden vuoden ajalta, kun

taas Ormiskangas oli laskenut viiden vuoden (1.10.2009-1.10.2014) ajanjakson. Näiden perusteella voidaan vertailla reilun kahden vuoden ikäisen rakenteen tilaa ja tehdä päätelmiä seinärakenteen kosteudesta tulevaisuudessa.

Kuviossa 40 on esitetty Ormiskankaan käyttämät Espoon ilmaston mukaiset arvot lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta vuoden ajalta. Kuviossa 41 on puolestaan Saarijärven koerakennuksen mittausjakson aikaiset lämpötilat ja suhteellisen kosteuden tulokset.



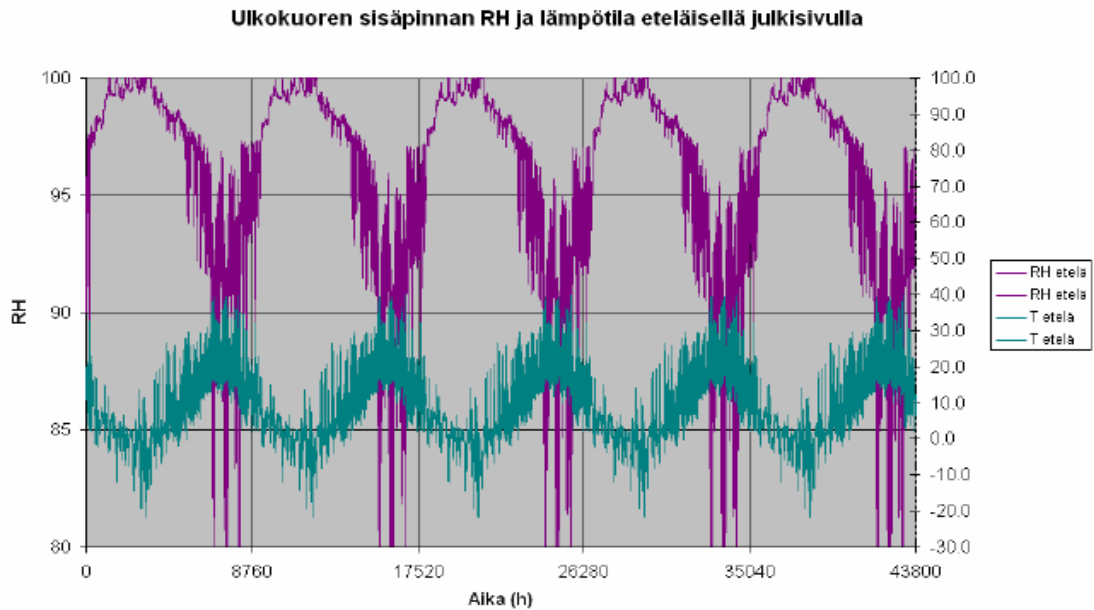
Kuvio 40. Ormiskankaan käyttämät ilmasto-olosuhteet Espoossa. (Ormiskangas 2009. 45)



Kuvio 41. Saarijärven ilmasto, laskenta jakson ajalta, 14.4.2010 - 29.6.2012.

5.2 US1

Rakennetyyppi US1 on vuoden 2007 lämmöneristysmääräysten mukainen rakenneratkaisu, jossa eristeenä on uritettu mineraalivilla. Laskentaohjelma ei ole ottanut huomioon tuuletusurien vaikutusta rakenteen kosteuspitoisuuksiin. Laskenta on suoritettu etelään päin suunnatulle julkisivulle, kun taas koerakennuksen vastaava seinärakenne on suunnattu kohti itää.

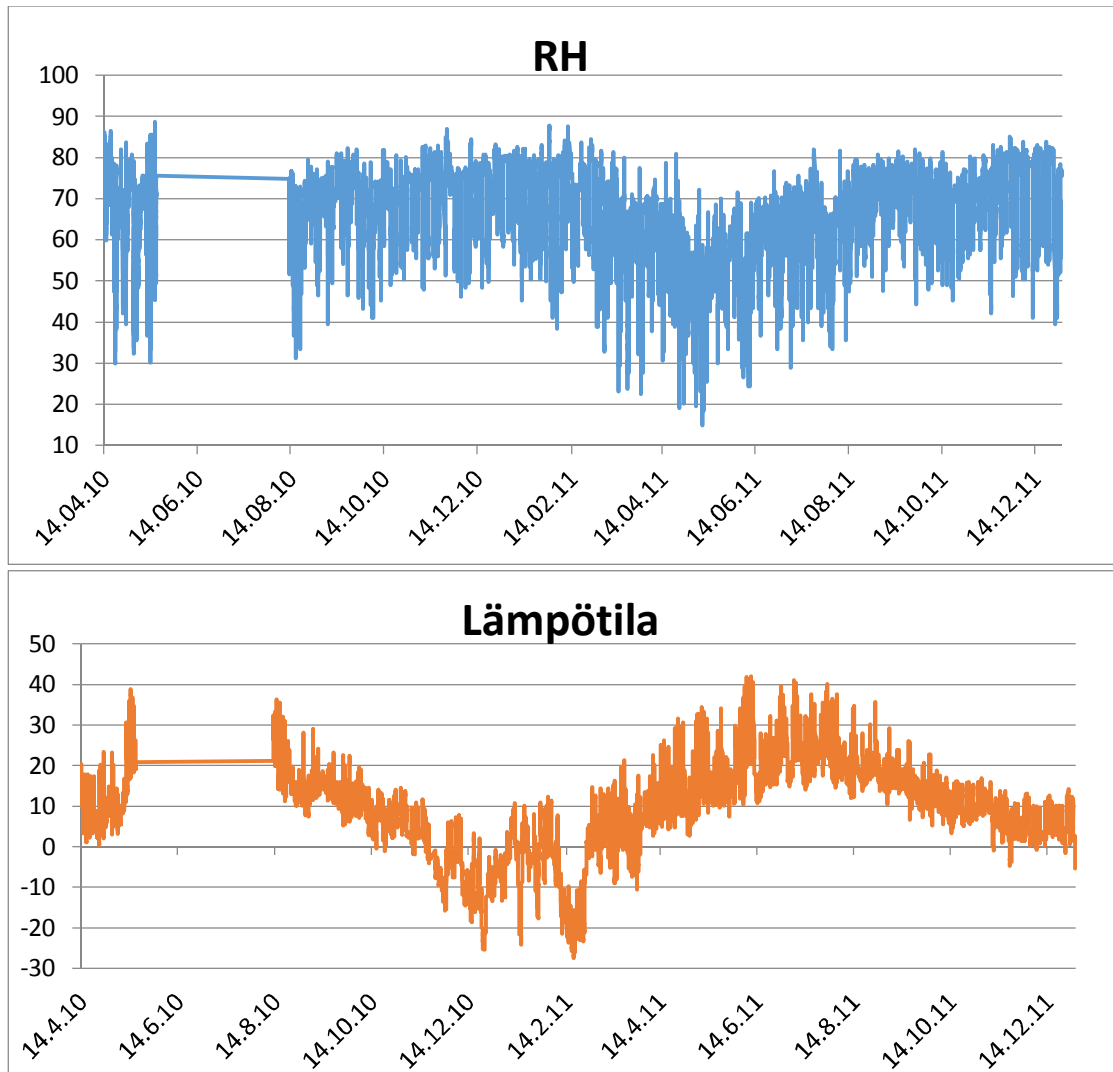


Kuvio 42. Petteri Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US1. (Ormiskangas 2009, 54)

Kuviossa 42 on Ormiskankaan lasketut RH- pitoisuudet sekä lämpötilat US1 rakennetyypille viiden vuoden ajanjaksolta alkaen 1.10.2009. Kuviossa 43 on koerakennuksen vastaavat tulokset aikaväliltä 14.4.2010 - 29.6.2012.

Lämpötilojen osalta laskelmat ja todellinen tilanne ovat hyvin lähellä toisiaan, eikä niissä ole huomattavia eroja, vaikka rakenteet ovat suunnattuna eri ilmansuuntiin. Laskelmissa alkukosteus on 90 %, joka on talven aikana noussut lähes 100 %:iin ja pysyy siellä talvesta toiseen. Alimmillaan suhteellinen kosteus on loppukesästä noin 80 %.

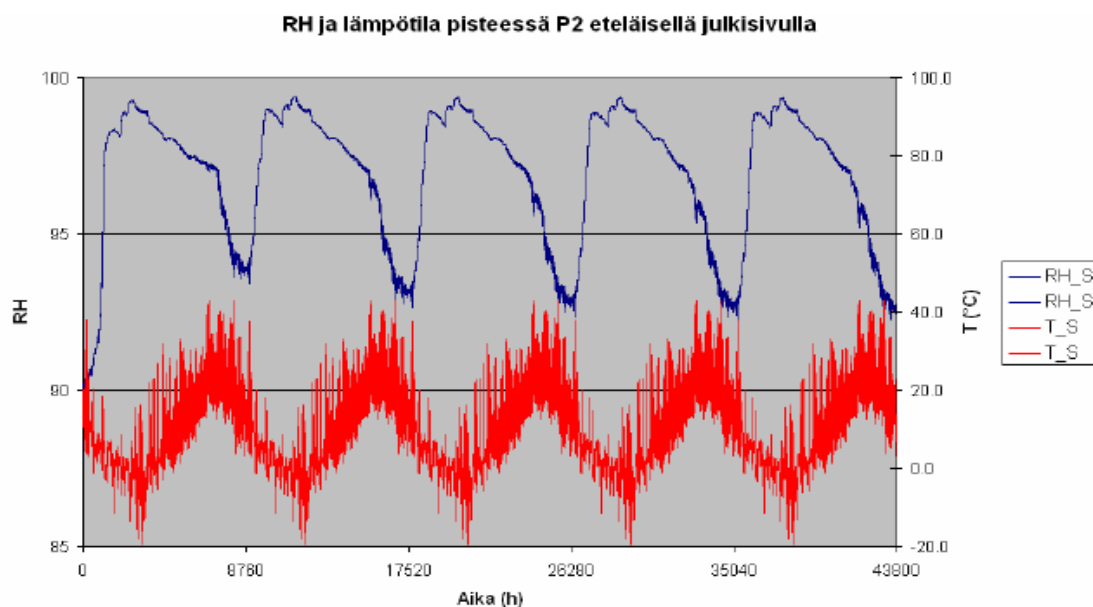
Kuvion 43 mukaiset Saarijärven mittaustulokset suhteellisen kosteuden osalta näyttäisivät talvikuukausien aikana olevan myös suurimmillaan, mutta jäävät 80 %:iin. Alimmillaan RH on alkukesästä noin 20 %, jonka jälkeen alkaa nouseva trendi kohti syksyä ja talvea. Laskelmissa suhteellisen kosteuden vuorokausivaihtelua näyttäisi esiintyvän kesä aikaan ja talvella tätä ei ole havaittavissa. Koerakennuksessa vuorokausivaihteluita näyttäisi esiintyvän ympärivuoden. Suurimmillaan vaihtelut ovat jopa 20 % vuorokaudessa. Kummissakaan tuloksissa ei ole havaittavissa maksimi arvojen laskua tarkastelujakson aikana.



