

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Mikko Hirvonen

PISTEMÄISEN LÄMPÖVUOTOSANEERAUKSEN HYÖDYN SEL-
VITTÄMINEN TIILIVERHOTUSSA KERROSTALOSSA

Opinnäytetyö
Helmikuu 2018



OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2018
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Mikko Hirvonen

Nimeke
Pistemäisen lämpövuotosaneerauksen hyödyn selvittäminen tiiliverhotussa kerrostalossa

Tiivistelmä

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia pistemäisen lämpövuotosaneerauksen hyötyä tiiliverhotussa kerrostalossa. Tutkimuksessa vertailtiin rakenteiden lämpöteknistä toimivuutta ennen ja jälkeen saneerauksen. Vertailun mittarina käytettiin lämpökuvauskohdan lämpötilaindeksin muutosta lämpökuvausolosuhteiden ollessa samankaltaiset molemmissa lämpökuvauksissa.

Tässä opinnäytteessä pistemäisellä lämpövuotosaneerauksella tarkoitetaan rakenteen paikkakorjausta ennalta tarkoin määriteltyjen lämpövuotopisteiden kohdilta. Työllä pyritään selvittämään, saavutetaanko pistemäisellä lämpövuotosaneerauksella tavoiteltu parempi pintalämpötilojen taso rakenteiden sisäpinnoilla. Opinnäytetyön tarkastelun keskiössä on rakenteiden rakennusfysikaalinen toimivuus.

Tutkimuksien perusteella 23:sta saneeratusta kohdasta 15 kohtaa tuotti positiivisen tuloksen ja loput kahdeksan kohtaa eivät poikenneet edellisvuoden lämpökuvauksesta merkittävästi. Vaikka pistemäinen minimilämpötila ei jokaisessa saneeratusta kohdassa ollut alentunut, oli monin paikoin lämpökameran osoittaman lämpötilajakauman kylmä alue pienentynyt. Tutkimus osoitti, että kaikkien lämpövuotopisteiden osalta käytetty saneerausmenetelmä ei ollut riittävä parantamaan kaikkia rakennusaikaisia puutteita eristyksissä.

Jatkotutkimuksena opinnäytetyölle voisi selvittää, saavutetaanko perusteellisella ulkoseinärakenteen lämpövuotosaneerauksella pistemäiseen menetelmään verrattuna parempi lämpötekninen taso. Jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia, olisi huomioitava käytetty eristemateriaali ja sen paksuus vertailua tehdessä.

Kieli	Sivuja	50
suomi	Liitteet	1
	Liitesivumäärä	12

Asiasanat
lämpövuoto, saneeraus, eristys



THESIS
January 2018
Degree Programme in Construction Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Mikko Hirvonen

Title
Determining the Benefits of Point-Form Heat Loss Renovation in an Apartment Building

Abstract

The aim of this thesis was to explain the benefits of point-form heat loss renovation in an apartment building. The study compares the thermal functioning of the structures. The comparison indicator was the thermal index which was figured out by thermographic survey from the same points before and after renovation. The thermographic examination was made in similar weather conditions.

The point-form heat loss renovation means the repairing of heat leaking points which were carefully defined by earlier explorations. The intention of the investigation was to inspect if it is possible to achieve better interior surface temperatures by point-form renovation. The focus in this thesis was structural physics and functionality of structures.

This study indicates that 15 points from all 23 points produced a positive outcome. The remaining eight points did not diverge significantly from the previous year. The cold areas indicated by thermographic camera were smaller in several points after the renovation. The outcome of the project was that there was a better thermal level in the house, but the method of repair construction was not sufficient to repair all the heat leaking points which originated from the original building process.

In further studies it would be interesting to investigate and compare how much better level would be achieved by full insulation reconstruction. In order to get comparable results, attention should be paid to the features of insulation.

Language

Finnish

Pages 50

Appendices 1

Pages of Appendices 12

Keywords

heat loss, renovation, insulation

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Työn taustaa	6
1.2	Tavoite ja rajaus	7
2	Lämpövuodot rakenteessa	7
3	Huoneilman kosteus, virtaukset ja sisälämpötila	8
3.1	Kosteuden tiivistyminen rakenteeseen ja rakenteen pinnalle	10
3.2	Diffuusio ja konvektio	11
3.3	Sisälämpötila	12
4	Mikrobit	14
5	Rakennuksen lämpökuvaus	16
5.1	Olosuhteiden huomioiminen kuvauksissa	17
5.2	Emissiivisyys ja lämpötilaindeksi	18
6	Tutkimuskohde	20
6.1	Tutkimuskohteen esittely	20
6.2	Rakenneavaukset, havaitut puutteet ja saneeraustyön haasteet	22
7	Seinärakenteen lämpötilan ja kosteuden simulointi	26
7.1	Wufi Pro 5.1	26
7.1.1	Rankarunkoinen seinä	26
7.1.2	Betonirunkoinen seinä	27
7.2	Cmsol Multiphysics 5.3	29
7.3	Mallien johtopäätökset	30
8	Kohteeseen tehdyt tutkimukset	31
8.1	Lämpökuvaus maaliskuu 2017	31
8.2	Lämpökuvaus helmikuu 2018	33
8.3	Tulokset ja vertailu	34
9	Pohdinta	36
	Lähteet	38

Käsitteet

Absoluuttinen kosteus	Sisäilman kosteuspitoisuus (g/m^3)
Ilmavuotoreitti	Epätiivis kohta, josta ulkoilma pääsee virtaamaan rakenteeseen tai sen läpi.
Kastepistelämpötila	Lämpötila, jossa vesihöyryn pitoisuus ylittää kyllästyskosteuden.
Kylmäsilta	Rakenteessa oleva hyvin lämpöä johtava ja ympärillä olevasta aineesta poikkeava materiaali tai kerros.
Lämpökamerakuvaus	Rakennuksen ulkovaipan lämpötilaerojen määrittäminen. Tavoitteena on löytää rakenteen lämpövuotoreitti.
Lämpötilaindeksi	Lämpötilaindeksiä käytetään rakenteen lämpötekni- sen toimivuuden mittarina. (KH 24-00615)
Pistemäinen lämpövuoto- saneeraus	Käsittää opinnäytetyössä kohteen lämpökuvauksen perusteella tehtyä paikallista ulkoseinän lämpövuotojen korjausta.
Stationäärinen	Ajasta riippumaton.
Vesihöyrynvastus	Kuvaa rakennusmateriaalin vesihöyryn virtausta vastustavaa ominaisuutta.

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on lämpövuotosaneerauksen hyödyn selvittäminen Joensuuun Noljakassa sijaitsevan kerrostaloyhtiön yhden talon osalta. Aihe sai alkunsa kolmannen opintovuoden työnjohtoharjoittelussa Renevo Oy:ssä, jolloin kustannusarvio taloyhtiön C-talon lämpövuotosaneerauksesta hyväksyttiin. Opinnäytetyön tekijä toimi projektissa kesän 2017 aikana työnjohtajana perehdyttäen työntekijän insinööritoimiston tekemien tutkimuksien pohjalta laaditun korjaustoimenpide-ehdotuksien mukaisiin saneeraustöihin. Aihe valikoitui opinnäytetyöhön, koska työtekniikan hyödyn selvittäminen vaikutti kiinnostavalta. Opinnäytetyöllä ei ole erillistä toimeksiantajaa.

Lämpövuotojen korjaukset suoritettiin pistemäisellä saneerausmenetelmällä purkaen julkisivun tiiliverhousa pohjakuvaan merkityn lämpökuvauspisteen kohdalta tarvittava määrä, jotta korjattavaan kohtaan päästiin käsiksi. Työn tilaajan toiveesta kokeiltiin edullisempaa menetelmää lämpövuotojen korjaukseen, koska tiiliverhouksen kauttaaltaan poistaminen, eristyspuutteiden ja ilmapuotojen täydellinen korjaaminen olisi ollut kustannuksiltaan paljon suurempi. Rakenteen lämpövuodot johtuivat monin paikoin puutteellisista eristyksistä ja ilmataskuista eristetilassa, mitkä olivat olleet rakenteessa rakennuksen tekohetkestä saakka. Lämmöneristyksistä löytyneet puutteet käyvät ilmi liitteessä 1. Lämpövuotosaneerauksessa keskityttiin lämpökuvauspisteiden mukaisiin kylmiin rakenneosiin.

1.1 Työn taustaa

Ensimmäisen kerran kohteeseen tehtiin lämpökuvaus isännöitsijän tilaamana maaliskuussa 2017. C-talon kuuden huoneiston osalta lämpökuvauksessa osoitettiin yhteensä 23 korjaustoimenpiteitä vaativaa kohtaa. Ulkoseinärakenteen lämpövuodot korjattiin insinööritoimiston tekemän lämpökuvauksen ja rakennevausten pohjalta laadittujen korjausehdotusten mukaan. Toisen kerran rakennukseen tehtiin lämpökuvaus talvella 2018 mahdollisimman samankaltaisissa olosuhteissa, kuin vuoden 2017 lämpökuvaus. Lämpökuvauksen tuloksia vertailemalla tehtiin yhteenveto korjaustoimenpiteen kannattavuudesta ja korjauksen onnistumisesta.

1.2 Tavoite ja rajaus

Opinnäytetyössä tarkastellaan lämpövuotosaneerausta ainoastaan taloyhtiön C-talon osalta, vaikka samalla tontilla olevat A- ja B-talot korjattiin myöhemmin samana syksynä. Opinnäytetyön tekijä oli aloittanut opinnot A- ja B-talon remontin aikana, jonka vuoksi ne jätetään tutkimusalueen ulkopuolelle.

Työn tavoitteena on selvittää, nousevatko lämpökuvattavien rakennusosien pistemäiset lämpötilat korjauksen myötä, ja minkälainen merkitys sillä on rakenteen toimivuuden kannalta, vai olisiko tavoitteeseen pääsyyn vaadittu järeämpiä korjaustoimenpiteitä. Lisäksi opinnäytetyössä tarkastellaan teoreettisin menetelmin rakenteiden kosteus- ja lämpöteknistä toimintaa, jolla on merkittävä yhteys koko rakenteen toimivuuden kannalta.

2 Lämpövuodot rakenteessa

Rakenteessa havaitut lämpövuodot johtuvat usein eristysvaiheen huolellisuuden laiminlyönnistä. Rakennusvaiheessa pieneltä tuntunut laiminlyönti voi johtaa kalliisiin korjauksiin tulevaisuudessa. Sisä- ja ulkoilman tunkeutuminen rakenteisiin synnyttää haittavaikutuksia heikentäen rakenteen lämmöneristyskykyä. Lisäksi rakenteeseen voi tiivistyä kosteutta ja pintalämpötilat rakenteen sisäpinnoilla voivat laskea haitallisen matalaksi. Lämmöneristeen lämpimälle puolelle päästetty kylmä ilma voi kulkeutua johtumalla tiivistä ja huonosti lämpöä eristävää materiaalia pitkin kauas jäädyttäen sisäpintaa. Rakenteen sisäiset virtaukset voimistuvat ulkoilman tunkeuduttua rakenteeseen, ja riski kosteuden tiivistymiselle rakenteessa kasvaa. Myös ilmatiiviyys on avainasemassa lämpövuodoista puhuttaessa. (Björkholtz 1997, 35 – 36.)

Rakenteiden yleisimpiä lämpövuotopaikkoja ovat laajoista pinnoista rakenteellisesti poikkeavat kohdat, kuten ikkunat, ovet ja luukut sekä rakenteiden liitokset. Näiden suunnittelu ja toteutus vaativat erityistä tarkkuutta. Liitoskohdissa olevista raoista ja paine-eroista johtuen ilma pääsee virtaamaan hallitsemattomasti rakennuksen vaipan läpi. Rakenteen läpivirtauksen mukana siirtyvät myös kosteus ja ilmassa olevat epäpuhtaudet. (Rantala & Leivo 2009, 383.)

3 Huoneilman kosteus, virtaukset ja sisälämpötila

Huoneilman kosteuspitoisuus on riippuvainen ulkoilman kosteudesta, rakennuksen sisäisestä kosteustuotosta ja ilmanvaihdosta. Kosteustuotto on ihmisistä ja heidän toiminnostaan peräisin olevaa kosteutta, jota syntyy muun muassa tiskaamisen, pyykinpesun, ruuanlaiton, kylpemisen ja kasvien haihduttamisen seurauksena. Sisäilman keskimääräisenä kosteuslisän arviona pidetään asuinrakennuksissa 3 g/m^3 . (Björkholtz 1997 48-49.)

