

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Rakennusmestari (AMK)

2013

Samuli Ranta

HYVÄN ILMATIIVYDEN TOTEUTUMINEN PIENTALOJEN KORJAUKSISSA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma | Rakennusmestari (AMK)

2013 | 39

Ohjaajat

Maarit Järvinen, lehtori, Turun AMK

Jaakko Rautanen, arkkitehti, LPR-arkkitehdit Oy

Samuli Ranta

HYVÄN ILMATIIVYDEN TOTEUTUMINEN PIENTALOJEN KORJAUKSISSA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, miten hyvä ilmatiiviyys saavutetaan vanhemman pientalokannan korjausten jälkeen. Lisäksi tutkitaan ilmanvaihdon toimivuutta ja riittävyttä. Pääasialliset tutkimusmenetelmät ovat ilmatiiviyysmittaus ja lämpökuvaus sekä ilmanvaihdon toiminnan tutkiminen merkkiainemittauksella.

Opinnäytetyön tilaaja on LPR-arkkitehdit Oy. Tilaaja osoitti tutkimuksen kohteeksi kaksi 1700–1800-luvuilla valmistunutta rakennusta. Tutkimuksen tekijän toimesta valittiin lisäksi kaksi vertailukohdetta, jotka ovat 1800-luvulla valmistunut ja 1900-luvun alussa valmistunut rakennus. Yhteistä kaikille rakennuksille on se, että niihin on tehty laajat korjaukset 2000-luvun alussa.

Mitattujen ilmatiiviyyslukujen keskiarvot olivat $n_{50} = 12,2$ 1/h ja $q_{50} = 10,4$ m³/hm². Kaikista tutkituista rakennuksista löytyi ilmapuotoja rakenteitten liitoskohdista sekä ikkunoista ja ovista. Rakennusten ilmanvaihtokertoimet olivat pääosin riittäviä. Ilmanvaihdon tehokkuudessa ei voitu havaita merkittävää eroa painovoimaisen ja koneellisen ilmanvaihdon välillä.

ASIASANAT:

ilmatiiviyys, ilmanpitävyys, pientalon korjaus, painovoimainen ilmanvaihto, ilmanvaihtokerroin, vuotoilmanvaihto, energian säästö

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme in Construction Management | Bachelor of Construction Management

2013 | 39

Instructors

Maarit Järvinen, Senior Lecturer, Turku University of Applied Sciences

Jaakko Rautanen, Architect, LPR-arkkitehdit Oy

Samuli Ranta

AFTER-REPAIR AIR TIGHTNESS OF OLDER DETACHED HOUSES

The aim of this thesis was to research the actual after-repair air tightness of older detached houses. The study also addressed the performance and adequacy of ventilation. The main research methods were the measuring of air tightness and thermal imaging, as well as ventilation investigation using tracer gas.

The study was commissioned by LPR-arkkitehdit Oy. The customer offered two buildings from the 18th and 19th centuries as the focus of investigation. The author of this thesis additionally chose, for the purpose of comparison, two other buildings, one built in the 19th century and the other completed in the early years of the 20th century. What all these buildings have in common is that they have undergone extensive repairs at the beginning of the 21st century.

The average measured air tightness was $n_{50} = 12.2$ 1/h and $q_{50} = 10.4$ m³/hm². Air leaks were found at structural junctions as well as windows and doors in all measured buildings. The air change rates were mostly sufficient. There was no significant difference in efficiency between natural and forced ventilation.

KEYWORDS:

air tightness, renovation, natural ventilation, air change rate, air leaks, energy saving

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
1.1 Tavoitteet	7
1.2 Tutkimuksen tilaaja	7
1.3 Lähtötilanne	8
2 TIIVIYSMITTAUS JA ILMANVAIHTO	11
2.1 Ilmatiivysmittaus	11
2.2 Ilmavaihtokerroin	12
2.3 Energiankulutus	14
3 TUTKIMUSKOHTEET	15
3.1 Rakennus 1	15
3.2 Rakennus 2	16
3.3 Rakennus 3	16
3.4 Rakennus 4	17
4 KENTTÄTUTKIMUKSET	18
4.1 Mittausten ajankohta	18
4.2 Mittaukset	18
4.2.1 Ilmatiivysmittaus	18
4.2.2 Ilmavuotokohtien paikannus	20
4.2.3 Ilmanvaihtokertoimen mittaus	21
4.2.4 Ilmanvaihtomelun mittaus	22
5 TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA	23
5.1 Tiivysmittausten tulos	23
5.2 Rakennuksen 1 ilmatiivys	23
5.3 Rakennuksen 2 ilmatiivys	24
5.4 Rakennuksen 3 ilmatiivys	25
5.5 Rakennuksen 4 ilmatiivys	26
5.6 Mittausten luotettavuus	28

6 JOHTOPÄÄTÖKSET	30
6.1 Ilmavuodot	30
6.1.1 Alapohjarakenteet	30
6.1.2 Yläpohjarakenteet	31
6.1.3 Ikkunoiden ja ovien karmiliitokset	32
6.1.4 Tiivistevuodot	32
6.1.5 Läpiviennit	33
6.2 Antikvaariset arvot	33
6.3 Ilmatiiviyden tavoitetaso	33
6.4 Energian säästö	34
6.5 Ilmanvaihto	35
7 YHTEENVETO	36
7.1 Pohdinta	36
7.2 Jatkotutkimustarpeet	37
LÄHTEET	38

LIITTEET

Liite 1. Talokortit

Liite 2. Ilmanvaihtokertoimen määrittäminen merkkiainemenetelmällä

Liite 3. Vuotokohdat

KUVAT

Kuva 1. Ilmatiiviysmittauslaitteisto asennettuna rakennuksen 1 ulko-oveen. 19

Kuva 2. Tyypillinen ilmavuodon aiheuttama viuhkakuvio lämpökuvassa. 21

KUVIOT

Kuvio 1. Pientalot Suomessa rakentamisajankohdan mukaan luokiteltuna. 8

Kuvio 2. Tiiviysmittauksen eri paine-eroilla keskiarvotetut virtaukset ja niistä laskettu regressiosuora. 20

TAULUKOT

Taulukko 1. Kaavan 1 korjauskertoimet. 14

Taulukko 2. Kohteista mitatut ilmatiiviydet. 23

1 JOHDANTO

1.1 Tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia vanhemman pientalokannan korjausten jälkeen toteutuvaa ilmatiivyyttä, tehdä havaintoja ilmavuotokohdista ja pyrkiä selvittämään ilmavuotojen syy. Lisäksi tutkitaan ilmanvaihdon toimivuutta ja riittävyttä. Pääasialliset tutkimusmenetelmät ovat ilmatiivysmittaus ja lämpökuvaus sekä ilmanvaihdon toiminnan tutkiminen merkkiainemittauksella.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitkä ovat korjauskohteissa yleisimmin esiintyvät tiivyspuutteet ja onko ilmanvaihto riittävää. Tulosten pohjalta pyritään määrittämään realistinen tavoitetaso korjauskohteiden ilmatiivydelle sekä lisaamaan tärkeimmät keinot riittävän ilmatiivyyden saavuttamiseen.

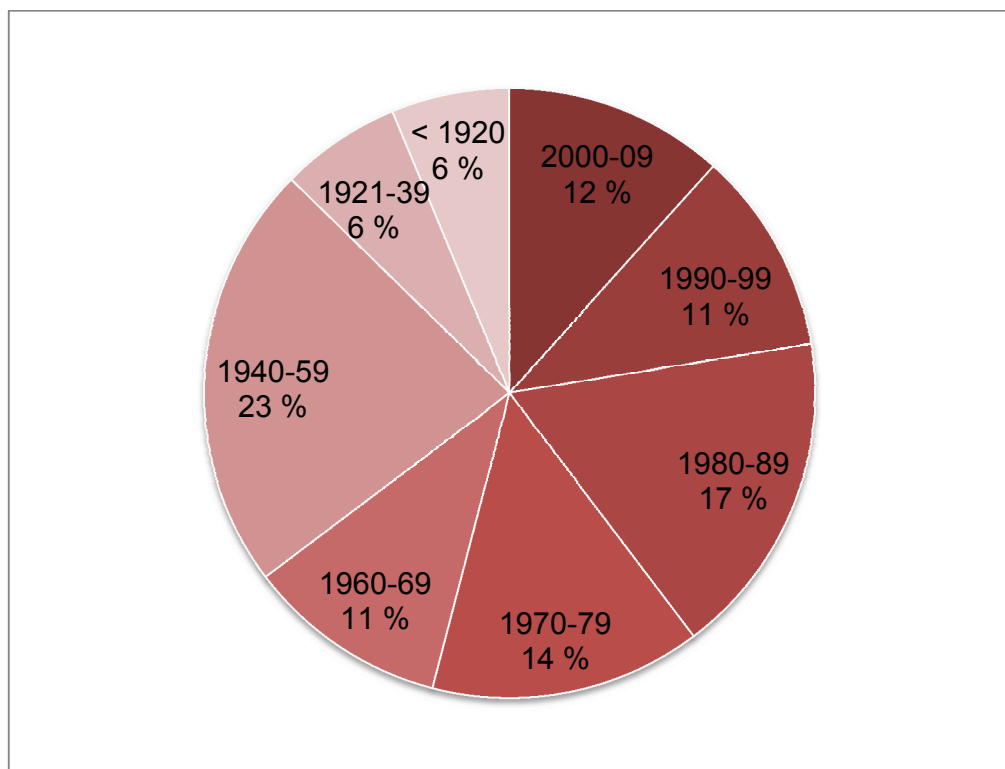
1.2 Tutkimuksen tilaaja

Tämän tutkimuksen tilaaja on LPR-arkkitehdit Oy, jonka erikoisosaamiseen kuuluvat muun muassa kulttuurikohteiden suunnittelu sekä historiallisesti arvokkaiden rakennuskohteiden korjaussuunnittelu ja -valvonta. Viimeaikaisia uudis- ja korjauskohteita ovat olleet esimerkiksi Helsingin Musiikkitalo, Turun taidemuseo, Helsingin yliopiston kirjasto ja Arkkipiispan talo sekä keskiaikaiset kivikirkot, kuten Mynämäen, Paraisten, Pyhän Katariinan ja Maarian kirkot.

Tilaaja osoitti tutkimuksen kohteeksi kaksi 1700–1800-luvuilla valmistunutta rakennusta, jotka on vastikään korjattu residenssiasunnoiksi tilaajan suunnitelmiensa mukaan.

1.3 Lähtötilanne

Suomen rakennuskannasta valtaosa on vanhoja peruskorjattuja tai peruskorjauksen tarpeessa olevia vanhoja rakennuksia (Tilastokeskus 2013). Vanhojen jo olemassa olevien rakennusten energiankulutus edustaa huomattavasti suurempaa osaa asumisen kokonaisenergiankulutuksesta kuin uudisrakennusten energiankulutus (kuvio 1). Valtaosa energiatehokkaan rakentamisen tutkimuksesta on kuitenkin toistaiseksi suunnattu uudisrakentamiseen.



Kuvio 1. Pientalot Suomessa rakentamisaikankohdan mukaan luokiteltuna (Tilastokeskus 2013).

Tilanne on kuitenkin muuttumassa, kun myös korjausrakentamisen energiatehokkuuteen aletaan kiinnittää huomiota (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 2013). Vanhemmissa pientaloissa ei voida toteuttaa lähellekään nykymääräysten mukaisia eristepaksuuksia ilman esteettisten tyyli-
piirteiden turmelemista. Lisäksi seinien lisäeristämistä ulkopuolelta voi rajoittaa räystääs- ja ikkunarakenteiden tuuletus ja veden johtaminen. Sisäpuolisen lisä-

eristämisen osalta rajoituksia asettaa rakennusfysiikka, sillä vanha massiivinen seinärakenne ei saisi jäädä liian kylmäksi (Oulun rakennusvalvonta 2013c).

Korjauskohteessa hyvä ilmatiiviys on asumisviihtyvyyden, lämpötalouden ja hyvän sisäilman kannalta aivan yhtä tärkeää kuin uudisrakentamisessa. Asumisviihtyvyyden kannalta kriittisimpiä ovat alapohjan ilmapuodot, sillä rakennuksen luonnollisten painesuhteiden vaikutuksesta kylmä ulkoilma tunkeutuu sisään ennen muuta alapohjan ilmapuotojen kautta. Seurauksena näistä ilmapuodoista on vanhoille rakennuksille tyypilliset kylmät lattiat. Alapohjan ilmatiiviydellä on myös ratkaiseva vaikutus siihen, missä määrin asumisterveyden kannalta kielteiset haitta-aineet kuten radon, homeitiöt, mikrobien aineenvaihduntatuotteet ym. pääsevät kulkeutumaan alapohjasta sisätiloihin. (Oulun rakennusvalvonta 2013a; Aho ym. 2009, 13.)

Rakennusvaipan ilmatiiviytluku ja sisäilman ilmanvaihtokerroin ovat toisiinsa kytköksissä olevia suureita. Hyvä vaipan ilmatiiviys luo edellytyksen ilmanvaihdon toimimiselle hallitusti suunnitellulla tavalla. Toisaalta huono ilmatiiviys vähentää ilmanvaihdon merkitystä, sillä ilmanvaihto tapahtuu joka tapauksessa hallitsemattomasti, osin ilmapuotojen ja osin ilmanvaihdon kautta. Vanhoissa pientaloissa on ilmanvaihto usein toteutettu painovoimaisesti. Kaikkein vanhimmassa rakennuskannassa ei korvausilmalle ole yleensä järjestetty mitään reittiä, vaan se otetaan vuotokohtien kautta. Ilma poistuu tulisijojen kautta, tai milloin tulisijat eivät ole käytössä, hormeihin rakennettujen poistoilmaventtiilien kautta sekä yläpohjan vuotoilmareittien kautta. Peruskorjausten yhteydessä asennetaan tyypillisesti raitisilmaventtiilejä makuuhuoneisiin ja poistoilmaventtiilejä tai puhaltimia märkätiloihin ja keittiöihin. (Oulun rakennusvalvonta 2013b.)

Vanhan rakennuksen ilmatiiviyteen liittyy paljon uskomuksia. Yksi yleisimmistä on käsitys, jonka mukaan vanhaa rakennusta ei pidäkään tehdä ilmatiiviiksi, vaan sen on annettava "hengittää". Käsitys juontanee 1980-luvun energiakriisin ajoilta, jolloin energian äkillisen hinnan nousun seurauksena vanhoja rakennuksia alettiin lisäeristää, ja samalla rakenteeseen lisättiin sisäpuolinen höyrynsul-

ku. Usein kuitenkin unohtui ilmanvaihdon järjestäminen kokonaan tai se tehtiin puutteellisesti, ilman korvausilmaventtiileitä. Tuloksena oli ns. pullotalo, jossa ilmanvaihto oli huono (Sisäilmäyhdistys 2013).

Aivan viime aikoina pullotalon käsite on noussut uudelleen esiin kiristyvien uudisrakentamisen energiamääräysten myötä. On esitetty, että uudet rakentamismääräykset edellyttävät liian tiiviitä ratkaisuja, jotka johtavat kosteusvaurioriskin ja sitä kautta homevaurioriskin kasvamiseen (Mainio 2013). Kirjoituksista on monesti vaikea hahmottaa, tarkoitetaanko tiiviydellä lämmöneristävyttä vai ilmatiiviyttä.

Toisaalta valtakunnallisten kosteus- ja hometalkoiden ohjelmajohtaja Juha Pirinen on haastateltaessa todennut: ”Pullotalon aiheuttamat homevauriot ovat legenda. Tutkin väitöskirjaani varten 429 vaurioitunutta pientaloa, enkä löytänyt yhtään rakennusta, johon olisi syntynyt homevauriota rakennuksen sisäkuoren tiiviyden takia. Päinvastoin, rakennukset kannattaa tehdä vaipaltaan mahdollisimman ilmatiiviiksi.” (Länsi-Savo 2011.)

2 TIIVIYSMITTAUS JA ILMANVAIHTO

2.1 Ilmatiivysmittaus

Ilmatiivysmittaus on menetelmä, jolla voidaan mitata rakennuksen ulkovaipan ilmatiivys. Tulokseksi saadaan yksilukuinen arvo rakennuksen ilmatiivyydestä, jota voidaan helposti verrata suunnitteluarvoon ja viranomaismääräyksiin. Näin saadaan kokonaiskuva rakennustyön laadusta tiiviyden osalta. (Energiatehokas koti 2013.)

Rakennusten ilmatiivysmittauksia on kokeiluluontoisesti tehty jo ainakin 1930-luvulta lähtien Saksassa. Laitteisto kehitettiin kenttämittauksiin soveltuvaksi 1970-luvulla Ruotsissa, josta idea vietiin Yhdysvaltoihin. Nykyiseen muotoonsa ilmatiivysmittauslaitteet kehittyivät 1970–1980-luvuilla Yhdysvalloissa. Yhdysvallat onkin ollut edelläkävijä ilmatiivysmittausten laajamittaisessa soveltamisessa, ja myös tärkeimmät laitevalmistajat ovat syntyneet näille markkinoille. (Bischof ym. 2008, 29.)

Suomeen ensimmäiset ilmatiivysmittauslaitteet tulivat 1980-luvun alkupuolella (Eskola ym. 2005, 79), mutta laajempaan käyttöön ne ovat tulleet vasta 2000-luvulla. Ilmatiivysmittaus on muodostunut yhdeksi tärkeimmistä laadunvarmistusmittauksesta uudisrakentamisessa.