Kuvio 43. Koerakennuksen rakennetyypin US1 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.

5.3 US2

Rakennetyyppi US2 on samanlainen rakenne kuin US1, mutta eristeenä on EPS, jossa ei ole tuuletusuria. Koerakennuksen rakenne on suunnattuna kohti pohjoista, eli juuri päin vastainen kuin Ormiskankaan laskelmissa.



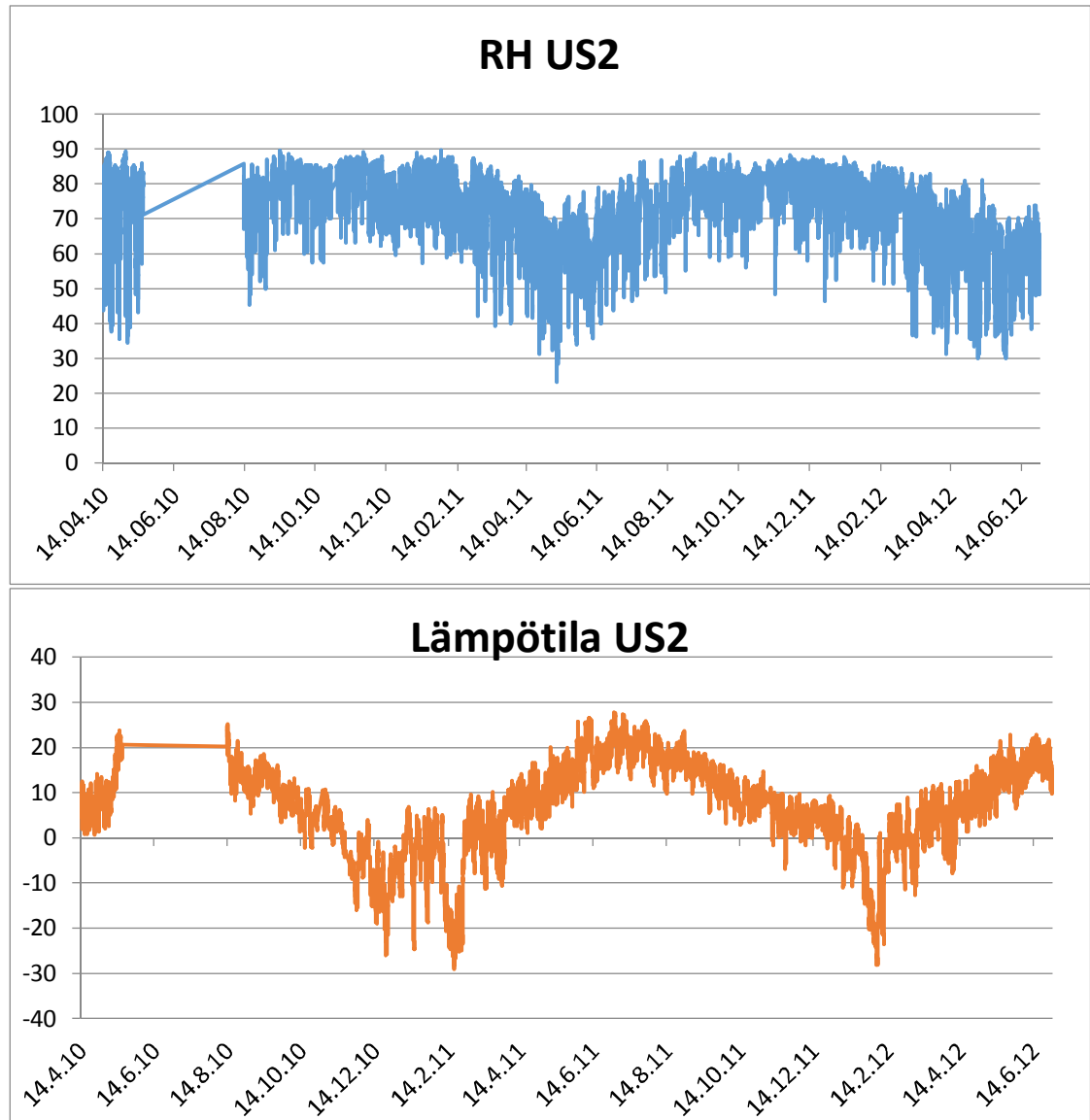
Kuvio 44. Petteri Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US2. (Ormiskangas 2009, 61)

Kuviossa 44 on Ormiskankaan lasketut RH pitoisuudet sekä lämpötilat US2 rakennetyypille viiden vuoden ajanjaksolta, alkaen 1.10.2009. Kuviossa 45 on koerakennuksen vastaavat tulokset aikaväliltä 14.4.2010 - 29.6.2012.

Lämpötiloissa on melko suuriakin eroja, sekä talven kylmän jakson kohdalla, että kesän lämpöisellä jaksolla. Talvella koerakennuksen lämpötilat ovat alimmillaan -15°C :tta, kun taas laskelmissa lämpötila käy -20°C :ssa. Kesän vastaavat arvot ovat koerakennukselle $+27^{\circ}\text{C}$:tta ja laskelmissa $+40^{\circ}\text{C}$:tta. Ilmansuunta voi osaltaan vaikuttaa korkeisiin lämpötiloihin, sillä koerakennuksen rakenne on suunnattu kohti pohjoista, eikä siihen näin ollen vaikuta auringon paiste kesäisin, kun taas laskelmien rakenne on eteläisellä julkisivulla.

Laskelmien suhteellinen kosteus on lähes yli 95 %:n koko tarkastelujakson ajan, kun taas koerakennuksen vastaavat arvot ovat maksimissa talvisin noin 90 %:ssa ja laskevat kesäisin 30 %:iin. Laskelmissa suhteellinen kosteus ei näyttäisi vaihtelevan päivittäin lähes lainkaan, kun vastaavasti koerakennuksen tuloksista pystyy havaitsemaan jopa 30 %:n vuorokausivaihteluita.

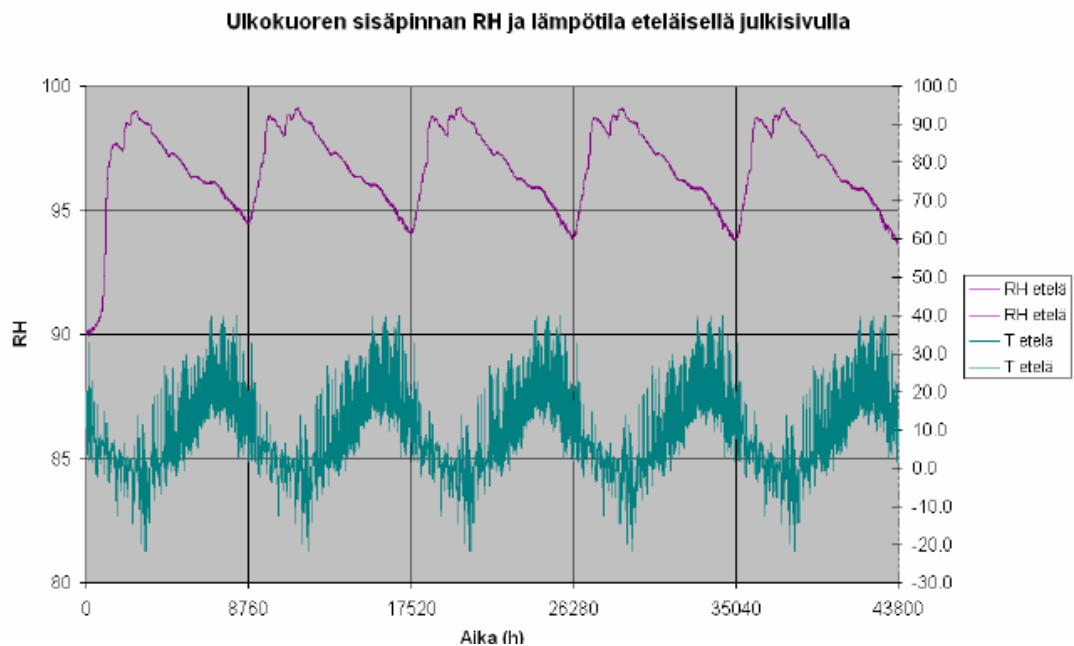
Ormiskankaan laskelmissa ei selkeää suhteellisen kosteuden maksimi arvojen laskua ole nähtävissä reilun kahden vuoden tarkastelu jakson aikana, kuten ei myöskään koerakennuksen tuloksissa.



Kuvio 45. Koerakennuksen rakennetyypin US2 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.

5.4 US3

Rakennetyyppi US3 on samanlainen rakenne kuin kaksi edellistä, mutta eristeenä on käytetty polyuretaania, PUR. Länteen päin suunnattuna oleva rakenne poikkeaa hie-
man Ormiskankaan etelään päin suunnatusta rakenteesta.

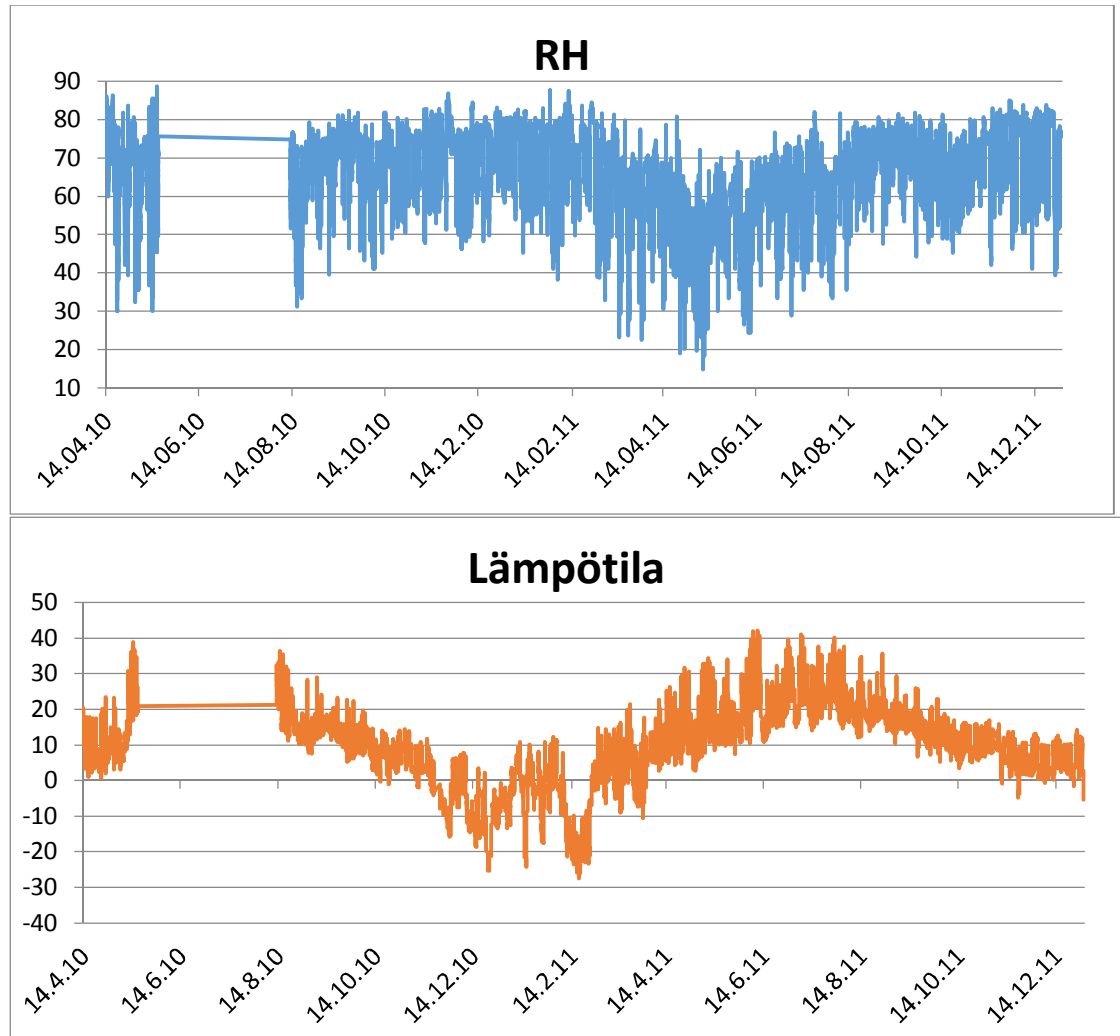


Kuvio 46. Petteri Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US3. (Ormiskangas 2009, 66)

