

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

Jani Sirainen

PIENTALON ULKOSEINIEN SANEERAUS

Opinnäytetyö

Toukokuu 2015



OPINNÄYTETYÖ

Huhtikuu 2015

Rakennustekniikka

Tikkarinne 9

80220 JOENSUU

Tekijä(t)

Jani Sirainen

Nimeke

Pientalon ulkoseinä saneeraus

Toimeksiantaja

Yksityinen henkilö

Tiivistelmä

Opinnäytetyö aiheena oli tutustua vuonna 1994 valmistuneeseen pientalon seinärakenteisiin, rakenteista syntyneisiin ongelmiin sekä korjausmenetelmiin. Työn tavoitteena oli esitellä korjausmenetelmät ja työvaiheet sekä tutkia energiatehokasta, toimivaa ratkaisua rakenteellisesti ja työntoteutuksen kannalta.

Rakennuksen alustavassa tutkimuksessa selvisi ulkoseinän tarkastelussa silmämääräisesti ulkovuorilaudituksen pintaan syntynyt mikrobikasvusto. Mikrobikasvusto oli ensisijainen syy joka johti rakennuksen seinärakenteen tarkempaan tutkimukseen. Rakenteita purkamatta selvisi ilmaraon puuttuminen ulkovuorilaudan ja tuulensuojalevyn välistä. Seinärakenteen syvämpi tarkastelu osoitti ilmansulkupaperin puuttumisen seinärakenteesta.

Korjaussuunnitelman lähtökohtana olivat nykyiset rakennusmääräykset ja niiden soveltaminen kyseiseen kohteeseen. Korjaussuunnitelmassa päätettiin selvittää seinärakenne kaikilta ulkoseiniltä.

Rakennuksen siniensaneeraus toteutettiin ulkopinnankautta. Tarkoituksena oli minimoida asukkaille syntynyt haitta rakennustyöstä. Rakennus pysyi asuinkelpoisena koko saneerauksen ajan.

Kieli

suomi

Sivuja 36

Asiasanat

Saneeraus, ulkoseinärakenne, mikrobikasvusto.



THESIS

April 2015

Degree programme in Civil Engineering

Tikkarinne 9

80220 JOENSUU

Author (s)

Jani Sirainen

Title

Exterior Wall Renovation

Commissioned by

Private Person

Abstract

The subject of this thesis was to explore the exterior wall and siding structures in a small detached house built in 1994 as well as the problems arisen from the structures and the procedures of repairing them. The aim of this thesis was to present repairing procedures and stages, explore energy efficient and functional solutions both structurally and execution-wise. In the preliminary inspection of the house some microorganism were discovered on the surface of the exterior wall structures. The microorganism was the primary reason that led to more detailed inspection of the wall structures. Without having to demolish any structures, it was discovered that there was no air gap between the exterior siding structures and the insulation board. More profound inspection revealed that vapor barrier was missing altogether.

The bases of the repair plan were the current construction regulations and applying them in this project. It was decided to examine all the exterior wall structures in the repair plan, the renovation work of the exterior walls was executed from the outside. The purpose was to cause as little harm to the residents as possible. Hence the building remained suitable for living throughout the renovation.

Language

Finnish

Pages 36

Appendices 0

Keywords

Renovation, Exterior wall, Microorganism.

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Saneerattava rakennus ja mikrobit.....	6
2.1	Rakennuksen esittely ja historia	6
2.2	Vanha seinärakenne.....	7
2.2.1	Rakentamismenetelmä	8
3	Uuden seinärakenteen suunnittelu.....	10
3.1	Kosteuskäyttäytyminen rakenteessa	10
3.1.1	Kosteuden siirtymisen olomuodot	10
3.1.2	Konvektio.....	11
3.1.3	Seinärakenteen vertailu	12
3.2	Uusi seinärakenne	13
3.2.1	Rakennusmenetelmä	13
3.3	Seinärakenteen korjaus	15
3.3.1	Työturvallisuus.....	15
3.3.2	Jätteenkäsittely	15
3.3.3	Työvaiheet	15
4	Seinärakenteen lämpö- ja kosteustekninen tutkiminen	17
4.1	Laskentamenetelmä ja lähtöoletukset.....	17
4.2	Laskennallinen mallintaminen.....	19
4.3	Laskentatulokset.....	19
4.3.1	Kosteustekninen toiminta.....	20
4.3.2	Vanhan seinärakenteen tulokset.....	22
4.3.3	Uuden seinärakenteen tulokset	30
5	Pohdinta.....	39

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyö aiheena oli vuonna 1998 rakennetun pientalon ulkoseinien saneeraus. Opinnäytetyön tilaaja on yksityinen henkilö. Saneerauksen toteutus on suunniteltava niin että rakennuksessa asuminen on mahdollista saneerauksen ajan. Saneerattavassa talossa on todettu mikrobikasvustoa ulkovuorilaudoituksen ulkopinnalla kauttaaltaan koko talossa, myös räystäään aluslaudoitukset ja etupihan puoleinen hyvin tuulettuva kuisti on mikrobikasvuston peittämää. Rakennuksen ikää huomioiden ulkovuorilaudoituksen kunto on huono ja kertoo vakavista rakennusvirheistä kohdetta rakennettaessa.

Rakennus saneerattiin 2014 alkukesän aikana. Saneerauskohteesta mielenkiintoisen ja haasteellisen tekee rakennuksen ulkoseinien kunto, toteutustavan suunnittelu asiakaslähtöisesti, energiatehokkuuden parantaminen ja ongelmien ratkaisut rakennusmääräysten mukaiseksi.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää syyt, jotka ovat johtaneet ulkovuoren heikkoon kuntoon. Tarkoituksena on myös selvittää näytteitä ottamalla mikrobikasvuston laatu ja laajuus rakennuksen ulkoseinärakenteisiin. Rakennesuunnitelman laadinta käyttäen Wufi®-laskenta ohjelmaa rakenteen toimivuuden varmistamiseksi sekä Suomen rakentamismääräyskokoelmaa yleinen osa A2, rakenteiden lujuus osa B10 ja osa eristykset C2, C3, C4.

Opinnäytetyö toteutetaan toiminnallisena. Kirjallinen osuus sisältää korjaussuunnitelman, rakenneanalyysin ja mikrobinäytteiden tulokset. Toiminnallinen osuus sisältää työskentelymenetelmät, välineet ja tarvikkeet.

2 Saneerattava rakennus ja mikrobit

2.1 Rakennuksen esittely ja historia

Rakennus on puurunkoinen, puu-ulkoverhottu talo. Talo on rakennettu kappale-tavarasta paikallaan vuonna 1998. Kysymyksessä on puolitoistakerroksinen pientalo. Talon on rakentanut Itäsuomalainen rakennusliike.

Talon nykyinen omistaja osti talon vuonna 2001. Tänä aikana rakennukseen on tehty lähes täydellinen sisäremontti: lattiapinnat, seinäpinnat ja kaapistot on uusittu sekä ulkoverhous on korjausmaalattu vuonna 2007. Syy korjausmaalaukseen oli ulkoverhouksessa mikrobikasvuston merkkejä. Rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihto. Lämmitysmuotona on sähkö sekä leivinuuni jolla osa lämmityksestä tapahtuu.

Korjausmaalauksen jälkeen vuonna 2009 alkoi kerääntyä rakennuksen ulkoseiniin mikrobikasvustoa uudelleen. Asukkaat eivät ole kokeneet kyseistä ongelmaa terveydelliseksi haitaksi. Haitta on lähinnä ollut kosmeettinen.

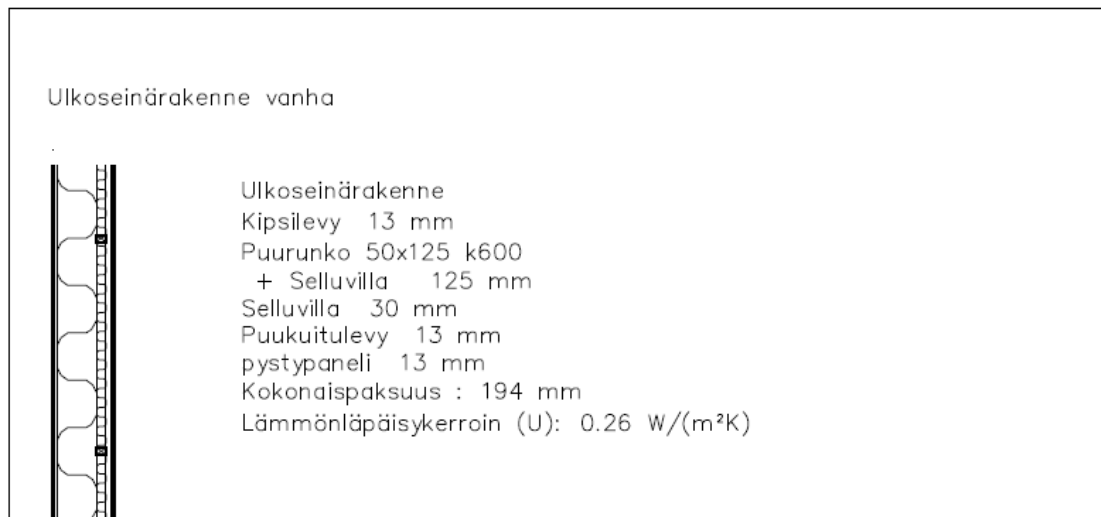
Rakennuksen sisäilma on asukkaiden mukaan ollut laadukasta. Sisäilmassa ei ole todettu tunkkaisuutta eikä liiallista kosteuden tunnetta. Vedon tunnetta paikoin asunnossa on ilmennyt. Äänen eristävydessä asukkaiden mukaan olisi parannettavaa. Alakerran makuuhuoneisiin kantautuu kadulta melua haitallisessa määrässä.



Kuva 1. Mikrobikasvustoa ulkoverhouksessa.

2.2 Vanha seinärakenne

Rakennuksen ulkopinnalla on pystyverhous, joka on kauttaaltaan mustan niin sanotun nokipistekasvuston peitossa. Pohjoisen ja idän puoleisissa seinissä mikrobikasvustoa esiintyy runsaammin kuin etelän ja läntisen puoleisilla seinillä. Idänpuoleisella seinänvierustalla noin 1.5 metrin päässä on kolme metriä korkea pensasrivistö joka heikentää seinärakenteen tuulettumista. Edellä mainittu johtopäätös tuli katselmuksen perusteella.



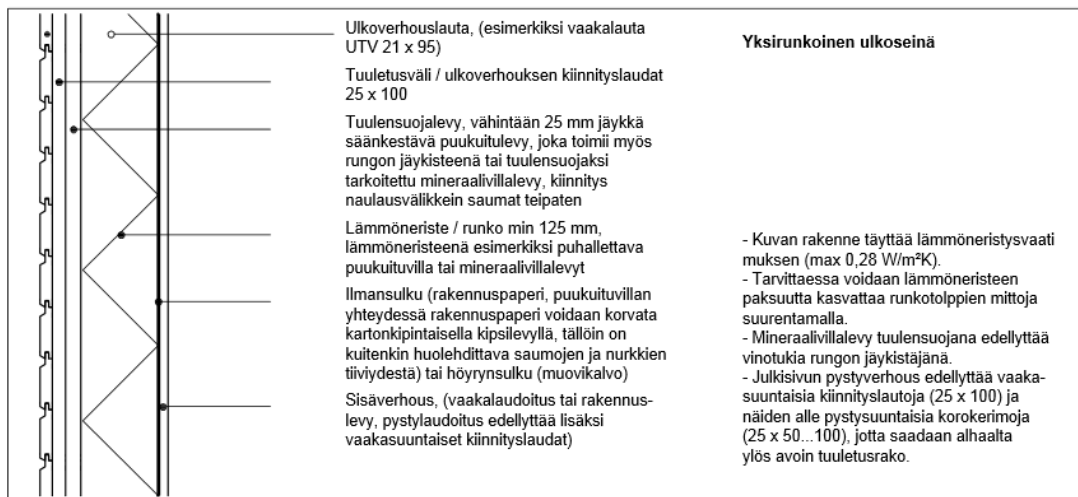
KOHTA L 1:20

Kuva 2. Vanhan ulkoseinärakenteen leikkauspiirustus(Jani Sirainen).