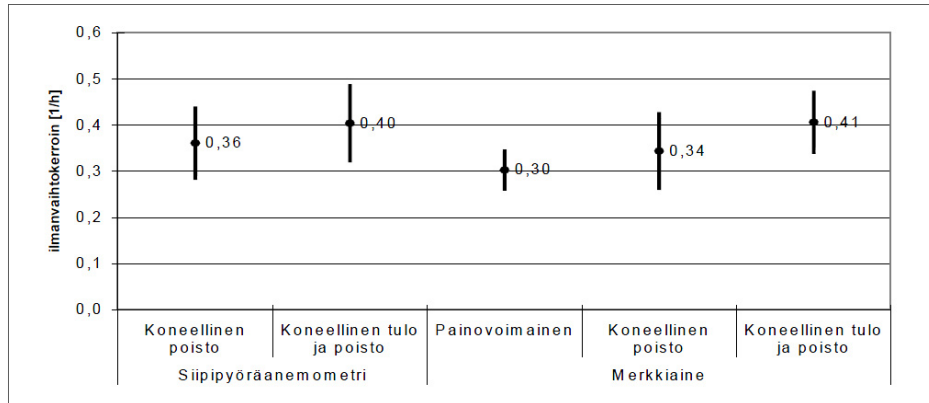
Toistaiseksi tiivysmittauksen soveltaminen korjausrakentamiskohteisiin on ollut vähäistä, vaikka hyvästä ilmatiivyydestä olisi korjausrakentamisessa aivan samat edut kuin uudisrakentamisessakin. Lisäksi korjauskohteissa on usein alapohjarakenteita, joiden kosteustekninen toiminta ei vastaa nykykäsitystä kosteusvarmasta rakenteesta. Tällöin alapohjan ilmatiivydelle tulee asettaa erityisen tiukat kriteerit sisäilmaongelmien välttämiseksi (Kosteus- ja hometalkoot 2013). Näiden tiukkojen kriteerien saavuttaminen ei käytännössä onnistu, ellei toteutuvaa laatua valvota ilmatiivysmittauksella.

Uudisrakennusten ilmatiiviys on parantunut Suomessa merkittävästi, kun mittauksia on alettu systemaattisesti tehdä. Vielä 2000-luvun alussa uusien pientalojen keskimääräinen ilmatiiviys oli noin 4 1/h (Eskola ym. 2005, 74), mutta 2010-luvun jälkeen rakennetuissa pientaloissa on tulos jo keskimääri alle 1,5 1/h (Päloniitty 2012, 24).

Vastaavia tutkimuksia on tehty muun muassa Virossa, jossa ilmasto-olosuhteet eivät vielä merkittävästi poikkea Etelä-Suomen olosuhteista. Uusien 2001–2010 rakennettujen talojen keskimääräinen ilmatiiviys oli 2,3 1/h, 1960–1990 rakennettujen kivirakenteisten talojen 6,0 1/h ja 1900–1940 rakennettujen puurakenteisten talojen 13 1/h. (Kalamees ym. 2012, 179.)

2.2 Ilmavaihtokerroin

Rakennuksen kokonaisilmanvaihtokerroin kuvaa, kuinka monta kertaa rakennuksen koko ilmatilavuus vaihtuu yhden tunnin aikana. Kokonaisilmanvaihto muodostuu ilmanvaihdosta ja vuotoilmanvaihdosta. Ilmanvaihto voi olla toteutukseltaan painovoimainen, koneellinen poistoilmanvaihto tai koneellinen tulo-poistoilmanvaihto. Tampereen teknillisessä yliopistossa (TTY) on kartoitettu uudisrakennusten toteutuvia ilmanvaihtokertoimia (kuvio 2). Mittauksia on tehty kaikilla ilmanvaihtotyypeillä varustetuissa rakennuksissa. Menetelminä tutkimuksissa on käytetty merkkiainemittausta ja koneellisen ilmanvaihdon kohteissa myös päätelaitteista tehtävää virtausmittausta (Eskola ym. 2005, 57).



Kuvio 2. TTY:n mittaamia pientalojen ilmanvaihtokertoimia (74 kohdetta) kerta-
mittauksella ja merkkiainemenetelmällä (Eskola ym. 2005, 65).

TTY on myös kehittänyt yksinkertaistettua mallia ilmavuotojen aikaansaaman ilmanvaihdon arvioimiseksi (Aho ym. 2009, 115). Kehitystyön tuloksena on saatu kaava, jolla vuotoilmanvaihto voidaan ennustaa tiiviysmittauksen tuloksesta. Kaavassa on joukko korjauskertoimia, jotka saavat taulukkoarvoja kohderakennuksen muodosta ja olosuhteista riippuen (taulukko 1). Lisäksi kaavaan tarvitaan tieto vuotoyhtälön eksponentista. Tämä tieto saadaan tiiviysmittauksen yhteydessä.

$$n_v = \frac{n_{50}}{L \times W \times D \times H \times E \times B},$$

missä

n_v	vuotoilmanvaihtokerroin
n_{50}	ilmatiiviysmittauksen tulos
L	ilmasto-oloista riippuva korjauskerroin
W	tuulioloista riippuva korjauskerroin
D	rakennuksen vuotojakaumasta riippuva korjauskerroin
H	rakennuksen korkeudesta riippuva korjauskerroin
E	vuotoyhtälön eksponentista riippuva korjauskerroin
B	ilmanvaihdon tasapainosta riippuva korjauskerroin.

Taulukko 1. Kaavan korjauskertoimet (Aho ym. 2009, 115).

Korjauskerroin	Korjauskertoimen arvo			
Ilmastovyöhyke	I-III	IV		
L	27	25		
Tuuliolot	suojaton	maaseutu	suojainen	
W	0,5	0,7	1	
Vuotojakauma	YP/AP-vetoinen	tyypillinen	YP-vetoinen	AP-vetoinen
D	0,8	1	1,1	1,2
Kerrosten lkm.	1	2		
H	1,6	1		
Vuotoyhtälön eksponentti	suurempia rakoja	tyypillinen	pienempiä rakoja	
E	0,7	1	1,4	
Ilmanvaihdon tasapaino	tasapainoinen	yli- tai alipaineinen		
B	1	0,8		

2.3 Energiankulutus

Lämmitysenergiankulutus on suoraan verrannollinen rakennuksen vuotoilmanvaihtokertoimen arvoon. Yksittäisen talon kohdalla todelliseen lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavat ilmasto-olosuhteet, rakennuksen muoto, tuuliolot ja vuotokohtien sijainti vaipassa. Simulointitutkimuksella saatujen tulosten mukaan vuotoilmanvaihto aiheuttaa 15–30 % 2-kerroksisen pientalon lämmitysenergiankulutuksesta, jos ilmatiiviys on noin 4 1/h. Vastaavasti tiiviydeltään hataran (10 1/h) pientalon lämmitysenergiankulutuksesta vuotoilmanvaihto on 30–50 %. Mallinnusten perusteella saatuna yksinkertaistettuna sääntönä voidaan pitää, että keskimäärin yhden yksikön lisäys ilmavuotoluvussa merkitsee noin 4 %:n lisäystä rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutukseen. (Aho ym. 2009, 119.)

Yläpohjan ilmavuodot ovat lämmitysenergiankulutuksen kannalta kaikkein kriittisimpiä, sillä vuotava yläpohja saa rakennuksen painesuhteiden neutraaliakselin siirtymään ylöspäin, jolloin kokonaisvuotoilmanvaihto kasvaa (Leivo 2003, 20).

3 TUTKIMUSKOHTEET

Tutkimuksen kohteena oli tilaajan osoittamana rakennukset 1 ja 2, jotka ovat hirsirakenteisia majoitustiloiksi muutettuja rakennuksia. Ne on alkujaan tehty 1700–1800-luvuilla kartanon palvelusväen asunnoiksi tai talousrakennuksiksi. Ne on myöhemmin muutettu toimisto- ja näyttelytiloiksi Maatalouden tutkimuskeskuksen koetilan käyttöön. Kun tilat ovat siirtyneet nykyiselle omistajalle, ne on muutettu residenssiasunnoiksi.

Tutkimuksen tekijän toimesta valittiin lisäksi kaksi vertailukohdetta. Ne ovat 1800-luvun rakennus 3, joka on vastikään saneerattu asumiskäyttöön, ja 1900-luvun alun rakennus 4, joka on myös täysin saneerattu 2000-luvulla.

3.1 Rakennus 1

Rakennuksen viimeisin laaja korjaustoimenpide oli juuri valmistunut, kun tämän tutkimuksen mittaukset tehtiin. Rakennuksessa on kolme erillistä asuntoa, jotka ovat pinta-aloiltaan 79 m², 26 m² ja 26 m². Rakennuksessa on painovoimainen ilmanvaihto, ja raitisilmaventtiilit sijaitsevat makuuhuoneissa ja poistoilmaventtiilit keittiössä ja kylpyhuoneessa. Huoneiden välisissä ovissa ei ole kynnyksiä.

Rakennuksessa oli ollut pitkään jatkunut kattovuoto, josta johtuen yläpohjaan oli muodostunut kosteusvaurio. Vesikatto oli korjauksen yhteydessä uusittu, ja yläpohjan kaikki vanhat lämmöneristeet ja laudoitus poistettu ja korvattu uusilla (R. Valtonen, henkilökohtainen tiedonanto 15.10.2012). Korjauksen yhteydessä havaittiin myös alapohjassa virheellisestä rakenteesta johtuva kosteusvaurio. Maanvaraisen laatan betonivalun sisään edellisessä korjauksessa jääneen hirsiväliseinän alin hirsikerta purettiin ja korvattiin kevytsoraharkkomuurauksella. Koko alapohjan vanhat puurakenteet ja lämmöneristeet purettiin ja korvattiin uudella rakenteella (liite 1, sivu 1).

3.2 Rakennus 2

Rakennuksen viimeisimmät korjaukset ovat valmistuneet vuonna 2007. Rakennuksessa on 4 huoneistoa, joilla on yhteinen keittiö. Rakennuksen kokonaispinta-ala on 166 m², ja siinä on koneellinen poistoilmanvaihto. Raitisilmaventtiilit sijaitsevat makuuhuoneissa ja huippumuriin kytketyt poistoilmaventtiilit kylpyhuoneissa. Huoneistojen väliovet ovat kynnyksellisiä.

Rakennuksessa on tehty korjauksia ryömintätilan tuuletukseen ja pintavesien johtamiseen. Lisäksi on tehty lähinnä sisäpuolisia korjauksia ja uusia märkätiloja. Ulkovaipparakenteet ovat pääosin edellisen korjauksen jäljiltä, eikä niiden tarkka rakenne ole tiedossa. Yhden huoneen alapohjarakenne on uusittu kokonaan. Yläpohja on lisälämmöneristetty koko rakennuksen osalta 200 mm:n puhallusvillakerroksella (liite 1, sivu 2).

3.3 Rakennus 3

Rakennus 3 on 1800-luvulla rakennettu kalastajatorppa, ja sen korjaukset ovat pääosin valmistuneet 2009. Rakennuksen kokonaispinta-ala on 58 m². Rakennuksessa on painovoimainen ilmanvaihto, jota on tehostettu poistopuhaltimella. Raitisilmaventtiilit sijaitsevat makuuhuoneissa ja puhaltimella varustettu poistoilmaventtiili kylpyhuoneessa. Huoneiden väliset ovet ovat kynnyksellisiä.

Rakennuksen peruskorjauksessa kaikki alapohjat purettiin, vanhat täytteet imuroitiin pois paljaaseen kalliopintaan saakka ja tehtiin uusi rossipohjarakenne. Kaikkien ulkoseinien sisäpinnat uusittiin ja myös ulkoverhous uusittiin. Yläpohjarakenteet ovat pääosin vanhoja, vain yhden makuuhuoneen ja WC:n yläpohja on uutta rakennetta. Yläpohjan vanhat täytteet imuroitiin pois koko yläpohjan osalta ja korvattiin puhalletulla puukuitueristeellä (liite 1, sivu 3).

3.4 Rakennus 4

Tutkittavista rakennuksista uusin, rakennus 4, on valmistunut 1910-luvulla, ja sen viimeisimmät merkittävät korjaukset on tehty 2007. Rakennuksen kokonaispinta-ala on 160 m², ja siinä on koneellinen tulo-poistoilmanvaihto lämmön talteenotolla varustettuna. Huoneiden välisissä ovissa ei ole kynnyksiä.

Rakennuksen yläpohjarakenteet on uusittu korjauksen yhteydessä kokonaan. Rakenne on toteutettu SPU-eristeillä. Ulkoseinät on lisälämmöneristetty sisäpuolelta, ja samalla on rakenteeseen lisätty höyrynsulkumuovi. Alapohjarakenteet on uusittu vain vaurioituneilta osiltaan, muilta osin rakenne on vanhaa (liite 1, sivu 4).

Rakennus poikkeaa muista tutkittavista kohteista siinä mielessä, ettei sen korjauksissa ole erityisesti pyritty historiallisten tyylipiirteiden tai pintamateriaalien säilyttämiseen. Korjaus on toteutettu normaalina saneeraustoimenpiteenä kaikkia tavanomaisia korjausmateriaaleja ja -tekniikoita hyödyntäen. Se edustaa myös talotekniikaltaan uudenaikaisinta ratkaisua.

4 KENTTÄTUTKIMUKSET

4.1 Mittausten ajankohta

Mittaukset suoritettiin 29.–31.10.2012 rakennusten 1 ja 2 osalta, 3.12.2012 rakennuksen 3 osalta ja 25.2.2013 rakennuksen 4 osalta.

4.2 Mittaukset

Kussakin kohteessa tehtiin aluksi seuraavat kohde- ja olosuhdemittaukset:

- huoneistojen pinta-ala ja tilavuusmittaukset
- sisälämpötilan mittaus
- ulkolämpötilan mittaus
- ilmanpaineen mittaus.

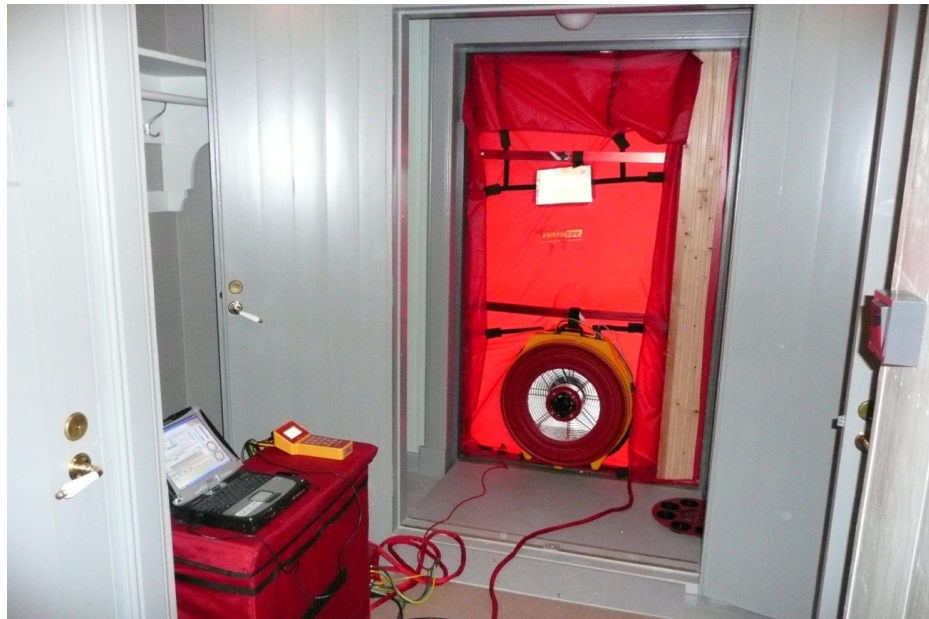
Pinta-alamittauksiin käytetty laite oli Leica Disto D5 -laseretäisyysmittari. Sisä- ja ulkolämpötilan sekä ilmanpaineen mittaamiseen käytettiin TSI VelociCalc 9565-P -monitoimimittaria (kalibroitu 13.3.2012, kalibroitiväli 1 vuosi).

Valmistelevana toimenpiteenä huoneistojen tulo- ja poistoilmaventtiilit teipattiin, ja jos huoneistossa oli huippuimuri, se suljettiin. Tulisijojen savupellit suljettiin ja suuluukut teipattiin, jos niiden tiiviydessä havaittiin puutteita. Lopuksi kaikki mitausalueen välivet avattiin ja vesilukkoihin kaadettiin vettä.

4.2.1 Ilmatiiviysmittaus

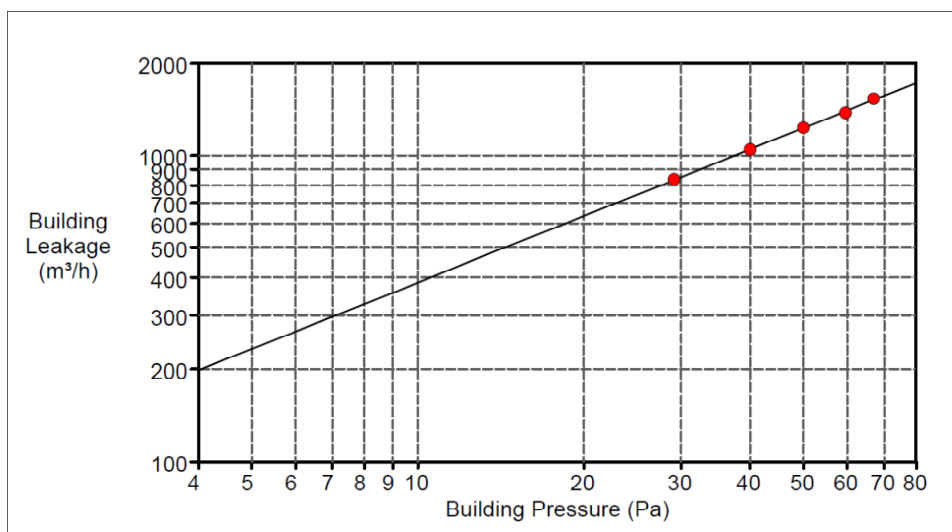
Valituista tiloista tehtiin ilmatiiviysmittaus asentamalla puhallinlaitteisto ulko-oveen. Mittaus toteutettiin standardin mukaisena alipainemittauksena (SFS-EN 13829). Mittauksessa käytettiin Retrotec Q4E -puhallinlaitteistoa (kalibroitu 7.3.2011, kalibroitiväli 2 vuotta) asennettuna ulko-oveen (kuva 1), FanTestic-

mittausohjelmistoa (versio 5.3.20) sekä Panasonic ToughBook CF-18 -kenttä tietokonetta.