Kuviossa 46 on Ormiskankaan lasketut RH- pitoisuudet sekä lämpötilat US3 rakennetyypille viiden vuoden ajanjaksolta, alkaen 1.10.2009. Kuviossa 47 on koerakennuksen vastaavat tulokset aikaväliltä 14.4.2010 - 29.6.2012.

Lämpötilat näyttäisivät edelleen olevan samankaltaiset molemmissa tuloksissa. Ormiskankaan laskelmissa suhteellinen kosteus näyttäisi noudattavan samaa kaavaa vuodesta toiseen, ollen suurimmillaan talvella lähellä 100 %:ia ja alimmillaan kesällä hieman alle 95 %:n. Koerakennuksen korkeimmat arvot ovat talvella 80 % ja alimmillaan kesällä 20 %. Laskelmissa ei suhteellisen kosteuden vuorokausivaihteluita ole havaittavissa juuri lainkaan, kun vastaavasti koerakennuksen tuloksista pystyy havait-

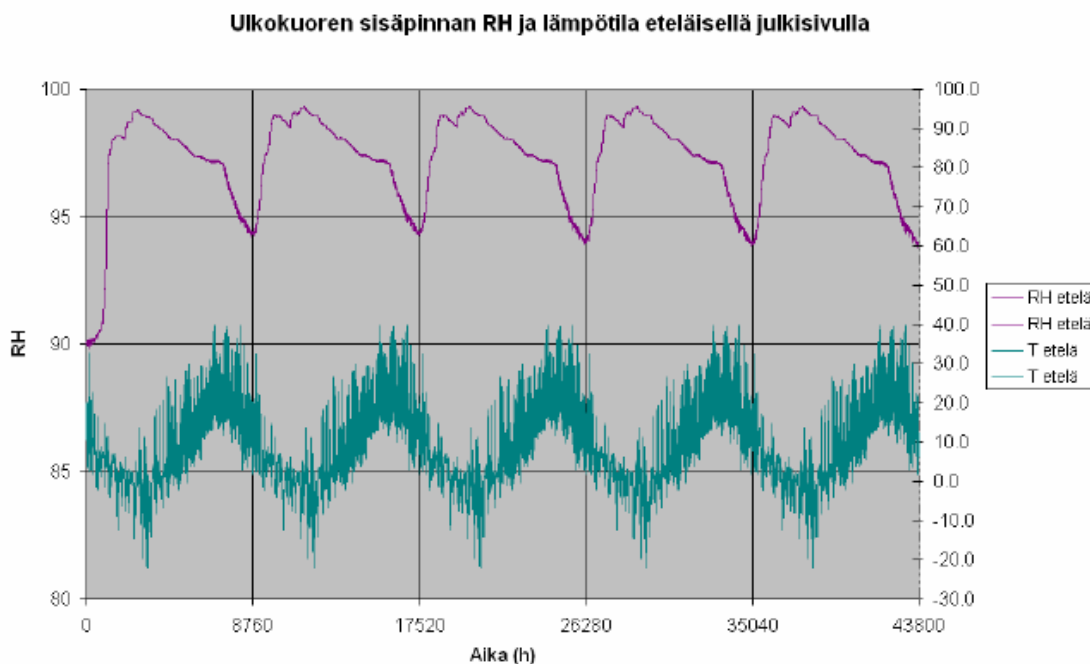
semaan suuriakin vaihteluita. Selkeää kosteuksien maksimiarvojen laskua ei kummisakaan tuloksissa ole havaittavissa puolentoista vuoden aikana.



Kuvio 47. Koerakennuksen rakennetyypin US3 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.

5.5 US4

Rakennetyyppi US4 on nykyiset lämmöneristemääräykset täyttävä rakenne, jossa on eristeenä tuulettumaton 190 mm PUR- eriste. Rakenne on suunnattuna kohti kaakkoa, eli hyvin lähellä Ormiskankaan laskelmien vastaavaa rakenteen ilmansuuntaa.

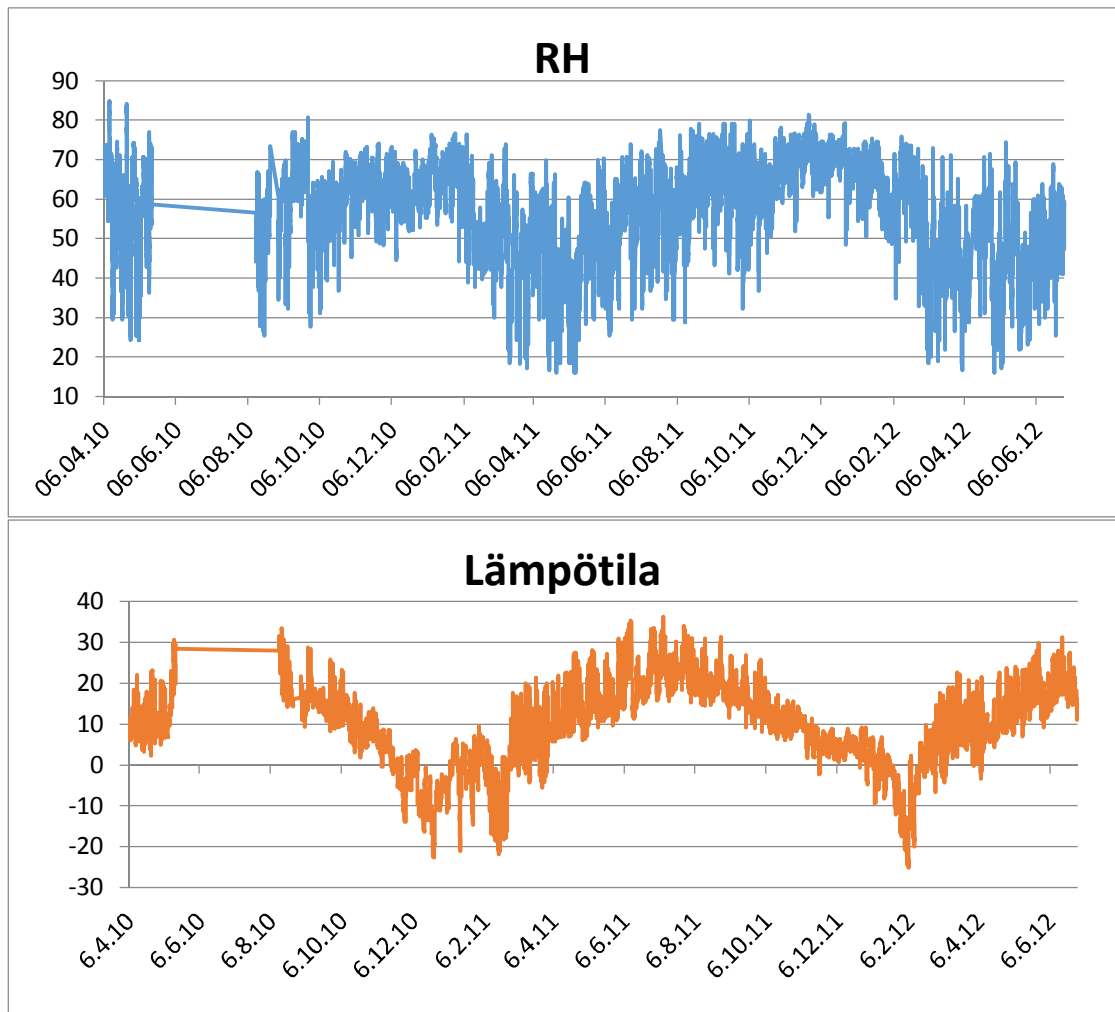


Kuvio 48. Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US4. (Ormiskangas 2009, 71)

Kuviossa 48 on Ormiskankaan lasketut RH- pitoisuudet sekä lämpötilat US4 rakennetyypille viiden vuoden ajanjaksolta, alkaen 1.10.2009. Kuviossa 49 on koerakennuksen vastaavat tulokset aikaväliltä 14.4.2010 - 29.6.2012.

Molempien tulosten lämpötilat noudattavat samaa sykliä vuodesta toiseen ja niiden vuorokausi vaihtelut ovat samantyyppiset. Ormiskankaan laskelmien suhteellinen kosteus pysyy 100 %:n ja hieman alle 95 %:n välissä vuodenajasta riippumatta, kuitenkin niin että korkeimmat arvot ovat talvella ja alimmat kesällä. Koerakennuksen vastaavat arvot ovat 80 % ja 20 %.