2.2.1 Rakentamismenetelmä

Seinärakenne on rakennettu paikanpäällä kappaletavarasta. Runkopystytys, tuulensuojalevy ja ulkovuoripystyylaudoitus on asennettu tuulensuojalevyyn kiinni. Eristeeksi on asennettu selluvilla puhaltamalla sisältäpäin seinärakenteisiin. Gyproc-levytys on asennettu puhallusvillan päälle kaksi päivää märkäpuhalluksen jälkeen. Huomioitava on, että seinärakenteesta puuttuu kokonaan tuuletusväli 25mm ulkovuorilaudoituksen ja tuulensuojalevyn välistä sekä Ilmansulkupaperi puuttuu seinärakenteen sisäverhouksen ulkopinnasta. RT 82–10560 mukaan ilmansulkupaperi ei olisi välttämätön puukuituvillaeristeen ollessa kyseessä. Ilmansulkupaperin voi korvata esimerkiksi kartonkipintaisella kipsilevyllä jos huolehditaan saumojen tiiveydestä. Kyseisessä rakenteessa saumojen tiivistäminen oli toteutettu kipsitasoitelaastilla. Vesihöyryn diffuusiovastus tulisi olla rakennetta lukien sisäpinnasta ulkopintaan päin suhteella 5:1 (Juha vinha 2009)

Yksirunkoisen ulkoseinän leikkauskuva ja rakennetapaseloste, jonka tekstiosassa on esitetty rakentamistapa vuoden 1995 rakennusmääräysten mukaisesti.



Kuva 3. Rakennusmääräysten mukainen yksirunkoinen ulkoseinä (RT 82–10560 tammikuu 1995).

Yllä olevasta RT 82–10560 leikkauskuvasta voidaan todeta että rakennuksen vanha seinärakenne ei ole rakennusmääräysten mukainen. Kyseinen seinärakenne ei täytä vuoden 1995 rakennusmääräyksiä. RakMK C2 1976 mukaan ulkoseinän on oltava sellainen, ettei seinään tunkeutuvalla sade- ja sulamisvedellä, maaperän kosteudella tai sisätilasta tunkeutuvalla vesihöyryllä ole haitallista vaikutusta seinään ja siihen liittyviin rakenteisiin Sisäasiainministeriö Suomen rakentamismääräyskokoelma C2 (erillispainos C 1-4 s4) Helsinki 1988.

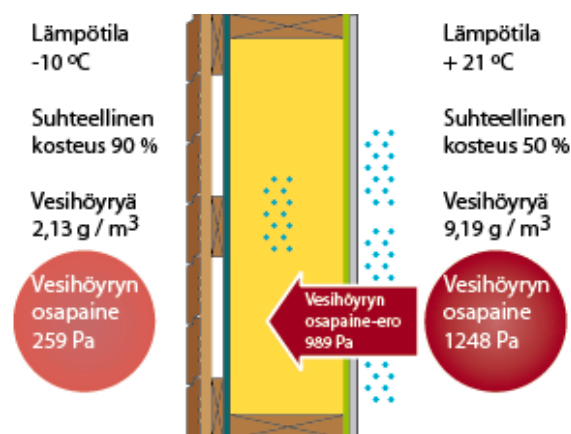
Ulkoseinän ulkopinnan suureen kosteuteen on ulkoverhouksen ja tuulensuojalevyn välinen tuuletusraon puuttuminen sekä ilmansulkupaperin puuttuminen kokonaan ulkoseinärakenteen sisäpinnasta. Seinärakenteisiin kohdistuu sisälämpöä tulevaa kosteutta. Seinärakennekerrosten vesihöyryvastukset ovat pienet. Seinärakennetta tarkasteltaessa sisäpinnasta ulkopintaa kohden vesihöyryn vastus kasvaa, jolloin kosteus tiivistyy eristepinnan ja tuulensuojalevyn väliin sekä tuulensuojalevyn ja ulkoverhouksen väliin. Rakenteen kuivuminen on hidasta ja kosteuskuorman lisääntyessä rakenteella ei ole mahdollista kuivua. Lämpötilan noustessa 0-yläpuolelle, RH:n ollessa >75–95 % homeiden ja biofilmien eli mikrobikerrostumien on mahdollista kasvaa. RH:n noustessa >90–95 on lahon ja biokorroosion mahdollista vaurioittaa rakennetta (Kokko

1999). Wufi® laskennassa seinärakenteen ulkopinnassa suhteellinen kosteus nousi lähelle 100 %. Tarkempi laskennallinen analyysi vanhasta rakenteesta löytyy kohdassa 4.2.1.

3 Uuden seinärakenteen suunnittelu

Tämä luku käsittelee seinärakenteen kosteuskäyttäytymistä ja uuden seinärakenteen suunnittelua.

3.1 Kosteuskäyttäytyminen rakenteessa



Kuva 4. Kuvassa havainnollistuu sisäpuolisen kosteuden siirtyminen suuremasta osapaineesta pienempään

(http://www.tiivistalo.fi/images/kv_diffuusio_01.gif).

Ulkoilmaa vasten olevaseinä joutuu sisäiselle sekä ulkoiselle kosteusrasitukselle. Sisäisiä kosteuslähteitä ovat sisäilman vesihöyryjä vesivahingot. Ulkoisia kosteuslähteitä ovat ulkoilman vesihöyry, vesi- ja lumisade, maaperän kosteus sekä rakennekosteus (Finlex 1998, 3).

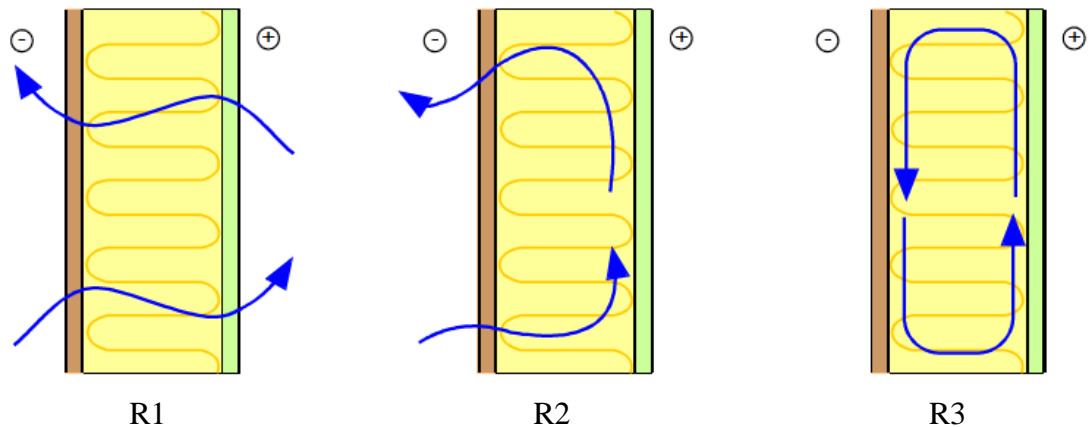
3.1.1 Kosteuden siirtymisen olomuodot

Kosteus siirtyy diffuusiona, joka tarkoittaa ilmassa tapahtuvaa vesimolekyylien liikettä. Osa paine-eroista johtuen, vesimolekyylit pyrkivät tasoittumaan (Finlex 1998, 2).

Kosteus voi siirtyä myös konvektiona joka tarkoittaa ilman sisältämän vesihöyryn siirtymistä kokonaispaine-eron vaikutuksesta (Finlex1998, 2).

Kosteus voi siirtyä myös kapillaarivirtauksena, joka tarkoittaa huokosalipaine-erojen aiheuttamaa nesteen siirtymistä huokoisissa materiaaleissa (Finlex 1998, 2).

3.1.2 Konvektio



Kuva 5. Seinärakenteen konvektiovirtauksien liikkuminen on kuvattu sinisillä nuolilla. R1,R2 ja R3 kuvan seinärakenteet on selvitetty alla olevassa tekstissä (Juha Vinha, Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta Suomen ilmastossa).

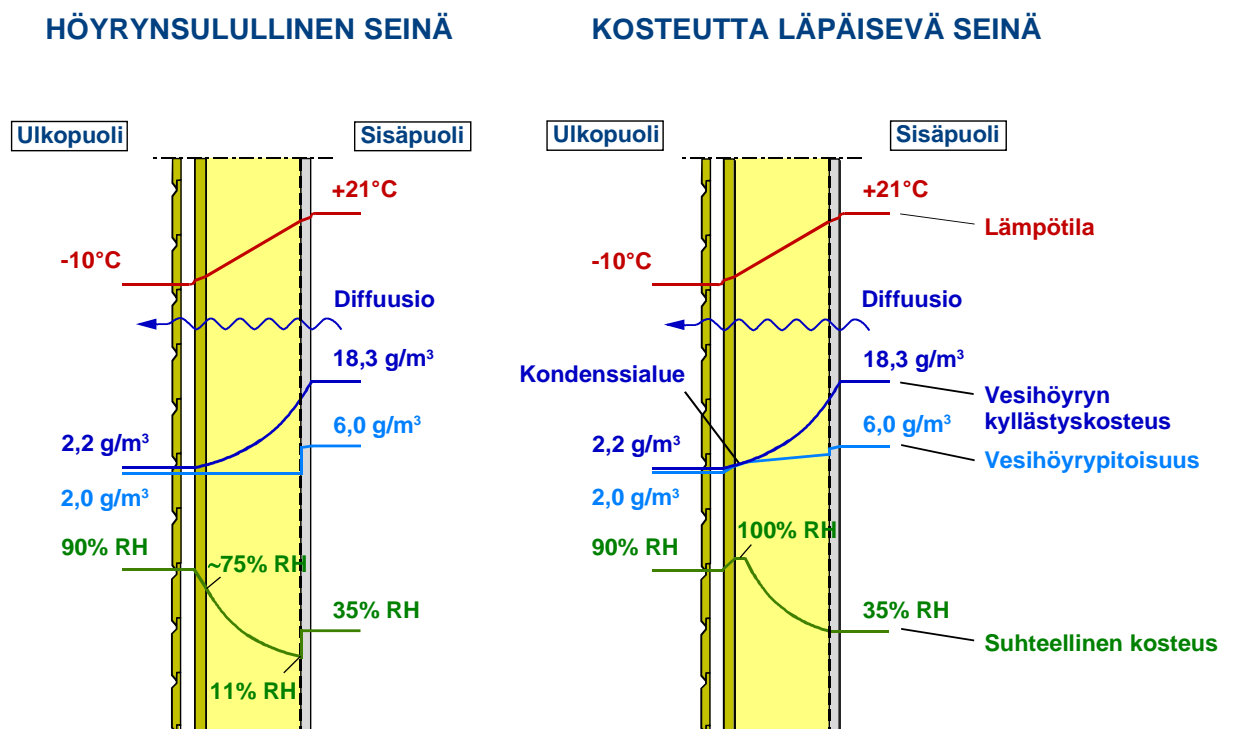
R1-rakenteen läpi johtuva konvektio johtuu sisäpinnan ilman- tai höyrynsulun puuttumisesta

R2-rakenteessa tapahtuva konvektiovirtaus johtuu tuulen aiheuttamasta paineesta. rakenteessa tuulensuojalevy ei ole tiivis tai asennuksessa on puutteita

R3-rakenteessa alhaalta ylöspäin tapahtuva konvektio johtuu rakenteen pintojen suuresta lämpötila erosta. lämpötila erot johtuvat lämpöeristeen paksuudesta, eristeen puutteellisesta asennuksesta tai eriste ei ole asennettu tiiviisti ulko- ja sisäpintaa vasten (Juha Vinha, Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta Suomen ilmastossa).

3.1.3 Seinärakenteen vertailu

Kuvassa 6 on havainnollistettu seinärakenteen käyttäytyminen höyrynsulun kanssa ja ilman höyrynsulkua. Molemmissa seinärakenteissa on kuvatut olosuhteet ovat samanlaiset sisäilma +21 °C ja ulkoilma -10 °C. vesihöyryn kylläystymispitoisuus laskee lämpötilan mukaan. Sisäilman suhteellinen kosteus RH on sisä- ja ulkoilman kaltainen. Seinärakenteen sisällä olevan eristekerroksen ja tuulensuojalevyn kohdalla höyrynsuluttomassa seinässä suhteellinen kosteus nousee 100 %. Höyrynsulullisessa seinärakenteessa vesihöyrypitoisuus pysyy tasaisena koko seinärakenteen osalla. Vesihöyryä läpäisevässä seinässä vesihöyrypitoisuus laskee vähitellen tiivistyen vedeksi eristeen ja tuulensuojalevyn väliin. Diffuusio on kuvattu tapahtuvan samankaltaisesti molemmissa seinissä (Juha vinha 2009).