Tietyssä lämpötilassa ilma voi sitoa itseensä rajallisen määrän kosteutta. Tätä maksimimäärää nimetään kyllästyskosteudeksi $v_k \text{ (g/m}^3\text{)}$. Mitä korkeampi lämpötila on, sitä suuremman määrän kosteutta ilma kykenee itseensä sitomaan. Huoneilmassa vallitsevia kosteusolosuhteita kuvataan yleisesti RH-pitoisuudella, joka on prosentuaalinen osuus ilman sisältämän vesimäärän $v \text{ (g/m}^3\text{)}$ ja kyseisen lämpötilan kyllästyskosteuden $v_k \text{ (g/m}^3\text{)}$ osamäärästä alla olevan kaavan 1 mukaan. (Björkholtz 1997 44-45.)

$$RH = \frac{v}{v_k} \cdot 100 \% \quad (1)$$

missä

RH = ilman suhteellinen kosteus (%)

v = absoluuttinen kosteus (g/m^3)

v_k = kyllästyskosteus (g/m^3)

Taulukko 1. Ilman ominaisuuksia normaali-ilmakehän paineessa 101325 Pa (Björkholtz 1997,44.)

t °C	vk g/m ³	Pk Pa	t °C	vk g/m ³	Pk Pa	t °C	vk g/m ³
-20	0,88	102	14	12,10	1603	48	75,67
-19	0,95	111	15	12,86	1708	49	79,33
-18	1,04	122	16	13,65	1820	50	83,14
-17	1,14	135	17	14,49	1939	51	87,10
-16	1,25	149	18	15,37	2064	52	91,21
-15	1,38	164	19	16,30	2197	53	95,48
-14	1,52	181	20	17,28	2337	54	99,92
-13	1,67	200	21	18,31	2484	55	104,52
-12	1,83	221	22	19,40	2640	56	109,30
-11	2,01	243	23	20,54	2805	57	114,25
-10	2,20	266	24	21,74	2979	58	119,39
-9	2,40	292	25	23,00	3162	59	124,72
-8	2,61	319	26	24,32	3355	60	130,24
-7	2,84	348	27	25,71	3559	61	135,95
-6	3,08	379	28	27,17	3773	62	141,87
-5	3,33	412	29	28,70	3999	63	147,99
-4	3,60	447	30	30,31	4237	64	154,33
-3	3,89	485	31	31,99	4487	65	160,88
-2	4,19	524	32	33,75	4750	66	167,66
-1	4,51	566	33	35,60	5027	67	174,67
0	4,85	611	34	37,54	5317	68	181,90
1	5,21	658	35	39,56	5622	69	189,38
2	5,58	708	36	41,68	5943	70	197,11
3	5,98	762	37	43,90	6279	71	205,08
4	6,40	818	38	46,21	6631	72	213,31
5	6,84	878	39	48,63	7001	73	221,80
6	7,31	941	40	51,16	7388	74	230,56
7	7,80	1008	41	53,79	7793	75	239,60
8	8,32	1079	42	56,54	8218	76	248,91
9	8,87	1154	43	59,41	8663	77	258,51
10	9,45	1234	44	62,40	9128	78	268,40
11	10,06	1318	45	65,52	9614	79	278,59
12	10,71	1408	46	68,77	10122	80	289,08
13	11,39	1502	47	72,15	10653		

Lämpötilan, paineen ja kyllästyskosteuden yhteys on esitetty taulukossa 1. Taulukosta voi havaita, että mitä korkeampi lämpötila on, sitä suurempi on myös vesihöyryn kyllästyskosteus. Näiden kahden muuttujan välillä ei ole laskennallista yhteyttä, mutta niiden yhteydestä löytyy erilaisia likiarvokaavoja. Lämpötilan ollessa -20 – +80 °C kyllästyskosteuden v_k (kg/m³) ja lämpötilan t (°C) välinen yhteys voidaan laskea kaavalla 2. (Björkholtz 1997, 43.)

$$v_k = 10^{-3} \cdot \left(4,85 + 3,47 \cdot \left(\frac{t}{10} \right) + 0,945 \cdot \left(\frac{t}{10} \right)^2 + 0,158 \cdot \left(\frac{t}{10} \right)^3 + 0,0281 \cdot \left(\frac{t}{10} \right)^4 \right) \quad (2)$$

missä

v_k = ilman kyllästyskosteus (kg/m³)

t = ilman lämpötila (°C)

3.1 Kosteuden tiivistyminen rakenteeseen ja rakenteen pinnalle

Rakenteen sisäinen kosteuspitoisuus eri kerroksissa vaihtelee toistuvasti. Syynä tähän ovat ympäröivät olosuhteet ja niiden muutokset. Rakennetta tarkastellessa on otettava huomioon sekä ulkoa, että sisältä tuleva kosteus. Rakenteeseen tuleva kosteus tiivistyy siinä kohtaa vedeksi, jossa vesihöyryn osapaine (p) ylittää kyseisen kohdan kyllästyspaineen (p_k). (Björkholtz 1997, 66.)

Rakenteen suunnittelussa tulee ottaa huomioon, ettei vuosien tarkasteluvälillä rakenteen sisäinen kosteuspitoisuus nouse yhtäjaksoisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että rakenteeseen mahdollisesti pääsevän kosteuden on myös pystyttävä poistumaan rakenteesta. Kahden eri materiaalin liittymäkohdat ovat kaikkein alttiimpia rakenteen sisäiselle kosteuden tiivistymiselle. (Björkholtz 1997, 66-67.)

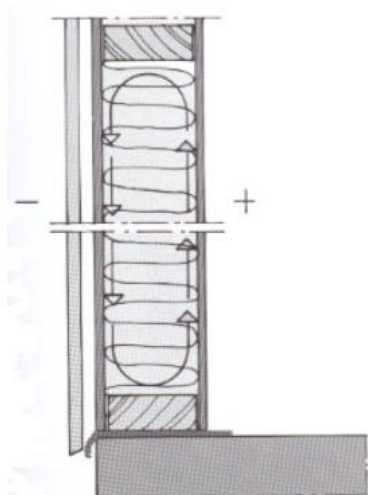
Kun kostea ilma kohtaa rakenteen pinnan, jonka lämpötila on matalampi kuin kastepistelämpötila, tiivistyy sen sisälle kosteutta. Rakenteessa kosteuden tiivistymiseen sisäpinnoille vaikuttavia tekijöitä ovat rakenteen lämmönvastus, sisäpinnan lämmönvastus, sisäilman kosteuspitoisuus sekä ulkolämpötila. Jotta kosteuden tiivistymistä rakenteen sisäpinnoille ei tapahtuisi, on sen pinnan lämpötilan oltava korkeampi kuin ympäröivän ilman kastepistelämpötila. (Björkholtz 1997, 64.)

3.2 Diffuusio ja konvektio

Kosteus voi siirtyä huoneilmasta ja ulkoilmasta rakenteeseen diffuusiolla. Sisällä ja ulkona vallitsee tietty vesihöyryn osapaine, joka pyrkii tasoittumaan kohti pienempää pitoisuutta, mikä synnyttää diffuusiovirtauksia. Lämmin sisäilma sitoo itseensä enemmän kosteutta kuin kylmä ilma, ja näin ollen vallitseva vesihöyryn osapaine on suurempi. Diffuusiolla rakenteeseen kulkeutunut kosteus muodostaa ongelmia silloin, kun rakenteeseen siirtyvän kosteuden määrä on suurempi kuin rakenteen kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta. (Sisäilmayhdistys 2008)

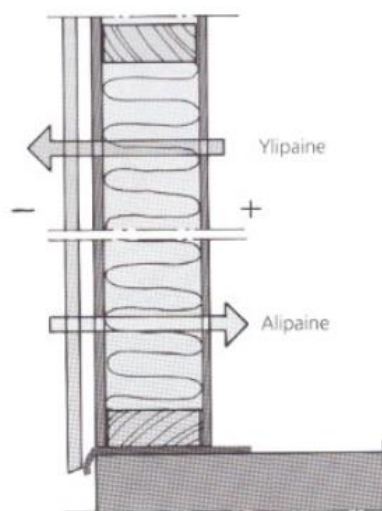
Diffuusiovirtaukseen rakenteessa vaikuttavaa rakennusmateriaalien vesihöyryvastus, joka on materiaalikohtainen ominaisuus. Diffuusiovirtaus sisäilmasta kosteutta sitomattomaan eristeeseen pyritään katkaisemaan materiaalilla, jonka vesihöyryvastus on riittävä. Tämä materiaali tunnetaan arkikielellä paremmin nimellä höyrynsulku. Höyrynsulkuna toimii usein muovikalvo, levy, pinnoite tai rakenneosia itsessään, jolla on riittävän suuri vesihöyryvastus. Käytettäessä avo- huokoisia lämmöneristeitä tulee höyrynsulun vesihöyryvastuksen olla vähintään viisinkertainen tuulensuojamateriaalin vesihöyryvastukseen verrattuna. (Lähdesmäki 2014, 253; Rakennusmääräyskokoelma C2 1998, 9)

”Konvektio on huokoisten ja hyvin ilmaa läpäisevien aineiden ja rakennusosissa olevien rakojen läpi tapahtuvaa ilman virtausta” (RT 05-10710 1999, 2). Konvektio voi olla luonnollista tai pakotettua. Luonnollista konvektiota tapahtuu esimerkiksi korkeassa ja huokoisessa ulkoseinäeristeessä, jonka paksuus on yli 125 mm. Eristetilassa voi syntyä luontaista konvektiota, kun ilma lämpenee lähellä rakenteen sisäpintaa ja viillenee lähellä ulkopintaa. Lämpenemisen johdosta ilman tiheys pienenee, minkä seurauksena ilma pyrkii ylöspäin. Vastaavasti lähellä ulkopintaa olevan ilman viilentyessä tiheys kasvaa ja se painuu alaspäin. Tämän vuoksi korkeissa eristetiloissa ja ilmaraoissa voi syntyä pyörreliikettä. Riski kosteuden tiivistymiselle rakenteessa syntyy, kun kylmänä vuoden aikana lämmin sisäilma tiivistyy ulkopinnan nurkkapisteisiin. Kuvassa 1 on havainnollistettu paksun ulkoseinäeristeen sisäinen luonnollinen konvektiovirtaus. (Siikanen 2014, 34-35)



Kuva 1. Luonnollinen konvektio (Siikanen 2014, 35).

Savupiippuvaikutus, ilmanvaihto, lämmitys ja tuuli aiheuttavat pakotettua konvektiota, sillä ne muodostavat paine-eroja sisäilman ja ulkoilman välillä. Tällöin epätiivis kohta rakenteessa toimii ilman virtauksen reittinä. Rakennukset suunnitellaan ilmanvaihdon osalta aina alipaineisiksi, jolloin on huolehdittava riittävästä korvausilman saannista. Sisäilman ja ulkoilman painesuhteiden vaikutus konvektiovirtaukseen on esitetty kuvassa 2. (Siikanen 2014, 35 ja 38)



Kuva 2. Pakotettu konvektio (Siikanen 2014, 35).

3.3 Sisälämpötila

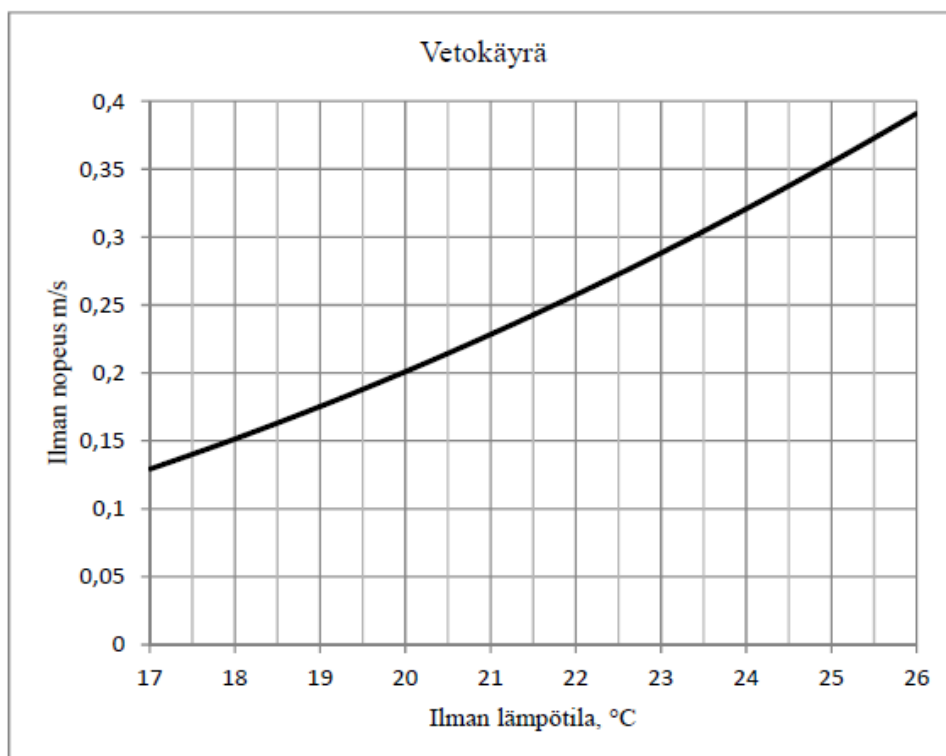
Rakennuksen sisälämpötila on rakenteiden toimivuuden ja asumisviihtyvyyden kannalta merkittävä tekijä. Lämpötilan kokeminen miellyttävänä asuinympäristössä on yksilökohtaista, mutta viihtyvyyden on todettu olevan keskimääräisesti

hyvä, kun sisälämpötila on +21 °C. Liian lämmin sisäilma aiheuttaa tunkkaisuuden tunnetta, eikä ilmanvaihtokoneelta tuotu liian lämmin tuloilma sekoitu ja jakaannu huoneilmaan tasaisesti, mikä voi myös aiheuttaa ilmamäärän puuttumisen tunnetta. Kylmä huoneilma ja vetoisuus ovat lisäksi asumisviihtyvyyden haittatekijöitä. (Pitkäranta 2016, 62.)