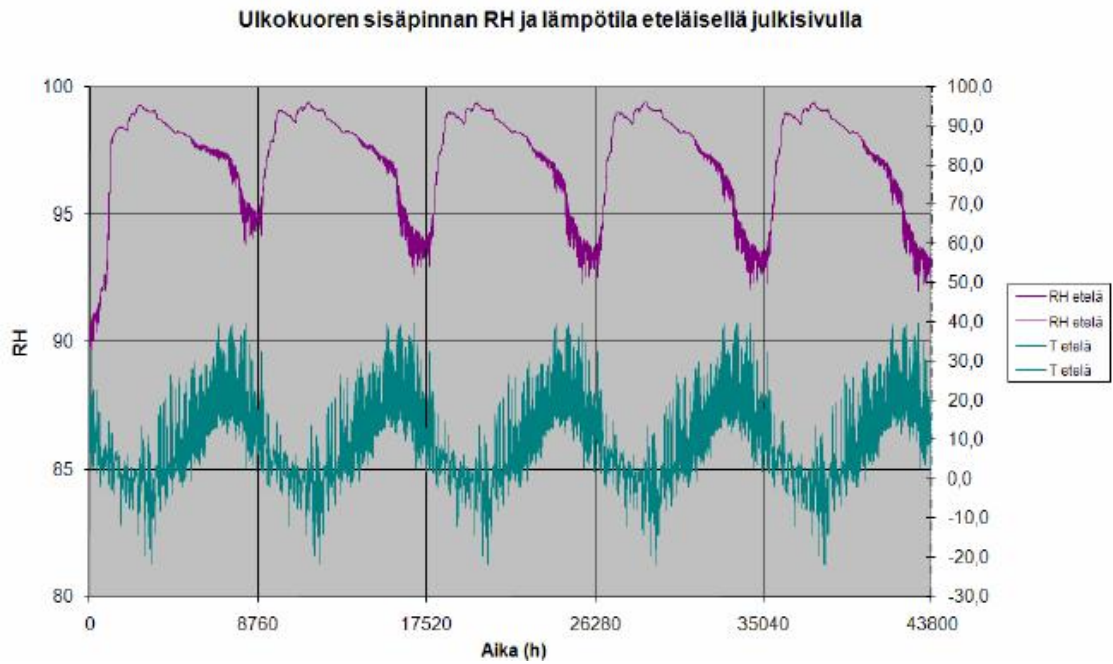
Vuorokausi vaihteluita ei Ormiskankaan laskelmissa näyttäisi esiintyvää juuri lainkaan, kun taas koerakennuksella ne ovat selvästi havaittavissa, talvella hieman pienempiä kuin kesällä ja syksyllä.



Kuvio 49. Koerakennuksen rakennetyypin US4 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.

5.6 US5

Rakennetyyppi US5 on samanlainen rakenne kuin US4, mutta eristeenä on tuuletusritetty EPS- eriste. Koerakennuksen rakenne on suunnattu kohti kaakkoa eli hyvin samanlainen tilanne kuin Ormiskankaan laskelmissa.

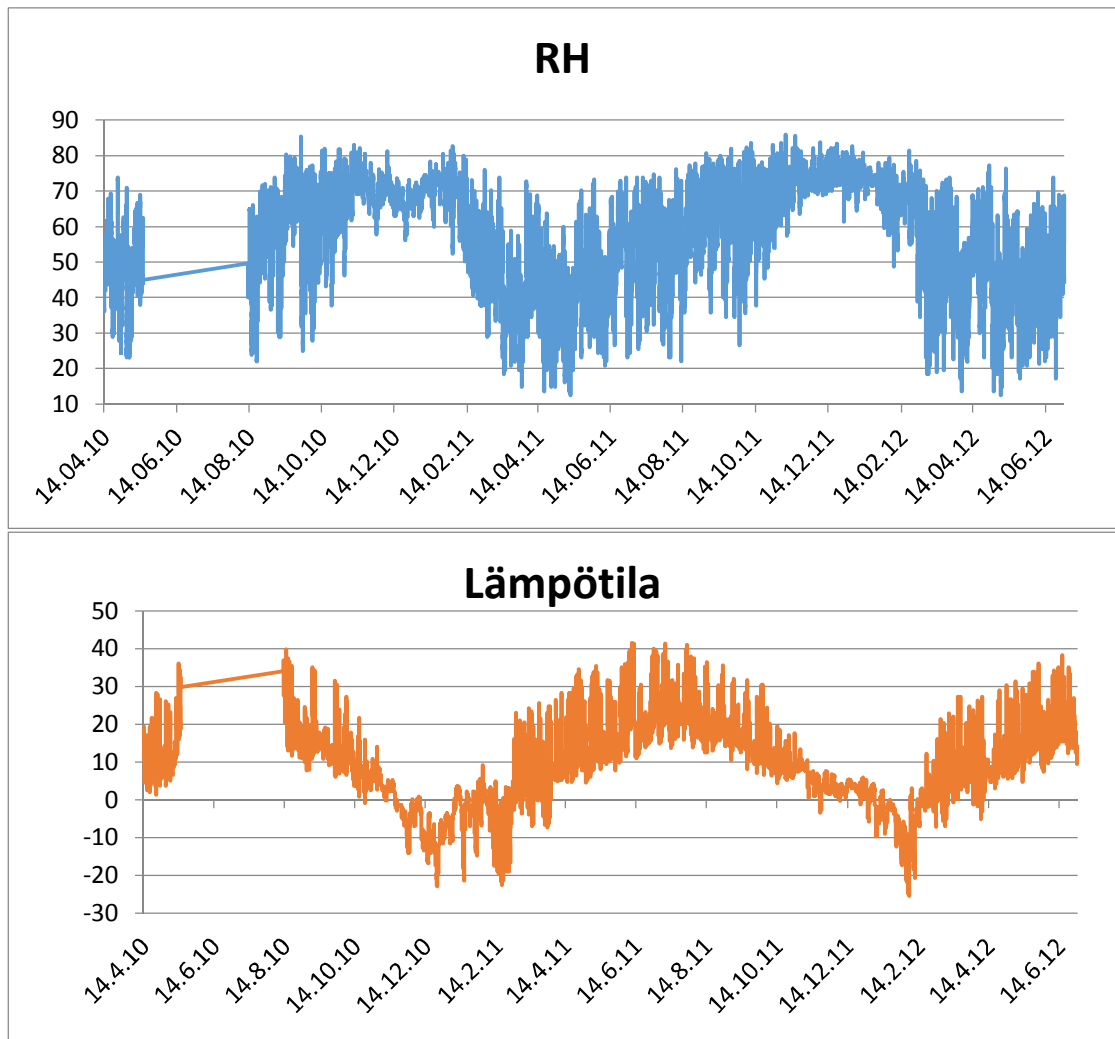


Kuvio 50. Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US5. (Ormiskangas 2009, 78)

Kuviossa 50 on Ormiskankaan lasketut RH pitoisuudet sekä lämpötilat US5 rakennetyypille viiden vuoden ajanjaksolta, alkaen 1.10.2009. Kuviossa 51 on koerakennuksen vastaavat tulokset aikaväliltä 14.4.2010 - 29.6.2012.

Lämpötila tulosten välillä ei eroja ole havaittavissa. Ormiskankaan laskelmissa suhteellinen kosteus on suurimmillaan talvella, ollen lähes 100 % ja pienimmillään loppukesästä, noin 93 %. Koerakennuksen vastaavat arvot ovat 80 %:n ja 15 %:n välissä, korkeimmat arvot talvella ja alimmat kesällä.

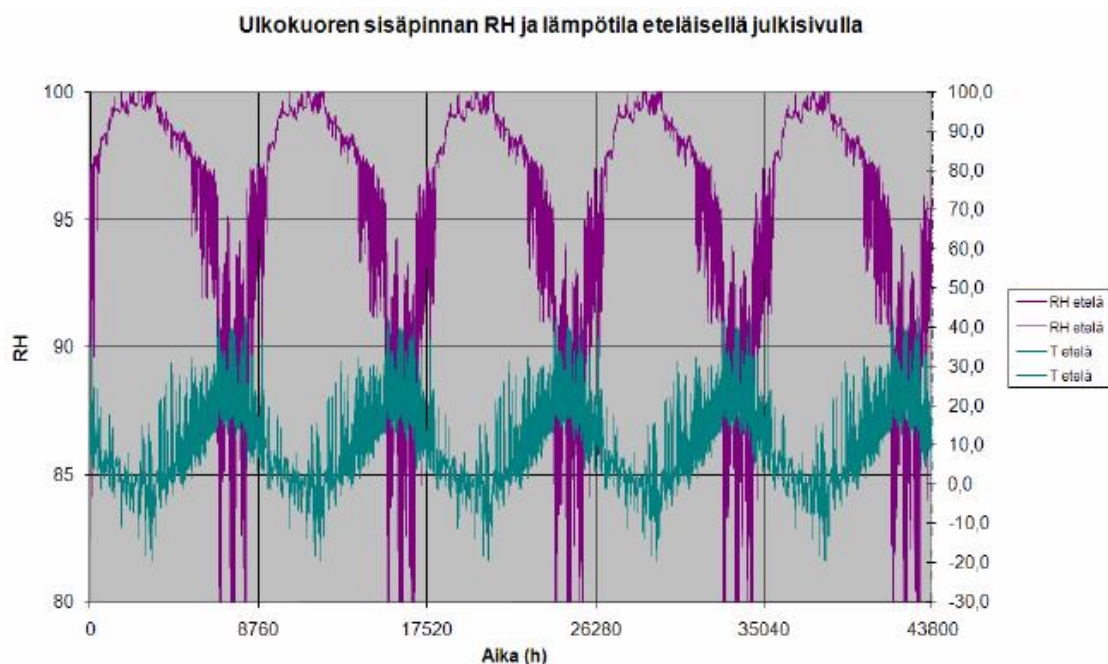
Ormiskankaan laskelmissa ei vuorokausivaihteluita ole havaittavissa kuin loppukesästä ja sielläkin ne jäävät hyvin pieniksi. Koerakennuksen tuloksissa vuorokausivaihtelut ovat suuremmat, ajoittuen myös kesäkuukausille, mutta myös talvella vaihtelua on havaittavissa.



Kuvio 51. Koerakennuksen rakennetyypin US5 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.

5.7 US6

US6 on 240 mm uritetulla mineraalivillalla eristetty rakenne joka täyttää tämän hetken lämmöneristemääräykset. Koerakennuksessa rakenne on suunnattu kohti luodetta, eli lähes päin vastainen kuin Ormiskankaan laskelmissa käyttämä etelään päin suunnattu rakenne.



