



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# HIRSIRAKENNUKSEN TIIVIYSMITTAUS JA LÄMPÖKUVAUS

Jami Helenius

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2015  
Rakennusalan työnjohdon  
koulutusohjelma



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

HELENIUS, JAMI:  
Hirsirakennuksen tiiviysmittaus ja lämpökuvaus

Opinnäytetyö 31 sivua, joista liitteitä 4 sivua  
Joulukuu 2015

---

Energiatohokkuuteen panostaminen on lisääntynyt huomattavasti suomalaisessa rakentamisessa viime vuosikymmeninä muun muassa tiukentuneiden määräysten takia. Merkittävä tekijä energiatohokkuuteen pyrkimisessä on rakennuksen ilmatiiviys ja sen todentaminen. Ilmatiiviys pystytään selvittämään tiiviysmittauksella ja sen yhteydessä tehtävällä lämpökuvauksella. Tiiviysmittausta käytetään uudisrakentamisen laadunvalvontamenetelmänä ja kartoitettaessa vanhojen rakennuksien korjaustarvetta energiatohokkuuden parantamiseksi.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää yli kaksikymmentä vuotta vanhan hirsirakennuksen ilmatiiviys tiiviysmittauksella ja kartoittaa pahimmat ilmapuotokohdat lämpökuvauksella. Lisäksi opinnäytetyössä käytiin läpi tiiviysmittauksen ja lämpökuvauksen teoriaa.

Tiiviysmittaus ja lämpökuvaus suoritettiin 13.10.2015 Orivedellä sijaitsevassa kohteessa TAMK:n mittauspalvelun rakennuslaboratorion mittauslaitteistolla. Työhön kuuluivat tiiviysmittauksen esivalmistelut, varsinaiset puhallussarjat sekä lämpökuvaus 2 Pa:n ja 50 Pa:n alipaineessa ilmapuotokohtien paikantamiseksi ja korostamiseksi. Mittauksessa pyrittiin seuraamaan pääpiirteittäin standardin SFS-EN 13829 sekä RT 80-10974:n mukaisia ohjeita.

Työn tuloksena saatiin mitattua rakennukselle ilmapuotoluvut  $n_{50}$  ja  $q_{50}$ , joita voidaan käyttää rakennuksen lämmöntarpeen laskennassa esimerkiksi energiatodistusta varten.  $n_{50}$  oli 10,02 (1/h) ja  $q_{50}$ -luvuksi saatiin 8,72 ( $m^3/(h m^2)$ ). Lisäksi opinnäytetyössä saatiin lämpökuvattua rakennuksen ulkovaipan suurimmat ilmapuotokohdat sisä- ja ulkopuolelta.

Mittaus suoritettiin onnistuneesti hyvissä sääolosuhteissa. Saaduista ilmapuotoluvuista selviää, että nykyään käytössä olevalla tiiviysmittausluokituksella hirsirakennuksen tiivisu-luokka on huono. Rakennuksen tiiviys on kuitenkin yhteneväinen vertailtaessa sitä vuosina 1940–1999 rakennettuihin pientaloihin. Hirsirakennuksen pahimmiksi ilmapuotokohdiksi selvitettiin lämpökuvauksella sen nurkat, hirsien liitoskohdat sekä ikkunoiden ja ovien karmit. Opinnäytetyö opetti paljon tiiviysmittausten ja lämpökuvauksen suorittamisesta.

---

Asiasanat: tiiviysmittaus, lämpökuvaus, hirsirakennus

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Site Management

HELENIUS JAMI:  
Log Building Air Leakage Test and Thermal Imaging

Bachelor's thesis 31 pages, appendices 4 pages  
December 2015

---

Devotion to energy efficiency has increased notably in Finnish construction over the last decades, mainly because of tightened regulations. Considerable part when aiming for energy efficiency is buildings air tightness and verification of said tightness. Air tightness can be solved with an air leakage test and thermal imaging. Air leakage tests are used as a quality control method for new buildings, and to survey the need for renovations in old buildings to improve their energy efficiency.

The aim of this thesis is to find out how airtight an over two decades old log building is by using an air leakage test system, and to map the worst air leaks with thermal imaging. In addition this thesis goes through air leakage measurement and thermal imaging theory.