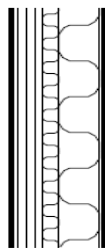


Kuva 6. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta Suomen ilmastossa (Juha Vinha).

3.2 Uusi seinärakenne

Uuden seinärakenteen suunnittelua ohjaavat suomenrakennusmääräyskokoelman osat A2, C2, C3, B10. (RTRakMK-21402). Kyseessä on olemassa oleva rakennuksen seinärakenne, jolloin sovelletaan olemassa olevan rakennuksen rakennusmääräyksiä.

Ulkoseinärakenne uusi



Ulkoseinärakenne uusi
 Kipsilevy 13 mm
 Rakennuspaperi 0.2 mm
 Puurunko 50x125 k600
 + Selluvilla 125 mm
 Vaakapuurunko 50x50 k600
 + Selluvilla 50 mm
 Puukuitulevy 25 mm
 Tuuletettu ilmarako, pystykoolaus 25x50 k600 25 mm
 Tuuletettu ilmarako, vaakakoolaus 25x100 k600 25 mm
 ulkovuorilaudoitus 22 mm
 Kokonaispaksuus : 285 mm
 Lämmönläpäisykerroin (U): 0.23 W/(m²K)

Kuva 7. Suunniteltu ulkoseinärakenne ja rakennetapaselvitys (Jani Sirainen).

3.2.1 Rakennusmenetelmä

Uusi seinärakenne rakennetaan kuvan 7 mukaiseksi purkamalla vanha rakenne pois lukuun ottamatta sisäpinnan Gyproc-levyä ja kantavaa runkoa. Purkutyön vaiheet on esitetty luvussa 3.3.3. Ekovilla X5-ilmansulkupaperinasennus tapahtuu vaakasuuntaan kiertäen runkotolpan rakenteen ulkopuolelta. Kts. kuva 7.1. Ilmansulku levittää yhtenäisenä koko seinän sivun matkalle. Asennus tehdään siten, ettei runkotolpan ja Gyprocin nurkkaliitoksiin jää ilmapäliä. Ensimmäisen ilmansulkupaperi teipataan kantavan rungon alajuoksuun ja toinen ilmansulku limitetään 200mm päällekkäin ja teipataan yhteen. Yläosan liitos teipataan yläpohjan ilmansulkuun (Isover 2015).



Kuva 7.1. Ilmansulkupaperi on asennettuna Gyproc-levyn ulkopintaan.

Lämpöeristeenä käytetään Eko-levyvillaa 125mm, joka asennetaan ilmansulkupaperin päälle. Vaakakoolaus asennetaan 48*48 höylätystä rimasta naulaamalla runkoon kiinni. Eko-levyvillalevy 50mm asennetaan vaakarimoituksen väliin. Tuulensuojalevynä käytetään Tuulileijona® 25mm. Seinärakenteen tuuletusväli toteutetaan pystykoolauksella 25*50 ja vaakakoolauksella 25*100. Pintamateriaalina käytetään ulkoverhouslaudoitusta paksuudeltaan vähintään 28mm. Kyseisen rakenteen kosteuskäyttäytymistä ja toimivuutta Suomenoloissa on tutkittu luvussa neljä.



Kuva 7.1 kuvassa on esitetty höyrinsulkupaperin asennustapa (Jani Sirainen 2015).

3.3 Seinärakenteen korjaus

Tässä luvussa kerrotaan eristeen purkutyöstä ja korjaustyössä esille tulevista vaiheista.

3.3.1 Työturvallisuus

Purkutyötä tehtäessä huomioidaan normaalin työturvallisuuden lisäksi homepölyn aiheuttamasta työturvallisuusvaarasta. Purkutöitä tehtäessä on suojauduttava kertakäyttöiseen suoja-pukuun, suojakäsineisiin ja sileäpintaisiin työsaappaisiin. Hengityssuojaimena käytetään vähintään FFP2D-luokan hengityssuojainta, jossa on uloshengityssventtiili (RATU 82–0239).

3.3.2 Jätteenkäsittely

Mikrobikasvustoa sisältävät rakennusjätteet kerättiin kuljetuslavalle ja suojattiin muovipeitteellä. Muut jätteet lajiteltiin omiin jättepisteisiin ja toimitettiin jätteenkäsittelylaitokseen.

3.3.3 Työvaiheet

Seinärakenteen tutkiminen aloitettiin purkamalla ulkoverhouslaudoitus pois. Ulkoverhous oli kiinnitetty naulaamalla tuulensuojalevyä vasten. Purkuvaiheessa ulkoverhouslaudat olivat idän ja pohjoisen puolella kosteat. Tuulensuojalevyn pinnalla oli runsaasti mikrobikasvustoa, joka irrottaessa pölysi voimakkaasti. Mikrobikasvusto oli silmin nähtävissä.



Kuva 7.2. Kuvassa näkyy pohjoisen puoleinen seinä. Seinässä on tuulensuojalevyt joissa näkyy harmaina laikkuina mikrobikasvustoa.

Näyttekokeet otettiin ulkovuorilaudoituksesta, tuulensuojalevystä, vaakarimoituksesta tuulensuojalevyn alta sekä puhallusvillasta. Kaikki näytteet pakattiin ilmatiiviiseen Minigrip®-pusseihin. Näytteet numeroitiin ja nimettiin. Näytemäärä oli 8 kpl. Näytteet lähetettiin mikrobi tutkimuslaitokseen Helsinkiin.

Riippumatta tuloksista seinärakenne jouduttiin purkamaan kokonaisuudessaan pois alkuperäisen rakennusvirheen johdosta, lukuun ottamatta sisäpinnan Gyp-roc-levyä. Puhallusvilla poistettiin käsin. Runkotolpat puhdistettiin huolellisesti harjaamalla puhtaaksi. Runkotolpista näkyi idän sekä pohjoispuoleisen seinän puolelta kasvustoa, joka ilmeni täplämaisina lauttoina tolpan pinnalla. Rakennuksen runko sekä kaikki paljastuneet puumateriaalit käsiteltiin Boracol® 10 RH homesuoja-aineella. Käsittely tehtiin ruiskuttamalla.

Ilmansulkupaperin asennus tehtiin kohdan 3.2.1 ohjeen mukaan. Seinärakenteen eristeenä käytettiin Ekovillan levyvillaa, joka oli paksuudeltaan 125mm. Eriste asennettiin tiiviisti ilmansulkupaperia vasten. Seinä vaakakoolattiin 48x48 rimalla ja asennettiin 50mm Ekovillalevy®. Tuulensuojalevyksi valittiin 25mm Tuulileijona®, joka naulattiin vaakakoolauksiin kiinni. Ilmarako toteutettiin 25x50

pystyrimalla ja vaakakoolaukseen valittiin 25x100mm lauta. Näin ulkovuoren ja tuulensuojalevyn jäävä tila on 50mm. Ulkopystyverhous tehtiin 28x140 höylätystä laudasta, jonka päälle saumoihin asennettiin rima 20x38.



Kuva 7.3. Kuvassa pohjoisen puoleinen päätyseinä.

4 Seinärakenteen lämpö- ja kosteustekninen tutkiminen

Tässä luvussa tutkitaan Wufi-ohjelman avulla seinärakenteen toimivuutta erilaisissa sääolosuhteissa.

4.1 Laskentamenetelmä ja lähtöoletukset

Ulkoseinärakenteen tutkiminen suoritettiin WUFI-ohjelmalla. Ohjelma on tarkoitettu lämmön, ilmavirtojen- ja kosteuden siirtymisen mallintamiseen. Ohjelmalla voidaan tarkastella diffuusiona että kapillaarisesti tapahtuvaa kosteuden siirtymistä. Ohjelmalla voidaan arvioida sisäilmasta peräisin oleva lämpö, ilma, - ja kosteussiirtyminen seinärakenteeseen sekä ulkoilmasta tulevat vaikutukset kuten auringonsäteily, sade, tuuli, ja kosteusvaikutukset(Keinänen Hanna 2009).

Ohjelmaan on asetettu tarkasteltavia seinärakenteita varten vanhan sekä uuden seinärakenteen materiaalitiedot. Tiedot sisältävät materiaalien lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet ja laskenta-arvot.

Ulkoilma olosuhteina on käytetty vuosina 1/2011–12/2014 Jyväskylän ilmasto-olosuhteita. Ilmansuuntamittaus tilanteessa on pohjoinen. Sisäilmaolosuhteena on käytetty lämpötilaa +21 °C ja suhteellistakosteutta 45 %.

Tutkimisessa keskitytään vanhan seinärakenteen osalta tarkastelemaan ilmavirtojen liikkumista vaakasuunnassa, lämmön, ja kosteudenkertymistä seinärakenteeseen ja materiaaleihin kunkin materiaalin osalta erikseen. Tarkastelulla halutaan selvittää syyt, mikä on aiheuttanut vanhan seinärakenteen mikrobikasvuston ja kosteuden kerääntymisen seinärakenteessa.

Uuden seinärakenteen osalta keskitytään tutkimaan materiaalien lämpö- ja kosteuskäyttäytymistä eri ajanjaksoina. Talviaikaan kosteuden tiivistymisriski on suurimmillaan ulkoseinän julkisivuverhouksen sisäpintaan sekä tuulensuojalevyn ulkopintaan. Lähtötilanteessa rakenne osien kosteus- ja lämpötilojen oletetaan vakioksi (Keinänen Hanna 2009).

Tutkittavien rakenteiden osalta laskentajakson pituus oli neljä vuotta. Kyseisellä ajanjaksolla havaittiin oletustietojen paikkansa pitävyys. Lopputuloksena laskennan jälkeen saadaan ilmavirtojen, lämpötilojen ja suhteellisen kosteuden muutokset.

Alla olevasta taulukossa on kerrottu materiaalit, paksuudet, ja kosteuspitoisuudet ennen laskennan alkua. Ulkoilman suhteellinen kosteus on 80 % ja lämpötila 21 °C. Laskenta alkaa tammikuun ensimmäinen päivä jolloin ulkolämpötila on miinuksen puolella. Tästä johtuu laskennan ensimmäisen tunnin aikana raju laskupiikki niin lämpötilan kuin suhteellisen kosteuden laskennassa.

Alkutilanteen suhteellinen kosteus [-] Komponentin alkulämpötila [°C]

Eri kerroksien alkutilanteen kosteuspitoisuus

No.	Materiaali Kerros	Paksuus [m]	Kosteus- pitoisuus [kg/m ³]
1	Kovapuu	0,028	98,0
2	Ilmakerros 50 mm	0,05	0,0
3	Puukuitulevy	0,025	45,0
4	Selluvilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	0,175	12,0
5	Voimapaperi	0,002	1,8
6	Kipsilevy	0,013	6,3

Kuva 8. Laskentatiedot (Wufi-laskenta ohjelma)

Laskennan alussa on määritetyt ilman kosteusprosentti ja lämpötila. Materiaalien dimensiot määritetään seinärakenteen mukaan ja kosteuspitoisuudet ohjelma määrittää annettujen sää olosuhteiden mukaan.

4.2 Laskennallinen mallintaminen

Laskennallinen mallintaminen on esitetty graafisella taulukolla. kuvissa 11 ja 22 on seinärakenteen leikkauskuva, jossa on kuvattu seinärakenteen materiaalit ja tarkastelupisteet. Taulukoissa 12–21 ja 23–33 on esitetty kunkin materiaalin osalta lämpö ja kosteuskäyttäytyminen eri värein. Lämpötilavaihtelut punaisella [°C], kosteuspitoisuus sinisellä [%] (Wufi®-ohje).

4.3 Laskentatulokset

Tässä luvussa käsitellään molempia seinärakenteita. Vanha seinärakenne on esitetty R1-lyhenteellä ja uusi seinärakenne R2-lyhenteellä.

4.3.1 Kosteustekninen toiminta

Kuvissa 12–40 on esitetty rakenteiden kosteusteknisesti kriittisimpien pisteiden eli ulkoverhouksen, tuulensuojalevyn ja eristeen ulkopinnan, runkorakenteen ulkopinnan, eristeen sisäpinnan ja Gyprocin suhteellinen kosteus ja lämpötilan vaihtelut neljän vuoden ajan jaksolla. Tarkastelupisteet ovat esitetty kuvissa 11 ja 22 kamerasympolilla.