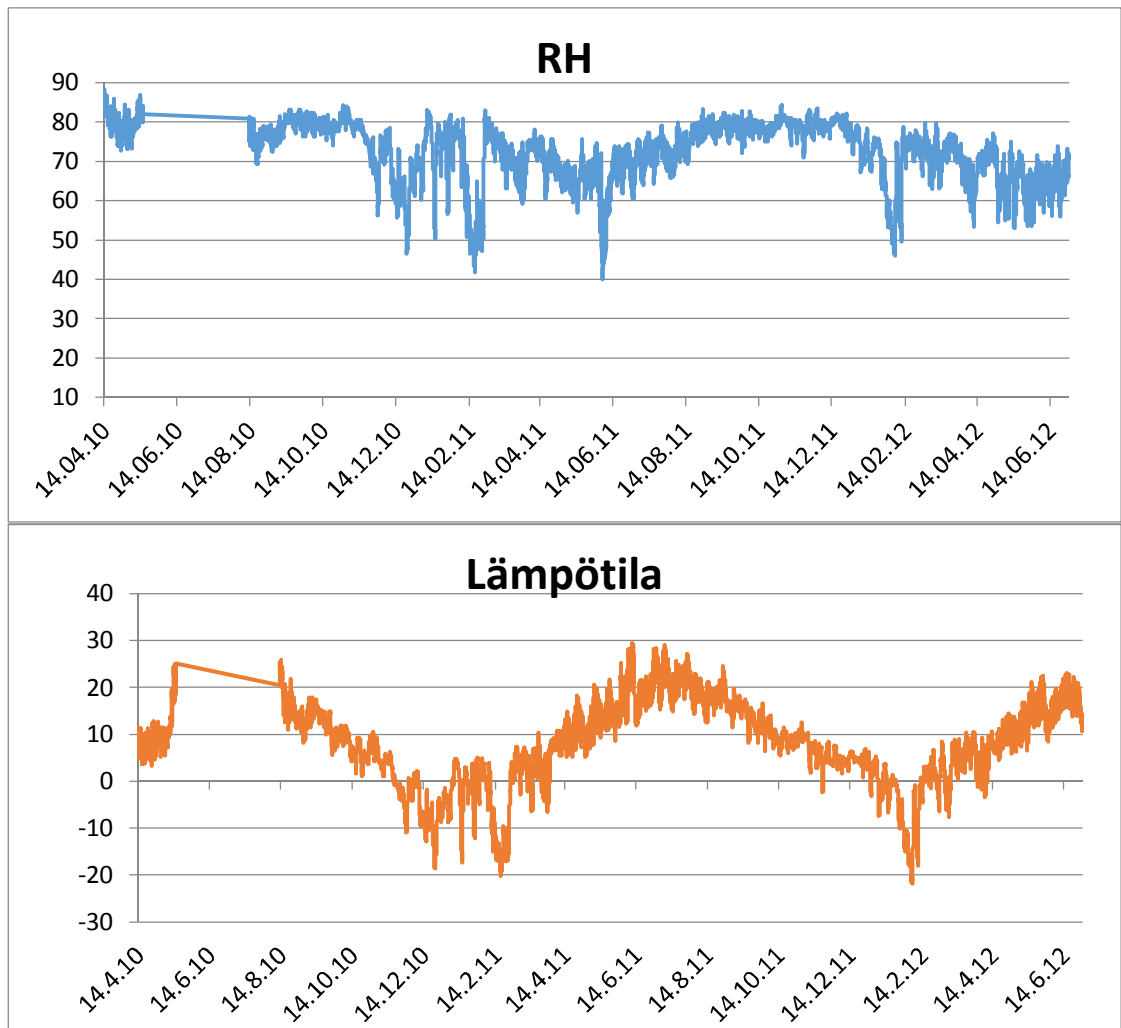
Kuvio 52. Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US6. (Ormiskangas 2009, 87)

Kuviossa 52 on Ormiskankaan lasketut RH- pitoisuudet sekä lämpötilat US6 rakennetyypille viiden vuoden ajanjaksolta, alkaen 1.10.2009. Kuviossa 53 on koerakennuksen vastaavat tulokset aikaväliltä 14.4.2010 - 29.6.2012.

Lämpötiloissa on havaittavissa korkeimpien tulosten osalta noin 10°C:een ero, niin että koerakennuksen tulokset ovat pienemmät kuin laskelmien. Tämän voi selittää ilman suunnan vaikutus. Laskelmissa aurinko lämmittämään seinää, kun taas koerakennuksen rakenne on suunnattu luoteeseen, johon auringon vaikutus on paljon pienempi.

Ormiskankaan laskelmissa suhteellinen kosteus vaihtelee talven 100 %:n ja loppukeksän noin 80 %:n välillä. Koerakennuksen vastaavat arvot ovat korkeimmillaan talvella reilussa 80 %:ssa ja alimmillaan kesällä 50 %.

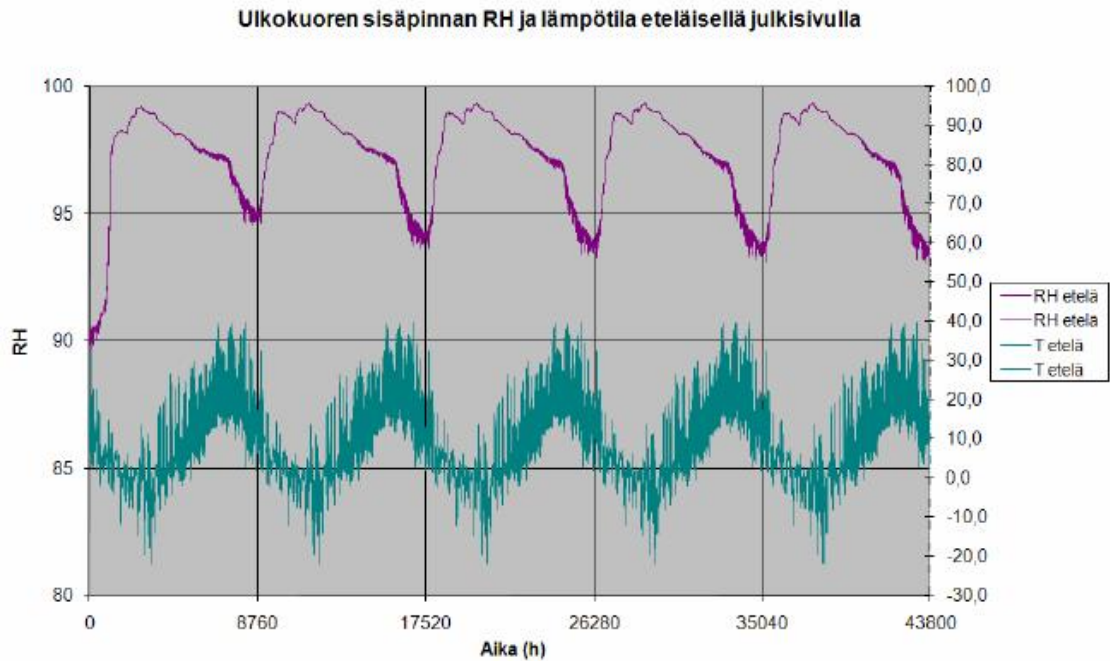
Vuorokausivaihteluita on havaittavissa molemmissa tuloksissa ja ne ajoittuvat pääsääntöisesti keväälle ja kesälle, talvella vaihtelut jäävät pienemmiksi. Molemmissa tuloksissa vaihtelut ovat vain noin 10 %:n luokkaa.



Kuvio 53. Koerakennuksen rakennetyypin US6 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.

5.8 US7

Rakennetyyppi US7 on 240 mm EPS- eristetty rakenne, joka täyttää tämän hetken lämmöneristysmääräykset. Koerakennuksessa rakenne on suunnattu kohti luodetta, eli lähes päinvastainen kuin Ormiskankaan laskelmissa käyttämä etelään päin suunnattu rakenne.

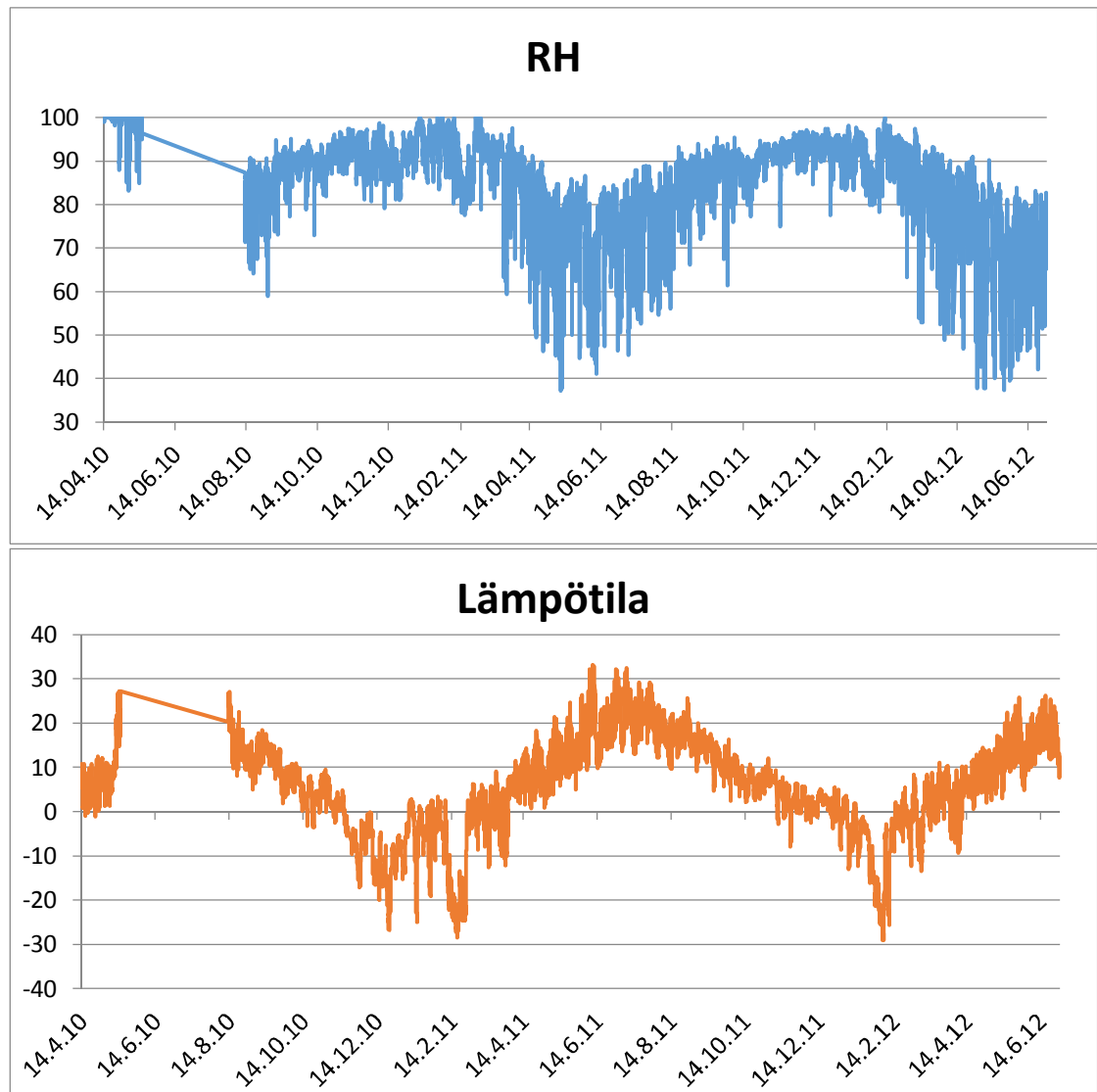


Kuvio 54. Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US7. (Ormiskangas 2009, 94)

Kuviossa 54 on Ormiskankaan lasketut RH- pitoisuudet sekä lämpötilat US7 rakennetyypille viiden vuoden ajanjaksolta, alkaen 1.10.2009. Kuviossa 55 on koerakennuksen vastaavat tulokset aikaväliltä 14.4.2010 - 29.6.2012.

Lämpötilat poikkeavat toisistaan korkeimpien lämpötilojen osalta. Koerakennuksessa ne ovat hieman yli $+30^{\circ}\text{C}$:tta ja laskelmissa $+40^{\circ}\text{C}$:tta. Tämä ero johtuu ilmansuunnasta, johon rakenteet ovat suunnattu, koerakennus kohti luodetta ja laskelmien vastaava kohti etelää.