Terveyshaitan selvittämiseksi huoneen lämpötilan mittaus tulee tehdä oleskeluvyöhykkeeltä noin 1,1 m:n korkeudelta. Mikäli pistemäinen pintalämpötila poikkeaa toimenpiderajasta, ei sen katsota suoraan vaikuttavan sisäilman terveydellisiin olosuhteisiin, kunhan oleskeluvyöhykkeen lämpötilat täyttävät niiden vaatimukset. Oleskeluvyöhykkeen ulkopuolelle jäävät lämpötilat ja pistemäiset pintalämpötilat on kuitenkin otettava huomioon tarkastellessa kokonaisuutena rakenteen terveyttä ja toimivuutta, koska kylmissä pinnoissa kehittyvä mikrobikasvuston riski on todennäköistä. Ilman virtausnopeus ei huonetilassa saa ylittää kuvan 3 mukaisia arvoja sisälämpötilaa mitattaessa. Lisäksi taulukossa 2 on esitetty mitattujen pisteiden lämpötilojen toimenpiderajat.

Taulukko 2. Lämpötilojen toimenpiderajat (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 1 2016, 12)

	Lämpötilojen toimenpiderajat (°C)	Lämpötilaindeksi (TI)
<i>Asunnossa</i>		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	18 – 26	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella	18 – 32	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	16	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	18	87
Alin pistemäinen pintalämpötila	11	61
<i>Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa</i>		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	20 – 26	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella lasten päivähoitopaikat, oppilaitokset ja muut vastaavat tilat.	20–32	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella, palvelutalot, vanhainkodit ja muut vastaavat tilat.	20–30	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	16	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	19	92
Alin pistemäinen pintalämpötila	11	61



Kuva 3. Sallitut maksimivirtausnopeudet lämpötilamittauksissa. (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 1 2016, 13)

4 Mikrobit

Mikrobit ovat paljain silmin havaitsemattoman pieniä viruksia, bakteereita, sieniä ja muita eliöitä, joita on elinympäristössä kaikkialla. Rakentamisen yhteydessä haitallisilla mikrobeilla tarkoitetaan bakteereja sekä home-, hiiva- että lahottajasieniä. Mikrobit vaativat tyypistä riippuen erilaiset kasvuolosuhteet. Niiden aineenvaihduntatuotannon yhteydessä vapautuu huoneilmaan kaasuja ja toksineja, jotka voivat olla haitallisia rakennuksessa oleskelevan terveydelle. Mikrobikasvustoa rakennuksessa ihminen voi aistia muutenkin kuin pinnoilla näkyvänä rihmastona tai kasvustona. Usein huoneilmassa voi olla niin sanottu homeelle tai kellarille tyypillinen haju, jonka tyypillisenä lähteenä ovat huoneilmaan vapautuvat mikrobeiden aineenvaihduntatuotteet. (Reiman 1998, 40.)

Kosteuspitoisuus huoneilmassa ei saa pitkällä aikavälillä olla niin suuri, että mikrobikasvuston kehittyminen mahdollistuu rakenteeseen, laitteisiin tai niiden pinnoille. Mikrobikasvun kehittymiseen vaikuttavat sisäilman kosteuden lisäksi myös

muut ympäröivät olosuhteet, kuten lämpötila ja kasvuympäristö. Kosteus on kuitenkin mikrobikasvuston kehittymisen kannalta merkittävin edistäjä. Huoneilman suhteellisesta kosteudesta ei ole säädetty tarkkoja raja-arvoja, sillä se voi väliaikaisesti muuttua ulkoilman kosteuden ja rakennuksen sisäisten toimintojen vuoksi merkittävästi. Suositus huoneilman suhteellisesta kosteudesta on ollut 20–60 %, muttei suosituksesta poikkeavaa sisäilman kosteutta voida pitää suoranaisesti terveyshaittana. (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 1 2016, 10.)

Lämpötilan ollessa +21 °C saadaan sitä vastaavaksi kyllästyskosteudeksi taulukosta 1 18,31 g/m³. Kun sisäilman RH=40 % saadaan kaavaa 1 johtamalla sisäilman absoluuttiseksi kosteuspitoisuudeksi:

$$RH = \frac{v}{v_k} \cdot 100 \%$$

$$v = RH \cdot v_k = 40 \% \cdot 18,31 \text{ g/m}^3 = 7,33 \text{ g/m}^3$$

Rakennuksen sisäilman kosteutta tarkastellessa tulee ottaa huomioon myös kosteuslisän vaikutus suhteelliseen kosteuteen. Kosteuslisän ylittäessä 3-4 g/m³ voidaan sitä pitää haitallisena mikrobikasvun kehittymisen kannalta. (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 1 2016, 11.)

Kun rakennuksen sisäiset toiminnot tuottavat 4 g/m³ lisäkosteutta +21 °C lämpötilassa, RH:n ollessa 40 % ja ilmanvaihdon pysyessä vakiona, saadaan sisäilman todellinen RH laskettua edelleen kaavan 1 avulla.

$$RH = \frac{v}{v_k} \cdot 100 \% = \frac{(7,33 + 4) \text{ g/m}^3}{18,31 \text{ g/m}^3} \cdot 100 \% = 61,87\%$$

Lämpötilan vaikutus mikrobikasvustoon riippuu yksilöllisesti mikrobilajin sietokyvystä, ja mikrobien kasvamiseen vaadittu lämpötila-alue on usein laaja. Tietyille mikrobityypeille on ominaista kasvu kylmissä olosuhteissa, jolloin kasvun kannalta lievä pakkaneenkaan ei ole este, kun taas toiset mikrobeista viihtyvät erittäin lämpimissä olosuhteissa kuten +50 °C:ssa. Kylmässä viihtyviä lajeja kutsutaan psykrofiileiksi, joista yleisin on homesieni. Mesofiileiksi kutsutaan lajeja, jotka viih-

tyvät parhaiten huoneenlämpöä vastaavassa +20 – +30 °C lämpötilassa ja termotolantetit viihtyvät korkeissakin lämpötiloissa. Aktinomykeeteissä eli sädesienissä on lajikkeita, jotka vaativat kehittyäkseen korkean lämpötila, +50 – +60 °C. (Reiman 1998, 40.)

5 Rakennuksen lämpökuvaus

Rakennuksien lämpökuvaus perustuu infrapunasäteilyyn, jossa pinnaltaan erilaiset materiaalit lähettävät toisistaan poikkeavaa infrapunasäteilyä vastaanottiin eli lämpökameraan. Lämpökuvauksella saadaan selvitettyä rakennuksen vaipan ja liitososien lämpöteknistä toimivuutta. Sillä kyetään havaitsemaan muun muassa rakenteissa olevat mahdolliset eristepuutteet, kylmäsillat, kosteusvauriot sekä ilman virtausreitit. Kaikista havaituista pintalämpötilaeroista ei voida puhua puutteena tai virheenä rakenteessa, sillä erilaiset rakenteen sisäiset osat vaikuttavat pinnalta mitatun lämpötilan muodostumiseen. (KH24-00615 2016, 2.)

Lämpökuvaus on rakenteita vaurioittamaton toimenpide, joka voidaan suorittaa niin uuteen kuin vanhaankin rakennukseen. Lämpökuvaus voi olla myös vaurioiden ja puutteiden paikantamisen sijaan osana rakennushankkeen laadunvalvontaprosessia, jolloin rakenteilla olevaa rakennusta kuvataan, ja huomiota herättäviin kohtiin voidaan puuttua jo rakennusvaiheessa. Lämpökuvaus suoritetaan rakennukseen alipaineiselta puolelta eli yleensä sisältä ulospäin. (KH24-00615 2016, 4.)

Varsinaista pätevyyttä lämpökuvaajalta ei vaadita, mutta kuvaajalla on oltava riittävä asiantuntemus rakennustekniikasta sekä lämpökuvauksesta. Riittävä osaaminen voidaan osoittaa esimerkiksi lämpökuvauksen perustutkintotodistuksella (level 1, Thermographer Certificate) tai VTT:n myöntämällä lämpökuvaajan henkilösertifikaatilla. (KH24-00615 2016, 2.)

5.1 Olosuhteiden huomioiminen kuvauksissa

Ennen rakennuksen lämpökuvausta ja sen aikana on oltava toimenpiteeseen sopivat olosuhteet. Sisälämpötilan ja ilmanvaihdon on vastattava normaalia käyttötilannetta. Ennen kuvauksen suorittamista lämpötila ei saa poiketa viimeisen 12 tunnin aikana ± 10 °C. Ilman lämpötilaero 12 tunnin aikana ennen mittausta ja mittauksen aikana ei rakennuksen vaipan yli saa alittaa arvoa $3/U$, jossa U (W/m^2K) on rakennusosan lämmönläpäisykerroin. Sisä- ja ulkolämpötilojen erotus ei saa myöskään olla alle 15 °C, ja kuvattava alue ei saa olla alttiina auringonsäteilylle edellä mainittuna aikana. Jos auringonvalolta ei ole voitu välttyä ennen kuvausta tai sen aikana, on se merkittävä lämpökuvausraporttiin. Jos kyse on raskaasta rakenteesta, käytetään 12 tunnin tasaantumisajan sijasta vähintään 24 tuntia. Tällaisia raskaita rakenteita ovat mm. umpitiilirakenne, siporex-rakenne ja betoni-villa-betonirakenne. (KH 24-00368 2016, 3.)

Lämpökuvauksen aikana on tarkkailtava sisä- ja ulkolämpötiloja. Mittauksen aikana sallitut lämpötilapoikkeamat ovat sisällä ± 2 °C ja ulkona ± 5 °C. Kuvaushetkellä rakennuksen sisällä on oltava pieni alipaine ulkoilmaan nähden. Jos rakennuksessa on painovoimainen ilmanvaihto, on katonraja usein ylipaineinen, mikä on otettava huomioon mittaustuloksien yhteenvetoa tehdessä. (KH 24-00368 2016, 3.)

Mikäli mittauksia tehdessä lämpötilapoikkeamat ovat suurempia kuin annetut raja-arvot, on ne merkittävä mittausraporttiin. Lämpökuvausta ei voi suorittaa erityisen kylmillä keleillä, jolloin lämpötila poikkeaa paikkakuntakohtaisesta mitoitustilasta tai mikäli tuulennopeus ≥ 10 m/s. Sisäilman paineen on oltava lämpötilaindeksiä laskettaessa 0 – (-15) Pascalia. Paine-eron ollessa -6 – (-15) Pascalia korjataan mitattua pistemäistä lämpötilaindeksiä taulukon 3 mukaisesti. (KH 24-00368 2016, 3–5.)

Taulukko 3. Paine-eron vaikutus pistemäiseen lämpötilaindeksiin. (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 1 2016, 15)

Mitattu alipaine rakennuksessa (Pa)	Korjaus mitattuun pistemäiseen lämpötilaindeksiin
0 - 5	0
6	+ 0,5
7	+ 1,0
8	+ 1,5
9	+ 2,0
10	+ 2,5
11	+ 3,0
12	+ 3,5
13	+ 4,0
14	+ 4,5
15	+ 5,0

5.2 Emissiivisyys ja lämpötilaindeksi

Rakennusmateriaalin ja lämpökuvattavan pinnan kyvystä lähettää lämpösäteilyä käytetään termiä emissiivisyys (ϵ). Emissiivisyys ilmoittaa, kuinka suuri osa kuvattavan kohteen säteilyenergiasta on peräisin kappaleen pinnasta. Tavallisimmin rakennusmateriaaleilla emissiivisyys on 0,9–0,95. Se on prosentuaalinen osuus kappaleen lähettämän säteilyn sekä mustan kappaleen säteilyn ($\epsilon=1$) välillä. Lämpökuvauksen yhteydessä käytettävä emissiivisyysluku on ilmoitettava loppuraportin yhteydessä. (KH24-00615 2016, 2.)

Lämpötilaindeksillä voidaan arvioida rakennuksen vaipan lämpöteknistä toimivuutta. Vaipan pintalämpötiloja voidaan arvioida ja verrata toisiinsa lämpötilaindeksiä käyttämällä silloin, kun lämpötilojen mittauksia ei voida tehdä vakio-olosuhteissa, jolla tarkoitetaan -5 ± 1 °C:n ulkolämpötilaa ja $+20 \pm 2$ °C:n huonelämpötilaa. Lämpötilaindeksi ilmoitetaan prosentin tarkkuudella ja se lasketaan kaavan 3 mukaan. (KH24-00615 2016, 2.)

$$TI = \frac{(T_{sp}-T_o)}{(T_i-T_o)} \cdot 100 \% \quad (3)$$

missä

TI = Lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila (°C)

T_i = sisäilman lämpötila (°C)

T_o = ulkoilman lämpötila (°C)

Mittauskohdan mukaista lämpötilaindeksiä verrataan asuin- ja oleskelutiloihin soveltuvaan korjausluokitukseen, joka on esitetty kuvassa 4.

Asuin- ja oleskelutiloihin soveltuva korjausluokitus

1 Korjattava

- Pinnan lämpötila ei täytä *Asumisterveysohjeen* välttävää tasoa (ilma- vuoto, eristevika). Heikentää oleellisesti rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa (esimerkiksi kosteusvaurio).
- TI < 61 %

2 Korjaustarve selvítettävä

- Korjaustarve on erikseen harkittava. Täyttää *Asumisterveysohjeen* välttävän tason, mutta ei täytä hyvää tasoa, TI 61–65 %

3 Lisätutkimuksia

- Täyttää asumisterveydelle asetetut hyvän tason vaatimukset, mutta piilee tilan käyttötarkoitus huomioiden kosteus- ja lämpötekni- sen toiminnan riski. On tarkasteltava rakenteen kosteuste- kninen toiminta tai tehtävä muita li- sätutkimuksia (esimerkiksi tiiviysmit- taus), TI > 65 %

4 Hyvä

- Täyttää hyvän tason vaatimukset. Ei korjaustoimenpiteitä.
- TI > 70 %

Kuva 4. Asuin ja oleskelutilojen korjausluokitus (KH-24-00368 2016, 5.)