Testivuoden kriittisin hetki on ajankohtana 1.2–30.2 jolloin ulkoilman keskimääräinen lämpötila on -8 °C ja suhteellinen kosteus 87 % (Ilmatieteenlaitos 2014). Tällä välillä lämpötilavaihtelut ovat suuret $+5\text{--}(-20\text{ °C})$ ja ilman suhteellinen kosteus välillä 75–95%. Rakenteiden tarkastelupisteissä ulkovuoren ulkopinta ja tuulensuojalevyn ulkopinnalla suhteellinen kosteus rakenteessa R1 nousee 15.12 jälkeen kaikkina testivuosina yli 90 prosenttiin lämpötilan ollessa $(-5) - (-20)\text{ °C}$ välillä ja jatkaa nousuaan 15.5 asti nousten 100 % lämpötilan ollessa $(-15) - (+10)\text{ °C}$ välillä. Lämpötilan noustessa yli 0 °C ja suhteellisen kosteuden ollessa edelleen rakenteessa yli 90 % mikrobikasvustolla on hyvä kasvualusta. Joulukuussa alkanut suhteellisen kosteuden nousu rakenteessa ei vielä aiheuta mikrobikasvustoa alhaisen lämpötilan vuoksi. Lämpötilan noustessa huhti- ja toukokuun aikana yli 0 °C ja RH:n ollessa edelleen rakenteessa yli 90 % mikrobikasvustolla on hyvät edellytykset kasvaa.

R1-rakenteen tarkastelupisteissä 1-4 (kuvat 14–17) ulkovuoren ulkopinnasta tuulensuojalevyn sisäpintaan kuivuminen oli olematonta. Suhteellinen kosteus oli koko tarkastelujakson ajan välillä 80–100% keskiarvolla 92 %. Neljän vuoden ajanjaksolla rakenteeseen kerääntyi enemmän kosteutta kuin lähtötilanteessa oli (kuva 9). Tämä tulos selvittää seinärakenteen käyttäytymisen vuosina 2000–2014. Tutkittavan ajanjaksojen lämpö ja kosteustekninen toiminta on selvitetty kuvateksteissä tarkemmin.

Kosteuspitoisuus [kg/m ³]				
Kerros/Materiaali	Lask. alku	Lask. loppu	Min.	Max.
Kuusi, pituussuunta	80,00	225,45	25,59	278,35
Puukuitulevy	45,00	99,52	12,23	123,01
Selluvilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	12,00	17,69	5,00	32,89
Kipsilevy	6,30	3,35	2,79	6,30
Kokonaiskosteus [kg/m ²]	4,01	8,73	1,45	10,34

Kuva 9. Kuvassa näkyy laskennan alkutilanteen ja laskennan lopputilanteen kosteuspitoisuudet [kg/m³] sekä kosteuspitoisuuksien minimi- ja maksimi arvot materiaaleittain. Laskenta ajankohta 1.1.2011–30.12.2014 (Wufi-laskenta ohjelma).

R2-rakennetta tutkiessa ilmasto-olosuhteet oli täsmälleen samanlaiset, ajanjakso on sama kuin R1-rakenteella. Tarkastelupisteessä ulkovuoren ulkopinnan suhteellinen kosteus ajanjaksolla 15.12–15.4 vaihteli välillä 25–90%. Vaihtelut osoittavat tarkastelukohdan nopean reaktion ilmasto-olosuhteisiin. Tuulensuojalevyn ulkopinnan tarkastelu osoittaa suhteellisen kosteuden vaihtelevan välillä 70- 85 %. Lähtötilanteessa rakenteen suhteellinen kosteus on 80 %. Tarkastelun edetessä rakenteen suhteellinen kosteus näyttäisi vähenevän kuvan 4 mukaan. Tämä tarkastelu on tehty ottamatta huomioon ilmavirtauksien aiheuttamaa kuivatusta tuulensuojalevyyn.

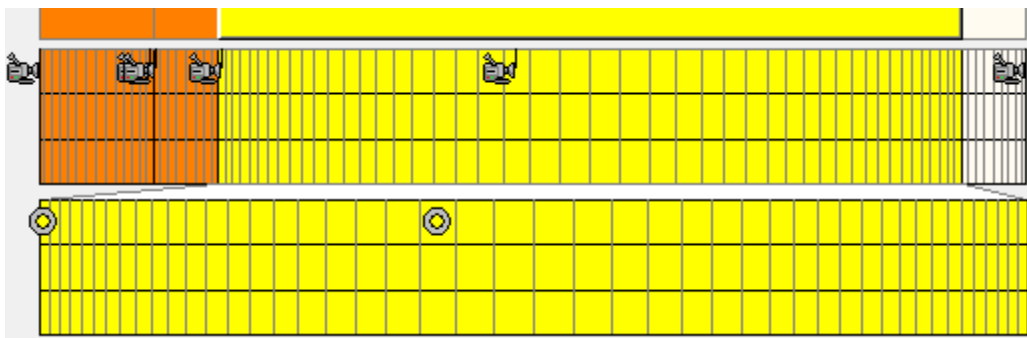
Kosteuspitoisuus [kg/m ³]				
Kerros/Materiaali	Lask. alku	Lask. loppu	Min.	Max.
Kuusi, pituussuunta	80,00	97,22	33,57	120,59
Ilmakerros 25 mm; without additional moisture	0,01	0,01	0,00	0,02
Puukuitulevy	45,00	47,08	17,93	68,30
Selluvilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	12,00	7,89	5,25	16,04
Selluvilla (Lämmönj.: 0,04 W/mK)	12,00	4,33	2,86	12,00
vapour retarder (sd=20m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Kipsilevy	6,30	3,57	3,15	6,30
Kokonaiskosteus [kg/m ²]	5,55	4,88	2,39	5,76

Kuva 10. Kuvassa näkyy laskennan alkutilanteen ja laskennan lopputilanteen kosteuspitoisuudet [kg/m³] sekä kosteuspitoisuuksien minimi- ja maksimi arvot

materiaaleittain. Laskenta ajankohta 1.1.2011–30.12.2014 (Wufi-laskenta ohjelma).

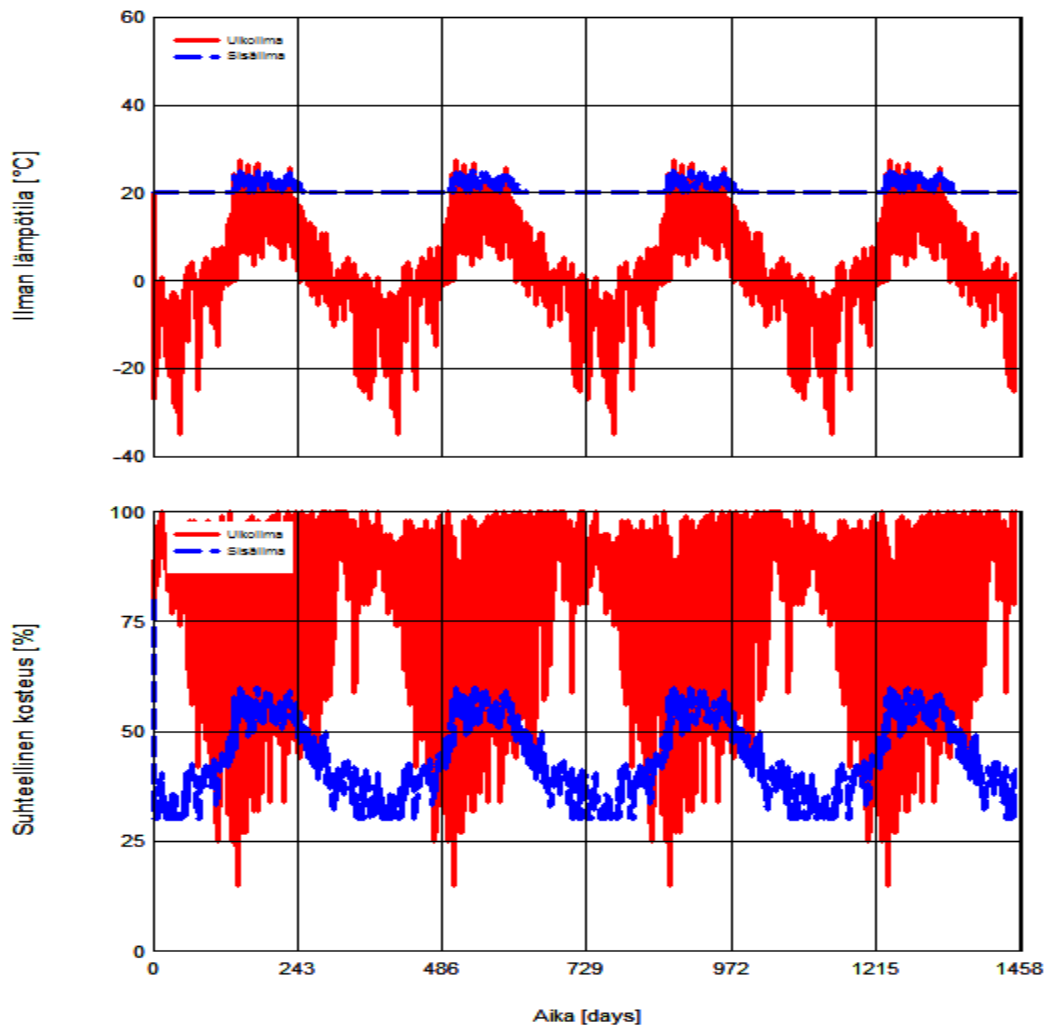
4.3.2 Vanhan seinärakenteen tulokset

Tässä luvussa on esitetty vanhan seinärakenteen lämpö- ja kosteustekninen käyttäytyminen. Wufi®-ohjelman avulla saadut tulokset sekä tuloksien analysointi kuva kerrallaan on selvitetty kuvatekstissä.



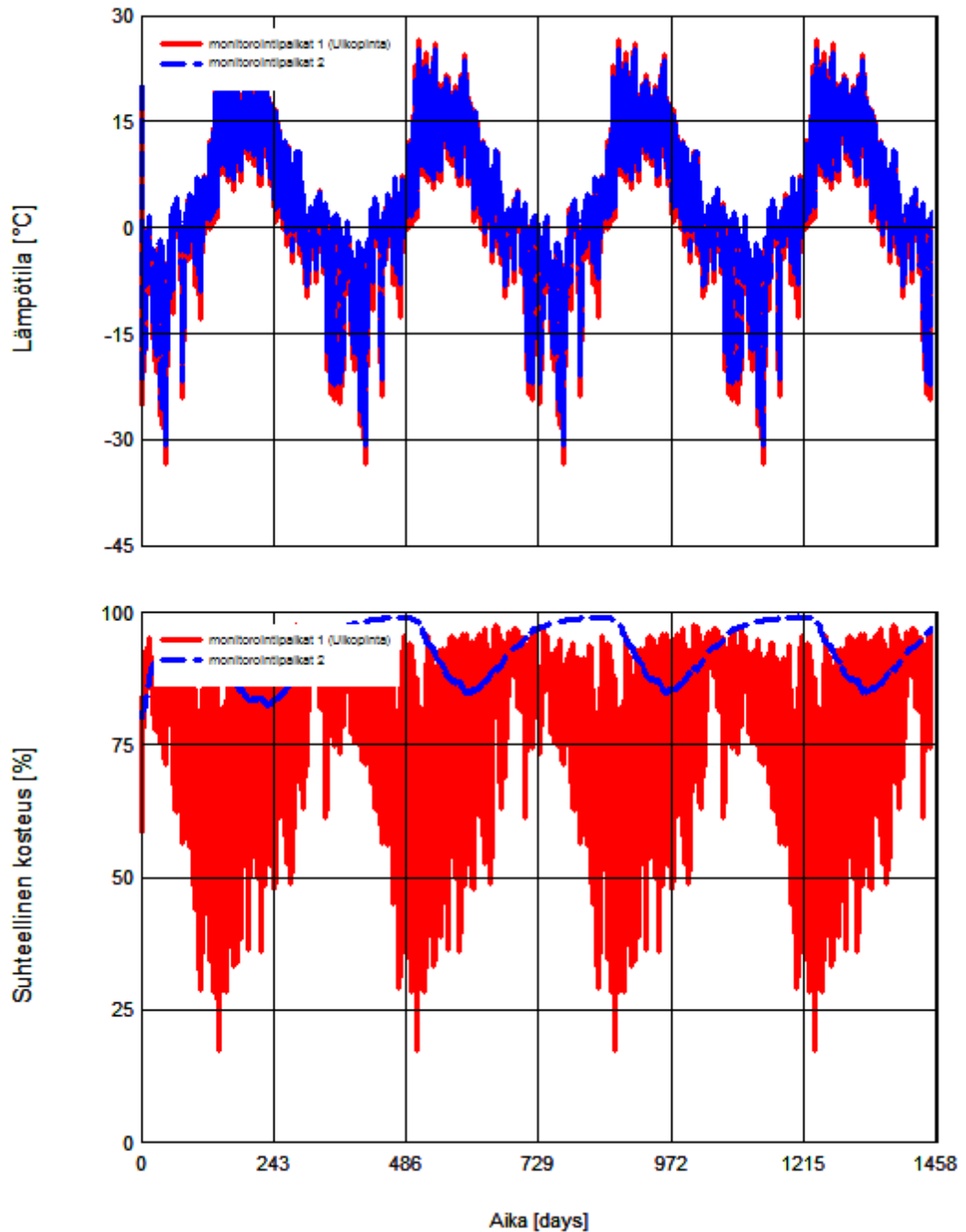
Kuva 11. Vanhan seinärakenteen rakenneleikkaus Wufilla esitettyinä (Wufi-ohjelma).