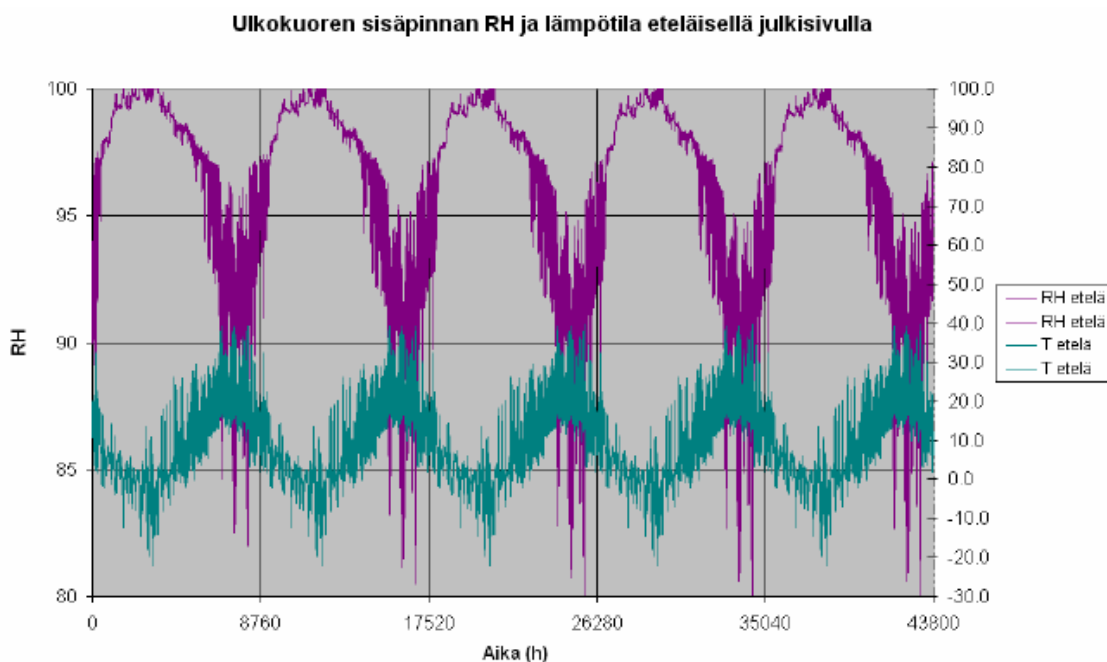
Ormiskankaan laskelmissa suhteellinen kosteus näyttäisin vaihtelevan talven 100 %:n ja kesän 93 %:n välillä. Koerakennuksen vastaavat arvot ovat talven 100 % ja kesäisin 40 %. Laskelmissa vuorokausivaihtelua ei ole havaittavissa, kun taas koerakennuksessa vaihtelut kesäkuukausina ovat jopa 40 %. Koerakennuksen maksikosteus on hiukan laskenut toisena talvena, eikä se tuolloin yllä aivan 100 %:iin.



Kuvio 55. Koerakennuksen rakennetyypin US7 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.

5.9 US8

Rakennetyyppi US8 on rakenneratkaisu, jossa on eristeenä 350 mm tuuletusuritettu mineraalivilla. Koerakennuksen rakenne on suunnattu kohti lounasta, eli lähes samaan suuntaan kuin Ormiskankaan laskelmissa käyttämä etelään päin suunnattu rakenne.



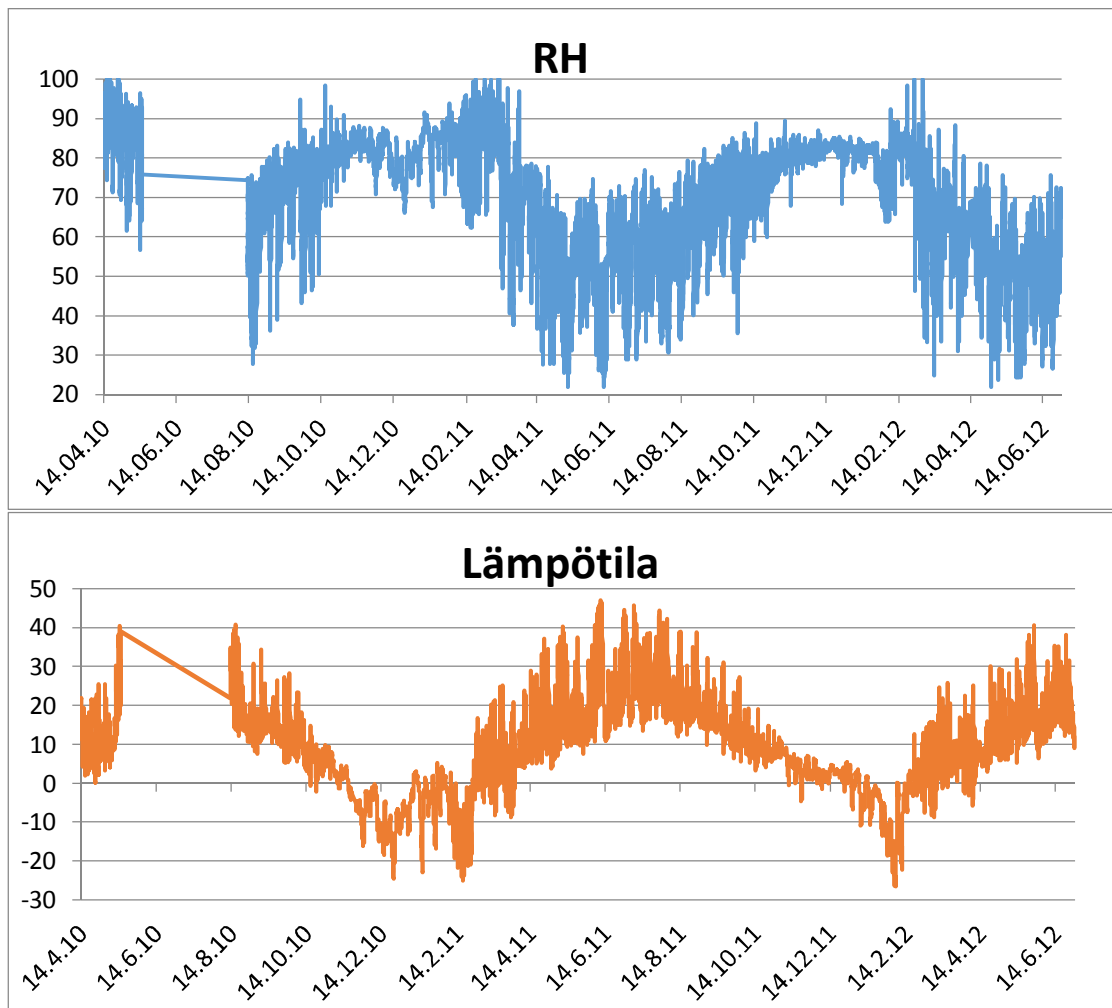
Kuvio 56. Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US8. (Ormiskangas 2009, 103)

Kuviossa 56 on Ormiskankaan lasketut RH pitoisuudet sekä lämpötilat US8 rakennetyypille viiden vuoden ajanjaksolta, alkaen 1.10.2009. Kuviossa 57 on koerakennuksen vastaavat tulokset aikaväliltä 14.4.2010 - 29.6.2012.

Lämpötilat näyttäisivät koerakennuksessa kohoavan kesällä $+45^{\circ}\text{C}$:een, ollen 15°C :tta ulkolämpötilaa (ks. kuvio 41) korkeampi, kun taas laskelmien lämpötilat kohoavat $+40^{\circ}\text{C}$:een, ollen 10°C :tta ulkolämpötilaa (ks. kuvio 40) korkeammat.

Ormiskankaan laskemissa suhteellinen kosteus näyttäisi vaihtelevan talven 100 %:n ja loppukesän hivenen alle 80 %:n välillä. Koerakennuksen vastaavat arvot näyttäisivät olevan alussa lähes 100 %, mutta ne tasoittuvat tarkastelujakson loppua kohden niin, että maksimiarvot jäävät 80 %:n tienoille. Alimmillaan koerakennuksen suhteellinen kosteus on kesäkuukausina 20 %.

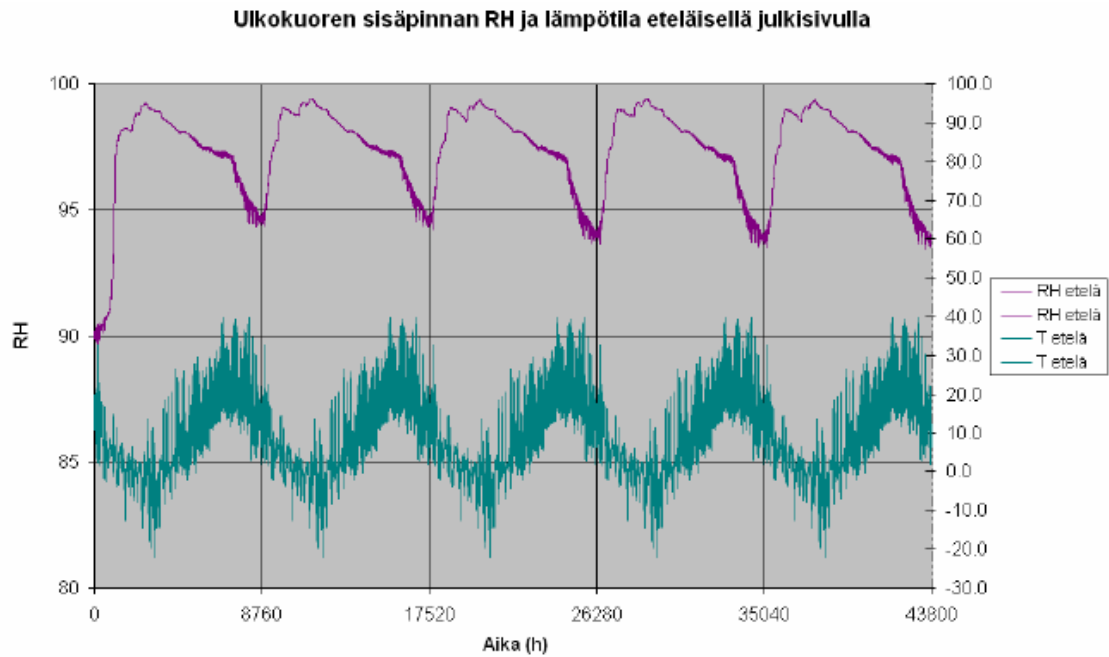
Vuorokausivaihteluita on havaittavissa molemmissa tuloksissa. Koerakennuksessa vaihteluita on lähes koko mittausjakson ajan, kun taas laskelmissa ne ajoittuvat vain kesäkuukausille. Koerakennuksen maksimi kosteudet näyttäisivät laskevan tarkastelujakson loppua kohti mentäessä.



Kuvio 57. Koerakennuksen rakennetyypin US8 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.