Kuva 1. Ilmatiiviysmittauslaitteisto asennettuna rakennuksen 1 ulko-oveen.

Mittauksessa puhallinlaitteistolla luodaan mitattavan tilan ulkovaipan yli sarja paine-eroja. Kohteessa käytetyt paine-erot olivat 30, 40, 50, 60 ja 70 Pascalia. Laitteisto säättää puhaltimen kierrosnopeutta automaattisesti, jotta saavutetaan valitut paine-erot vaipan yli. Laitteisto tallentaa jokaisella paine-erolla useita näytteitä puhaltimessa vallitsevasta paine-erosta ja laskee normalisoidun puhaltimen läpi virtaavan ilmatilavuuden ajan yksikköä kohden [m^3/h].



Kuvio 2. Tiiviysmittauksen eri paine-eroilla keskiarvotetut virtaukset ja niistä laskettu regressiosuora.

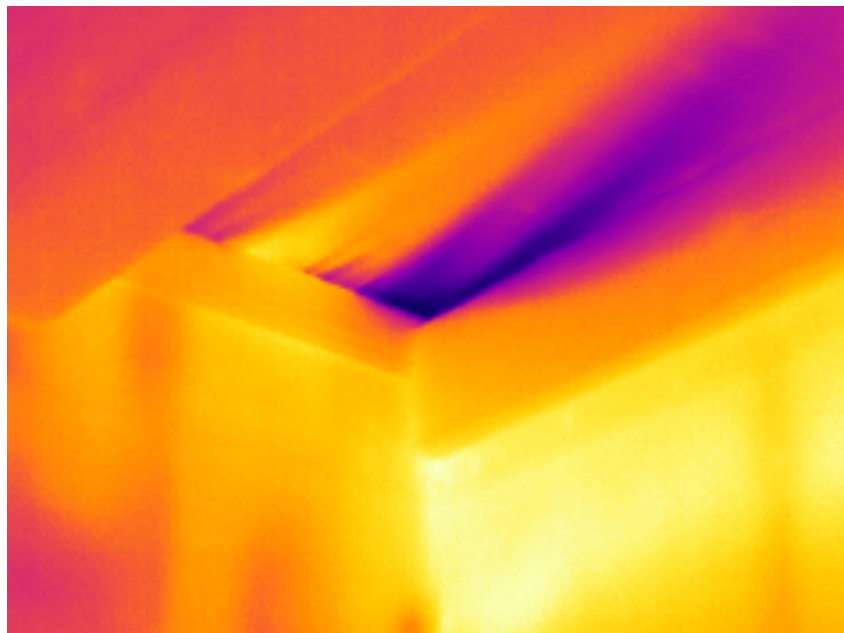
Eri pisteistä saaduista arvoista lasketaan regressioanalyysin avulla puhaltimen virtaus tasan 50 Pa vaipan yli vallitsevalla paine-erolla (kuvio 2). Laskettu ilma-virtaus suhteutetaan rakennuksen sisätilavuuteen ja vaipan pinta-alaan, jolloin saadaan yksilukuiset ilmatiivyyden tunnusluvut. Sisätilavuuteen suhteutettu tunnusluku on n_{50} -luku [1/h] ja rakennuksen ulkovaipan pinta-alaan suhteutettu q_{50} -luku [m^3/hm^2].

4.2.2 Ilmavuotokohtien paikannus

Seuraavaksi paine-ero säädettiin noin 50 Pa:n alipaineeseen ja aloitettiin lämpökuvaukset ilmavuotokohtien paikantamiseksi. Lämpökuvauksella saadaan ilma-vuotokohdat etsittyä nopeasti ja paikannettua tarkasti ilman rakenteiden purkamista. Lämpökuvaukseen käytettiin Flir E50bx -lämpökameraa (kalibroitu 9.5.2011, kalibroitiväli 2 vuotta).

Mittauksen aikana vallitseva negatiivinen paine-ero imee kylmää ulkoilmaa rakenteen ilmavuotokohdista, jolloin rakenne jäähtyy paikallisesti. Tämä jäähtyminen voidaan visualisoida lämpökuvauksella. Lämpökuvissa ilmavuotokohdat eroavat kylmäsiltojen ja eristepuutteiden aiheuttamista viileistä alueista sijaintin-

sa perusteella sekä aiheuttamansa lämpökuvion perusteella. Selvissä ilma-
vuodoissa on lämpökuvissa yleensä havaittavissa ns. viuhkakuvio (kuva 2).
(Kauppinen & Paloniitty 2006, 26.)



Kuva 2. Tyypillinen ilmapuodon aiheuttama viuhkakuvio lämpökuvassa (kuva yläpohjan ja seinän liitoksesta).

4.2.3 Ilmanvaihtokertoimen mittaus

Osaan huoneista tehtiin lisäksi ilmanvaihtokertoimen määrittäminen merkkiainemittauksella (Nordtest NT VVS 019, 1988). Merkkiaineena käytettiin hiilidioksidia. Mittauksen aikana tutkittavan huoneen raitisilmaventtiili ja huoneiston poistoilmaventtiili olivat normaalissa käyttöasennossa. Tilaan laskettiin painepullosta hiilidioksidia niin kauan, että pitoisuus saavutti yli 5 000 ppm:n tason. Merkkiaineen tasainen jakautuminen tilaan varmistettiin vaihtelemalla kaasun puhallussuuntaa ja -korkeutta koko puhalluksen ajan. Lisäksi sokkeloisemmissa tiloissa käytettiin puhallinta sekoittamaan ilmaa.

Kun mittauksella oli todettu merkkiaineen tasainen pitoisuus tilassa, sammutettiin puhallin, ja telineeseen noin 1,2 m:n korkeudelle sijoitettu tallentava hiilidioksidimittari käynnistettiin. Välittömästi tämän jälkeen huoneesta poistuttiin, ovi

suljettiin ja huoneiston käyttöä rajoitettiin ohjelapuilla seuraavan 4 tunnin ajan. Tallennusvälinä mittauksessa käytettiin yhtä minuuttia. Mittauksissa käytettiin hiilidioksidimittaria DeltaOhm HD21AB (kalibroitu 5.9.2011 ja 21.3.2013). Mittarin kalibroinnin pysyvyys tarkistettiin ennen ja jälkeen mittauksen mittaamalla ulkoilman hiilidioksidipitoisuus, joka on suhteellisen vakio.

Tulokseksi saatiin suuri joukko yksittäisiä pitoisuushavaintoja. Aineistoa leikattiin alkupäästä niin, että 10 ensimmäistä tulosta hylättiin alkuhäiriöiden vuoksi. Loppupäästä aineistoa leikattiin niin, että aineistoa kertyi noin 4 tunnin ajalta. Rakennuksen 2 kohdalla aineisto leikattiin kuitenkin jo 3 tunnin kohdalta, sillä tässä vaiheessa siivoojat tulivat kohteeseen, eikä loppuosa aineistosta ollut enää kelvollista.

Jatkoanalyysi aineistolle tehtiin Excel-taulukossa, jossa leikatusta havaintoaineistosta ensin vähennettiin mittauksen alku- ja loppupäässä mitattu ulkoilman hiilidioksidipitoisuus. Sen jälkeen CO₂-skaala muutettiin luonnolliseen logaritmiin. Muunnetusta aineistosta piirrettiin kuvaaja, josta regressioanalyysin avulla saadaan määritettyä lineaarinen regressioviiva. Tästä ilmanvaihtokerroin (air change rate, ACR) on luettavissa yksinkertaisesti, sillä se on sama kuin regressioviivan kulmakerroin, jos aika-akselin yksiköksi on asetettu yksi tunti (Laussmann & Helm 2011, 370).

4.2.4 Ilmanvaihtomelun mittaus

Rakennuksessa 4 mitattiin myös ilmanvaihtolaitteiston aiheuttama melutaso. Rakennus on tutkituista ainoa, jossa on nykyaikainen koneellinen tulo- poistoilmanvaihto. Ilmanvaihtomelun taso mitattiin sängyn välittömästä läheisyydestä noin 1,5 m:n korkeudelta. Mittaus tehtiin Sinus Messtechnik GmbH Tango -äänitasomittarilla. Mittari on tarkkuudeltaan 1-luokan integroiva äänitasomittari (kalibroitu 1.2.2013, kalibroitiväli 2 vuotta).

5 TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA

5.1 Tiiviysmittausten tulos

Mitattujen ilmatiiviyslukujen keskiarvot olivat $n_{50} = 12,2$ 1/h ja $q_{50} = 10,4$ m³/hm² (taulukko 2). Vaikka vanhoille rakennuksille ei olekaan asetettu mitään ohjeita tiiviiden suhteen, voidaan tuloksia kuitenkin pitää huonoina. Jos tuloksia verrataan 2000-luvulla rakennettujen yksikerroksisten uudisrakennusten keskimääräiseen ilmavuotolukuun $n_{50} = 1,6$ 1/h ja $q_{50} = 1,3$ m³/hm² (Paloniitty 2012, 24), voidaan havaita tulosten olevan lähes kymmenkertaiset.

Taulukko 2. Kohteista mitatut ilmatiiviydet.

Kohde Nro	Lattia m ²	Tilavuus m ³	Vaippa m ²	n_{50}	q_{50}
1	79	212	259	15,4	12,6
2	165	410	474	14,0	12,1
3	58	140	197	11,8	8,4
4	130	272	254	7,7	8,3
			Keskiarvo	12,2	10,4

Toisaalta tulos ei poikkea merkittävästi uudempien 2000-luvun alkupuolella rakennettujen hirsirakennusten keskimääräisestä mittaustuloksesta 7,9 1/h (Aho ym. 2009, 22). Uusienkin hirsirakennusten ilmatiiviyttä on saatu parannettua vasta viimeisen vuosikymmenen aikana sitä mukaa kuin niiden tiiviyttä on alettu mitata.

5.2 Rakennuksen 1 ilmatiiviyys

Rakennukseen 1 toteutettiin ilmatiiviyysmittaus asuntoon 1. Tämä 79 m²:n asunto valittiin siksi, että se kattaa 60 % koko rakennuksen pinta-alasta ja antaa näin hyvän kuvan koko rakennuksen tiiviydestä. Tämän rakennuksen asunnoissa ei ole asuntojen välisiä ovia, joten koko rakennusta ei olisi voitukaan mitata.

Ilmatiiviyksmittauksen tulos on $n_{50} = 15,4$ 1/h ja $q_{50} = 12,6$ m³/hm². Pahimmat vuotokohdat löytyivät ulkoseinän ja lattian liitoksesta (liite 3). Uudesta lattiarakenteesta puuttuu ilmansulkukerros lattialautojen alta. Lattiarakenteen ja vanhan seinärakenteen liitoksen ilmatiiviyks onkin jäänyt puutteelliseksi.

Myös yläpohjan ja ulkoseinien välisessä liitoksessa oli havaittavissa selviä ilma-
vuotoja. Rakennuksessa on pääosin jätetty vanha massiivinen yläpohjarakenne
näkyviin, mistä johtuen hyvä yläpohjan ilmatiiviyks on erityisen haasteellista saa-
vuttaa. Ilmansulkua ei ole kiinnitetty ulkoseiniin, vaan se pysyy paikallaan pel-
kästään puhallusvillan painon ansiosta.

Ilmanvaihtokerroin

Rakennuksen 1 huoneistosta 2 tehtiin ilmvaihtokertoimen määrittäminen merk-
kiainemenetelmällä. Hiilidioksidipitoisuuden alenemisnopeuden perusteella
huoneiston ilmvaihtokertoimeksi saatiin 1,2 1/h (liite 2).

Mitattua ilmvaihtokerrointa 1,2 1/h voidaan pitää erittäin hyvänä. Suunnittelu-
arvona uudisrakentamisessa pidetään ilmvaihtokerrointa 0,5 1/h, jonka tulos
ylittää selvästi (RakMK D2 2010, 10). Hyvä tulos selittyy huoneiston avoimel-
la rakenteella. Mitatussa huoneistossa ei ole väliovia, joten siinä olevat 2 rai-
tisilmaventtiiliä ja 1 poistoilmaventtiili sijoittuvat käytännössä yhtenäiseen, melko
pieneen huonetilaan. Tällaisessa tilanteessa painovoimainenkin ilmvaihto voi
toimia tehokkaasti niin kauan kuin on olemassa lämpötilaero sisä- ja ulkoläm-
pötilan välillä. Lisäksi ilmvaihtoa tehostavat rakenteiden ilmvuodot.

5.3 Rakennuksen 2 ilmatiiviyks

Rakennuksessa 2 toteutettiin ilmatiiviyksmittaus koko rakennukseen. Järjestely
oli mahdollinen, sillä huoneistojen välillä on kulkuyhteys. Rakennuksen asuin-
pinta-ala on yhteensä 165 m².

Ilmatiiviysmittauksen tulos on $n_{50} = 14,0$ 1/h ja $q_{50} = 12,1$ m³/hm². Vuotokohtat asettuivat pääosin samoihin kohtiin kuin rakennuksessa 1 (liite 3). Lisäksi oli havaittavissa runsaasti ikkunavuotoja. Ikkunavuodot johtunevat pääosin siitä, että kohteessa olleet vanhat ikkunat soveltuvat huonosti kumitiivisteillä tiivistettäviksi. Vanhoissa ikkunoissa on usein hyvin pienet kyntteet, eikä niihin saada kunnolla asennettua kumitiivisteitä.

Ilmanvaihtokerroin

Rakennuksen 2 huoneistosta 1 ilmanvaihtokertoimeksi saatiin 0,43 1/h (liite 2). Mitattua ilmanvaihtokerrointa voidaan pitää hyvänä. Tässä rakennuksessa on tyypilliset massiivipuuväliovet, joihin ei ole tehty ilmavirtauksen mahdollistavaa oven alalaidan leikkausta. Tästä johtuen poistoilmanvaihto ei aivan riittänyt toteuttamaan suositusarvoa 0,5 1/h edes yhdessä ilmanvaihtoa lisäävien ilmapuotojen kanssa.

Jos mitattua ilmanvaihtokerrointa verrataan Tampereen teknillisessä yliopistossa tehtyihin mittauksiin, asettuu rakennuksen 2 ilmanvaihtokerroin melko tarkkaan koneellisella poistoilmanvaihdolla varustettujen kohteiden keskiarvoon (Eskola ym. 2005, 65). Rakennusten suuren vuotoilmamäärän vuoksi on kuitenkin vaikea tarkkaan arvioida, mikä osuus ilmanvaihtokertoimesta on vuotoilman aiheuttamaa ja mikä ilmanvaihdon aiheuttamaa.

5.4 Rakennuksen 3 ilmatiiviys

Rakennukseen 3 toteutettiin ilmatiiviysmittaus koko rakennukseen. Rakennuksen asuinpinta-ala on yhteensä 58 m². Ilmatiiviysmittauksen tulos on $n_{50} = 11,8$ 1/h ja $q_{50} = 8,4$ m³/hm². Vuotokohtat ovat suurelta osin samat kuin edellä eli lattian ja ulkoseinän liitos sekä yläpohjan ja ulkoseinän liitos (liite 3). Lisäksi oli havaittavissa joitain selviä ilmapuotoja ikkunoiden karmiliitoksissa (liite 3, sivut 14 ja 15). Ikkunoiden tiivistevuotoja sen sijaan tässä kohteessa ei ollut havaittavissa, mikä johtuu ikkunoiden tiivistämisestä paperoimalla.

Ilmanvaihtokerroin

Rakennuksessa tehtiin ilmanvaihtokertoimen määrittäminen ennen korvausilmaventtiilin asentamista makuuhuoneesta, jonka pinta-ala on noin 11 m². Mittauksen aikana makuuhuoneen ovi oli kiinni. Tulokseksi saatiin 0,12 1/h.

Rakennuksen ilmavuodoista aiheutuva ilmanvaihto laskettiin myös aiemmin kuvattulla yksinkertaistetulla laskentamallilla. Laskennalla päädytään likiarvoon 0,6 1/h, mikä poikkeaa merkittävästi mitatusta arvosta. Mittauksella saatu tulos on kuitenkin uskottavampi, kun sitä vertaa tutkimuksen tekijän aikaisempiin makuuhuoneiden pitkän aikavälin hiilidioksidipitoisuuden mittauksiin. Tutkitun kaltaisissa rakennuksissa on yleensä varsin pienet makuuhuoneet, joten jos väliovia ja raitisilmaventtiilejä pidetään suljettuna, saattaa makuuhuoneen hiilidioksidipitoisuus yön aikana saavuttaa hyvinkin korkean tason.