Kuvassa 11 on esitetty R1-rakenteen poikkileikkaus ja tarkastelupisteet kamerasymbolein. Seinämateriaalit on kuvattu värein. Ulkoverhous ja tuulensuojalevy on kuvattu vaalean ruskealla, lämpöeriste keltaisella ja sisäpuolinen Gyproc-levy valkealla.



Kuvat 12-13. Tutkimuksen ilmasto-olosuhteet koko laskenta-ajanjakson aikana(Wufi-laskenta ohjelma).

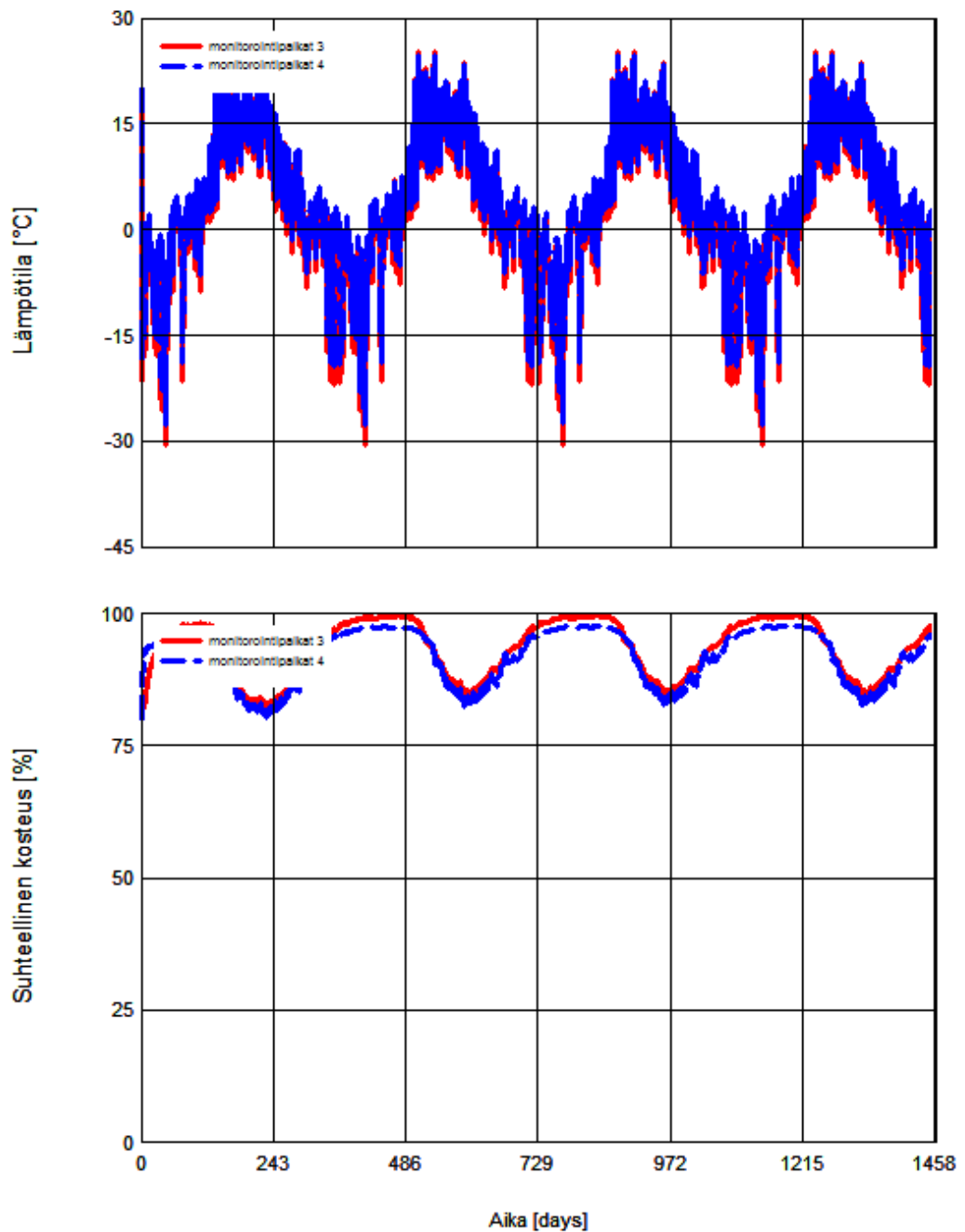
Kuvassa 12 on esitetty ilmanlämpötila sisällä sinisellä ja ulkolämpötila punaisella .Sisäilman lämpötilavaihtelut ovat välillä 20-25°C ja ulkoilman -35-30°C.Kuvassa 13 on esitetty ilman suhteellinen kosteus sisällä sinisellä ja ulkoilman suhteellinen kosteus punaisella. Sisäilman vaihtelut ovat välillä 30-60% ja ulkoilmavaihtelut välillä 15-95 %.



Kuvat 14-15. Seinärakenteen tarkastelupisteiden lämpötilat ja suhteellinen kosteus (Wufi®-laskenta ohjelma).

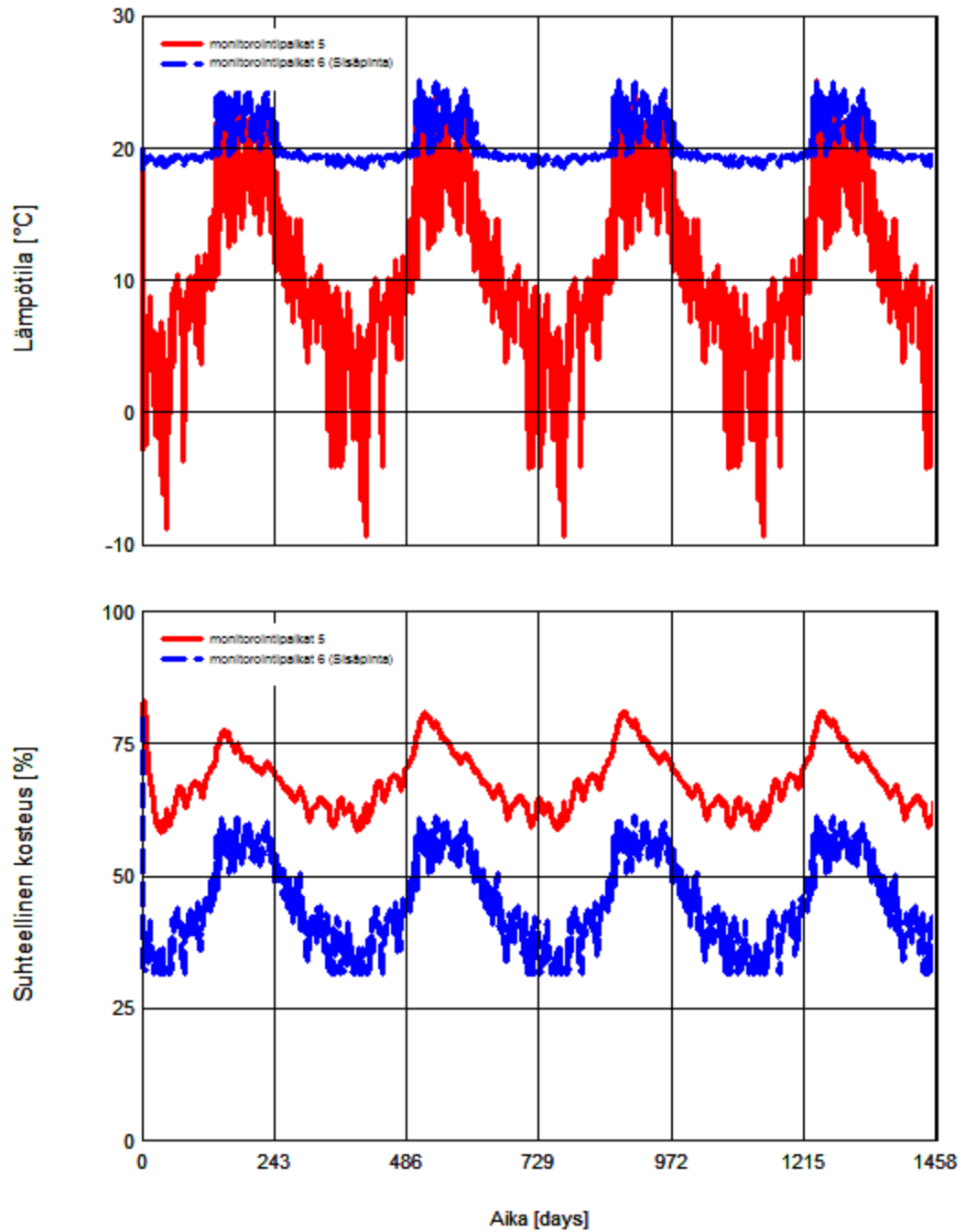
Kuvissa 14-15 seinärakenteen tarkastelupaikka numero yksi on ulkovuorilaudoituksen ulkopintapunaisella ja tarkastelupaikka kaksi sinisellä on ulkovuorilaudoituksen sisäpinta. Kuvassa 14 lämpötilamuutokset ovat

minimaaliset sisä- ja ulkopintaan vertailtuna. Kuvassa 15 laudoituksen suhteellinen kosteus pysyy sisäpinnassa 80-100% välillä ja ulkopinnan vaihtelut noudattavat ilman suhteellista kosteutta. Laudoituksen sisäpinta on huomattavan kostea eikä pääse kuivumaan koko laskennan aikana.



Kuvat 16-17. Seinärakenteen tarkastelupisteiden lämpötilat ja suhteellinen kosteus (Wufi®-laskenta ohjelma).