5.10 US9

Rakennetyyppi US9 on rakenneratkaisu, jossa on 350 mm tuulettumaton EPS- eriste. Koerakennuksen rakenne on suunnattu kohti lounasta. Tilanne on lähes sama kuin Ormiskankaan laskelmissa käyttämä etelään suunnattu rakenne.



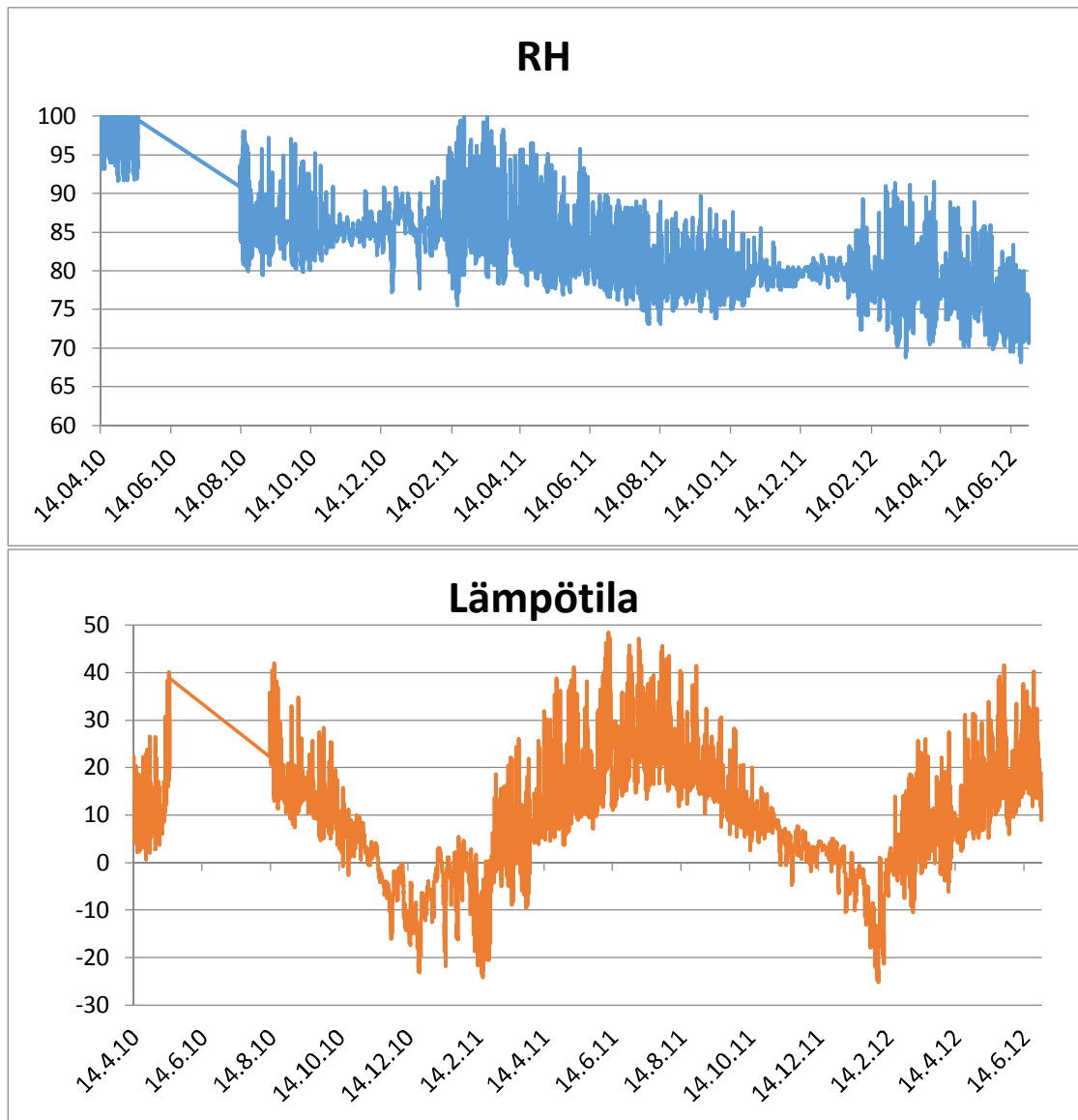
Kuvio 58. Ormiskankaan tekemien laskelmien mukainen ulkokuoren ja eristeen rajapinnan RH ja lämpötila rakennetyypissä US9. (Ormiskangas 2009, 109)

Kuviossa 58 on Ormiskankaan lasketut RH pitoisuudet sekä lämpötilat US9 rakennetyypille viiden vuoden ajanjaksolta, alkaen 1.10.2009. Kuviossa 59 on koerakennuksen vastaavat tulokset aikaväliltä 14.4.2010 - 29.6.2012.

Lämpötilojen osalta on havaittavissa pieniä eroavaisuuksia. Laskelmissa korkeimmat arvot ovat 10 °C:tta ulkolämpötilaa korkeammat, kun taas koerakennuksen vastaavat arvot ovat 15 °C:tta ulkolämpötilaa korkeammat.

Ormiskankaan laskelmissa suhteellinen kosteus pysyy talvisin lähes 100 %:ssa vuodesta toiseen ja alimmillaan käydään vain noin 93 %:ssa. Koerakennuksen arvot ovat nekin suuret mittausjakson alussa ja vielä vuoden päästä ollaan hyvin lähellä 100 %:ia. Mittausjakson lopussa alun suuri suhteellinen kosteus on laskenut 80 %:n tietämille.

Laskelmissa ei vuorokausivaihteluita ole havaittavissa, kun taas koerakennuksen tuloksista niitä voi havaita lähes koko jakson ajan, kevät- ja kesäkuukausina suurimmat. Kosteuden maksimi-arvot laskevat selvästi tarkastelujakson lopulla.



Kuvio 59. Koerakennuksen rakennetyypin US9 suhteellinen kosteus ja lämpötila eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa.

6. TULOKSET

6.1 Lämpökamerakuvaus

Lämpökamerakuvaus tarkoitusena oli todeta rakenteiden toimivuus ja näin ollen mittaustulosten paikkansa pitävyys. Ohessa tarkasteltiin myös elementtisaumojen sekä ikkunaliittymien lämmönpitävyyttä.

Mittaustuloksien kannalta lämpökamerakuviissa ei havaittu mitään ongelmia, jotka vaikuttaisivat mittaustuloksiin vääristävästi. Mitta-anturit sijaitsivat suhteellisen lähellä ikkunaliittymiä, joissa oli havaittavissa suuriakin lämpötilaeroja verrattuna muuhun seinärakenteeseen. Nämä lämpötilaerot jäivät ainoastaan ikkunaliittymään, eivätkä ne edenneet pidemmälle sisä- tai ulkokuorirakenteeseen. Näin ollen voidaan todeta että mittaustulokset ovat luotettavia ja rakenteet toimivat antureiden kohdalla moitteettomasti.

Lämpökamerakuvaus perusteella voidaan todeta, ettei eristemateriaalilla tai sen paksuudella ole merkitystä rakenteen sisä- tai ulkokuoren lämpötiloihin. Toisaalta havaintona tehtiin, että suuret eristemäärät vaikuttavat heikentävästi ikkunaliitosten lämmönpitävyyteen. Elementtien saumojen tarkasteltaessa voidaan todeta, että kriittisin kohta lämpöhäviöille on saumojen risteyskohdissa, joissa neljän elementin kulmat kohtaavat. Tämä huomattiin niin sisältä kuin ulkoakin päin tehdyistä kuvauksista. Havaintona tehtiin myös yläpohjaan kiinnitettävän kuorielementin konsolin kautta ulkokuoreen johtuvat lämpöhäviöt.

6.2 Rakennetyyppien vertailu ja mikrobikasvusto

Ulkokuoren ja eristeen rajapinnan suhteelliseen kosteuteen vaikuttaa rakenteessa käytettävä eristemateriaali ja sen paksuus. Eristevahvuutta kasvatettaessa suhteellisen kosteuden maksimit pysyvät suurempina kuin vähemmän eristettä omaavissa rakenteissa. Erityisesti suuret, yli 85 %:n suhteellisen kosteuden arvot, on havaittavissa paksuilla eristekerroksilla. Myös kesäjakson lämpötilat ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa ovat suuremmat, mitä enemmän eristettä rakenteessa on. Tässä kui-

tenkin huomattava vaikutus on ilmansuunnalla, johon rakenne on suunnattu. Eteläiset julkisivut lämpiävät kesäisin paljon enemmän, kuin vastaavat pohjoiset julkisivut.

Saman U-arvon omaavia rakenteita verrattaessa toisiinsa on huomattavissa että eristemateriaali vaikuttaa niin ulkokuoren ja eristeen rajapinnan kuin eristeen suhteellisen kosteuden vaihteluihin. Suuria eroja ei niinkään ollut suhteellisen kosteuden minimi- ja maksimi-arvoissa, vaan lähinnä RH- pitoisuuden vuorokausivaihteluissa. Yleisesti ottaen mineraalivilla eristeisten seinien suhteellisen kosteuden vuorokausivaihtelut eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa eivät ole yhtä suuria kuin vastaavissa EPS ja PUR rakenteissa. Samaisen huomion voi tehdä tuuletusurien osalta. Rakenteiden, joissa eristeessä on tuuletusurat, suhteellinen kosteus ei vaihtelee vuorokausitasolla yhtä paljon kuin rakenteilla joissa uritusta ei ole. Tämä havaittiin erityisesti talven aikana.

Eristetilan suhteellisten kosteuksien tuloksista voidaan todeta samoja havaintoja kuin ulkokuoren ja eristeen rajapinnasta. Mineraalivilla eristeisten rakenteiden suhteellisen kosteuden vuorokausivaihtelut olivat pienemmät kuin EPS tai PUR eristeillä. Huomioitavaa oli myös urituksen merkityksellä, tuuletettujen rakenteiden eristetilan suhteellisen kosteuden vuorokausivaihtelut olivat pienemmät kuin vastaavien ei tuuletettujen rakenteiden. Eristetilan suhteellinen kosteus kasvoi myös mitä enemmän eristettä rakenteessa oli.

Mikrobien ja homeiden kasvuun edellyttävien olosuhteiden kannalta paksumpi eriste luo paremmat olosuhteet kuin pienempi eriste vahvuus. Ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa suurilla eristepaksuuksilla on myös hyvin todennäköistä kosteuden tiivistyminen ensimmäisen talvikauden aikana. Eristetilassa ei havaittu mikrobeille otollisia olosuhteita tai mahdollisuutta kosteuden tiivistymiselle.