Mitatun ilmanvaihtokertoimen ja mallilla saadun ilmanvaihtokertoimen suuri ero saattaa selittyä osittain sillä, että laskennalla pyritään mallintamaan koko talon ilmanvaihtoa, mutta merkkiainemittauksella mitattiin yhden suhteellisen pienen makuuhuoneen ilmanvaihtoa. Toisaalta laskentamallilla pyritään arvioimaan keskimääräistä vuotoilmanvaihtoa, mutta kertamittaus edustaa vallitsevissa sääoloissa tapahtuvaa ilmanvaihtoa. Mittausajankohtana esimerkiksi tuuli oli lähes tyyni, mikä vähentää vuotoilmanvaihtoa. Lisäksi yksittäisen huoneen tiiviyys saattaa poiketa koko talon ilmatiiviydestä, mitä malli ei huomioi.

5.5 Rakennuksen 4 ilmatiiviyys

Rakennukseen 4 toteutettiin ilmatiiviyysmittaus koko rakennukseen. Rakennuksen asuinpinta-ala on yhteensä 130 m².

Ilmatiiviyysmittauksen tulos on $n_{50} = 7,7$ 1/h ja $q_{50} = 8,3$ m³/hm². Vuotokohtat löytyivät etenkin alapohjasta ja yläpohjasta. Alapohjassa oli havaittavissa muutama erityisen voimakas vuotokohta (liite 3, sivu 16). Tiiviyysmittauksen aikana oli rakennuksessa myös havaittavissa selvää ”maakellarin hajua”. Tällainen hajua ti-

viysmittauksen yhteydessä viittaa selvästi alapohjan ilmavuotoihin ja kosteusvaurioon alapohjassa tai ryömintätilassa. Alapohjan ilmavuotojen kautta saastunut ilma pääsee kulkeutumaan sisätiloihin, mitä ilmiötä tiiviysmittauksessa luotava alipaine voimistaa. Asukasta haastateltaessa kävi ilmi, että maakellarin hajua on ollut havaittavissa ajoittain myös normaalissa käyttötilanteessa, etenkin syksyisin ja keväisin.

Ilmanvaihtokerroin

Rakennuksessa tehtiin ilmanvaihtokertoimen määrittäminen sekä suoralla mittauksella päätelaitteista että merkkiainemenetelmällä. Merkkiaineella ilmanvaihtokerroin mitattiin makuuhuoneesta, jonka pinta-ala on noin 19 m². Mittauksen aikana makuuhuoneen ovi oli kiinni. Tulokseksi merkkiainemenetelmällä saatiin 0,67 1/h (liite 2).

Tässä rakennuksessa mitattiin myös staattinen paine-ero päätelaitteista, josta voidaan laitevalmistajan ilmoittaman K-kertoimen avulla määrittää ilmavirtaus. Makuuhuoneen tuloilmapäätelaitteen ilmavirraksi mitattiin 4 l/s, kun ilmanvaihtolaite oli normaalissa käyttöasennossa 1. Kun ilmanvaihtolaite säädettiin käyttöasentoon 2, mitattiin päätelaitteesta 7 l/s ilmavirta.

RakMK D2:n henkilömäärään perustuva tuloilman ohjearvo on 6 l/s henkilöä kohden, ja pinta-alaan perustuvan vähimmäisarvon 0,35 (l/s)/m². Päätelaitteiden ilmavirroista ilmanvaihtokoneen 2-asennolla mitattu 6,7 l/s riittää toteuttamaan pinta-alaperustaisen arvon, mutta ei ensisijaisesti noudatettavaa henkilöperusteista ohjearvoa. Ilmanvaihtoa käytetään kuitenkin meluhaittojen välttämiseksi asetuksella 1, jolla tuloilmamäärä jää puoleen edellä mainituista. Merkkiainemittauksella kokonaisilmanvaihtokertoimeksi saatiin 0,67 1/h. Ero selittyy suurella vuotoilmanvaihdon osuudella sekä viereisestä aulatilasta makuuhuoneeseen virtaavalla lisätuloilmalla.

Ilmanvaihtolaitteiden melutaso

Rakennuksessa 4 on ilmanvaihto toteutettu koneellisena tulo-poistoilmanvaihtona. Asukkaan mukaan ilmanvaihtoa pidetään normaalisti asennossa 1, sillä asento 2 tuottaa liikaa melua, etenkin yöaikaan. Makuuhuoneen melutasoksi mitattiin ilmanvaihtolaitteen 1 asennolla 19 dB A_{eq1min} ja 2 asennolla 22 dB A_{eq1min} . Tulokset korreloivat hyvin TTY:n mittaamiin tuloksiin. Kohteissa, joissa ilmanvaihtomelua ei pidetty häiritsevänä, keskimääräinen äänitaso ilmanvaihdon käyttönopeudella oli 20 dB A. Vastaavasti niissä kohteissa, joissa ilmanvaihdon äänitasa pidettiin häiritsevänä, äänitaso oli keskimäärin 21,8 dB A. (Aho ym. 2009, 100.)

5.6 Mittausten luotettavuus

Mittausten laajennettu epävarmuus voidaan laskea, jos tiedetään kaikki mittaukseen vaikuttavat osaepävarmuudet. Yhdistetty standardiepävarmuus saadaan, kun osaepävarmuudet lasketaan neliöllisesti yhteen. Tuloksesta saadaan laajennettu epävarmuus, kun yhdistetty standardiepävarmuus kerrotaan kattavuuskertoimella. Yleisesti käytetyllä 95 %:n luotettavuudella kattavuuskerroin saa arvon 2. (Teknillinen korkeakoulu 2007.)

Ilmatiiviysmittauksen mittausepävarmuus muodostuu lähinnä paine-erojen mittausvirheestä sekä tilavuuden ja pinta-alojen mittausvirheestä. Paine-erojen mittausvirheen voidaan arvioida olevan korkeintaan 5 %. Mitattujen kohteiden yksinkertaisen muodon vuoksi on myös tilavuus- ja pinta-alamittausten virhe todennäköisesti melko pieni. Sen voidaan arvioida olevan myös 5 % (Paloniitty 2012, 57), jolloin mittauksen standardiepävarmuus on 7 % ja 95 %:n luotettavuuden epävarmuus 14 %. Mittausepävarmuuden lisäksi tuloksen luotettavuuteen vaikuttavat ilmanvaihdon tiivistyksen onnistuminen ja mittausajankohdan tuuliolot. Ensin mainittuun voidaan vaikuttaa huolellisella työllä, ja jälkimmäiseen välttämällä mittausta, kun tuulen nopeus on yli 6 m/s (SFS-EN 13829).

Tämän tutkimuksen mittausajankohtina tuuli oli heikkoa, joten siltä osin tulokset ovat luotettavia.

Merkkiainemittauksen mittausepävarmuutta on vaikeampi arvioida. Mittausepävarmuus muodostuu hiilidioksidipitoisuuden mittausepävarmuudesta sekä merkkiaineen tasaisesta jakaantumisesta testattavaan tilaan. Hiilidioksidipitoisuuden mittausepävarmuus on mittarin valmistajan mukaan $\pm 50 \text{ ppm} + 3 \%$. Tämä tarkoittaa mitatuilla pitoisuuksilla maksimissaan 10 %:n virhettä. Mitatuista pitoisuuksista regressioanalyysin korrelaatiokerroin oli kuitenkin kaikissa mitauksissa lähes 1, mikä kertoo mittarin toimineen hyvin johdonmukaisesti mittauksen aikana. Hiilidioksidimittari kalibroitiin kalibrointilaboratoriossa kenttämittauksen jälkeen, jolloin mittarin näyttämät pitoisuudet ennen viritystä olivat 0 ppm:n ja 2 000 ppm:n kalibrointikaasuilla 28 ppm ja 2 012 ppm. Arvot osoittavat mittarin lineaarisuuden ja kalibroinnin pysyvyyden olleen erittäin hyvä.

Suurimman tuntemattoman virhelähteen muodostaa merkkiaineen tasainen jakaantuminen huonetilaan. Hiilidioksidi on ilmaa raskaampi kaasu, joten on olemassa mahdollisuus, että merkkiaine ei ole pysynyt tasaisesti huonetilaan jakaantuneena koko mittausjakson ajan. Myös vuotokohtien jakaantuminen tilassa ja ilmanvaihdon sekä vuotokohtien aikaansaamat virtausreitit ovat saattaneet aiheuttaa merkkiainepitoisuuden epätasaista alenemista. Näistä seikoista johtuen merkkiainemittaukselle ei voida määrittää laskennallista epävarmuutta. Näin ollen tuloksia on pidettävä suuntaa antavina.

Äänitasomittauksia tulee myös käsitellä suuntaa antavina, sillä mitatut äänitaso 19–22 dB A_{eq1min} ovat hyvin alhaisia, ja ne alittavat mittarivalmistajan kyseiselle mittarille antaman lineaarisen mittausalueen rajat 25–140 dB A_{eq} .

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Ilmavuodot

Kaikissa tutkituissa rakennuksissa oli selviä puutteita ilmatiiviydessä. Puutteet sijoittuivat tyypillisesti alapohjan ja seinien liitoskohtiin sekä yläpohjien ja seinien liitoskohtiin. Lisäksi vuotoja havaittiin ikkunoiden ja ovien karmiliitoksissa sekä tiivisteissä. Vuotokohtat ovat samoja, joita voidaan löytää uudiskohteissa (Aho ym. 2009, 34), mutta vuotojen määrä on huomattavasti suurempi.

Tutkimuksen kohteet edustavat rakennuskantamme vanhinta osaa, ja niissä on sen kaltaisia rakenteita, jotka tekevät hyvän ilmatiiviyden toteuttamisen erityisen haasteelliseksi. Tämä konkretisoituu etenkin silloin, kun esteettisistä syistä halutaan esimerkiksi jättää vanhoja yläpohjarakenteita näkyviin. Tutkituista kohteista rakennuksissa 1 ja 3 oli tällaisia rakenneratkaisuja.

Vanhoja pientaloja korjattaessa on rakennustekninen suunnittelu ja valvonta usein vähäistä tai se puuttuu kokonaan (Isaksson ym. 2002, 40). Siinä suhteessa tutkituista kohteista talot 1, 2 ja 3 edustavat normaalia parempaa tilannetta, sillä niin suunnitteluun kuin valvontaan on ollut resursseja käytettävissä. Kohde 4 puolestaan oli rakennusalan ammattilaisen omaan käyttöön saneeraama. Edellytyksen hyvälle laadulle on siis näiltä osin ollut olemassa.

6.1.1 Alapohjarakenteet

Vakiintunut tapa toteuttaa rossipohjan tuulensuoja- ja ilmansulkukerrokset pienillä limityksillä, ilman liitoskohdan varmistusta, ei näyttäisi tuottavan hyvää ilmatiiviyttä. Ilmansulkukerroksia limitys ja riittävä kiinnitys on tärkeää riippumatta siitä, käytetäänkö rakenteessa höyrynsulkua vai ilmansulkua. Lautalattian alla tulisi aina käyttää erillistä ilmansulkukerrosta, joka liittyy saumattomasti seinärakenteisiin. Ilmansulkukerroksen ehjänä säilyminen lattian asennustyön aikana tulee myös varmistaa.

Niin tuulensuoja- kuin ilmasulkukerroksenkin liitokset tulisi aina varmistaa, mieluiten puristusliitoksella niin, että jatkos jää kahden riittävän tiheästi kiinnitetyn tukipinnan (riman, laudan, soiron tms.) väliin. Jos jatkoksia ei ole mahdollista toteuttaa edellä kuvatulla tavalla, tulisi ne liimata käytettäville materiaaleille soveltuvalla elastisella liimamassalla. Varmistavana toimenpiteenä, tai milloin muut menetelmät eivät tule kyseeseen, voidaan liitokset myös teipata suuren tartuntalujuuden omaavalla ilmatiiviysteipillä. Rakenteeseen piiloon jääviä liitoksia ei pitäisi kuitenkaan jättää pelkän teippauksen varaan, sillä ilmatiiviysteippien pitkän aikavälin kestävyys ei ole tiedossa.

Kahdessa tutkimuksen kohteessa, rakennuksessa 2 ja 3, sisältyi rossipohjarakenteen alaosaan tiheäilmäinen teräsverkko. Verkon tarkoituksena on estää jyräjoiden aiheuttamat vauriot ja ilmavuodot alapohjissa. Verkon käyttäminen puurakenteisissa alapohjissa on suositeltavaa, sillä kokemuksen mukaan suojaamattomissa rakenteissa voivat jyräjävauriot olla vuosien saatossa huomattavia ja niiden myötä alkujaan hyväkin ilmatiiviys saatetaan menettää.

6.1.2 Yläpohjarakenteet

Yläpohjarakenteisiin pätee pitkälti sama, mitä alapohjarakenteista on sanottu. Erityispiirteenä on se, että yläpohjan ilmanpitävyys on usein pelkän ilmansulkukerroksen varassa, eikä rakenteessa yleensä ole erillistä tuulensuojakerrosta. Näin ilmansulkukerroksen liitosten toteutus on vieläkin kriittisempää.

Yleinen tapa levittää ilmansulkupaperi vanhojen kattorakenteiden päälle niin, että liepeet nostetaan vapaasti hirsiseinille, ei selvästikään tuota hyvää ilmatiivyyttä. Pelkkä lämmöneristeen paino ei riitä pitämään pitkittäisiä limityksiä tiiviinä, kuten ei myöskään saumojen kiinnittäminen niittaamalla. Ilmansulkukerroksen limityksissä ja liittymisessä ympäröiviin rakenteisiin tulisi käyttää samoja menetelmiä, mitä alapohjarakenteista on edellä kerrottu.

6.1.3 Ikkunoiden ja ovien karmiliitokset

Ikkunoiden ja ovien karmiliitokset toteutetaan tutkittujen kaltaisissa korjauskoh-teissa usein pehmeillä lämmöneristeillä tilkitsemällä (Museovirasto 2000, 16). Pelkkä tilkitseminen ei kuitenkaan näytä tuottavan ilmatiivistä rakennetta. Kar-miliitoksen ulkopuolinen tuulensuojaus ja sisäpuolinen ilmasulku tulee toteuttaa erityisellä huolellisuudella. Tuulensuojalevyn limittäminen karmin tai apukarmin kanssa ja ilmansulkukerroksen liimaaminen elastisella massalla karmiin ovat mahdollisia toteutustapoja. Sisäpuolisessa tiivistämisessä voidaan käyttää myös leveitä ilmatiiviysteippejä, sillä karmiliitokset on suhteellisen helppo tarkis-taa ja tarvittaessa korjata myöhemminkin, joten tiivistystuotteiden pitkäkestoi-suudelle ei tarvitse asettaa yhtä tiukkoja kriteerejä kuin piiloon jäävissä raken-teissa.

6.1.4 Tiivistevuodot

Vanhat ikkunat ja ulko-ovet ovat erityisen haasteellisia tiivisteiden asennuksen kannalta. Niistä usein puuttuvat riittävät kyntteet tiivisteiden asentamiseksi ja niin ikkunanpuitteiden kuin ovien ja karmienkin mitta- ja muototoleranssit saat-tavat tehdä tiivistämisen käytännössä mahdottomaksi.

Vanhimpiin ikkunatyyppeihin hyväksi todettu tiivistyskeino on liimapaperilla tii-vistäminen (Museovirasto 2000, 17). Huolellisesti tehdyllä paperoinnilla saa-daan vanhastakin ikkunasta täysin ilmatiivis, mikä oli havaittavissa rakennuk-sessa 3. Menetelmän haittapuolena on sen, että paperointi täytyy uusia aina, kun ikkunat halutaan pestä.

Vanhojen ulko-ovien tiivistäminen hyvin on vieläkin haasteellisempaa. Vanhat ovet voidaan kuitenkin jättää esimerkiksi uloimmiksi kylmän kuistin oviksi tai sisemmiksi lisäoviksi.

6.1.5 Läpiviennit

Läpivientien osalta voidaan korjauskohteissa soveltaa samoja tiivistysmenetelmiä, mitä käytetään uudisrakentamisessakin. Kaikki höyrynsulku-, ilmansulku- tai tuulensuojakerrokseen sijoittuvat läpiviennit tulee tiivistää erityisen huolellisesti. Pienemmissä putki- ja sähköjohtoläpivienneissä voidaan käyttää elastista kittautusta. Suuremmat ilmastointiputki- ja viemäriläpiviennit saadaan parhaiten tiivistettyä valmiilla läpivientilaipoilla, jotka liimataan ilmansulkukerrokseen.

6.2 Antikvaariset arvot

Tutkitun kaltaisissa vanhoissa arvokohteissa saattaa olla käytettäviä materiaaleja ja menetelmiä rajoittavia tekijöitä. Tällaisia rajoitteita oli taloissa 1 ja 2. Suojelluissa rakennuksissa saatetaan esimerkiksi rajoittaa modernien liimamassojen käyttöä. Energiansäästötavoitteet eivät myöskään ole velvoittavia, jos rakennus on suojeltu (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013).

Myös suojelluissa rakennuksissa kannattaa kuitenkin pyrkiä mahdollisimman hyvään vaipan ilmatiivyyteen. Tämä on perusteltua asumisviihtyvyyden, ilmanvaihdon hallittavuuden ja kosteusvaurioriskin välttämisen vuoksi. Käytetyistä menetelmistä ilmansulkukerroksen saumojen varmistaminen mekaanisesti on yleensä hyväksyttävä myös antikvaarisessa kohteessa. Läpivientien ja muiden erikoiskohtien tiivistystekniikka täytyy ratkaista tapauskohtaisesti valittujen suojelukriteerien mukaan.