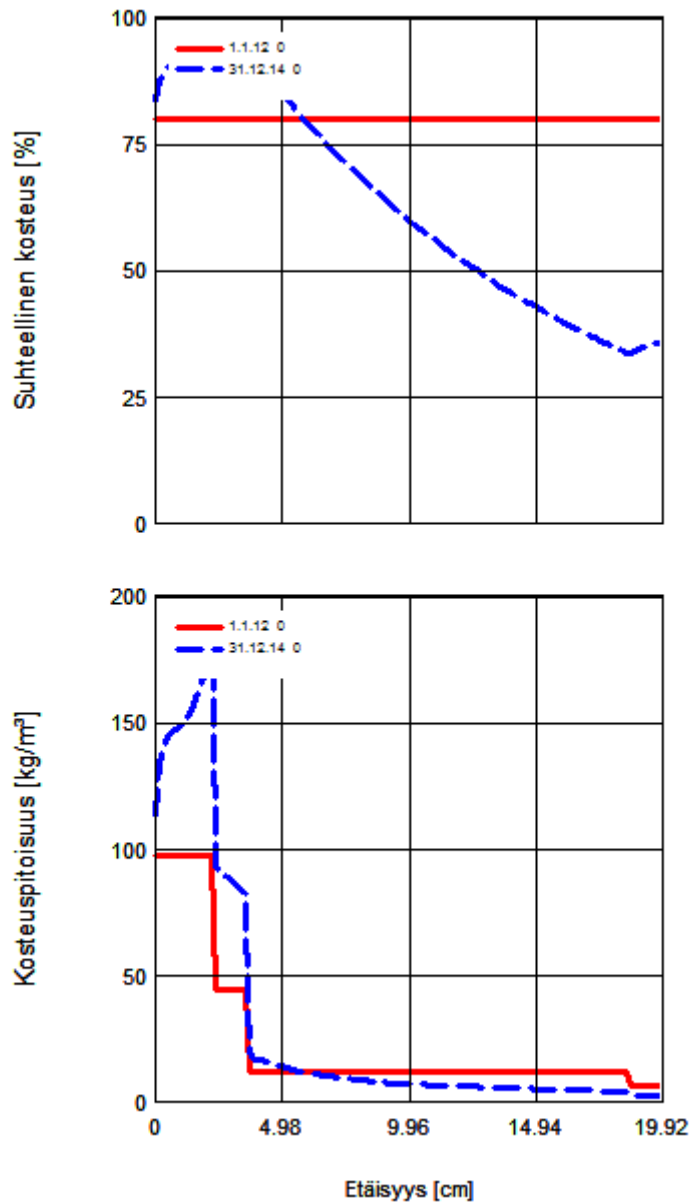
Kuvissa 16-17 seinärakenteen tarkastelupaikka kolme punaisella on tuulensuojalevyn ulkopinta ja tarkastelupaikka 4 sinisellä on tuulensuojalevyn sisäpinta. Kuvassa 16 lämpötilat ovat 1-3% alhaisempia kuin ulkokuorilaudoituksen lämpötilat. Kuvassa 17 ulkopinnan suhteellinen kosteus on välillä 85-100% koko laskennan ajan ja sisäpinnan kosteus on välillä 80-95%. Suhteellinen kosteusprosentti tuulensuojalevyssä on korkea. Kosteus antaa mikrobikasvustolle mahdollisuuden kasvaa koko laskennan ajan.



Kuvat 18-19. Seinärakenteen tarkastelupisteiden lämpötilat ja suhteellinenkosteus. (Wufi®-laskenta ohjelma).

Kuvissa 18-19 seinärakenteen tarkastelupaikat viisi on selluvillan ulkopintapunaisella ja tarkastelupaikka kuusi sinisellä on Gyproc levyn sisäpinta. Kuvassa 18 lämpötilat ovat selluvillan ulkopinnassa -9°C ja $+23^{\circ}\text{C}$ välillä ja gyproc levyssä välillä $18-25^{\circ}\text{C}$. Kuvassa 19 selluvillan ulkopinnan

suhteellinen kosteus on välillä 60-78% koko laskennan ajan ja Gyproc levyn sisäpinnan kosteus on välillä 30-60%. Suhteellinen kosteusprosentti selluvillan ulkopinnassa on kokonaisuutta ajatellen korkea, koska kesäkauden kuivuminen on hidasta. Kosteusprosentti on lähellä 80% joka voi antaa mikrobikasvustolle mahdollisuuden elinolosuhteisiin.



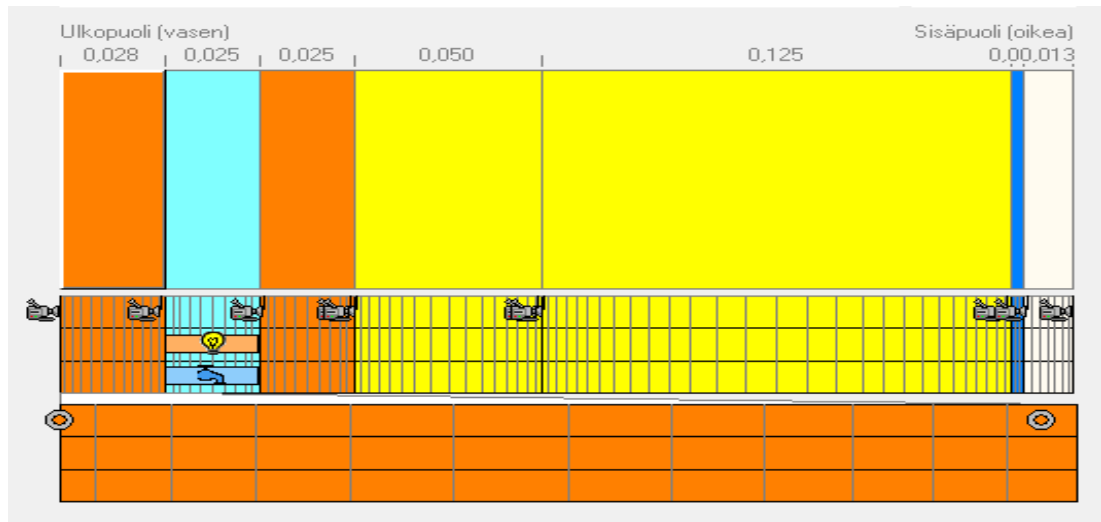
Kuvat 20-21. Seinärakenteen tarkastelupisteiden suhteellinen kosteus ja kosteuspitoisuus (Wufi®-laskenta ohjelma).

Kuvassa 20-21 on poikkileikkaus seinärakenteesta. Suhteellinen kosteus on kuvassa 20 punaisella alkukosteus 80% ja laskennan loppukosteus sinisellä. Ulkovuorilaudoituksen 2,3cm, tuulensuojalevyn 1,3 cm ja selluvilla eristeen 2,4cm kosteus prosentti on > 80%. Mitat ovat seinärakenteen ulkopinnasta mitattuina. Tämän jälkeen suhteellinen kosteus lähtee laskemaan tasaisella käyrällä sisäpintaa kohden ollen sisäpinnassa 30%.

Kuvassa 21 näkyy kosteuspitoisuus [kg/m^3] materiaaleittain. Punaisella laskennan alkukosteus ja sinisellä laskennan loppukosteus. Ulkovuorilaudoituksen ja tuulensuojalevyn kosteuspitoisuus on kasvanut huomattavasti. Selluvillan kosteus on 2.4cm leveydeltä suurempi kuin alkukosteus, tämän jälkeen selluvillan kosteus kuitenkin laskee sisälle päin edetessä.

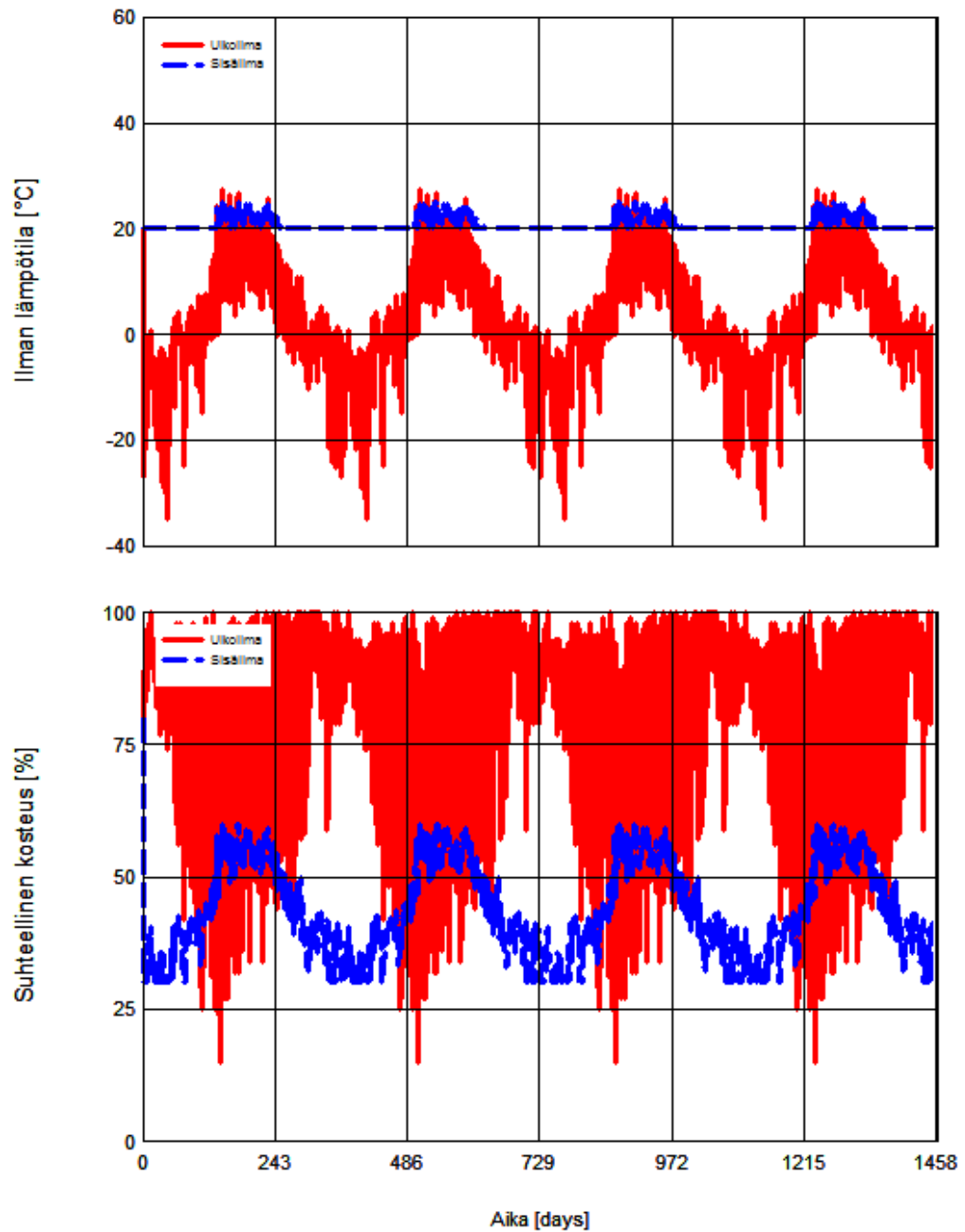
4.3.3 Uuden seinärakenteen tulokset

Tässä luvussa on esitetty uuden seinärakenteen lämpö- ja kosteustekninen käyttäytyminen. Wufi®-ohjelman avulla saadut tulokset sekä tuloksien analysointi kuva kerrallaan on selvitetty kuvatekstissä.



Kuva 22. Uuden seinärakenteen rakenneleikkaus Wufilla esitettynä (Wufi®-ohjelma).