6.3 Mittaustuloksien ja laskelmien vertailu

Laskelmat ja koerakennuksen todelliset tulokset ovat yhden mukaiset niiden vuosisykliä osalta. Suurimmat suhteelliset kosteudet sijoittuvat talvikuukausille ja pienimmät arvot kesäkuukausille, eristemateriaaleista ja -vahvuuksista riippumatta. Laskelmissa suurimmat suhteellisen kosteuden arvot ovat hyvin lähellä 100 %:ia kaikilla

eristemateriaaleilla sekä -vahvuuksilla vuodesta toiseen. Koerakennuksessa suurimmat arvot vaihtelivat 80 %:n ja 100 %:n välillä. Laskelmissa suhteellinen kosteus laski ainoastaan mineraalivilla eristetyillä rakenteilla alle 80 %:n ja EPS ja PUR eristeillä kosteus pysyi noin 95 %:ssa koko laskenta jakson ajan. Koerakennuksessa suhteellinen kosteus laski jopa 20 %:iin, eristemateriaalista riippumatta.

Suhteellisen kosteuden vuorokausivaihteluissa on myös eroja. Laskelmissa vaihteluita on havaittavissa vain villaeristeisillä rakenteilla ja ne sijoittuvat kesäkuukausille. Kun puolestaan koerakennuksessa vaihteluita on kaikilla eristemateriaaleilla sekä kaikkina vuoden aikoina. Laskelmien vaihtelut villaeristeillä ovat noin 5-10 %:iin, kun koerakennuksessa vaihtelut ovat jopa 40 %:ia vuorokauden aikana.

Lämpötila tulosten osalta laskelmissa ei ollut havaittavissa vaihtelua eristemateriaalien tai paksuuksien osalta. Kesäisin lämpötila nousee noin 10 °C:tta ulkolämpötilaa korkeammaksi ja talvella lämpötila on hyvin lähellä ulkolämpötilaa. Koerakennuksessa on havaittavissa kesäisin lämpötilan vaihteluita eri rakenteiden välillä. Korkeimmat, lähes 50 °C:een lämpötilat olivat 350 mm eristepaksuuksilla. Lämpötiloihin näyttäisi vaikuttavan kuitenkin enemmän ilmansuunta, kuin itse seinärakenne. Nämä suurimmat lämpötilat olivat lounaisella julkisivulla, kun pohjoisen julkisivun korkeimmat lämpötilat jäivät 25 °C:een, eli hyvin lähelle ulkolämpötilaa. Talven alimpien lämpötilojen osalta ei yhtä selkeää eroa ole rakenteilla havaittavissa. Lämpötilat pysyvät hyvin lähellä ulkoilman lämpötiloja rakenteesta riippumatta.

Vaikkakin laskelmissa on otettu huomioon eri olosuhteet, kuten auringonpaisteen ja viistosateen vaikutus, poikkeavat laskelmat merkittävästi Saarijärven todellisesta tilanteesta. Näyttäisikin siis siltä että laskelmissa huomioimaton tuuletus sekä tuulen vaikutus ovat todellisuudessa hyvin merkittäviä tekijöitä rakenteen kosteuspuiteisuuden kannalta. Samoin voidaan todeta ilmansuunnan vaikutuksesta.

7. POHDINTA

Työn tarkoituksena oli saada konkreettista tietoa betonisandwich seinäelementtien lämpö- ja kosteusteknisestä toiminnasta käyttäen apuna Saarijärvellä sijaitsevan Jyväskylän ammattikorkeakoulun luonnonvarainstituutin koerakennuksen mittantureiden keräämiä tietoja. Mittausdatan tuloksia tuli tarkastella mikrobikasvuston kannalta ja vertailla saman U-arvon omaavia rakenteita keskenään. Mittausdataa verrattiin myös Petteri Ormiskankaan tekemiin laskelmiin. Kolmantena tehtävänä oli tehdä rakennukselle lämpökamerakuvaus ja tutkia kuvien perusteella rakenteiden toimivuutta.

Lämpökamerakuvaus perusteella ongelmia tuottivat eniten suuret eristepaksuudet, joiden ikkunaliittymien tiivistyksissä havaittiin puutteita. Seinärakenteiden eristemäärän kasvaessa tuleekin kiinnittää erityistä huomiota ikkuna- ja oviliittymien tiivistämiseen ja niiden suunnitteluun.

Eristemateriaalin vaihtuessa, mutta U- arvon pysyessä samana, rakenteen lämpötiloilla ei eroja havaittu eristeen ja ulkokuoren rajapinnassa. Eristepaksuuden kasvaessa oli huomattavissa lämpötilojen nousua kesäkuukausina. Tähän kuitenkin vaikuttaa ilmansuunta johon rakenne on suunnattu, eikä niinkään eristeen paksuus. Kyseiset rakenteet ovat eteläisellä julkisivulla, joten niille auringon lämmittävä vaikutus on muita julkisivuja suurempi. Talvikuukausina ei havaittu, että suurilla eristepaksuuksilla ulkokuoren ja eristeen rajapinta olisi kylmempi kuin pienemmillä eristepaksuuksilla.

Saman U- arvon omaavissa rakenteissa, joissa toisessa rakenteessa oli käytetty urittamatonta eristettä ja toisessa uritettua, huomattiin että uritetun eristeen suhteellinen kosteus ei vuorokausitasolla vaihdellut yhtä paljon kuin urittamattoman. Kosteuden maksimi-arvot pysyivät myös hieman pienempinä tuuletetuissa eristeissä. Eristetilan kosteuden vaihteluihin on siis tuuletuksella selvä vaikutus, tosin tässä työssä ei ole laskettu kosteusmääriä, joita mahdollinen tuuletus poistaisi rakenteista. Ulkokuoren ja eristeen rajapinnan kosteuksissa ei eroja ollut havaittavissa samojen

U- arvojen kesken. Eristepaksuuden kasvaessa rajapinnan kosteudet pysyivät hieman korkeampina. Toisaalta tämä voi johtua suuremmasta vesihöyrynvastuksesta tai tuloksien perusteella myös suuremmasta alkukosteudesta joka oli suurilla eristepaksuuksilla yleistä mittaustuloksissa.

Mikrobikasvustolle otollisia olosuhteita havaittiin, ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa, erityisesti paksuilla eristeillä. Lämpötilat olivat kesäisin suuremmat johtuen ilmansuunnasta ja suhteellinen kosteus pysyi korkeamana pitempiä aikoja kuin pienillä eristekerroksilla. Täytyy kuitenkin muistaa että käsiteltävänä olevat materiaalit vaikuttavat huomattavasti homeen kehittymiseen. Tässä työssä tarkastelluissa rakenteissa oli käytössä betoni, mineraalivilla sekä EPS ja polyuretaani jotka kuuluvat homeentumisherkkyysluokaltaan kohtalaisen kestäviin materiaaleihin, ja näin ollen vaativat melko suuria ja pitkäkestoisia RH- pitoisuuksia ja lämpötiloja. Huomattavaa on myös että juuri näillä suurilla eristepaksuuksilla rakenteen alkukosteudet olivat suurempia kuin muilla rakenteilla. Tähän ei selkeää selitystä löydetty. Elementtien valmistus- ja toimitusajat eivät toisistaan poikenneet, joka olisi voinut selittää suuret alkukosteudet. Yhtenä syynä voisi olla elementtien suojauksen puuttuminen, jossain vaiheessa ennen asennusta tai sen aikana. Voisi olla mahdollista etteivät paksut elementit ole ehtineet kuivua yhtä hyvin kuin ohuemmat. Näin ollen elementtien tulisi antaa kuivua pidempään ennen kuin ne toimitetaan työmaalle.

Laskelmia voidaan kritisoida suurista kosteuspitoisuuksista, sillä ne olivat jokaisessa rakenteessa toteutuneita mittaustuloksia huomattavasti suuremmat. Tosin tähän osaltaan vaikuttaa laskelmiin asetettu 90 %:n alkukosteus, mutta koerakennuksessa oli vastaavia tilanteita ja niiden tulokset laskivat mittausjakson loppua kohden huomattavasti. Laskelmien maksimiarvot eivät viiden vuoden aikana laske alle 95 %:n, kun ne koerakennuksessa laskevat reilun kahden vuoden aikana 90 %:iin tai sen alle. Myöskään kosteuden minimiä eivät laskelmissa laske lähelle todellisen tilanteen arvoja, jotka ovat rakenteesta riippumatta lähes aina 30 %:n tietämällä. Laskelmissa on otettu eri olosuhteet huomioon, kuten auringon vaikutus ja viistosateet sekä ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, tuuletuksen vaikutus on jätetty niistä kuitenkin huomioimatta. Tämä voi olla yksi selittävä tekijä, ettei kosteus pääse laskemaan yhtään enempää, eikä suuria vuorokausivaihteluita ole, kuten koerakennuksessa. Suuri ehkä jopa laskelmia osaltaan vääristävä tekijä on viistosateiden vaikutus,

jotka kastelevat rakenteen joka syksy. Todellisessa tilanteessa viistosateet eivät rakennetta näin paljon kastele, mikäli on huolehdittu että räystäät suojaavat rakennetta. Huomattavaa on myös, ettei laskelmista havaita eristekerroksen paksuudella olevan suurta merkitystä suhteelliseen kosteuteen. Koerakennuksessa eristekerroksen paksuntaminen piti suhteellisen kosteuden maksimit hieman suurempina. Laskelmissa mineraalivillaeriste on ainut eriste jolla havaittiin suurempia kosteuden muutoksia, kun taas todellisessa tilanteessa näitä havaitaan eristemateriaalista riippumatta.

Koerakennuksen mittaustuloksista voidaan hieman antaa arviota rakenteiden kosteuksista tulevaisuudessa. Mittausjakson aikana oli havaittavissa että elementit joiden alkukosteudet ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa olivat alle 85 %:n, eivät niiden maksimi kosteudet enää nouse tämän arvon yli seuraavina vuosina. Samainen havainto tehtiin eristetilan kosteuksista. Näillä ei havaittu myöskään maksimiarvojen laskua mittausjakson aikana. Rakenteet joilla oli suuret alkukosteudet, yli 90 %:ia, havaittiin selkeä laskeva trendi. Kosteudet laskivat niin ulkokuoren ja eristeen rajapinnassa kuin eristetilassakin kahden vuoden aikana normaaleihin arvoihin. Viiden vuoden päästä, jonka Ormiskangas oli myös laskenut, rakenteiden kosteudet ovat todennäköisesti hyvin lähellä samoja arvoja, kuin ne olivat tässä käsiteltyjen tulosten lopussa. Suurta laskua ei ole enää tulossa, vaan maksimi kosteudet tasoittuvat viimeistään kolmantena vuonna 80-85 %:n tienoille, ellei mitään ulkoisia ongelmia esiinny.

Lähteet

Björkholtz, D. 1997. LÄMPÖ JA KOSTEUS RAKENNUSFYSIIKKA. 2. p. Helsinki: Rakennustieto Oy

Immonen, S. 2013. Saarijärven luonnonvarainstituutin rakennuksesta. Sähköpostiviesti 11.4.2013. Vastaanottaja M. Pälvä

Ormiskangas, P. 2009. Betonisandwich- elementin kosteustekninen toiminta paksuilla eristeillä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Paloniitty, S. 2004. Rakennuksen lämpökuvaus. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu

RIL 205-2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

Siiskonen, V. 2013. Ilmastotilastoja. Sähköpostiviesti 14.2.2013. Vastaanottaja M. Pälvä.