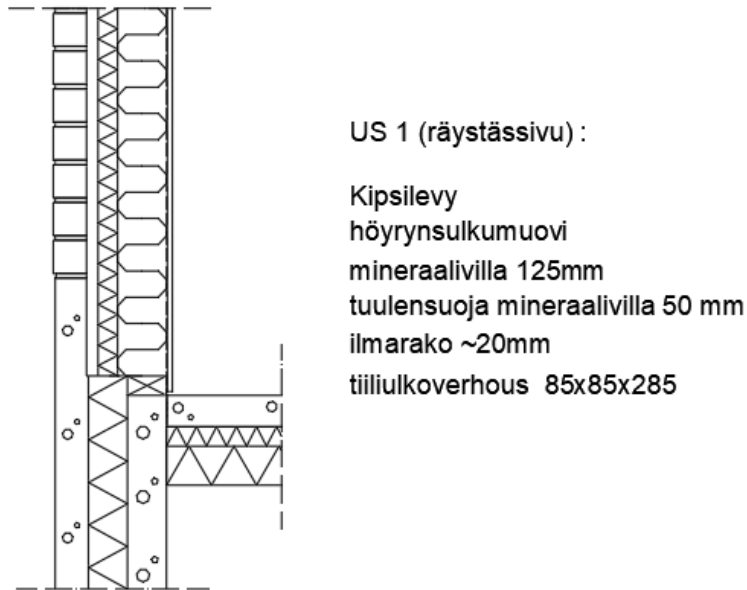
6 Tutkimuskohde

Kappaleessa 6.1 esitellään opinnäytetyön tutkimuskohde. Esitellyt tiedot perustuvat kohteen aiempiin tutkimuksiin, lämpövuotosaneerauksessa tehtyihin havaintoihin sekä rakennustapaselostukseen. Saneeraustyössä havaitut rakenteelliset puutteet ja lämpövuotojen mahdolliset aiheuttajat ovat esitelty kappaleessa 6.2.

6.1 Tutkimuskohteen esittely

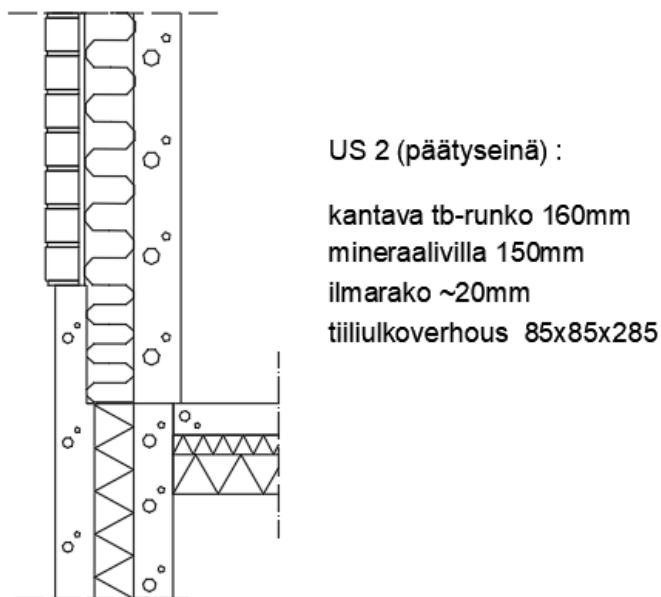
Tutkimuskohteena oleva taloyhtiön C-talo on vuonna 1992 rakennettu kaksikerroksinen pienkerrostalo, jossa on yhteensä kuusi huoneistoa. Talo on paikalla rakennettu. Sen päädyissä on kantava teräsbetoninen sisäkuori, lämmöneristeenä on mineraalivillaa ja ulkoverhous on teräsbetonisten sokkelielementtien yläpuolelta muurattu 85x85x285 mm:n kalkkihiekkatiileillä. Seinien yläosat ja päätykolmiot ovat pystypaneelia. Huoneistojen väliset kantavat seinät ovat 160 mm paksua teräsbetonia ja porrashuoneen ympäröivät seinät 180 mm paksua teräsbetonia. Huoneistojen sisäiset seinät ovat kevytrakenteisiä levyväliseiniä, joissa on K600 44x68 mm:n pystyrunko. Levynä molemmin puolin on erikoiskova kipsilevy, jonka paksuus on 13 mm. Rakennuksessa ilmanvaihtojärjestelmänä toimii huoneistokohtainen poistotuuletusjärjestelmä.

Rakennuksen pitkillä sivuilla (räystässivu) on tiiliverhottu rankarunko. Rungon sisäpinnassa on 13 mm paksu erikoiskova kipsilevy, jonka alla on 0,2 mm:n paksuinen höyrynsulkumuovi. Lämmöneristeenä on 125 mm mineraalivillaa, jonka ulkopinnassa on 50 mm:n tuulensuojavilla. Tiiliverhouksen ja tuulensuojalevyn välissä on rakennustapaselostuksen mukaan 27 mm:n työvara. Rankarungon alaohjauspuuna on käytetty 50x100 mm:n lankkua. Seinärungon eri rakennekerrokset on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Räystässivun ulkoseinärakenteesta.

Rakennuksen päätyseinillä on kantava 160 mm paksu teräsbetonirunko, jonka sisäpinnassa on pintakäsittely. Lämmöneristeenä päätyseinillä on käytetty paksuudeltaan 150 mm:n mineraalivillalevyjä, jotka on kiinnitetty suoraan betonirunkoa vasten halkaisijaltaan 4 mm:n terässiteillä. Mineraalivillan ja ulkoverhousstiilen välissä on 27 mm:n ilmarako. Päätyseinärunko ja eri rakennekerrokset on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Ulkoseinän rakenne päädyissä.

6.2 Rakenneavaukset, havaitut puutteet ja saneeraustyön haasteet

Rakenneavaukset suoritettiin pohjakuvaan merkityn lämpökuvauspisteen mukaisilta paikoilta ulkoa sisälle päin. Pohjakuvaan merkittyjä lämpökuvauskohtia oli yhteensä 23, joista jokainen tutkittiin ja korjattiin. Tiilet poistettiin iskuporakoneella poraamalla muuratut saumat purettavalta alalta, ja paikoittain tiilien poistamiseen tarvittiin myös vasaraa. Tavallisimmin rakenneavauskohdasta poistettiin 4-6 tiiltä siten, että aukko oli riittävän suuri korjauksen suorittamiseen. Kun tiilet oli saatu poistettua, jokainen tutkimusaukko ja ympärillä olevat eristeet puhdistettiin kiviainejätteestä imuroimalla. Koska monet tutkimuskohdat olivat maantasoa korkeammalla, korjauksissa käytettiin polttomoottorikäyttöistä nivelpuominostinta.

Rakenneavauksissa havaittiin, että räystäässivuilla monin paikoin sokkelielementin lämmöneriste ei yltänyt pystyrungon alapintaan asti, joten alaohjauspuun ja tuulensuojalevyn välissä oli ilmatasku. Epätiivit tuulensuojalevyjen saumat olivat päästäneet kylmän ilmapirran tuuletusraosta tuulensuojalevyn taakse onkaloon, jonka seurauksena rakenne oli päässyt jäähtymään. Tuulensuojalevyn ja alaohjauspuun välinen rako on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. Alaohjauspuun ja tuulensuojalevyn välissä oleva ilmarako

Ulkoeristyksen takana oleva ilmarako oli etenkin rakennuksen alaosan rakenneavauksien kohdalta lähes kokonaan muurauslaastin tukkima, mikä ei edistä ilmaraon hyvää tuulettuvuutta. Toisaalta kiviaines toimii kapillaarisena kosteusensiirtymisreitteinä ulkoeristyksestä eristetilään. Lämmöneristeen kosteuspitoisuuden nousu vaikuttaa haitallisesti eristemateriaalin lämmöneristyskykyyn, mikä myös oli voinut viilentää rakennetta entisestään.

Päätyseinillä lämmöneristeet olivat rakenneavauksien kohdalta puutteellisesti kiinni teräsbetonisessa sisäkuoressa. Ilmaraon kylmä ilmanvirta oli päässyt eristetilän raoista lämmöneristeen ja sisäkuoren väliin jäähdyttäen rakennetta suurelta alalta. Välipohjan kohdalta paikallavalettu teräsbetoniholvi tuli noin kolme senttimetriä seinäpinnan yli, eikä tämän vuoksi mineraalivillalevyä oltu asennettu tiiviisti runkoa vasten. Kuvassa 8 on esitetty teräsbetonisen sisäkuoren ylittävä teräsbetoniholvi ja lämmöneristeen puutteellinen kiinnitys seinä- ja holvirakenteeseen.



Kuva 8. Mineraalivilla on epätiivisti betonirunkoa vasten, koska holvivalu ylittää seinälinjan.

Lisäksi rakenteista löytyi sinne kuulumattomia osia, kuten teräksinen nostolenkki, jota vasten mineraalivilla oli asennettu epätiivisti. Rakenteissa esiintyi myös monia muita puutteellisesti eristettyjä kohtia ja paikoin eristetilassa oli reikiä, mitkä

myös ovat voineet mahdollistaa ilmapirran liikkumisen eristetilassa. Lisäksi höyrinsulkumuovi oli paikoittain puutteellisesti asennettu. Kuvassa 9 on esitetty monia rakenteen lämmöneristävyttä haittaavia tekijöitä, kuten epätiivis höyrinsulkumuovi, teräksinen nostolenkki ja sisäseinästä yli tuleva teräsbetoniholvi.



Kuva 9. Teräsosa betoniseinässä ja höyrinsulkumuovi rutussa seinän sisällä.

Lämpökuvauksessa viileäksi osoittautuneet ikkunat ja ovet tutkittiin. Lähes jokaisessa tutkitussa ikkunassa ja ovesa tiivisteet olivat puutteellisessa kunnossa. Myös karmieristyksessä oli reikiä ja eristettä oli usein vain ohut palko karmin sisäpuolisella laidalla. Lisäksi ikkunan karmien ympärillä olevan puurungon ja lämmöneristeen välissä oli paikoittain rakoja, jonka vuoksi kylmä ilma on päässyt tunkeutumaan rakenteeseen jäähdyttäen sitä. Kuvassa 10 on esitetty ikkunan puutteellinen karmieristys. Kaikki C-talon lämpövuotokohdat on esitetty havaintojen, puutteiden sekä korjauksien osalta Lämpökuvausraportissa, Liite 1.



Kuva 10. Puutteellinen ikkunan karmieristys.

Lämpökuvauspisteet eivät olleet mitoitettu pohjakuvaan ja mahdollisen lämpövuotokohdan havaitseminen oli paikoittain haasteellista. Kaikki ulkoverhouksen purkamiset eivät sattuneet ensimmäisellä kerralla oikeaan kohtaan ja lämpövuotokohdan paikantaminen vaati toisinaan pitkäjänteisyyttä. Oman haasteensa rakenneavauksiin toi myös se, että ulkoseinän aukon koko oli oltava mallittainen, etteivät ympärillä olevat tiilet lähteneet sortumaan. Vanha muurauslaasti oli onneksi lujaa, minkä ansiosta olemassa olevaan rakenteeseen ei syntynyt halkeamia ja purku onnistui halutulta alalta.

Rakennuksessa käytetty Saka Nordia -merkkinen uritettu kalkkihiekkatiili oli poistunut markkinoilta eikä vastaavaa pystyuritettua kalkkihiekkatiiltä ollut saatavilla rautakaupoista eikä suoraan tiilien toimittajilta. Lähellä maantasoja ja etujulkisivulla paikkasimme julkisivumuurauksen käyttäen vanhoja tiiliä poiketen ulkonäöllisesti mahdollisen vähäisesti vanhasta julkisivusta. Rautakaupan valikoimasta löytyi sileäpintaista vastaavaa tiiltä, jota kulmahiomakoneella urittamalla pääsimme ulkonäöllisesti hyvin lähelle alkuperäistä. Näitä tiiliä hyödynsimme rakennuksen metsän puoleisella julkisivulla.