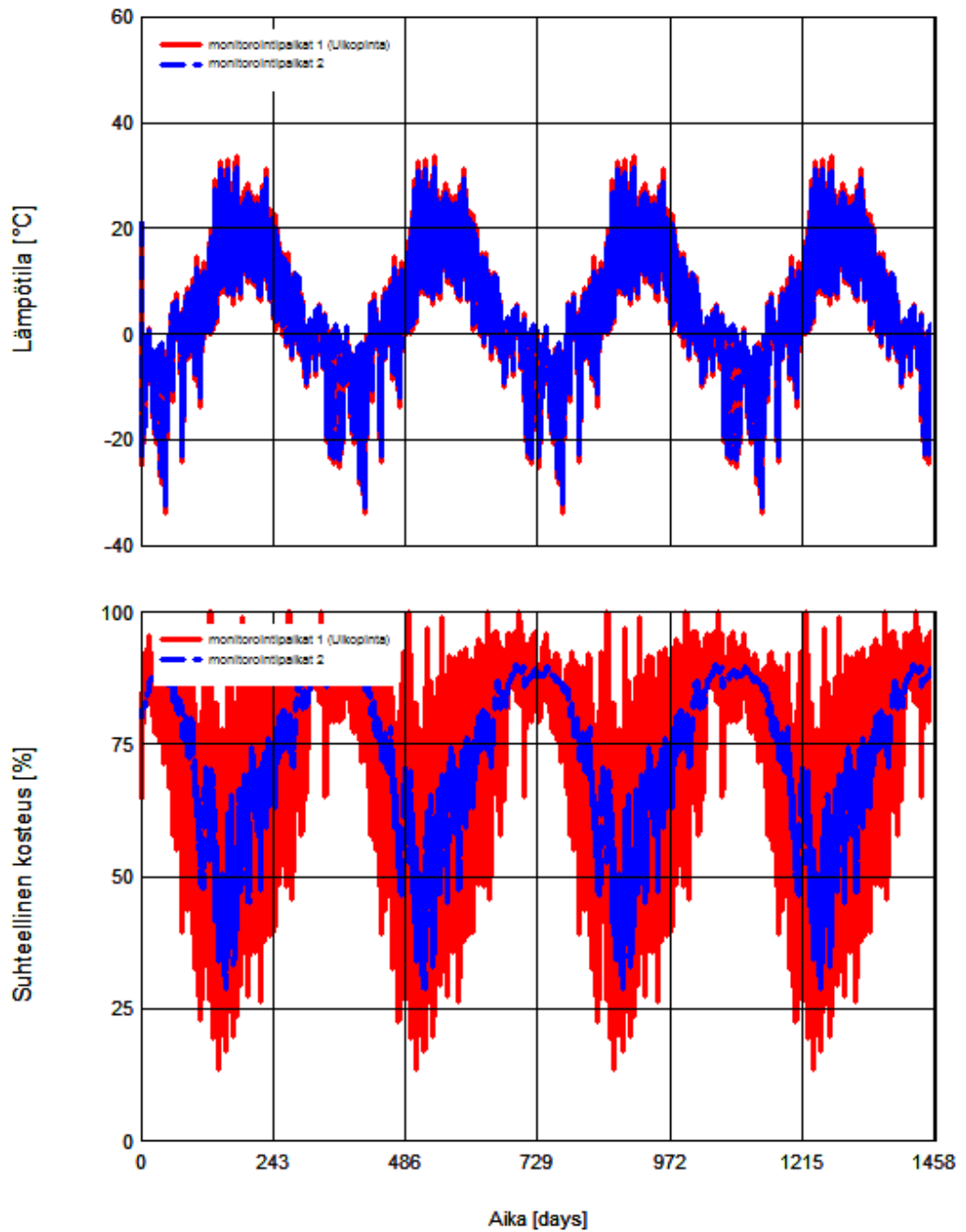
Kuvassa 22 on esitetty R2-rakenteen poikkileikkaus ja tarkastelupisteet kamera-symbolein. Seinämateriaalit on kuvattu värein. Ulkoverhous 23mm vaalean ruskealla, ilmarakenteesta 25mm vaalean sinisellä, jossa on lisäksi symboloilla osoitettu pakotettu ilmanvaihto 100 l/h, tuulensuojalevy 25mm vaalean ruskealla, lämpöeriste 175mm keltaisella, ilmansulkupaperi 2mm tumman sinisellä ja sisäpuolinen Gyproc-levy 13mm valkealla (Wufi®-laskenta ohjelma).



Kuvat 23-24. Tutkimuksen ilmasto-olosuhteet koko laskenta ajanjakson aikana (Wufi-laskenta ohjelma).

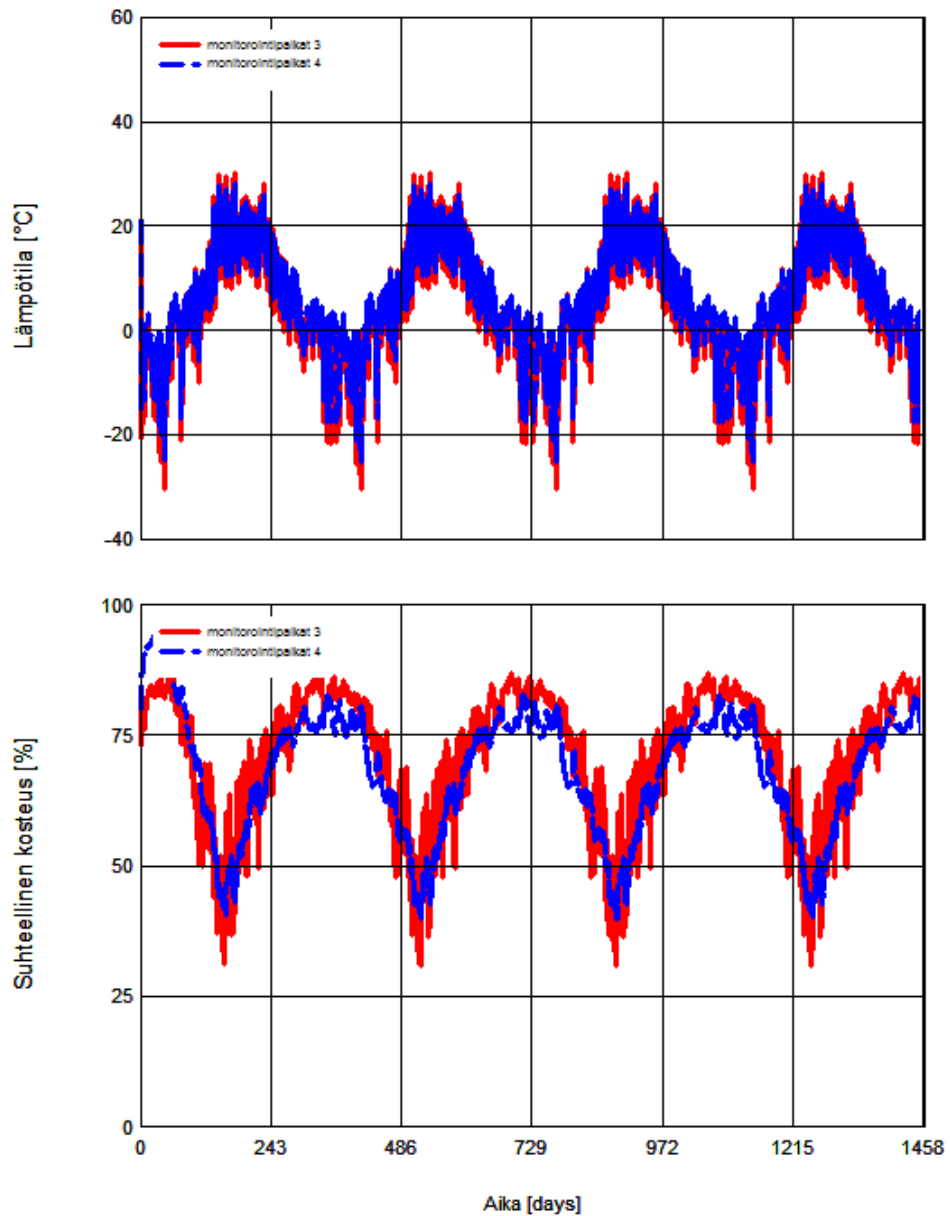
Kuvassa 23 on esitetty ilmanlämpötilä sisällä sinisellä ja ulkolämpötilä punaisella. Sisäilman lämpötilavaihtelut ovat välillä 20-25°C ja ulkoilman -35-30°C.

Kuvassa 24 on esitetty ilman suhteellinen kosteus sisällä sinisellä ja ulkoilman suhteellinen kosteus punaisella. Sisäilman vaihtelut ovat välillä 30-60% ja ulkoilman vaihtelut välillä 15-95%.



Kuvat 25-26. Seinärakenteen tarkastelupisteiden lämpötilat ja suhteellinen kosteus (Wufi®-laskenta ohjelma).

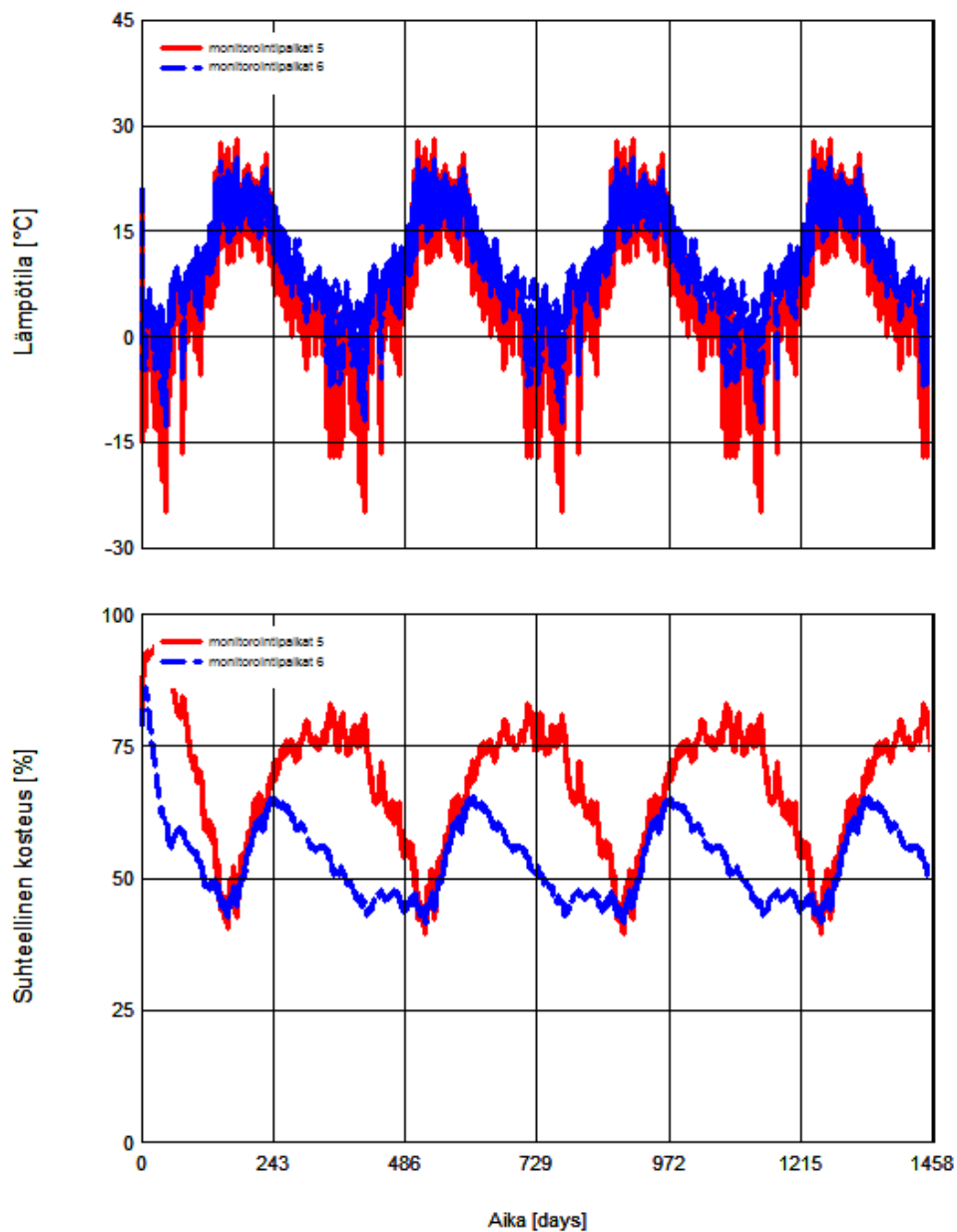
Kuvissa 25-26 seinärakenteen tarkastelupaikka yksi on ulkovuorilaudoituksen ulkopinta punaisella ja tarkastelupaikka kaksi on ulkovuorilaudoituksen sisäpinta sinisellä. Kuva 25 lämpötilamuutokset ovat minimaaliset sisä- ja ulkopintaan vertailtuna. Kuva 26 laudoituksen suhteellinen kosteus pysyy sisäpinnassa 30-85% välillä ja ulkopinnan vaihtelut noudattavat ilman suhteellista kosteutta 20-95% välillä. Laudoituksen sisäpinnan kuivumista laskennassa edes auttaa pystysuuntaiset ilmavirrat.



Kuvat 27-28. Seinärakenteen tarkastelupisteiden lämpötilat ja suhteellinen kosteus (Wufi®-laskenta ohjelma).