6.3 Ilmatiivyyden tavoitetaso

Yhtenä tämän tutkimuksen tavoitteena oli löytää realistinen tavoitetaso korjausrakentamiskohteisiin. Tutkimuksen otanta on kuitenkin liian pieni ja liiaksi vanhimpaan rakennuskantaan keskittynyt, jotta voitaisiin antaa mitään yleispäteviä tavoitteita. Tutkituista rakennuksista ilmatiiviydeltään parhaassa talossa numero

4 oli ilmatiiviys $n_{50} = 7,7$ 1/h ja $q_{50} = 8,3$ m³/hm². Tästä huolimatta kohteessa oli vielä vakavia, asumisviihtyvyyttä heikentäviä ilmavuotoja etenkin alapohjassa.

Korjauskohteissakin tulisi rakenteen sisäpinnassa aina olla ilmanpitävä kerros. Sillä, onko kerros vesihöyryä hyvin läpäisevä ilmansulku vai huonosti läpäisevä höyrösulku, ei sinänsä ole merkitystä. Tässäkin tutkimuksessa oli mukana kummallakin tavalla toteutettuja kohteita, eikä niiden tiiviys oleellisesti poikennut toisistaan. Molemmilla tavoilla saadaan aikaan rakennusfysikaalisesti toimiva rakenne, kunhan rakenteen kosteustekninen toiminta on myös muilta osin kunnossa (Vinha 2007, 309).

Rakentamismääräyskokoelman ohjeavot uudisrakentamisen ilmatiiviydestä on annettu perustuen rakenteen hyvään rakennusfysikaaliseen toimintaan (RakMK D3 2012). Tästä johtuen tulisi korjauskohteissakin pyrkiä vähintään uudisrakentamisen maksimitasoon $q_{50} = 4,0$ m³/hm². Tavoitetason asettaminen vähintään tähän tasoon on tärkeää myös siitä syystä, että välttyttäisiin alapohjan ilmavuotojen aiheuttamilta sisäilmaongelmilta.

Asetuksessa rakennusten energiatodistuksesta annetaan taulukkoarvot rakennusten ilmavuotoluvuista. Arvoja voidaan käyttää energiatodistuksessa, jos kohteen ilmatiiviyttä ei ole voitu selvittää. Taulukko antaa kaikille ennen 1985 rakennetuille rakennuksille arvon 6,0 1/h (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 2013). Tämän tutkimuksen valossa voidaan päätellä, että kaavamainen arvo aliarvioi ainakin vanhimpien rakennusten ilmavuotoja, todelliset arvot ovat suunnilleen kaksinkertaisia.

6.4 Energian säästö

Tutkituissa taloissa aiemmin esitetyllä yksinkertaistetulla laskentamallilla saataisiin keskimäärin 24 %:n lämmitysenergiankulutuksen säästö, jos ilmavuotoluku saataisiin pudotettua arvosta 10 1/h arvoon 4 1/h. Voidaankin sanoa, että ilmatiiviyden parantamisessa piilee merkittävä energian säästön mahdollisuus silloin, kun lähtötilanteena on korkea ilmavuotoluku.

6.5 Ilmanvaihto

Kohteissa mitattuja ilmanvaihtokertoimia voidaan pitää tyydyttävänä, osaa jopa hyvinä. Painovoimainen ilmanvaihto osoittautui toimivan ainakin tutkimusajankohdan sääoloissa yhtä hyvin kuin koneellinen. Painovoimaisen ilmanvaihdon tehokkuus on kuitenkin riippuvainen sääoloista, ja sen tehokkuus vaihtelee suuresti vuodenaikojen mukaan.

Kohteessa 3 tehtyjen merkkiainemittausten sekä aikaisempien pitkän aikavälin hiilidioksidimittausten perusteella voidaan todeta, että kohteen huonosta ilmatiiviydestä riippumatta täytyy aina huolehtia myös ilmanvaihdosta. Vähimmillään tämä voi tarkoittaa makuuhuoneessa olevaa raitisilmaventtiiliä.

Kohteessa 4 oli muista kohteista poiketen nykyaikainen tulo-poistoilmanvaihto. Ilmanvaihtolaitetta pidettiin melun takia normaalisti asennossa 1, vaikka ilmavirtojen mitoitus on tehty asennossa 2. Tästä johtuen ilmavirrat jäivät suunniteltuja alhaisemmiksi. Ilmiö vaikuttaa olevan yleinen niin uudis- kuin korjauskohteissa (J. Vinha, henkilökohtainen tiedonanto 13.3.2013). Onkin tärkeää, että korjauskohteen ilmanvaihtoa suunniteltaessa ja toteutettaessa käytetään riittävän väljiä kanavia sekä valitaan kohteen koon ja kanaviston virtausvastuksen kannalta riittävän tehokas ilmanvaihtokone. Näin saavutetaan suunniteltu ilmanvaihto ilman, että melutaso nousee häiritsevän korkeaksi, mistä yleensä seuraa ilmanvaihdon käyttäminen vajaateholla.

Koneellisen tulo-poistoilmanvaihdon lämmön talteenoton ilmoitetun hyötysuhteen toteutuminen edellyttää suhteellisen tiivistä rakennusta. Ohjeellisena arvona pidetään alle 1,5 1/h:n ilmatiiviyttä. Tutkimuskohteista mitatulla, keskimäärin 12 1/h:n ilmavuotoluvuilla, saattaa koneellisen ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve kasvaa lähes 40 % verrattuna hyvän ilmatiivyyden omaavaan rakennukseen (Binamu & Lindberg 2001, 51). Tämä on syytä ottaa huomioon, kun suunnitellaan hyvän lämmön talteenoton hyötysuhteen ilmanvaihtolaitteen asentamista vanhaan rakennukseen.

7 YHTEENVETO

7.1 Pohdinta

Hyvän ilmatiivyyden toteuttaminen korjauskohteessa ei ole ristiriidassa historiallisten tai esteettisten arvojen kanssa, sillä ilmanpitävä kerros ei tee vaipparakenteesta paksumpaa, eikä sitä korjaustoimenpiteiden valmistuttua voi edes havaita. Hyvän ilmatiivyyden toteuttavat rakenneratkaisut ovat kuitenkin haasteellisia niin suunnittelun ja toteutuksen kuin valvonnan näkökulmasta.

Jos korjausrakentamista tarkastellaan rakennusfysiikan kannalta, voidaan sanoa; mikä pätee uudisrakentamiseen, pätee myös vanhan korjaamiseen. Rakenneratkaisut voivat kuitenkin olla hyvinkin erilaisia uudis- ja korjauskohteissa. Tästä johtuen on korjausrakentamisessa aina tehtävä tapauskohtainen rakennusfysikaalinen tarkastelu.

Yksi yleinen väittämä on, että jos vanhasta rakennuksesta tekee ”liian tiiviin”, pitää siihen rakentaa myös kallis ja äänekäs ilmanvaihtolaitteisto. Tämän tutkimuksen aikana tuli kuitenkin selväksi, ettei hyvinkään heikko ilmatiiviyys yksin riitä takaamaan riittävää ilmanvaihtoa, vaan aina tarvitaan myös erillinen ilmanvaihto. Toisaalta riittävä ilmanvaihto voidaan toteuttaa myös painovoimaisesti.

Ilmatiivyyden parantaminen on korjausrakentamisessa yksi kustannustehokkaimpia tapoja parantaa energiatehokkuutta, asumisviihtyvyyttä ja sisäilman laatua. Paremman ilmatiivyyden kustannukset koostuvat paremmista detaljisuunnitelmista, työntekijöiden perehdyttämisestä hyviin ratkaisuihin, toteutuksen valvonnasta ja tiiviysmittauksesta. Lisäksi tarvitaan muutaman sadan euron edestä liimamassaa, läpivientikappaleita ym. tiivistystuotteita.

Erillisenä toimenpiteenä ilmatiivyyden parantaminen ei kuitenkaan yleensä onnistu. Ilmatiivyyttä kannattaakin parantaa muiden korjaustoimenpiteiden yhteydessä silloin, kun rakenteita joudutaan avaamaan. Tässä tutkimuksessa mitatut korjauksen jälkeiset ilmatiivyydsluvut ovat samaa suuruusluokkaa kuin mitä van-

hoista rakennuksista yleensäkin mitataan. Tämä viittaa siihen, ettei kohteiden ilmatiiviyttä ole korjauksen yhteydessä saatu oleellisesti parannettua. Tästä seuraa, että lämmöneristykseen tai ilmanvaihtoon tehdyillä parannuksilla tavoitellut hyödyt jäävät osin saavuttamatta. Tutkimuksen tekijän kokemuksen mukaan merkittävä osa korjausten jälkeisistä valituksista koskeekin sellaisia lämpöihtyvyyteen, vetoisuuteen tai energiankulutukseen liittyviä puutteita, joiden taustalta löytyvät nimenomaan puutteet ilmatiiviydessä.

7.2 Jatkotutkimustarpeet

Nyt tutkitut rakennukset edustavat vanhinta osaa rakennuskannasta. Tuloksista ei voi vetää suoria johtopäätöksiä uudempien 1940-luvun jälkeen rakennettujen talojen ilmatiivyydestä korjausten jälkeen. Tarvittaisiinkin tätä tutkimusta vastaava tutkimus 1940–1980-luvuilla rakennettujen talojen korjauksista.

Vastaavia tutkimuksia tarvittaisiin myös suuremmista vanhoista rakennuksista, kuten koulurakennuksista. Vanhoja koulurakennuksia saneerattaessa ei välttämättä osata riittävästi kiinnittää huomiota hyvän ilmatiiviyden merkitykseen sisäilmaongelmien kannalta. Kriittisimpiä näissäkin ovat alapohjarakenteet.

Jatkotutkimuksia tarvittaisiin korjausrakentamiseen soveltuvista menetelmistä hyvän ilmatiiviyden toteuttamiseksi. Tampereen teknillisessä yliopistossa on julkaistu opas ilmatiiviiden rakenteiden toteuttamisesta uudisrakentamisessa (Aho & Korpi 2009). Erilaisista rakenneratkaisuista johtuen uudisrakentamiseen annetut ohjeet soveltuvat kuitenkin melko huonosti korjausrakentamiseen, joten tarvittaisiin tutkimusta, jonka perusteella voitaisiin antaa vastaavia suosituksia korjauskohteisiin.

Tässä tutkimuksessa merkkiainemittauksella saadut ilmanvaihtokertoimet korreloivat huonosti laskentamalleilla saatavien vuotoilmanvaihtokertoimien kanssa. Tämä ristiriita kaipaisi lisätutkimuksia, sillä painovoimaisen ilmanvaihdon ja vuotoilmanvaihdon mittaamiseen ei ole olemassa merkkiainemittauksista korvaavaa menetelmää.

LÄHTEET

Aho, H.; Eskola, L.; Jokisalo, J.; Kalamees, T.; Korpi, M.; Palonen, J.; Kurnitski, J.; Salminen, H.; Salminen, M. & Vinha, J. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Aho, H. & Korpi, M. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Binamu, A. & Lindberg, R. 2001. The Impact of Air Tightness of the Building Envelope on the Efficiency of Ventilation Systems with Heat Recovery. Tampere: Tampere University of Technology.

Bischof, W.; Bolender, T.; Fingerling, A.; Hauser, G.; Heinz, E.; Höing, U.; Köpcke, U.; Laidig, M.; Renn, M.; Vogel, K.; Weissmüller, A.; Werner, J. & Zeller, J. 2008. Gebäude-Luftdichtheit, Band 1. Kassel: Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V.

Energiatohokas koti 2013. Ilmanpitävyys. Viitattu 30.3.2013
www.energiatohokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/ilmanpitavyys.

Eskola, L.; Jokisalo, J.; Kalamees, T.; Korpi, M.; Palonen, J.; Kurnitski, J.; Mikkilä, A.; Valovirta, I. & Vinha, J. 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Isaksson, K.; Jaakkonen, L.; Lehtinen, E.; Nippala, E. & Vainio, T. 2002. Korjausrakentaminen 2000–2010. Espoo: VTT.

Kalamees, T.; Kõiv, T.-A.; Mikola, A. & Paap, L. 2012. Airtightness and ventilation of new Estonian apartments constructed 2001–2010. Copenhagen: AIVC.

Kauppinen, T. & Paloniitty, S. 2006. Rakennusten lämpökuvaus. Helsinki: Rakennusteollisuuden kustannus RTK Oy.

Kosteus- ja hometalkoot 2013. Tunnista ja tutki riskirakenteet. Viitattu 20.2.2013
www.hometalkoot.fi/oppaat.

Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013.

Laussmann, D. & Helm, D. 2011. Air Change Measurements Using Tracer Gases: Methods and Results. Significance of air change for indoor air quality. Robert Koch-Institut.

Leivo, V. 2003. Hirsirakennuksen yläpohjan tiiviys – Vaikutus lämpöenergiankulutukseen. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Länsi-Savo 2011. Pullotalo ei ole syy homevaurioon. Viitattu 20.2.2013
www.lansi-savo.fi/Uutiset/11576030.html.

Mainio, T. 2013. Pullotalo voi olla homepommi. Helsinki: Helsingin Sanomat.

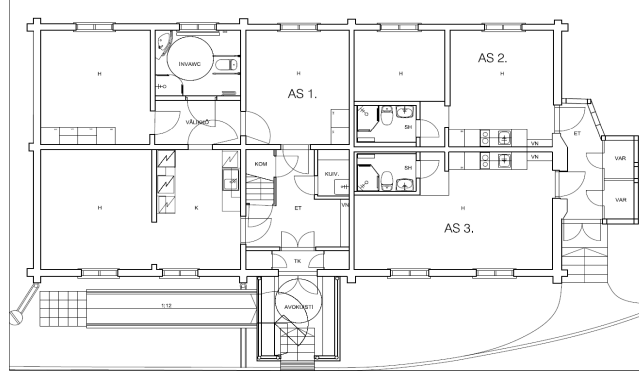
Museovirasto 2000. Korjauskortisto, ikkunoiden korjaus. Helsinki: Museovirasto.

Nordtest NT VVS 019, 1988. Nordtest method, Buildings – Ventilation air: Local mean age. Espoo: Nordtest.

Oulun rakennusvalvonta 2013a. Alapohja. Viitattu 17.3.2013
http://energiakorjaus.info/?p=pientalot_rakenteideneristys&a=p_alapohja.

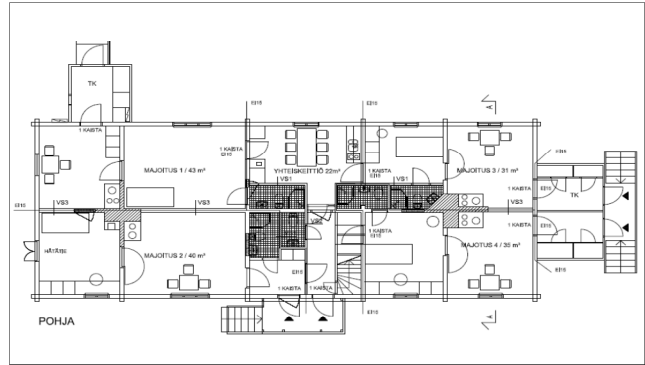
- Oulun rakennusvalvonta 2013b. Ilmanvaihto. Viitattu 17.3.2013
http://energiakorjaus.info/?p=pientalot_ilmanvaihto&a=p_ilmanvaihto.
- Oulun rakennusvalvonta 2013c. Ulkoseinät. Viitattu 17.3.2013
http://energiakorjaus.info/?p=pientalot_rakenteideneristys&a=p_ulkoseinat.
- Paloniitty, S. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
- RakMK C1 1998. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- RakMK D2 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- RakMK D3 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- SFS-EN ISO 13829 2000. Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method. Brussels: CEN.
- Sisäilmayhdistys 2013. Ilmanvaihdon perusteet. Viitattu 20.3.2013
www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/ilmanvaihdon_perusteet/.
- Teknillinen korkeakoulu 2007. Mittaustekniikan perusteet, luento 7. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu.
- Tilastokeskus 2013. Rakennukset ja kesämökit. Viitattu 22.2.2013 www.stat.fi/til/rakke/.
- Vinha, J. 2007. Hygrothermal Performance of Timber-Framed External Walls in Finnish Climatic Conditions. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 2013. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Rakennus 1