7 Seinärakenteen lämpötilan ja kosteuden simulointi

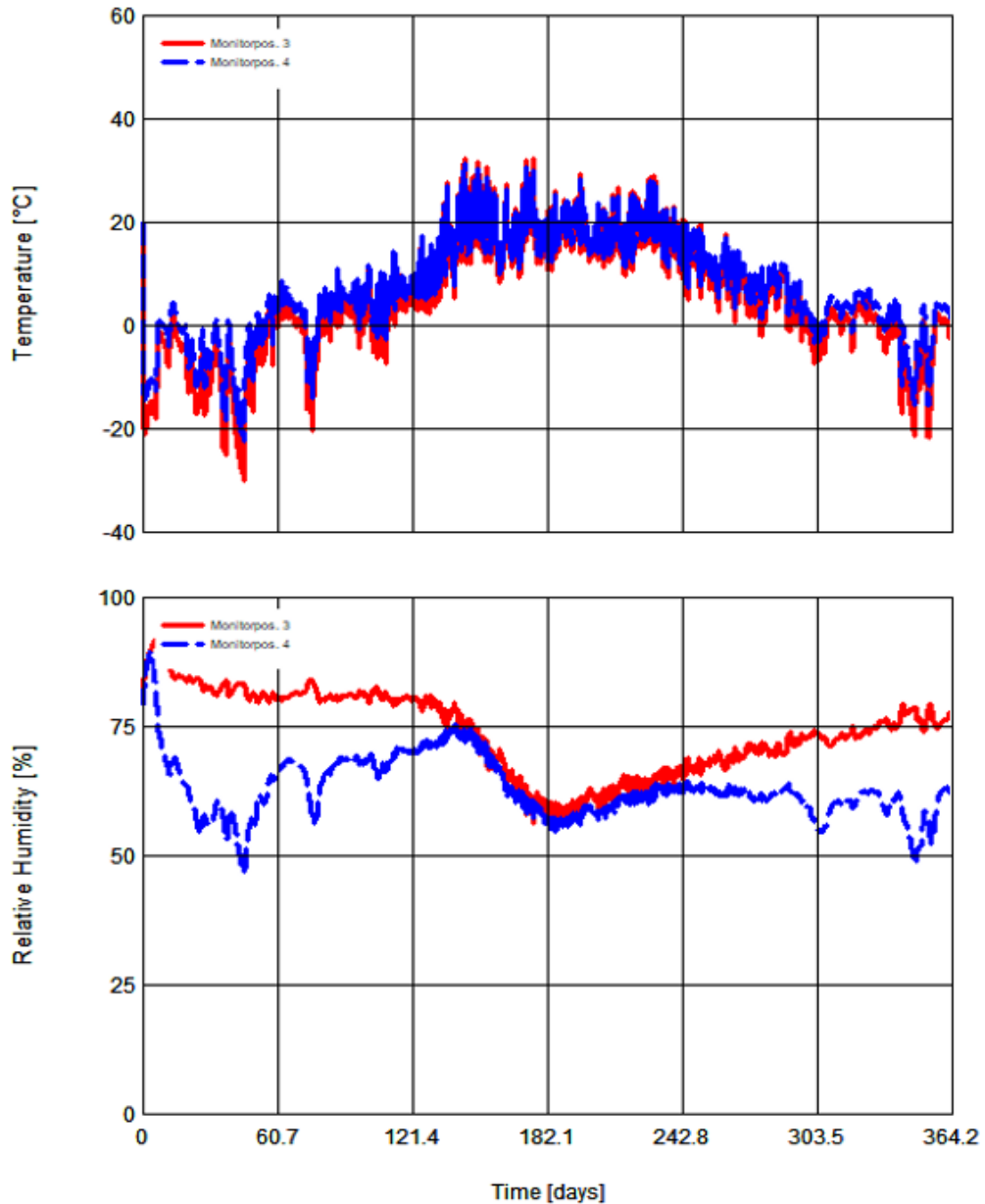
Kappaleessa 7 tutkitaan ulkoseinärakenteita kahdella erilaisella mallinnusohjelmalla. Kappaleessa 7.1 käsitellään Wufi Pro 5.1 -ohjelmistoa ja kappaleessa 7.2 Comsol Multiphysics -ohjelmistoa. Molemmista ohjelmista saadut tulokset on koottu yhteenvedoksi kappaleessa 7.3.

7.1 Wufi Pro 5.1

Rakennuksen kahden erityyppisen ulkoseinärakenteen kosteus- ja lämpötilakäyttäytymistä tutkittiin Wufi 5.1 Pro -ohjelmistolla. Ohjelmassa ei ollut Joensuun paikallisia säätietoja, minkä vuoksi rakenteita tutkittiin käyttäen Jyväskylän säätietoja, jotka vastaavat lähimmin ohjelmassa vaihtoehtoina olleita. Viistosade tiilipintaan huomioitiin. Molempien tutkittavien seinärakenteiden ilmansuuntana oli länsi ja ulkoverhousmuurauksen takana olevan ilmaraon ilmanvaihtuvuudeksi arvioitiin 0,1 kertaa tunnissa. Malli rankarunkoisesta seinästä ei huomionnut runkotolppien vaikutusta kylmäsilta eristetilassa, mikä todellisuudessa voi muuttaa lämpötilaa ja suhteellista kosteutta eristetilassa runkotolpan lähettyvillä. Simulaatiossa käytetty tarkasteluaikaväli oli yksi vuosi, 1.1.2017 – 31.12.2017 ja mittaukset tehtiin 24 tunnin välein. Ohjelmaan asetettiin vähintään yksi tarkastelupiste jokaiseen erilaiseen ainekerrokseen.

7.1.1 Rankarunkoinen seinä

Rankarunkoisen seinärakenteet kriittisimmät olosuhteet mikrobikasvuston kannalta on esitetty kuvassa 11. Tällöin RH oli 60 – 75 % ja lämpötila oli +10 – +25°C lähes 200:n päivän ajan. Punainen käyrä esittää ilmaraon kosteus- ja lämpöolosuhteita, kun taas sininen käyrä tuo esille mineraalivillaisen tuulensuojalevyn olosuhteita. Kuvan 11 ylemmässä kuvaajassa pystyakselilla on lämpötila (°C) ja alemmassa kuvaajassa pystyakselilla on RH (%). Molemmissa kuvaajissa vaakakselilla on aika, jonka yksikkönä on yksi päivä.

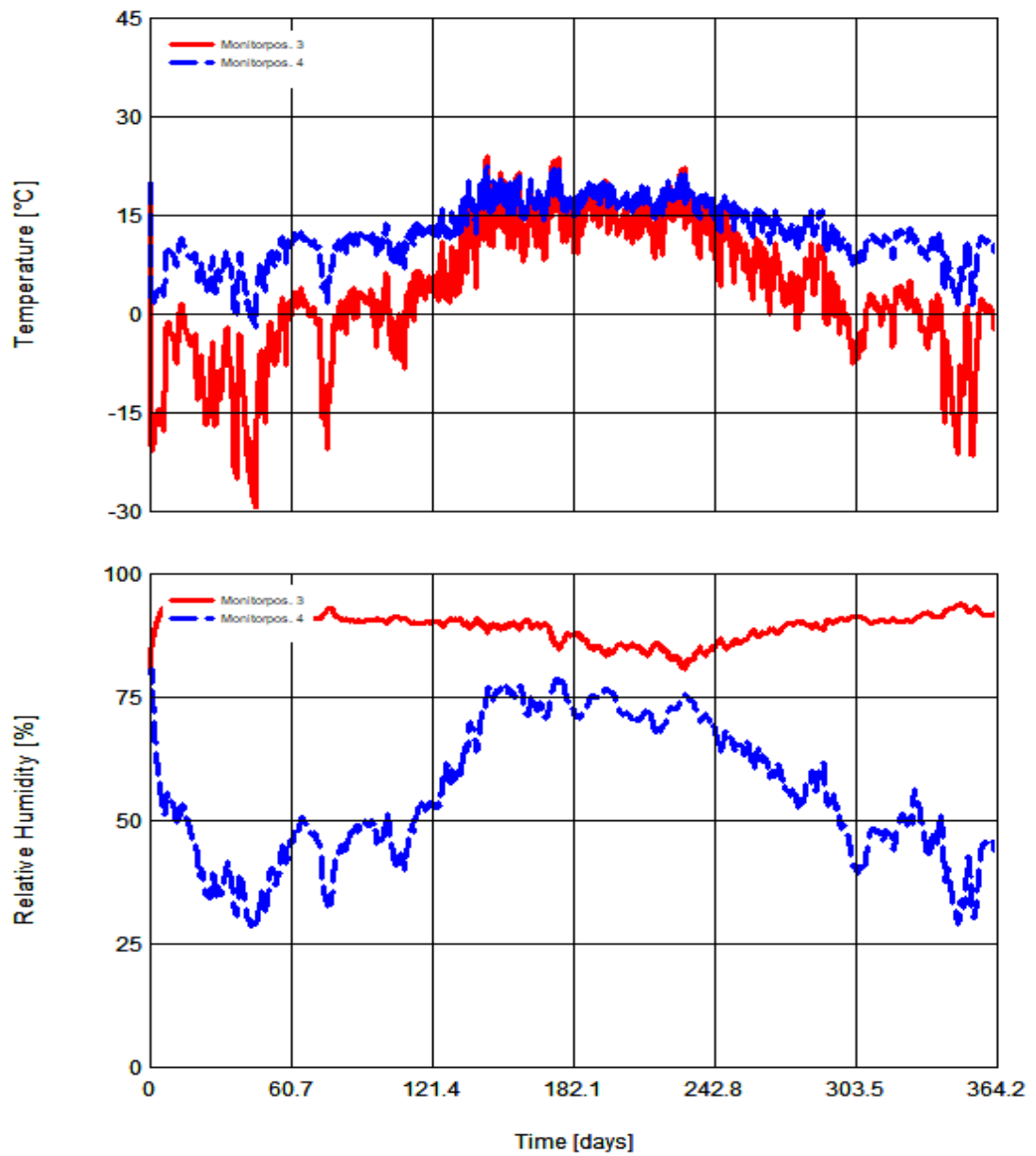


Kuva 11. Rankarunkoisen seinän tuuletusraon ja tuulensuojalevyn RH ja lämpötila.

7.1.2 Betonirunkoinen seinä

Mikrobikasvuston kehittymisen kannalta betonirunkoisen seinän kriittisimmät olosuhteet on esitetty kuvassa 12. Kriittisimmät olosuhteet sijaitsivat monitorin kolme (punainen käyrä) ja monitorin neljä (sininen käyrä) kohdilla mittausaikajakson puolivälin paikkeilla huhtikuun lopusta elokuuhun. Monitorilla kolme tutkittiin ulko-verhouksen takana olevan tuuletusvälin kosteus- ja lämpöolosuhteita sekä monitorilla neljä tutkittiin lämmöneristeen olosuhteita. Kuvan 12 ylemmässä kuvajassa pystyakselilla on lämpötila (°C) ja alemmassa kuvaajassa pystyakselilla on

RH. Molemmissa kuvaajissa vaaka-akselilla on aika, jonka yksikkönä on yksi päivä.

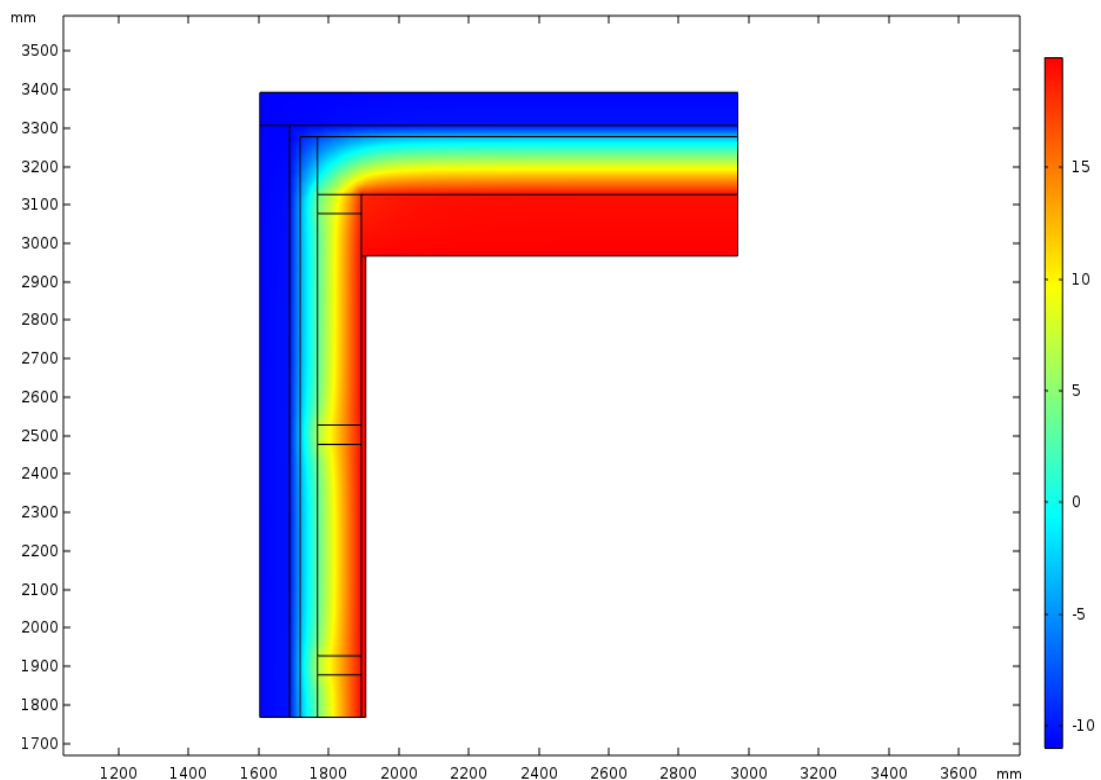


Kuva 12. Betonirunkoisen seinän ilmaraon ja lämmöneristeen lämpötila ja RH ajan muuttuessa.