Kuvissa 27-28 seinärakenteen tarkastelupaikka kolme on tuulensuojalevyn ulkopinta punaisella ja tarkastelupaikka neljä on tuulensuojalevyn sisäpinta sinisellä. Kuvassa 27 lämpötilat ulkopinnassa ovat samat kuin ulkovuorilaudoituksen sisäpinnassa. Tuulensuojalevyn sisäpinta on noin 5%

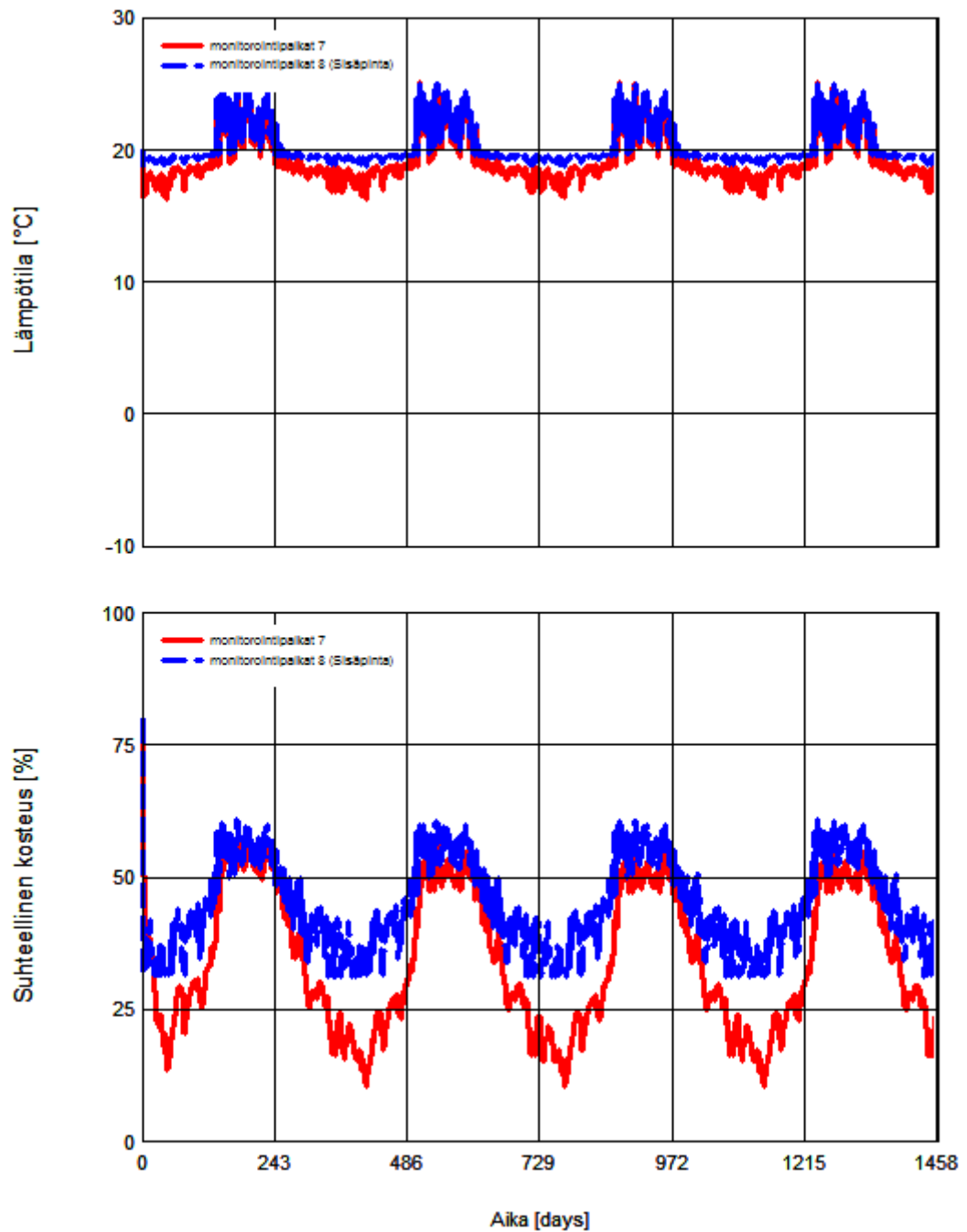
lämpimämpi kuin ulkopinta. Kuvassa 28 ulkopinnan suhteellinen kosteus on välillä 30-85% koko laskennan ajan ja sisäpinnan kosteus on välillä 40-80%. Suhteellinen kosteusprosentti tuulensuojalevyssä on siedettävällä tasolla. Levyn ulkopinnan kosteus nousee hitaasti 80%, mutta kuivuminen on nopeampaa.



Kuva 29-30. Seinärakenteen tarkastelupisteiden lämpötilat ja suhteellinen kosteus (Wufi®-laskenta ohjelma).

Kuvissa 29-30 seinärakenteen tarkastelupaikka viisi on selluvilla eristeen ulkopinta punaisella ja tarkastelupaikka kuusi on puurunkorakenteen ulkopinta sinisellä.

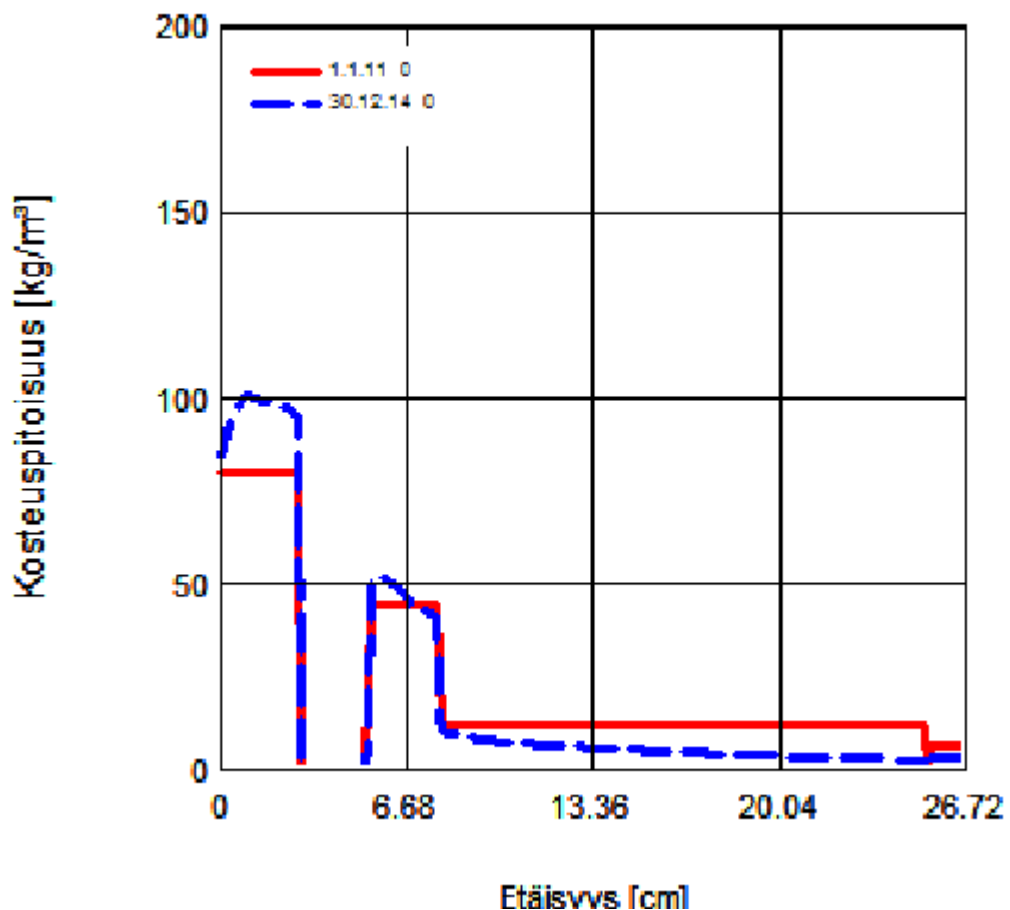
Kuvassa 29 lämpötilat ovat selluvillanulkopinnassa -20°C ja $+25^{\circ}\text{C}$ välillä ja rungon ulkopinnassa -9°C ja 25°C välillä. Kuvassa 30 selluvillan ulkopinnan suhteellinen kosteus on välillä 40-80% koko laskennan ajan ja puurungon kosteus on välillä 40-65%. Suhteellinen kosteusprosentti selluvillan ulkopinnassa on kokonaisuutta ajatellen hyvä, koska kuivuminen on nopeaa. Kuvassa käyrä piirtyy sahalaitaiseksi koko laskennan ajan tämä kuvaa rakenteen nopeaa reagointi kykyä kosteuteen. Puurungon osalta kosteusprosentti on selvästi alle mikrobikasvun vaatiman kosteuden.



kuva 31-32. Seinärakenteen tarkastelupisteiden lämpötilat ja suhteellinen kosteus. (Wufi®-laskenta ohjelma).

Kuvissa 31-32 seinärakenteen tarkastelupiste seitsemän punaisella on selluvillaneristeen sisäpinta ja tarkastelupiste kahdeksan on sinisellä Gyproc-levyn sisäpinta. Kuvassa 31 lämpötilat ovat selluvillan sisäpinnassa +17°C ja +23°C välillä ja gyproc levyssä välillä 18-25°C. Kuvassa 32 selluvillan

sisäpinnan suhteellinen kosteus on välillä 15-60% koko laskennan ajan ja Gyproc-levyn sisäpinnan kosteus on välillä 30-60%. Suhteellinen kosteusprosentti selluvillan sisäpinnassa vaihtelee suuresti. Talvikaudella kosteus on alhaisimmillaan ja kesäkaudella ulkoilman suhteellinen kosteus aiheuttaa kosteuden nousun 60 prosenttiin, joka on alhainen ajatellen mikrobikasvuston kasvualustan kosteuspitoisuutta.



Kuva 33. Seinärakenteen tarkastelupisteiden kosteuspitoisuus. (Wufi®-laskenta ohjelma).

Kuvassa 33 näkyy kosteuspitoisuus [kg/m^3] materiaaleittain. Punaisella laskennan alkukosteus ja sinisellä laskennan loppukosteus. Ulkuvuorilaudoituksen kosteuspitoisuus on hieman kasvanut. Tuulensuojalevyn

kosteuspitoisuus on pysynyt materiaalin ulkopinnassa samana ja sisäpinnassa hieman vähentynyt. Selluvillaeristeen kosteus on alkukosteutta hieman matalampi ja laskee sisälle päin edetessä.

5 Pohdinta

Opinnäytetyön aihe muodostui pienomakotitalon seinärakenteesta, joka oli iältään 14 vuotta vanha ja kunnoltaan todella huono. Uusi seinärakenne pyrittiin suunnittelemaan ja toteuttamaan nykypäivän rakennusmääräysten mukaisesti ja energiatehokkaaksi. Uuden seinärakenteen U-arvo parani 0.26:sta 0.23:een. Lukuarvona nousu ei ole suuri, mutta käytännössä on. Seinärakenne on kuiva ja toimiva. Kuivassa seinärakenteessa on pienempi lämmönläpäisykyky kuin kosteassa seinärakenteessa.

Uuden seinärakenteen valmistuttua asukkaat kokivat ulkoa sisälle tulevan melun vähentyneen huomattavasti, sekä vedon tunteen poistuneen alakerran makuuhuoneista.

Rakennuksen purku- ja korjaustyöt toteutettiin yhteistyössä asukkaiden kanssa. Rakennus pysyi asuinkelpoisena koko saneerauksen ajan. Toukokuussa oli vielä yöpakkasia, jotka huomioitiin purkamalla eristeet seinä kerrallaan pois ja uusi eristys pyrittiin asentamaan mahdollisimman pian paikoilleen. Asiakkaat eivät kokeneet kylmyyden tunnetta asuintiloissa eristeiden vaihdon yhteydessä.

Tutkimuksessa käytin laskentaohjelmaa Wufia, jonka tuloksista vanhan seinärakenteen osalta oli mielenkiintoista huomata konkreettisesti laskennan ja löydöksiä yhdenvertaisuus. Kosteutta ilmeni juuri siellä minkä laskenta osoitti.

Uuden seinärakenteen osalta tutkimuksissa ilmeni toteutuksen hankaluus työmaalla. Suurin haaste oli toteuttaa ilmansulkupaperin asennus kiertämään seinärunkotolpan ulkopuolelta. Ohjelmilla on helppo suunnitella toimivia seinärakenteita, mutta saneerauskohteessa uuden seinärakenteen yhdistäminen vanhaan rakenteeseen oli haastavaa.

Lähteet

1. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. Matti Pentti, Tarja Hyypöläinen. TTKK, talonrakennustekniikka, julkaisu 94. 1999
2. RakMK C3 Rakennuksen lämmöneristys. Määräykset 2010. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Suomen rakentamismääräyskokoelma. (RT RakMK-21402).
3. RT 82–10820 Pientalon puurakenteet. Avoin puurakennusjärjestelmä.2004.20 s.
4. RakMK C4 Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Suomen rakentamismääräyskokoelma. (RT RakMK-21217)
5. tekniikan tohtori Juha Vinha (ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta suomen ilmastossa)
6. www.energiakorjaus.info/pages/files/rakmk_old_fi/C2_1976_Veden_ja_kosteudeneristys.pdf
7. Tutkimus ulkoseinärakenteen lämpö- ja kosteustekninen tarkastelu (Keinänen 2009)