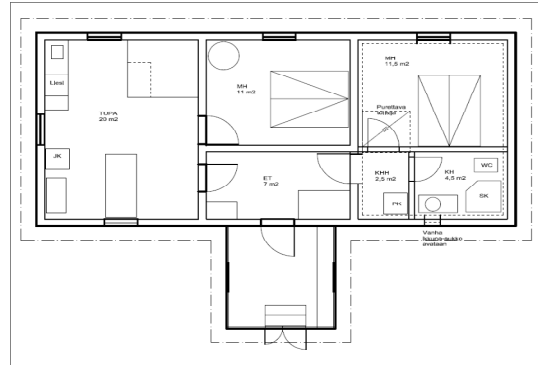
Talotyyppi:	Kattorakenne:
Pientalo	- Savitiilikate
Rakennusvuosi:	- Aluskate
1700-1800	- Ruodelaudoitus
Peruskorjausvuosi:	- Kattorakenne (vanha)
2012	
Kerrosuku:	Yläpohjarakenne:
1	- Lämmöneriste, Ekovilla 450
Lattiapinta-ala:	- Ekovilla x5 -ilmansulkupaperi
As. 1: 79 m ²	- Kattolauta (vanha)
Sisätilavuus:	- Katon kannattajat 200 x 200 k 700 (vanhat)
As. 1: 212 m ³	
Ulkovaipan pinta-ala:	Ulkoseinärakenne:
As. 1: 259 m ²	- Huokoinen puukuitulevy 2 x 12 (vanha)
Ilmanvaihto:	- Hirsirunko 150 (vanha)
Painovoimainen	- Tervapaperi (vanha)
	- Ulkoverhous (vanha)
Lämmitysjärjestelmä:	Ikkunat ja ovet:
Vesikiertoinen patterilämmitys	1980-1990-luvun kaksinkertaiset ikkunat
Maalämpö	Paneeliovet
Tiivysmittauksen tulos:	Alapohjarakenne:
N_{50} 15,4 1/h	- Lautalattia 33 x 163
q_{50} 12,6 m ³ /hm ²	- Soiro 100 x 50 k 600 + Ekovilla
	- Soiro 50 x 150 k 400 + Ekovilla
	- Bitumikaista (soiron alla)
	- Betonilaatta 80 (vanha)
Ilmanvaihtokerroin:	- Rakennuspahvi (vanha)
Asunto 2: 1,2 1/h	- Hiekkatäyttö (vanha)
Päiväys:	
30.10.2012	
Tutkija:	Perustukset:
Samuli Ranta	Maanvarainen

Rakennus 2



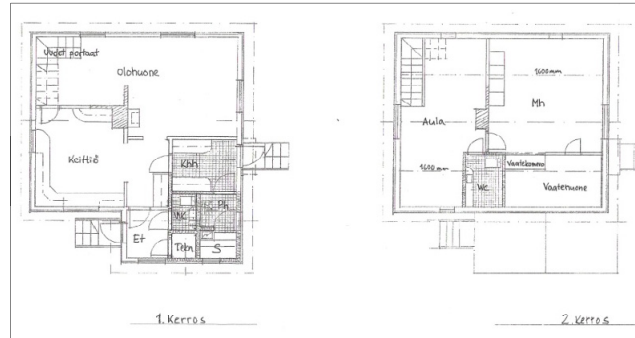
Talotyyppi:	Kattorakenne:
Pientalo	- Kolmiorimahuopakate
Rakennusvuosi:	- Alusrakenne (vanha)
1800-luku	- Kattokannattajat (vanhat)
Peruskorjausvuosi:	- Ullakko
2007	
Kerrosuku:	Yläpohjarakenne:
1	- Lämmöneriste, seluvilla 200
Lattiapinta-ala:	- Puhallusvilla (vanha)
165 m ²	- Yläpohjarakenne (vanha)
Sisätilavuus:	
410 m ³	
Ulkovaipan pinta-ala:	Ulkoseinärakenne:
474 m ²	- Huokoinen puukuitulevy 12 (vanha)
Ilmanvaihto:	- Ilmansulkupaperi (vanha)
Koneellinen poisto wc-tiloissa	- Hirsirunko (vanha)
Korvausilmaventtiilit makuuhuoneissa	- Ulkoverhous (vanha)
Lämmitysjärjestelmä:	Ikkunat ja ovet:
Suora sähkölämmitys	n. 1950-luvun kaksinkertaiset ikkunat
	Paneeliovet
Tiiviysmittauksen tulos:	Alapohjarakenne:
	Uudistettu osa:
N_{50} 14,0 1/h	- Lautalattia
	- Ilmansulkupaperi
q_{50} 12,1 m ³ /hm ²	- Lattiakoolaus 50 x 100 k 400 + selluvilla
	- Lattiakoolaus 50 x 150 k 600 + selluvilla
Ilmanvaihtokerroin:	- Huokoinen Leijona-levy 12
Asunto 2 MH: 0,43 1/h	- Sinkitty teräsverkko silmäkoko max. 12
Päiväys:	- Lattiahirret (vanhat)
31.10.2012	- Tuuletusväli min. 400 + Leacsora 200
Tutkija:	Perustukset:
Samuli Ranta	Manvarainen

Rakennus 3



Talotyyppi:	Kattorakenne:
Pientalo	- Saunapeltikate (vanha)
Rakennusvuosi:	- Pärekatto (vanha)
1700-1800	- Ruodelaudoitus (vanha)
Peruskorjausvuosi:	- Kattokannattajat (vanhat)
2009	
Kerrosuku:	Yläpohjarakenne:
1	- Ekovilla 400
Lattiapinta-ala:	- Ilmansulkupaperi tai -kangas
58 m ²	- Yläpohjarakenne (vanha)
Sisätilavuus:	
140 m ³	
Ulkovaipan pinta-ala:	Ulkoseinärakenne:
197 m ²	- Pinkopahvi
Ilmanvaihto:	- Raakaponttilaudoitus 23 x 95
Painovoimainen	- Ekovilla x5 -ilmansulkupaperi
WC:ssä poistopuhallin	- Pystykoolaus 30-60 mm + Ekovilla märkäpuhallus
	- Hirsirunko 150 (vanha) + tervapaperi + ulkoerh.
Lämmitysjärjestelmä:	Ikkunat ja ovet:
Suora sähkölämmitys	1900-luvun alun kaksinkertaiset ikkunat
	Ikkunat on paperoitu
	Kaksinkertainen peiliulko-ovi (uusi)
Tiivysmittauksen tulos:	Alapohjarakenne:
N_{50} 11,8 1/h	- Lautalattia 28 x 160
q_{50} 8,4 m ³ /hm ²	- Ekovilla x5 -ilmansulkupaperi
	- Lattiakoolaus 50 x 200 k 600 + Ekovilla
	- Sinkitty teräsverkko, silmäkoko 6-8
	- Huokoinen Tuulileijona-levy 12
Ilmanvaihtokerroin:	- Harvalaudoitus
MH 2: 1/h	- Tuuletusväli 200-400
Päiväys:	- Puhdas kallio
3.12.2012	
Tutkija:	Perustukset:
Samuli Ranta	Kallion varainen

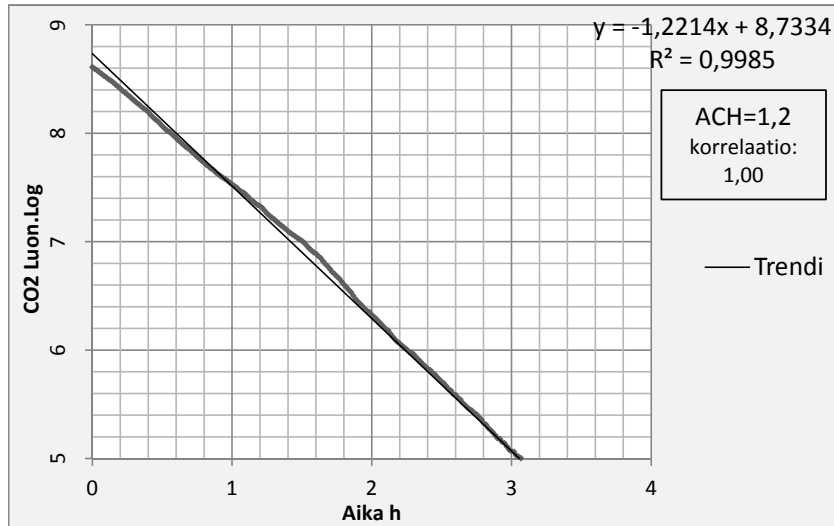
Rakennus 4



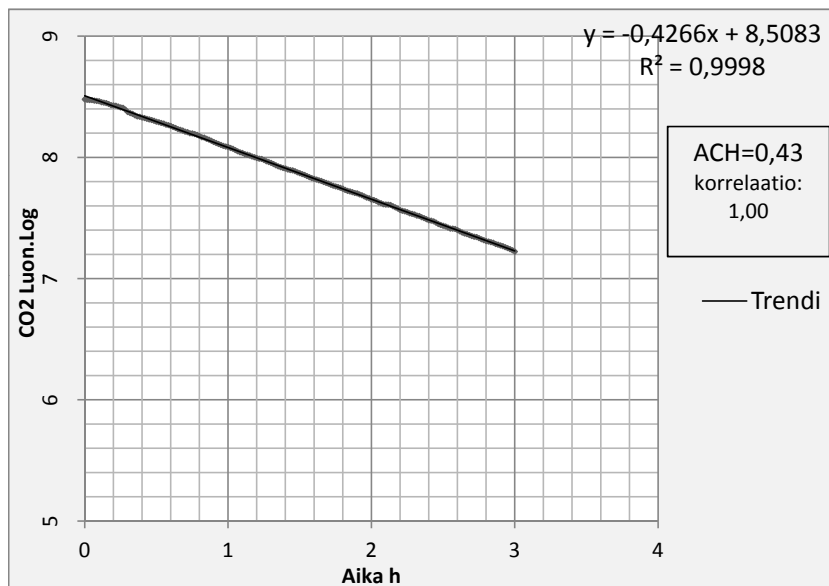
Talotyyppi:	Kattorakenne:
Pientalo	- Saunapelti (vanha)
Rakennusvuosi:	- Aluslaudoitus (vanha)
1910	
Peruskorjausvuosi:	
2007	
Kerroslukku:	Yläpohjarakenne:
1 ½	- Tuuletusväli n. 50
Lattiapinta-ala:	- SPU-levy 70 + 70
130 m ²	- Lautakoolaus k 600
Sisätilavuus:	- Paneeliverhous
274 m ³	
Ulkovaipan pinta-ala:	Ulkoseinärakenne:
254 m ²	- Kipsilevy 13
Ilmanvaihto:	- Höyrysulkumuovi
Tulo/poistoilmanvaihto LTO	- Pystykoolaus 50-100 + lasivilla
	- Hirsirunko (vanha) tai rankarakenne 100 ja puru
	- Tervapaperi, tuuletusväli, ulkoverhous
Lämmitysjärjestelmä:	Ikkunat ja ovet:
Suora sähkölämmitys	3-kertaiset, osin vanhat 2-kertaiset
Lisälämmönlähteenä varaava puutulisija	Uudet ulko-ovet
Ilmalämpöpumppu	
Tiivysmittauksen tulos:	Alapohjarakenne:
	- Laminaatti
N_{50} 7,7 1/h	- Höyrysulkumuovi
	- Lautalattia (vanha)
q_{50} 8,3 m ³ /hm ²	- Vanha lattiarakenne + lasivilla 200
	- Bituliitti-levy 12
Ilmanvaihokerroin:	- Ryömintätila 600-800
Päämakuuhuone: 0,67 1/h	- Perusmaa
Päiväys:	
25.2.2013	
Tutkija:	Perustukset:
Samuli Ranta	Maanvarainen

ILMANVAIHTOKERTOIMEN MÄÄRITYS MERKKIAINEMENETELMÄLLÄ

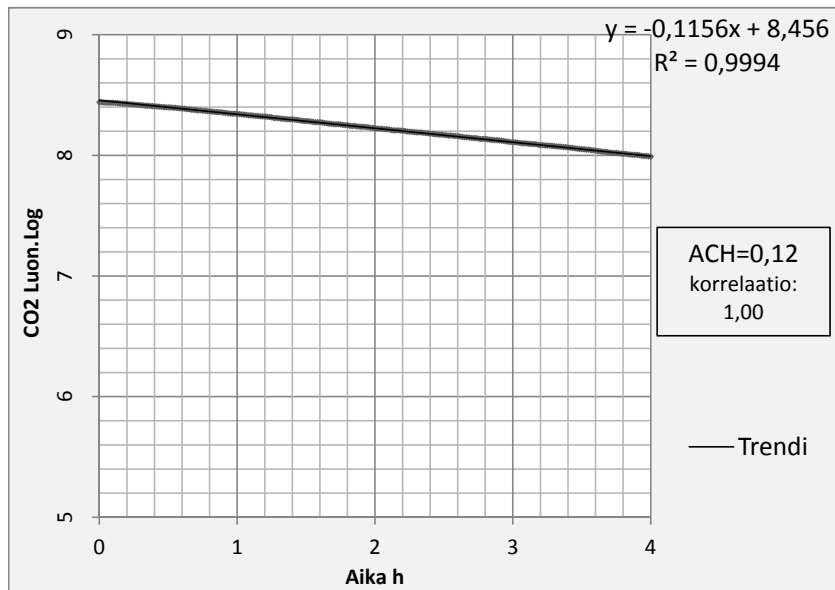
Talo 1, asunto 2



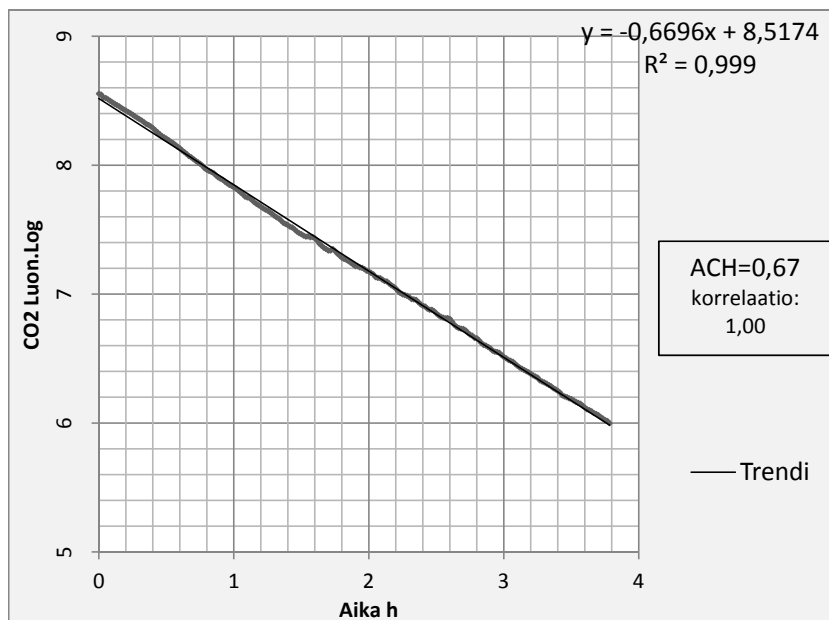
Talo 2, asunto 2 MH



Talo 3, MH 2



Talo 4, päämakuuhuone



Lämpökuva

Paikka: Talo 1

Mittauspisteen lämpötila	22.8 °C
Mittausalue maksimilämpötila	48.2 °C
Mittausalue minimilämpötila	9.2 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	23.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Alapohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 1

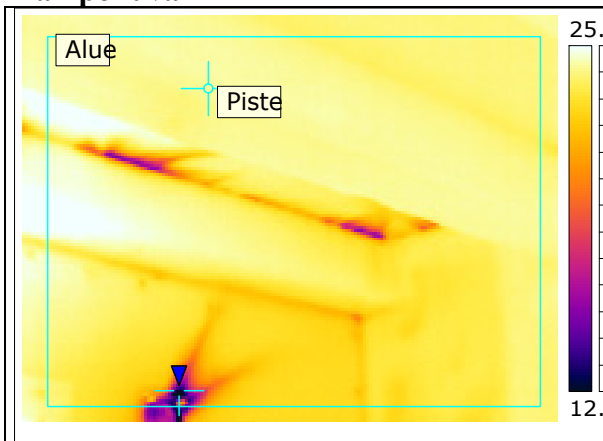
Mittauspisteen lämpötila	22.6 °C
Mittausalue maksimilämpötila	47.9 °C
Mittausalue minimilämpötila	5.8 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	23.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Alapohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 1

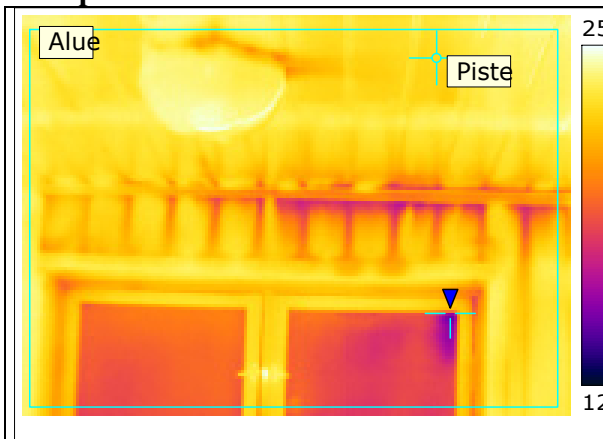
Mittauspisteen lämpötila	24.2 °C
Mittausalue maksimilämpötila	25.7 °C
Mittausalue minimilämpötila	10.6 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	23.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Yläpohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 1

Mittauspisteen lämpötila	22.7 °C
Mittausalue maksimilämpötila	27.3 °C
Mittausalue minimilämpötila	14.3 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	23.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Yläpohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 1

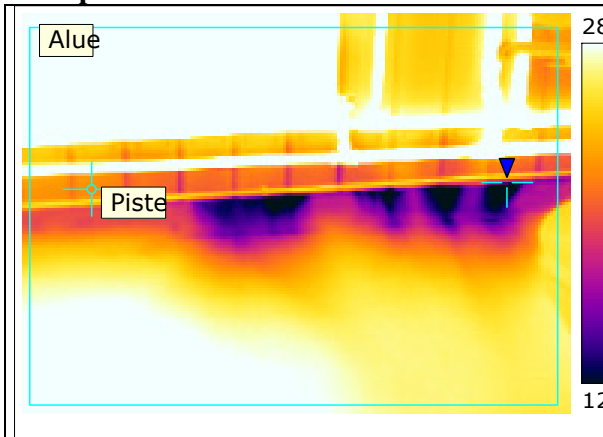
Mittauspisteen lämpötila	23.8 °C
Mittausalue maksimilämpötila	37.9 °C
Mittausalue minimilämpötila	9.1 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	23.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Ikkunan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 1