7.2 Comsol Multiphysics 5.3

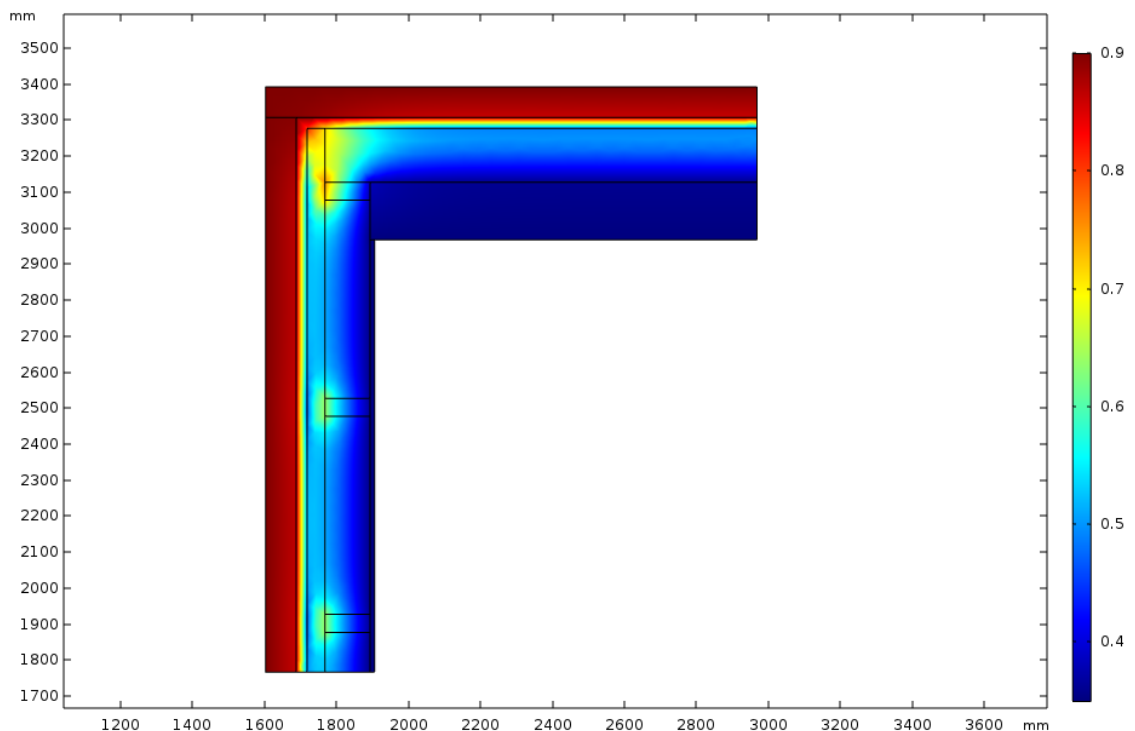
Seinärakenteiden kosteus- ja lämpötekniistä toimivuutta tarkasteltiin myös Comsol Multiphysics -ohjelmistolla vuoden 2017 lämpökuvaushetken olosuhteissa. Malli kuvastaa rakennuksen rankarunkoisen ja betonirunkoisen seinän liitoskohdasta ja näiden kahden erilaisen seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyttäytymistä. Rakenteiden tarkemmat poikkileikkaukset on esitetty kohdassa 6.1.

Ohjelmalla havainnollistettiin runkotolppien aiheuttamia kylmäsiltoja rakenteessa ja niiden vaikuttavuutta rakenteen sisäiseen suhteellisen kosteuden nousuun. Tämä malli on stationäärinen, mikä ei huomioi ympäristön muuttuvien olosuhteiden vaikutusta rakenteen sisäisiin olosuhteisiin, kuten viistosadetta ja tuulta. Ulko- ja sisäpinnan pintavastuksien arvot ovat rakennusmääräyskokoelman C2 mukaiset, jolloin vaakasuuntaiselle ilmanvirtaukselle käytettiin sisäpinnan pintavastuksen arvoa $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ ja ulkopinnan pintavastukselle arvoa $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Kuva 13. Lämpötilan jakautuminen, kun ulkona $-11 \text{ }^\circ\text{C}$ ja sisällä $+21 \text{ }^\circ\text{C}$.

Kuvassa 13 oikeanpuoleinen pysty akseli kuvaa rakenteen lämpötilaa välillä +21 – -11 °C. Kuvasta havaittiin, että betonirunkoisen seinän lämpötila oli 0 °C lämmöneristeen kolmanneksessa ulkopinnasta sisälle päin. Sama lämpötila rankarunkoisessa seinässä saavutettiin tuulensuojalevyn ja mineraalivillan rajapinnassa. Runkotolppien kohdalla lämpötila oli korkeampi tuulensuojalevyn ja runkotolpan liitoksen kohdalla, johtuen puun heikommasta lämmönjohtavuudesta lämmöneristeeseen verrattuna. Nurkkaliitos oli ulkopinnasta sisään päin syvemmälle viileämpi, kuin suoran seinän osuudella.



Kuva 14. RH:n jakautuminen, ulkona oletettu RH=90 % ja sisällä RH=35 %.

Kuvassa 14 oikea pysty akseli ilmoittaa suhteellisen kosteuden rakenteen eri kerroksissa 35–90 %:n välillä. Kuvasta voitiin havaita, että RH oli korkeimmillaan tiiliverhouksen osalla, mikä oli suorassa kosketuksessa ulkoilmaan. Muusta eristilasta poiketen runkotolppien aiheuttaman kylmäsillan vuoksi RH oli paikallisesti 5-10 % -yksikköä korkeampi runkotolpan ja tuulensuojalevyn rajapinnassa.

7.3 Mallien johtopäätökset

Wufi-mallinnuksen perusteella rakennuksen ulkoseinärakenteiden lämpö- ja kosteustekniset olosuhteet poikkesivat toisistaan jonkin verran. Rankarunkoisessa

seinässä tarkastelupisteiden suhteellinen kosteus pysyi tasaisen korkealla läpi mittausjakson keskikesällä noin kahdeksi kuukaudeksi alentuen. Betonirunkoisen seinän suhteellisen kosteuden huippulukemat sijaitsivat ajankohdallisesti pahempaan aikaan, koska lämpötila rakenteessa oli huippulukemien aikaan korkeampi. Molemmat seinärakenteista tarjosi mikrobikasvustolle suotuisimmat olosuhteet huhtikuun loppupuolelta elokuulle puoliväliin saakka.

Cmsol-mallin perusteella betonirunkoisen seinän lämpötila oli korkeampi ja suhteellinen kosteus alhaisempi sisältä ulospäin syvemmälle rakenteeseen, kuin puurunkoisen seinän. Näin ollen samanlaisissa ympäristöolosuhteissa myös betonirunkoisen seinän absoluuttinen kosteus oli alhaisempi syvemmälle rakenteeseen, kuin puurunkoisen seinän. Cmsol-mallin mukaan mikrobikasvuston kehittymiseen rankarunkoinen seinä tarjoaisi suotuisammat olosuhteet.

8 Kohteeseen tehdyt tutkimukset

Luvussa 8.1 on esitetty rakennuksen lämpökuvaustulokset ja kosteuden tiivistyslaskelma kriittisimmän kuvauspisteen kohdalta ennen saneerausta. Luvussa 8.2 esitetään lämpökuvaustulokset saneerauksen jälkeen ja luvussa 8.3 vertaillaan saatuja tuloksia.

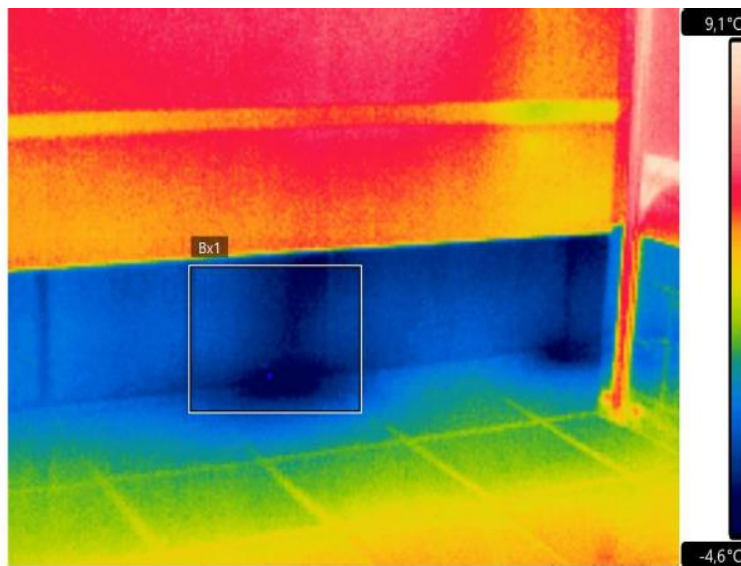
8.1 Lämpökuvaus maaliskuu 2017

Kuvaushetkellä ulkolämpötila oli -11 °C ja lämpökuvauksessa alimmat rakenteiden pistemäiset pintalämpötilat sijaitsivat huoneistossa C15. Huoneistossa oli yhteensä viisi korjaustoimenpiteitä vaativaa kohtaa, jotka ovat esitetty tarkemmin liitteessä 1 sivulla 10. Kylmimmät pisteet huoneistossa sijaitsivat saunan ikkunan ympärillä sekä saunan lattian ja seinän liitoksessa. Saunan sisälämpötila oli $+15\text{ °C}$ saunan alimpien pistemäisten lämpötilojen ollessa ikkunan pielissä $-4,8\text{ °C}$ ja lattianrajassa $-4,6\text{ °C}$. Taulukossa 4 ilmoitetaan kaikkien kuvauskohtien saadut tulokset ennen saneerausta.

Sisälämpötilan ollessa +15 ja RH:n ollessa 35 %, sisäilman absoluuttinen kosteus voidaan laskea kaavalla 1, kun tiedetään että tässä lämpötilassa vesihöyryn kylästyskosteus $v_k=12,86 \text{ g/m}^3$. Kylmän lattiarakenteen liitos on esitetty lämpökameralla otetussa kuvassa 15.

$$v = RH \cdot v_k = 35 \% \cdot 12,86 \text{ g/m}^3 = 4,5 \text{ g/m}^3$$

Lattiarajan $-4,6 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilan vesihöyryn kylästyskosteus on $3,44 \text{ g/m}^3$, mikä tarkoittaa sitä, että kyseisissä olosuhteissa lattianurkan suhteellinen kosteus nousee yli sadan prosentin ja lattiarajaan tiivistyy kosteutta. Rakenteeseen tiivistyvän kosteuden määrä kyseisissä olosuhteissa on tällöin $4,5 \text{ g/m}^3 - 3,44 \text{ g/m}^3 = 1,06 \text{ g/m}^3$.



Kuvanumero/nimi: IR_4772.jpg, Kuvauspäivämäärä: 9.2.2017 10:20:59

Valokuva 	KOHDE: asunto C15, Sauna
	Kommentit: Ulkoseinä- ja välipohjarakenteen liittymäkohta viilentyy merkittävästi. Kohdassa lämpö- ja ilmavuotoa Korjausluokka 1. Korjattava

Mittausalue keskiarvolämpötila	-2,6 °C	Emissiivisyys	0,95
Mittausalue min. lämpötila	-4,6 °C	Heijastuva lämpötila	15,0 °C
Lämpötilaindeksi min lämpötilasta	25	Sisäilman lämpötila	15,0 °C
		Ulkoilman lämpötila	-11,0 °C

Kuva 15. Lämpökuvaa kylmästä rakenneosasta, huoneisto C15.

Taulukko 4. Vuoden 2017 lämpökuvaustulokset.

Lämpökuvaus maaliskuu 2017				
Ulkoilman lämpötila		-11 (°C)		
huoneisto	kuvausnumero	huoneen lämpötila (°C)	mittausalueen minimi lämpötila (°C)	lämpötilaindeksi (TI)
C11	1	22	6,3	52
	2	22	4,4	47
	3	22	4,6	47
	4	21	11,2	69
	5	21	4,8	49
	6	21	5,8	53
C12	7	21	4,8	49
	8	15	-4,9	24
	9	15	0,3	44
	10	15	0,5	44
	11	18	7,9	65
C13	12	18	-3,2	27
	13	18	6,5	60
	14	21	6,9	56
C14	15	21	6,4	54
	16	21	6,7	55
C15	17	18	6,2	59
	18	18	9,1	69
	19	18	-4,8	24
	20	15	-4,6	25
	21	15	-0,4	41
C16	22	21	7,7	58
	23	21	0,9	37
KA			3,6	48

8.2 Lämpökuvaus helmikuu 2018

Lämpökuvaus suoritettiin yhteistyössä insinööritoimiston kanssa isännöitsijän tiilana. Varsinaisen kuvauksen suoritti opinnäytetyön tekijä ammattilaisen valvonnan ja ohjeistuksen alaisuudessa, perehtyen lämpökuvausta käsittelevään KH-ohjekorttiin ennen kuvausta. Lämpökuvauksella tutkittiin kaikki edellisvuonna kuvatut ja pohjakuvaan merkityt pisteet. Lämpökuvaus suoritettiin Flir B200 lämpökameralla, jonka lämpötilan erotuskyky oli 0,08 °C ja lämpötilan mittaustarkkuus ±2 °C. Paine-erot mitattiin huoneistokohtaisesti Air Flow TA465 monitoimimittarilla, jonka mittaustarkkuus oli ±1 Pa. Sisälämpötilojen ja sisäilman suhteellisen kosteuden mittaamiseen käytettiin Gann Compact RH-T mittaria.

Lämpökuvaus suoritettiin 6.2.2018 klo 11.30 alkaen. Sää kuvaushetkellä oli pilvinen, pakkasta oli -10 °C ja ulkoilman RH oli 79 %. Sää ennen lämpökuvausta oli

pysynyt kolmen päivän ajan pitkälti samanlaisena. Sisäilman lämpötilat vaihtelivat +18 – +23 °C ja sisäilman RH -pitoisuudet olivat 18–25 %. Paine-erot sisä- ja ulkoilman välillä vaihtelivat huoneistokohtaisesti -6 – (-17) Pascalia. Sekä viime vuoden, että tämän vuoden kuvauksissa tuulen nopeudet olivat samankaltaiset, 3-4 m/s.

Taulukko 5. Vuoden 2018 lämpökuvaustulokset

Lämpökuvaus helmikuu 2018						
Ulkoilman lämpötila		-10 (°C)				
huoneisto	kuvausnumero	huoneen lämpötila (°C)	paine-ero (Pa)	mittausalueen minimi lämpötila (°C)	lämpötilaindeksi (TI)	Paine-erolla korjattu lämpötilaindeksi (TI)
C11	1	22	-7	8,3	59,5	60,5
	2	22	-7	1,1	36	37
	3	22	-7	6,1	52,5	53,2
	4	21	-7	10,4	66,1	67,1
	5	21	-7	-0,2	35,2	36,2
	6	21	-7	3,5	43,9	44,9
C12	7	21	-12	5,9	50	53,5
	8	15	-12	4,5	51,8	55,3
	9	15	-12	2,7	45,2	48,7
	10	15	-12	4,3	51,2	54,7
	11	18	-12	12,8	76,1	79,6
C13	12	18	-7	-0,3	34,6	35,6
	13	18	-7	6,8	60,1	61,1
	14	21	-7	10,5	61,5	62,5
C14	15	21	-17	7,1	52,9	-
	16	21	-16	8,3	65,2	70,2
C15	17	22	-6	12,3	69,6	70,1
	18	18	-6	13,1	72	72,5
	19	15	-6	-4,1	20,9	21,4
	20	15	-6	3,8	49,2	49,7
	21	15	-6	1	39,3	39,8
C16	22	21	-7	9,7	70,3	71,3
	23	21	-7	10,4	72,9	73,9
KA				6,0	54	55

8.3 Tulokset ja vertailu

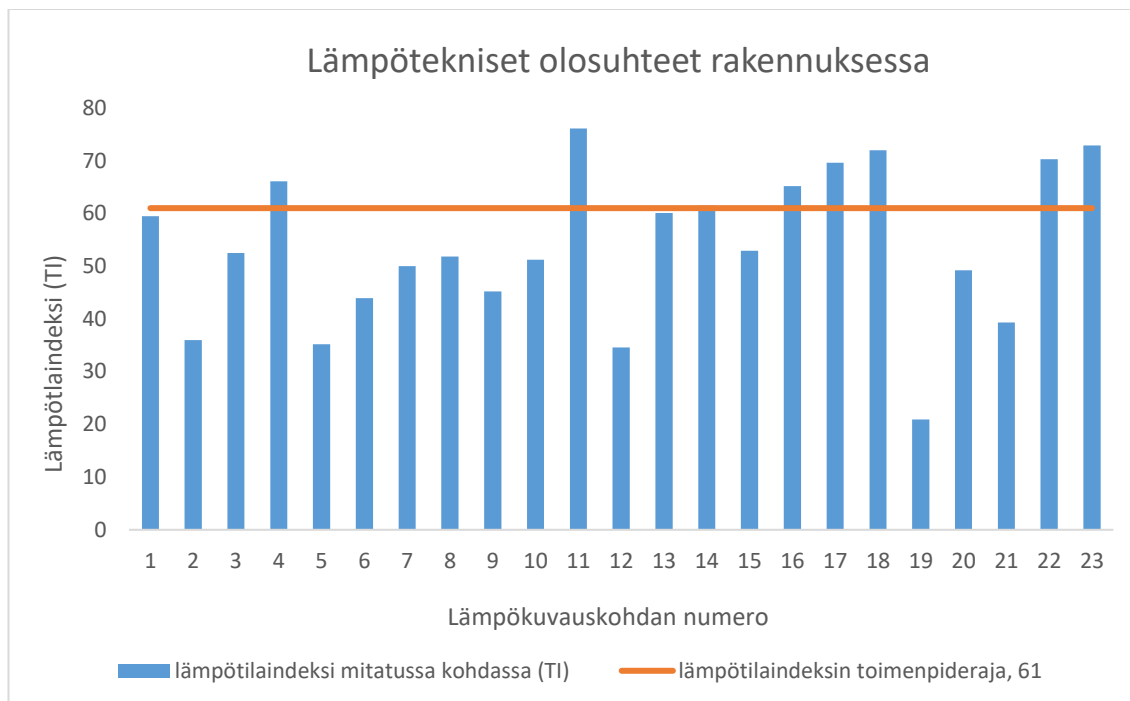
Viime vuoden ja tämän vuoden lämpökuvauksen tulokset on koottu taulukoihin 4 ja 5. Taulukoissa on esitetty huoneisto, kuvauskohdan numero, huoneen vallitseva lämpötila, lämpökuvausraportin mukainen alin kuvattu lämpötila sekä lämpötilaindeksi. Lisäksi taulukoista käy ilmi kaikkien lämpökameralla mitattujen pisteiden minimilämpötilojen keskiarvo ja vastaavasti kaikkien kuvattujen pisteiden lämpötilaindeksien keskiarvo. Tulosten mukaan viime vuoden kuvauksissa saatu kaikkien kuvauspisteiden lämpötilaindeksin keskiarvo oli 48 ja tämän vuoden vastaava paine-erolla korjattu arvo oli 55. Näin ollen lämpötilaindeksi oli noussut 7 yksikköä.

Taulukossa 6 on esitetty vuoden 2017 ja 2018 lämpökuvaustuloksien lämpötilaindeksin muutokset. Muutokset on esitetty prosentuaalisesti verraten saneerauksen jälkeisiä tuloksia sitä edeltävään tuloksiin. Muutoksia tarkastellessa oli otettava huomioon mahdollisesti hieman poikkeava lämpökuvauskohta. Kuvausraportteja vertailemalla havaittiin, että lämpökuvauskohdat 5,6,10 ja 19 poikkesivat kuvattavan kohdan sijainnista viime vuoden ja tämän vuoden raporttien välillä. Kameralla kuvattiin tarkasteltavan osan kylmin kohta, joka siis saattoi poiketa kuvauskohdaltaan viimevuotisesta.

Taulukko 6. Lämpövuotosaneerauksen aiheuttama muutos.

YHTEENVETOTAULUKKO				
Huoneisto	Lämpökuvauskohta	Lämpötilaindeksin muutos-%	Lämpötilaindeksin muutos-%, jossa huomioitu paine-ero korjaus	lopputulos
C11	1	14 %	16 %	parantunut
	2	-23 %	-21 %	ei parantunut
	3	12 %	13 %	parantunut
	4	-4 %	-3 %	ei parantunut
	5	-28 %	-26 %	ei parantunut
	6	-17 %	-15 %	ei parantunut
C12	7	2 %	9 %	parantunut
	8	116 %	130 %	parantunut
	9	3 %	11 %	parantunut
	10	16 %	24 %	parantunut
	11	17 %	22 %	parantunut
C13	12	28 %	32 %	parantunut
	13	0 %	2 %	ei parantunut
	14	10 %	12 %	parantunut
C14	15	-2 %	-2 %	ei parantunut
	16	19 %	28 %	parantunut
C15	17	18 %	19 %	parantunut
	18	4 %	5 %	parantunut
	19	-13 %	-11 %	ei parantunut
	20	97 %	99 %	parantunut
	21	-4 %	-3 %	ei parantunut
C16	22	21 %	23 %	parantunut
	23	97 %	100 %	parantunut
korjaantuneita kohtia tai kohtia, jossa lämpötilaindeksi > 61				17 / 23

Kuviossa 1 on esitetty lämpökuvatun pisteen lämpötilaindeksi ja lämpötilaindeksin toimenpiderajan 61:n väliset eroavaisuudet. Kuvasta voidaan havaita, että 13 kohtaa kaikista 23:sta kohdasta alittaa edelleen lämpötilaindeksin toimenpiderajan.



Kuvio 1. Saneerauksen jälkeinen lämpötekniinen tilanne rakennuksessa.

9 Pohdinta

15 lämpökuvattua kohtaa kaikista 23:sta kohdasta paranivat lämpövuotosaneerauksen yhteydessä, ja kaksi kohtaa täyttivät jo valmiiksi toimenpiteitä vaativan 61:n lämpötilaindeksin rajan. Loput lämpökuvatuista kohdista pysyivät lämpötekniisiltä ominaisuuksiltaan hyvin pitkälti samanlaisina ennen ja jälkeen saneerauksen. Monin paikoin lämpökuvassa sinisenä hohkava kylmä alue rakenteessa oli pienentynyt saneerauksen myötä. Tietyissä kohdissa oli havaittavissa kylmän ilmavirran kulkeutuminen rakenteeseen edellisvuotta hieman poikkeavasta kohdasta. Tällöin tilanne ei ollut varsinaisesti parantunut, vaan lämpövuodon aiheuttaja oli laadultaan sellainen, että korjaaminen olisi vaatinut ulkoverhouksen poistamista suuremmalta alalta tai jopa kokonaan.

Huoneistoissa mitattiin vuoden 2018 lämpökuvauksen aikana melko suuria alipainelukemia. Syy kovaan alipaineeseen jäi hieman epäselväksi, koska liesituulettimen kääntäminen minimi asentoon ei vähentänyt huoneistoissa alipainetta riittävästi. Huoneistosta poistettavan ilman määrää testattiin mekaanisesti asettamalla peittävä paperi sekä poistoilmaventtiileihin että liesituulettimen imuosaan, eivätkä kummatkaan niistä poistaneet ilmaa aistinvaraisesti merkittävästi. Kova alipaineisuus voi osaltaan vaikuttaa heikentävästi saatuihin lämpökuvaustuloksiin, sillä alipaineella imetään ilmaa väkisin rakenteiden epätiivelyskohdista kylmältä puolelta lämpimälle puolelle.

Vuoden 2017 lämpökuvaustyön puutteellisesta toimeksiannosta johtuen oli tuloksia analysoidessa varauduttava paine-eron mittauksen mahdollistavaan pieneen virheeseen. Toimeksiannon puutteellisuudesta johtuen paine-eron mittausta ei insinööritoimiston mukaan tehty huoneistokohtaisesti vuoden 2017 lämpökuvauksessa, toisinkuin vuoden 2018 kuvauksessa. On myös huomioitava, että mikäli mittavirhepoikkeama ± 2 °C tehtiin tämän vuoden mittauksessa ja viime vuoden mittauksessa vastakkaisiin suuntiin, voi todellinen mittavirhe olla jopa 4 °C kuvauskohdassa. Tämä on kuitenkin hyvin epätodennäköistä.

Opinnäytetyön aihepiiriin tarkasti tutustuminen kehitti paljon ymmärtämistä rakennusfysiikasta ja tavoista tutkia rakenteiden kuntoa. Rakenneavauksien ja niistä löytyneiden eristyspuutteiden yhteys lämpövuotoihin on tämän tutkimuksen pohjalta käynyt selvästi ilmi. Rakentamisaikaisen valvonnan tehostamisella ja eristysvaiheen huolellisuudella olisi mahdollisesti välttytty kokonaan rakennuksessa todetuilta lämpövuodoilta. Tutkimus myös osoittaa, että rakennuksen lämpökuvaaminen rakennusvaiheessa laadunvalvonnan työkaluna voi ehkäistä taloyhtiölle kalliin lämpövuotosaneerauksen tulevaisuudessa.

Jatkotutkimusaiheena voisi selvittää, kuinka paljon parempi hyöty saataisiin perusteellisella lämpövuotosaneerauksella, jossa ulkoverhous puretaan kauttaaltaan eristeitä myöten, ja eristystyö suoritetaan kokonaan uudestaan entisellä eristevahvuudella. Nykyisten rakennusmääräysten puitteissa tämä kuitenkin edellyttäisi lämmöneristyspaksuuden kasvattamista tiukempien U-arvovaatimusten täyttämiseksi.

Lähteet

- Björkholz, D. 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Helsingin, Espoon ja Vantaan terveelliset tilat. 2008. Kosteuden siirtyminen. Sisäilmayhdistys ry. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuden-siirtyminen>.
- Lähdesmäki, K. 2014. RIL 255-1-2014. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.
- Pitkäranta, M. 2016. Ympäristöopas 2016, Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- Rakennustieto. 1999. RT 05-10510 Kosteus rakennuksissa. Helsinki: Rakennustieto Oy
- Rakennustietosäätiö RTS sr. 2016. KH 24-00615 Rakennuksen lämpökuvaus. Helsinki: Rakennustieto Oy
- Rantala, J. & Leivo, V. Rakenteiden ja liitosten rakennusfysiikka. 2009. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK070301.pdf>. 12.12.2017
- Reiman, M. 1998. Kosteusvaurioihin liittyvä mikrobikasvu. Teoksessa Leivo, V. Opas kosteusongelmiin. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. 39-53.
- Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Osa 1 Asumisterveysasetus § 1-10. Helsinki: Valvira.
- Ympäristöministeriö. 2012. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma lämmöneristys ohjeet. Helsinki

Liite 1 Korjaustoimenpideraportti

RAPORTTI

Lämpövuotosaneeraukset

RENEVO OY
Työnjohtoharjoittelija
Mikko Hirvonen
8.8.2017

1. Ikkunoiden ja parvekeovien tiivistys

Lämpövuotojen saneeraustyöt aloitettiin rakennuksen sisältä vaihtamalla/lisäämällä tiivisteet lämpökuvauksessa puutteelliseksi osoittautuneisiin saunan ikkunoihin ja parvekeoviin. Tiivisteet olivat monin paikoin huonokuntoiset ja pahimmassa tapauksessa tiivisteet puuttuivat kokonaan. Jokainen lämpökuvattu kylmä ikkuna ja parvekeovi avattiin myös ulkopuolelta pielilautojen ja tippapeltien osalta. Monet ikkunakarmien eristyksistä olivat puutteellisia. Tiivistys oli tehty joko mineraalivillalla tai polyuretaanilla, mutta eristettä oli vain todella ohuelti tiivistysraon sisälaidassa. Ikkunoista otettiin myös ulkopuolelta tippapeltien alla oleva pohjalankku irti ja tutkittiin eristeiden ja lankun välistä tiiveyttä. Monissa ikkunoissa tuulensuojavilla ei yltänyt pohjalankkua vasten ja tuulensuojavillaa leikatessa havaitsimme eristeiden loppuvan ennen pohjalankkun alapintaa, jolloin kylmä ilmanvirta on päässyt rakenteen läpi betonista sisäkuorta vasten. Karmien ympäröyksien tiivistämisen jälkeen vanhat pielilaudat ja tippapellit asennettiin takaisin purkamista edeltävään tilaan.