Mittauspisteen lämpötila	22.2 °C
Mittausalue maksimilämpötila	47.3 °C
Mittausalue minimilämpötila	9.0 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	23.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Alapohjan ilmavuoto

Lämpökuv**Valokuva**

Paikka: Talo 1

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	22.1 °C	Heijastuva lämpötila	23.0 °C
Mittausalue maksimilämpötila	45.7 °C	Emissiivisyys	0.94
Mittausalue minimilämpötila	11.8 °C	Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Alapohjan ilmapuoto

Lämpökuv**Valokuva**

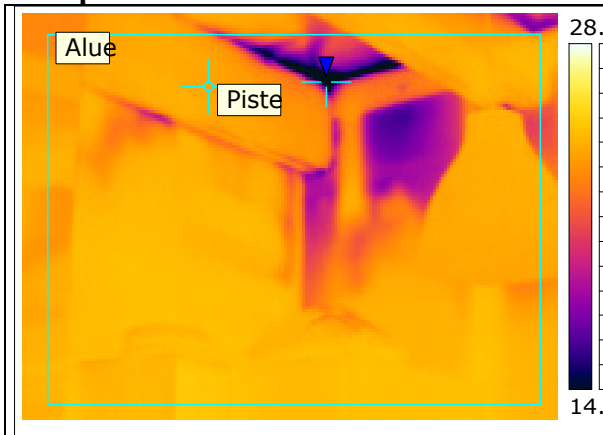
Paikka: Talo 1

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	23.1 °C	Heijastuva lämpötila	23.0 °C
Mittausalue maksimilämpötila	24.1 °C	Emissiivisyys	0.94
Mittausalue minimilämpötila	20.4 °C	Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Täysin vuodoton yläpohja

Lämpökuva

Paikka: Talo 1

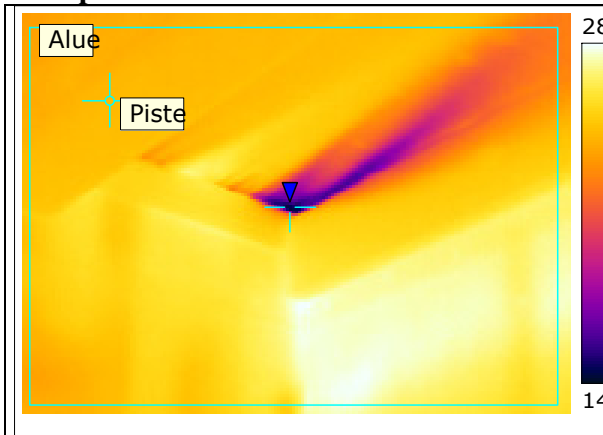
Mittauspisteen lämpötila	23.6 °C
Mittausalue maksimilämpötila	25.2 °C
Mittausalue minimilämpötila	8.5 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	23.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Yläpohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 1

Mittauspisteen lämpötila	24.5 °C
Mittausalue maksimilämpötila	28.4 °C
Mittausalue minimilämpötila	14.4 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	23.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Yläpohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 2

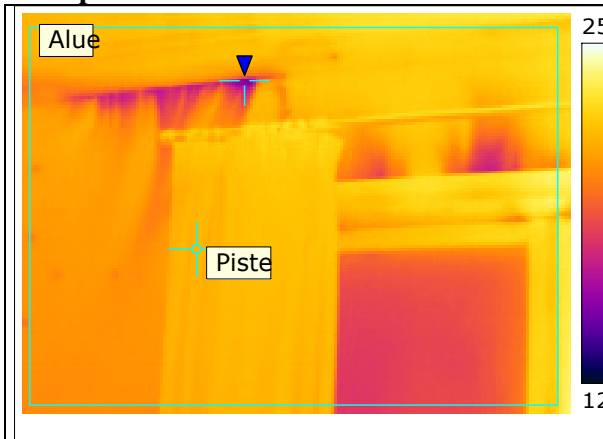
Mittauspisteen lämpötilä	18.1 °C
Mittausalue maksimilämpötilä	19.4 °C
Mittausalue minimilämpötilä	8.9 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötilä	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötilä	3.00

Kommentit:

Alapohjan ilmapuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 2

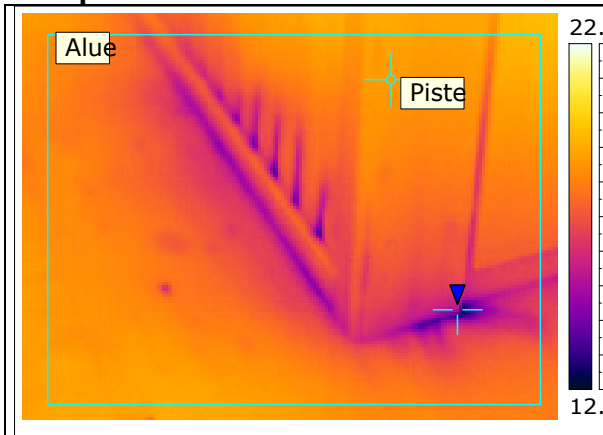
Mittauspisteen lämpötilä	21.4 °C
Mittausalue maksimilämpötilä	23.8 °C
Mittausalue minimilämpötilä	14.3 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötilä	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötilä	3.00

Kommentit:

Yläpohjan ja ikkunankarmin ilmapuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 2

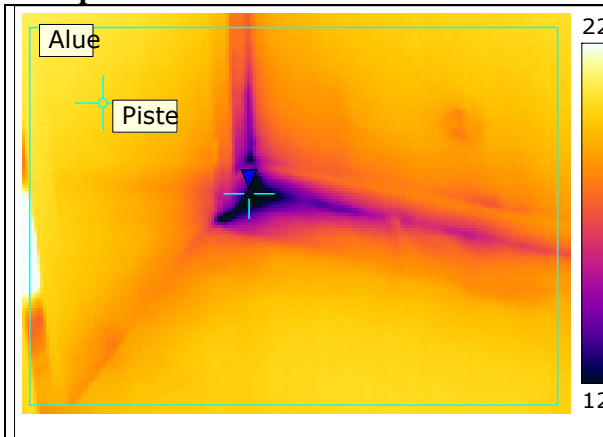
Mittauspisteen lämpötila	18.7 °C
Mittausalue maksimilämpötila	19.4 °C
Mittausalue minimilämpötila	12.3 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Alapohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 2

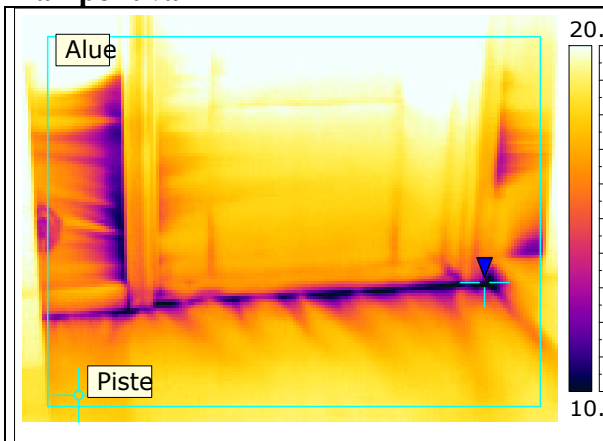
Mittauspisteen lämpötila	19.9 °C
Mittausalue maksimilämpötila	27.2 °C
Mittausalue minimilämpötila	8.4 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Alapohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 2

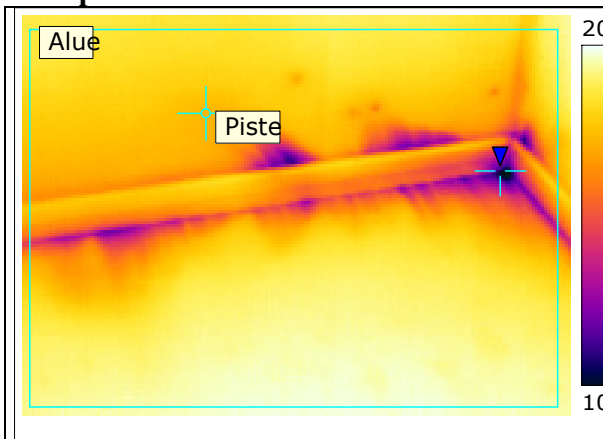
Mittauspisteen lämpötila	17.8 °C
Mittausalue maksimilämpötila	21.0 °C
Mittausalue minimilämpötila	7.9 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Oven karmin ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 2

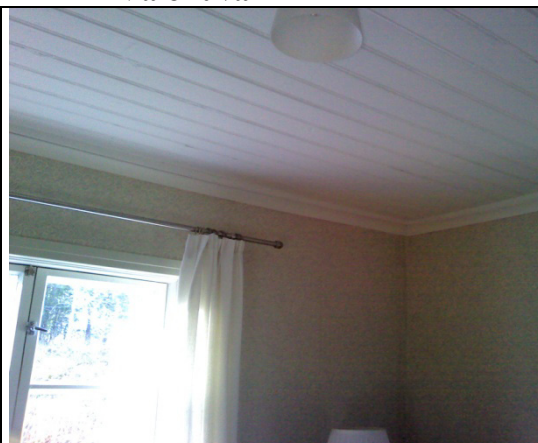
Mittauspisteen lämpötila	17.1 °C
Mittausalue maksimilämpötila	19.8 °C
Mittausalue minimilämpötila	7.9 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Alapohjan ilmavuoto

Lämpökuva**Valokuva**

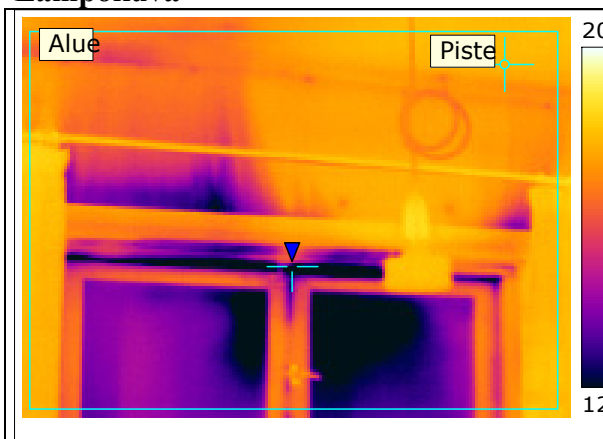
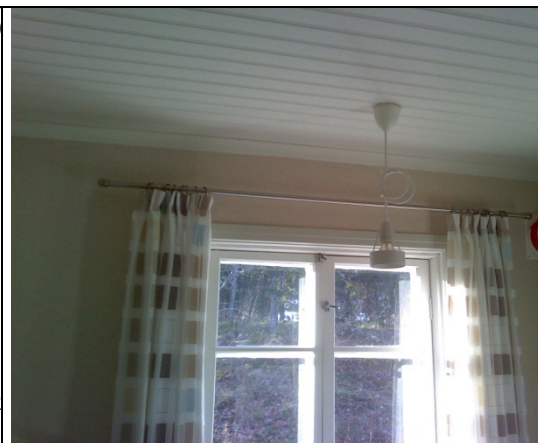
Paikka: Talo 2

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	20.0 °C	Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Mittausalue maksimilämpötila	20.9 °C	Emissiivisyys	0.94
Mittausalue minimilämpötila	13.6 °C	Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Yläpohjan ilmapuoto

Lämpökuva**Valokuva**

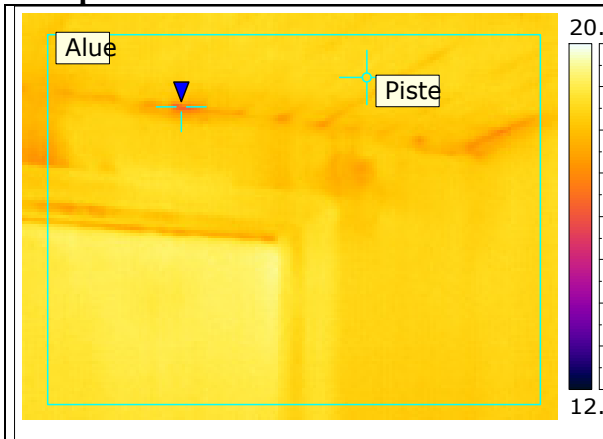
Paikka: Talo 2

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	17.5 °C	Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Mittausalue maksimilämpötila	18.5 °C	Emissiivisyys	0.94
Mittausalue minimilämpötila	8.1 °C	Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Ikkunan karmivuoto ja tiivistevuoto

Lämpökuva**Valokuva**

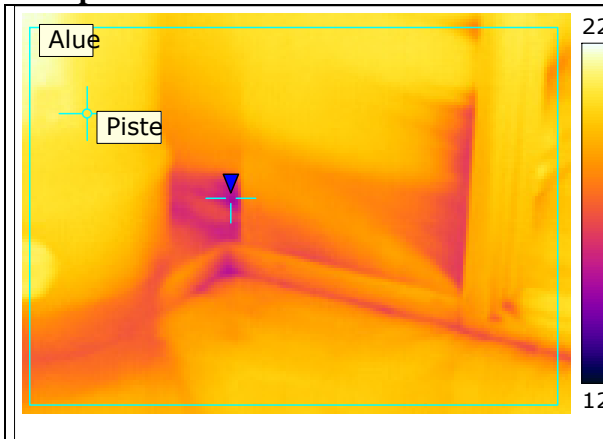
Paikka: Talo 2

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	18.5 °C	Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Mittausalue maksimilämpötila	19.4 °C	Emissiivisyys	0.94
Mittausalue minimilämpötila	16.0 °C	Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Lähes vuodoton yläpohja

Lämpökuva**Valokuva**

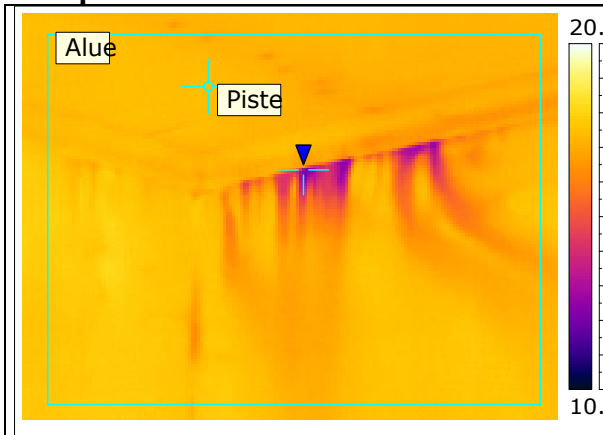
Paikka: Talo 2

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	20.4 °C	Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Mittausalue maksimilämpötila	21.8 °C	Emissiivisyys	0.94
Mittausalue minimilämpötila	14.6 °C	Ulkolämpötila	3.00

Kommentit:

Oven karmivuotoa

Lämpökuva

Paikka: Talo 3

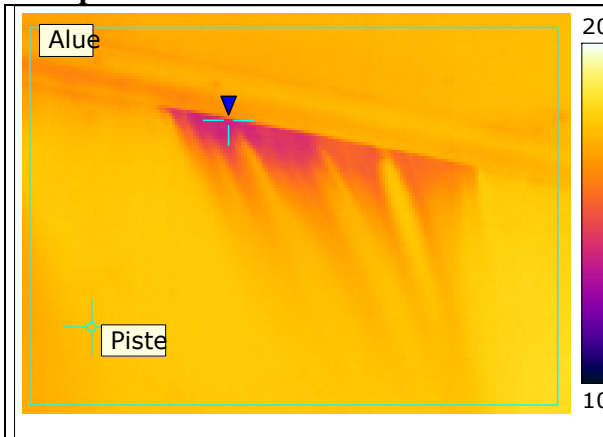
Mittauspisteen lämpötila	17.5 °C
Mittausalue maksimilämpötila	17.9 °C
Mittausalue minimilämpötila	11.4 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	16.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	-10.00

Kommentit:

Yläpohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 3

Mittauspisteen lämpötila	17.2 °C
Mittausalue maksimilämpötila	18.1 °C
Mittausalue minimilämpötila	12.9 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	16.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	-10.00

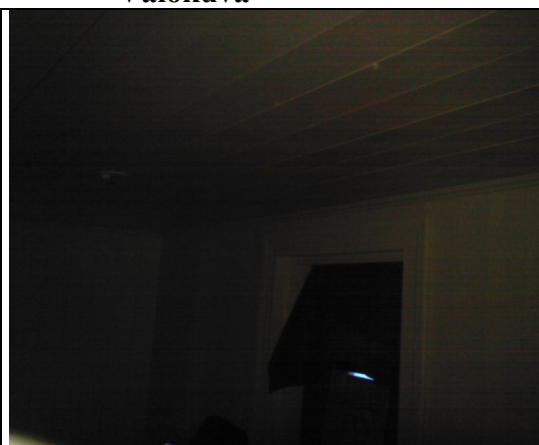
Kommentit:

Yläpohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 3

Mittauspisteen lämpötilä	16.8 °C
Mittausalue maksimilämpötilä	17.8 °C
Mittausalue minimilämpötilä	6.0 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötilä	16.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötilä	-10.00

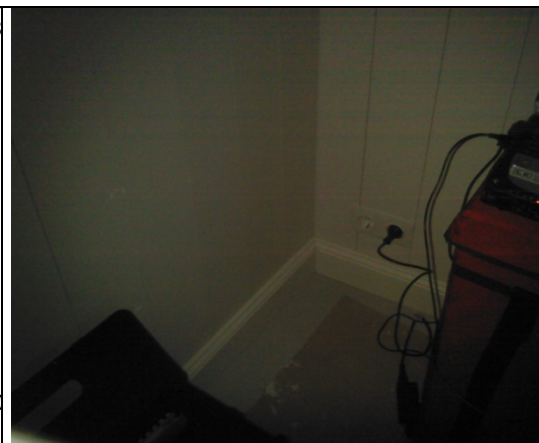
Kommentit:

Oven karmivuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 3

Mittauspisteen lämpötilä	10.6 °C
Mittausalue maksimilämpötilä	14.6 °C
Mittausalue minimilämpötilä	3.7 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötilä	15.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötilä	-10.00

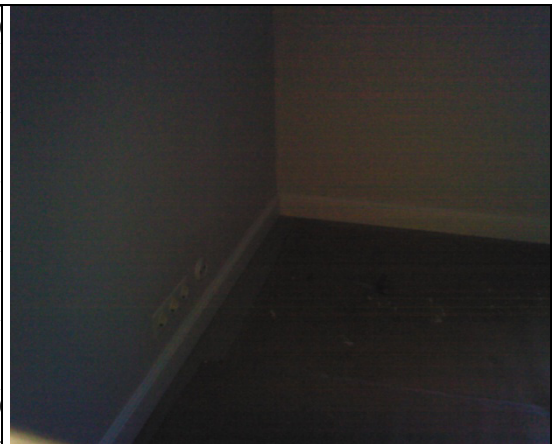
Kommentit:

Väliseinä- ja alapohjavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 3

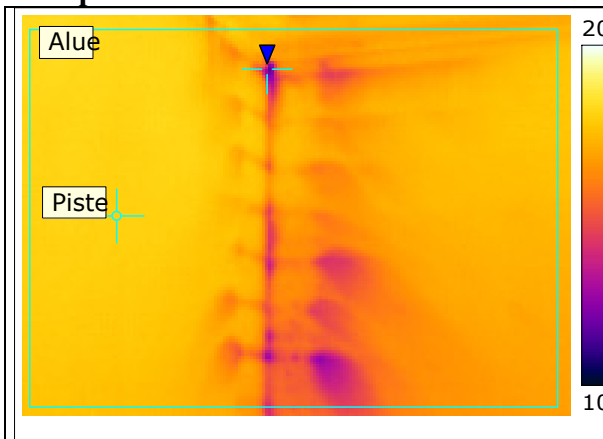
Mittauspisteen lämpötila	15.1 °C
Mittausalue maksimilämpötila	15.3 °C
Mittausalue minimilämpötila	7.5 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	15.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	-10.00

Kommentit:

Alapohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 3

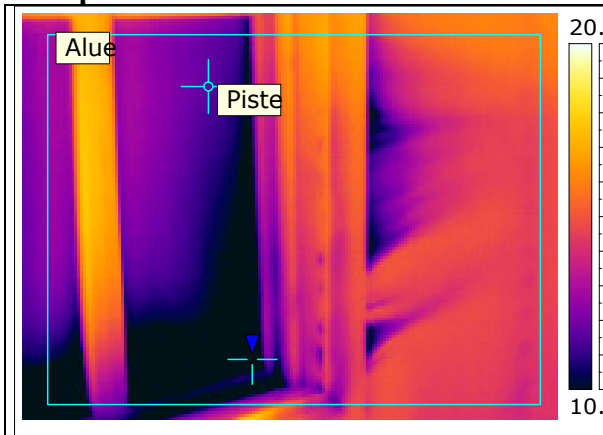
Mittauspisteen lämpötila	17.7 °C
Mittausalue maksimilämpötila	18.2 °C
Mittausalue minimilämpötila	11.2 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	18.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	-10.00

Kommentit:

Väliseinän ja ulkoseinän hirsisalvoksen ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 3

Mittauspisteen lämpötilä	11.7 °C
Mittausalue maksimilämpötilä	17.5 °C
Mittausalue minimilämpötilä	4.5 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötilä	16.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötilä	-10.00

Kommentit:

Ikkunan karmivuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 3

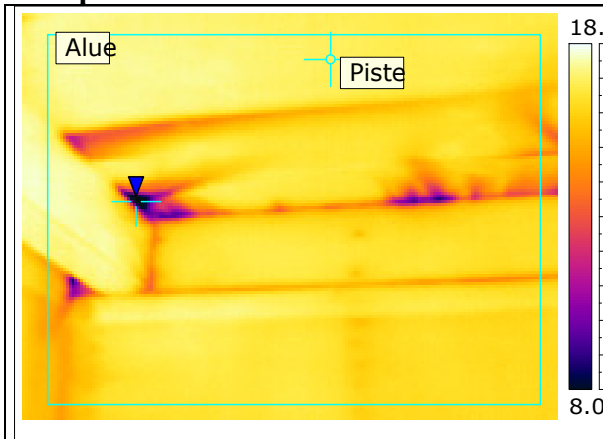
Mittauspisteen lämpötilä	13.1 °C
Mittausalue maksimilämpötilä	14.7 °C
Mittausalue minimilämpötilä	1.6 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötilä	16.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötilä	-10.00

Kommentit:

Alapohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 3

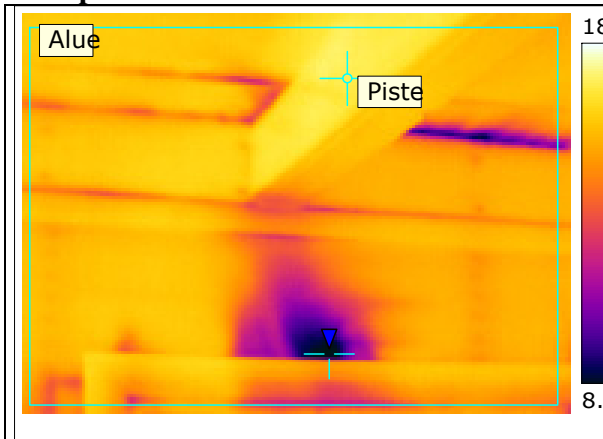
Mittauspisteen lämpötilä	17.0 °C
Mittausalue maksimilämpötilä	17.2 °C
Mittausalue minimilämpötilä	5.0 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötilä	15.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötilä	-10.00

Kommentit:

Yläpohjan ilmapuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 3

Mittauspisteen lämpötilä	16.4 °C
Mittausalue maksimilämpötilä	16.7 °C
Mittausalue minimilämpötilä	6.3 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötilä	15.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötilä	-10.00

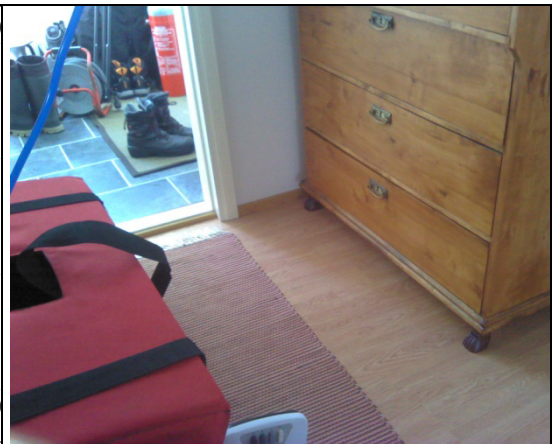
Kommentit:

Yläpohjan ja ikkunankarmin ilmapuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 4

Mittauspisteen lämpötila	18.1 °C
Mittausalue maksimilämpötila	20.2 °C
Mittausalue minimilämpötila	1.8 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	-6.00

Kommentit:

Alapohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 4

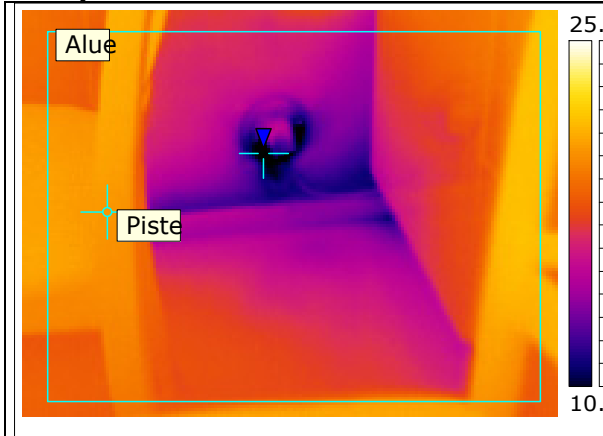
Mittauspisteen lämpötila	14.8 °C
Mittausalue maksimilämpötila	16.2 °C
Mittausalue minimilämpötila	-0.0 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	-6.00

Kommentit:

Alapohjan ilmavuoto (laskettu lämpötilaskaala)

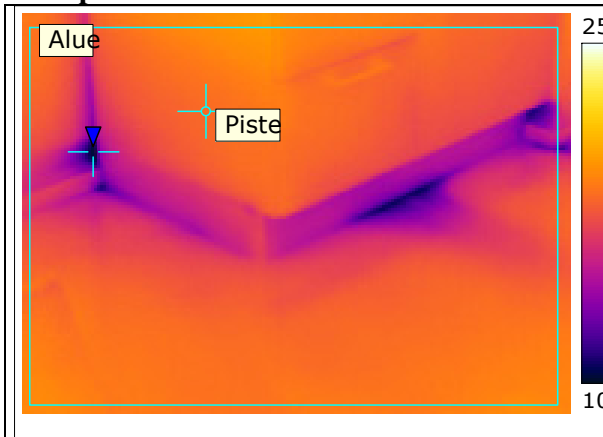
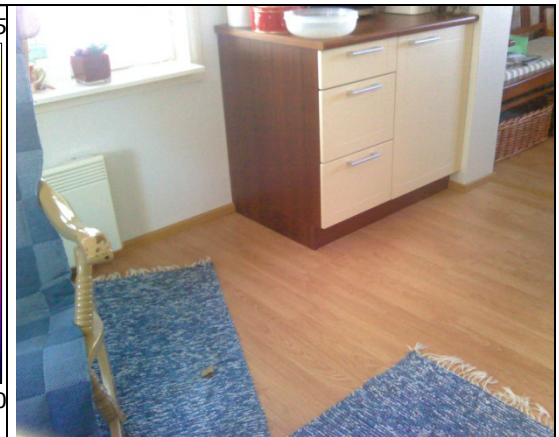
Lämpökuva**Valokuva**

Paikka: Talo 4

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	20.3 °C	Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Mittausalue maksimilämpötila	21.8 °C	Emissiivisyys	0.94
Mittausalue minimilämpötila	7.5 °C	Ulkolämpötila	-6.00

Kommentit:
Sähkörasian ilmavuoto

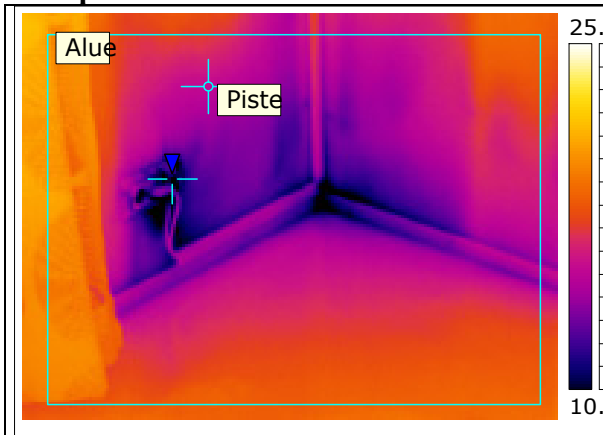
Lämpökuva**Valokuva**

Paikka: Talo 4

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	18.1 °C	Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Mittausalue maksimilämpötila	19.9 °C	Emissiivisyys	0.94
Mittausalue minimilämpötila	9.9 °C	Ulkolämpötila	-6.00

Kommentit:
Alapohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 4

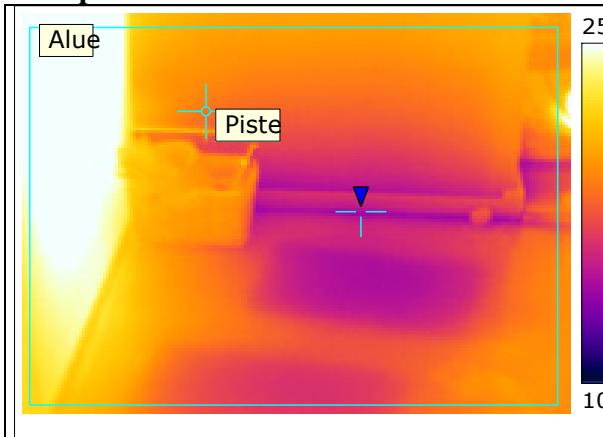
Mittauspisteen lämpötilä	15.4 °C
Mittausalue maksimilämpötilä	20.8 °C
Mittausalue minimilämpötilä	6.1 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötilä	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötilä	-6.00

Kommentit:

Alapohjan ja sähkörasian ilmavuoto

Lämpökuva

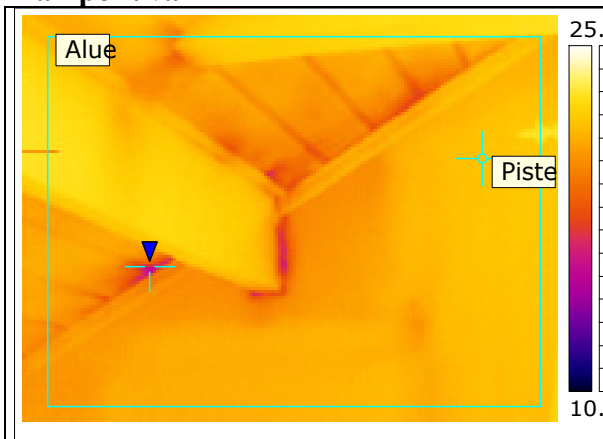
Paikka: Talo 4

Mittauspisteen lämpötilä	18.5 °C
Mittausalue maksimilämpötilä	28.6 °C
Mittausalue minimilämpötilä	13.6 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötilä	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötilä	-6.00

Kommentit:

Lämpökuva

Paikka: Talo 4

Mittauspisteen lämpötila	21.7 °C
Mittausalue maksimilämpötila	23.1 °C
Mittausalue minimilämpötila	14.6 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	-6.00

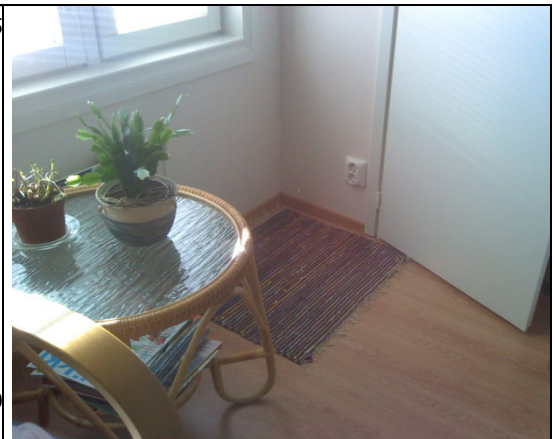
Kommentit:

Vähäisiä ilmavuotoja

Lämpökuva

Paikka: Talo 4

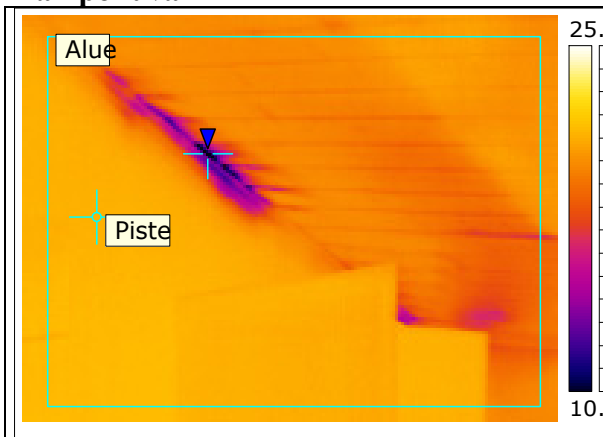
Mittauspisteen lämpötila	21.4 °C
Mittausalue maksimilämpötila	24.1 °C
Mittausalue minimilämpötila	8.7 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	-6.00

Kommentit:

Välipohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 4

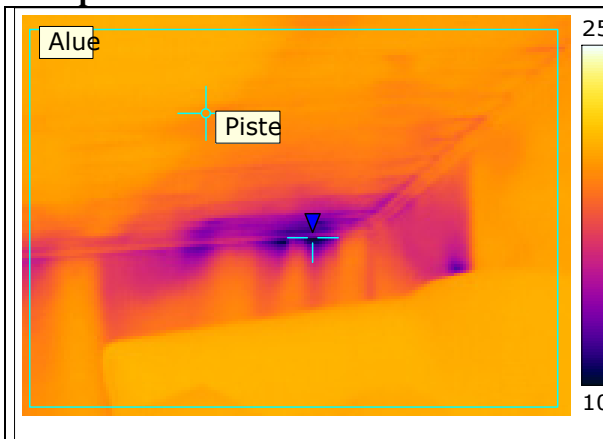
Mittauspisteen lämpötila	21.2 °C
Mittausalue maksimilämpötila	21.6 °C
Mittausalue minimilämpötila	7.7 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	-6.00

Kommentit:

Yläpohjan ilmavuoto

Lämpökuva

Paikka: Talo 4

Mittauspisteen lämpötila	19.6 °C
Mittausalue maksimilämpötila	21.0 °C
Mittausalue minimilämpötila	9.7 °C

Valokuva**Mittausparametrit**

Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Emissiivisyys	0.94
Ulkolämpötila	-6.00

Kommentit:

Yläpohjan ilmavuoto