2. Rakenneavaukset

Rakenneavaukset suoritettiin ulkopuolelta ulkoverhousta purkamalla. Rakenneavauskohta määräytyi insinööritoimisto 2K:n tekemän lämpökuvausraportin perusteella. Rakenneavauskohdasta poistettiin tiiliverhouksen kohdalta 3 – 8 kpl tiiliä, siten että rakennetta päästiin tutkimaan saadaksemme lämpövuodon aiheuttaja selville. Rakennuksen päätyseinissä rakenne sisältäpäin on seuraavalainen: pintamateriaali, Betoni, mineraalivilla 150 mm, tuulensuojavilla 50 mm, ”ilmarako” ja ulkoverhoustiili. Ilmarako rakenneavauskohtien osalta oli monin paikoin puutteellinen, koska liika muurauslaasti tiilien välissä oli käytännössä tukkinut koko ilmaraon. Pitkillä sivuilla rakenne sisältäpäin seuraavalainen: pintamateriaali, kipsilevy, höyrynsulkumuovi, mineraalivillalla eristetty pystyrunko 125 mm, tuulensuojavilla 50 mm, ”ilmarako” ja ulkoverhoustiili. Merkittviä toimenpiteitä vaativia lämpökuvauspisteitä oli yhteensä 23 kpl, joista

kuitenkin useat olivat ikkunoiden ja parvekeovien puutteellisia tiivistyksiä. Rakenneavauksia tehdessä päädyissä betonirunkoa vasten oleva villa oli puutteellisesti kiinni muodostaen ilmanvirtaukselle kulkureitin isolle alalle betonirunkoa pitkin. Mineraalivillaeriste on sidottu betonirunkoon n. 4mm rautalankapätkillä, joita silmämääräisen tarkastelun perusteella oli todella harvassa.

3. Korjaustoimenpiteet

Rakenneavauksien paikkaus suoritettiin Insinööritoimisto 2K:n ohjeiden mukaisesti. Korjaustoimenpiteeksi he suosittelivat paikkausta SPU-levyllä ja polyuretaanivaahdolla. Uusi eriste asennettiin tiiviisti betonirunkoa vasten siten, ettei eristeen taakse pääse syntymään haitallisia ilmanvirtauksia. Vanhojen eristeiden leikkauspinnat ja tiilien poistamisesta tullut kiviaines poistettiin villatilasta imuroimalla ennen uusien eristeiden asentamista. Paikkauskohdasta poistettiin myös villaeristettä vasten olevat ulkovuorimuurauksen laastipurseet niin etäältä kuin tutkimusaukosta oli suinkin mahdollista.

4. Huoneisto C11

4.1 Ikkunat ja ovet:

Huoneistossa oli yhteensä kuusi toimenpiteitä vaativaa kohtaa, joista kaksi oli ikkunoiden vuotopaikkoja ja yksi parvekeoven tiivistys. Ovien ja ikkunoiden korjaustoimenpiteinä tiivisteiden lisäksi poistimme ulkopuolelta pielilaudat ja tippapellin saadaksemme tiivistettyä karmieristeet. Monin paikoin karmieristeissä oli puutteita, kuten myös tämän huoneiston osalta.



Huoneiston lämpökuvauskohdat 2, 4 ja 5. Vanhojen riekaleisten tiivisteiden vaihto/korjaus.

4.2 Vuorilautojen poisto ja korjaus:



Lämpökuvauskohdat 5 ja 2. Karmieristykset olivat puutteelliset. Ikkunan ympärillä polyuretaania oli todella ohut palko sisäpinnassa. Parvekeovi oli tiivistetty villalla, jossa oli eristämättömiä kohtia ja reikiä, jonka kautta ilmanvirtas mahdollista.

4.2.1 Puutteellisten eristysten korjaus.



Korjaustoimenpiteet kohtiin 4 ja 5. Tiivistys polyuretaanivaahdolla.

4.3 Rakenneavaukset



lämpökuvauskohta 3.



lämpökuvauskohta 4.



lämpökuvauskohta 6. korjattu



lämpökuvauskohta 6.

lämpökuvauskohdat 3, 4 ja 6. Jokaisessa rakenneavauksessa oli puutteita eristyksessä. Eristeet eivät olleet tiiviisti rakennetta vasten. Lämpökuvauskohta 4. nurkassa eristeet eivät olleet tiiviisti toisiaan vasten. Lämpökuvauskohta 6:ssa alaohjauspuu on 25mm kapeampi, kuin pystyrunko. Sen vuoksi eristetilassa ilmanvirtaus mahdollista ja rakenne pääsee viilentymään huonosti eristettyjen kohtien kautta. Alaohjauspuun ja pystyrungon ero näkyy kuvassa.

5. Huoneisto C12

Huoneistossa oli yhteensä 5kpl toimenpiteitä vaativaa kohtaa, joista yksi oli parvekeovi. Kaikki muut kohdat sijaitsivat pesuhuoneessa ja saunassa.



Lämpökuvauskohta 2. (karmittiivistys vajaa)



Lämpökuvauskohta 2. tiivistetty.



Lämpökuvauskohta 5.



Lämpökuvauskohta 5. (ikkunan yläpuoli)



Lämpökuvauskohta 5. korjattu

Lämpökuvauskohta 2. ja 5. Ikkunoiden esittää ikkunoiden tiivistyskorjauksia. Tiivisteiden vaihdon jälkeen poistimme ulkopuolelta vuorilaudat ja tippapellin sekä tippapellin kannatin lankun. Ikkunoiden karmittiivistykset olivat puutteellisia eikä tuulensuojavilla yltänyt tippapellin kannatinlankun pohjaan saakka, jolloin kylmä ilma pääsee epätiivistä reittiä pitkin rakenteeseen. Sähköputkien ympärillä oli myös kohta, joka oli puutteellisesti eristetty ja höyrynsulkumuovissa iso tiivistämätön reikä.

5.1 Rakenneavaukset

Rakenneavauskohta puhdistettu pölynimurilla puhtaaksi, jonka jälkeen kolot tiivistettiin polyuretaanivaahdolla ja SPU (kingspan) 50mm levyllä.



Lämpökuvauskohta 2.



Lämpökuvauskohta 3. (eristetilassa reikiä)

6. Huoneisto C13

Huoneistossa C13 lämpövuotokohtia oli kolme, joista yksi oli ulkoseinän rakenneavaus. Saunan ikkunan ja parvekeoven osalta lämpövuotojen syyksi osoittautuivat epätiivit karmieristeet ja tiivisteet. Ikkunan alapuolella oli alue, jossa tiivistysvaahtoa oli ainoastaan ikkunan sisälaidassa. Ikkunoiden ja ulkovieiden osalta kuvat ovat ainoastaan puutteellisista eristyksistä, koska korjaus toteutettu kaikkien ikkunoiden ja ovien osalta samalla tavalla eli poistamalla villa karmin ja kiinnityspuun välistä ja täyttämällä rako polyuretaanivaahdolla.



Lämpökuvauskohta 1. saunan ikkuna



Lämpökuvauskohta 3. Parvekeovi

6.1 Rakenneavaus

Rakenneavauskohta oli heti betonisen perusmuurin ja tiiliseinän liitoskohdassa noin 200 mm perusmuurin yläpinnasta alaspäin eli lattiavalun yläpinnan korkeudessa. Parvekkeen sivuseinän ja päätyseinän nurkkaliitoksen rakenneavauskohdasta paljastui kokonaan eristämätön kohta. Päätyseinän eriste ei myöskään ollut tiiviisti parvekkeen sivuseinän eristettä vasten, jolloin kylmä ilma on päässyt kulkeutumaan teräsbetoniseen sisäseinään.



Lämpökuvauskohta 2.



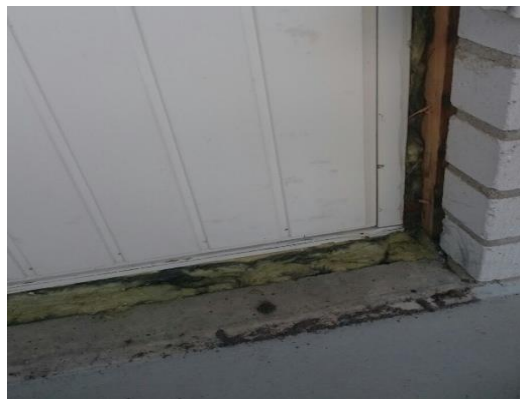
Lämpökuvauskohta 2. korjaus

7. Huoneisto C13

Huoneiston C14 osalta rakenneavauksia ulkovuoreen ei tehty. Ainoat toimenpiteitä vaativat lämpökuvauspisteet olivat parvekeoven alalaita ja saunan ikkuna. Ikkunapokien tiivisteiden lisäksi myös näistä poistimme pielilaudat ja etsimme mahdollisen lämpövuodon aiheuttajan. Saunan ikkunan karmit olivat tiivistetty puutteellisesti villalla kuten parvekeovikin. Parvekeoven karmen nurkassa oli selkeä aukko rakenteeseen, joka tuli esiin heti villaa kädellä poistaessa. Karmit tiivistettiin uudelleen huolellisesti polyuretaanivaahdolla ja vanhat vuorilaudat asennettiin takaisin.



Lämpökuvauspiste 2.



Lämpökuvauspiste 1.



Lämpökuvauskohta 2. (korjattu)



Lämpökuvauskohta 1. (korjattu)

8. Huoneisto C15

Huoneistossa oli yhteensä viisi toimenpiteitä vaativaa lämpökuvauspistettä, joista yksi oli saunan ikkuna. Rakenneavauskohdissa 1 ja 2 lämpövuodot mahdollisesti johtuivat epätiiviestä eristämisestä ja tuulensuojavilloituksen puutteellisesta kiinnityksestä runkopuuhun. Tuulensuojalevy oli irti rungosta, jonka vuoksi ilmanvirta on päässyt epätiiviestä saumoista kulkeutumaan villojen rakojen pitkin rakenteeseen. Lämmöneristeet eivät myöskään olleet tiiviisti toisiaan vasten. Lämpökuvauskohtassa 3 näkyvät ikkunan puutteelliset karmieristeet, jotka poistettiin ja ikkuna eristettiin uudestaan polyuretaanivaahdolla. Lämpökuvauskohta 4:n rakenneavauksessa holvivalu yltää betoniseinän yli noin 25 mm, jonka vuoksi eriste ei ollut tiiviisti betonipintaa vasten. Samaisessa rakenneavauksessa paljastui betoniholvin päässä teräksinen ”elementin nostolenkki”, joka jätti myös ilmatilan lämmöneristeen ja betoniholvin väliin.

Lämpökuvauskohdassa 5. höyrynsulkumuovi oli rutussa eristeen takana, ja eristeet eivät olleet tiiviisti.



Lämpökuvauskohta 1.



Lämpökuvauskohta 2.



Lämpökuvauskohta 3.



Lämpökuvauskohta 4.



Lämpökuvauskohta 4.



Lämpökuvauskohta 5.



Lämpökuvauskohdassa 1. tuulensuojavillan alla yläpohjaeristys ei yltänyt tuulensuojalevyyn asti ja siltä osin eristyskerros oli jäänyt aikaisemmin vähäiseksi.

7.1 Korjaukset

Kaikki rakenteissa selvinneet epätiiveydet korjattiin SPU (kingspan) – levyllä ja polyuretaanivaahdolla. Rakenneavauskohdassa 4. oleva teräksinen nostolenkki katkaistiin sähköpuukkosahalla siten, että saimme uudet eristeet tiiviisti rakennetta vasten. Lämpökuvauskohdassa 5 oleva höyrynsulkumuovissa oleva ruttu leikattiin pois ja asennettiin spu-levy tiiviisti höyrynsulkumuovia vasten, siten että höyrynsulku säilyi tiiviinä rakenneavauksen kohdalla.

8. Huoneisto C16

Huoneistossa oli kaksi toimenpiteitä vaativaa lämpökuvauspistettä. Molemmat lämpökuvauspisteistä sijaitsivat saunassa, joista toinen oli saunan ikkunan puutteellinen tiivistys. Tiivisteiden uusimisen jälkeen myös tästä ikkunnasta poistettiin pielilaudat ja tutkittiin karmien eristykset. Karmieristykset olivat puutteelliset ja ikkunan alalaidassa oli kohtia, joissa polyuretaania ei ollut kuin hyvin minimaalinen määrä. Kuvassa 1. olevan kiilan läheisyydessä karmieristettä hyvin ohut palko. Saunan nurkan lämpökuvauskohdassa eristykset ulkoseinäeristys puutteellinen ja epätiivisti sisäseinää vasten johtuen seinälinjan ylitulevasta holvivalusta.



Lämpökuvauskohta 2.



Lämpökuvauskohta 1.



Lämpökuvauskohta 1. holvivalu tulee seinälinjasta yli, jonka vuoksi eristeet eivät ole tiiviisti betonia seinää vasten.