Tightness measurement and thermal imaging were done at 13<sup>th</sup> October 2015 in Orivesi, where the building is located, using the equipment from Tampere university of applied sciences construction laboratory. The work included all the preparations of air leakage test, the actual test and thermal imaging twice, in 2 Pa and 50 Pa underpressure to determine and highlight the points of leakage. The test was made by following standard SFS-EN 13829 and RT 80-10974.

As a result, air leakage rates  $n_{50}$  and  $q_{50}$  were measured for the building. These air leakage rates can be used to determine the need for heat requirements for energy certificate.  $n_{50}$  rate was 10,02 (1/h) and  $q_{50}$  rate was 8,72 ( $m^3/(h m^2)$ ). In addition, this thesis contains the thermal images of the worst air leaks in the exterior wall taken from inside and outside.

The measurement was successfully completed in good weather conditions. The air leakage rates obtained mean that when compared to modern-day air tightness ratings, the tightness of the log building is poor. The building air tightness is however consistent when compared to other detached houses built in 1940-1999. It was determined that the log building has its worst air leaks in exterior wall corners, junctions of the logs and the frames of windows and doors. This thesis taught a lot about air leakage tests and thermal imaging.

---

Key words: air leakage, air tightness, thermal imaging, log building

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	KOHDE .....	7
3	MITTAUSTAVOISTA YLEISESTI .....	9
3.1	Tiiviysmittaus .....	9
3.2	Lämpökuvaus.....	10
4	MITTAUSVÄLINEET.....	12
4.1	Tiiviysmittauskalusto .....	12
4.2	Lämpökamera .....	13
5	MITTAUSTEN SUORITUS .....	14
5.1	Esivalmistelut .....	14
5.1.1	Tiiviysmittaus.....	14
5.1.2	Lämpökuvaus .....	16
5.2	Tiiviysmittauksen suorittaminen.....	16
5.3	Lämpökuvauksen suorittaminen.....	17
6	MITTAUSTEN TULOKSET .....	19
6.1	Hirsirakennuksen tiiviysmittaus .....	19
6.2	Tiiviyden vertailu.....	21
6.3	Hirsirakennuksen lämpökuvaus.....	23
7	POHDINTA .....	26
	LÄHTEET .....	27
	LIITTEET.....	28
	Liite 1. Lämpökuvauksen mittausraportti.....	28
	Liite 2. Loput opinnäytetyöhön valitut lämpökuvat.....	29

**LYHENTEET JA TERMIT**

Pa	Paineen yksikkö, Pascal
mK	Lämpötilan yksikkö, millikelvin
m°C	Lämpötilan yksikkö, milliCelcius
Ilmavuotoluku, $n_{50}$	Kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu rakennusvaipan vuotoreittien kautta tunnin aikana 50 Pascalin ali- tai ylipaineessa. [1/h]
Ilmavuotoluku, $q_{50}$	Kuvaa rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa:n paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. [ $m^3/(h m^2)$ ]

## 1 JOHDANTO

Energiatehokkuuteen panostaminen on lisääntynyt suomalaisessa rakentamisessa merkittävästi viime vuosikymmenen aikana. Syitä tähän ovat muun muassa 2012 voimaan tullut EU:n energiatehokkuusdirektiivi sekä vuonna 2008 pakolliseksi tullut uudisrakennusten energiatodistus. Energiatodistuksen tarkoituksena on mahdollistaa rakennusten energiatehokkuusvertailua, edistää rakennusten energiatehokkuutta ja lisätä uusiutuvan energian käyttöä rakennuksissa. Energiatodistus on pakollinen kaikille rakennuksille joille haetaan rakennuslupaa, sekä myytävälle ja vuokrattaville pientaloille jotka on rakennettu vuoden 1980 jälkeen. Poikkeuksia tähän ovat esimerkiksi vapaa-ajanasunnnot, joita käytetään maksimissaan 4 kuukautta vuodesta. (Laki rakennuksen energiatodistuksesta, 50/2013; Energiatodistus.info 2015.)

Merkittävä tekijä energiatehokkuuden parantamisessa on rakennuksen vaipan tiiviys ja sen todentaminen. Tiiviysmittaus, ja sen yhteyteen liitettävä lämpökuvauus, ovat olennainen osa selvitettäessä rakennusten ilmanpitävyyttä. Tiiviysmittauksella saadaan selvitettyä ilmanvuotoluvut  $n_{50}$  ja  $q_{50}$ , joita tarvitaan rakennuksen lämmöntarpeen laskennassa.

Yleisesti ottaen hirsitaloja ei ole pidetty tiiviimpinä rakennuksina verrattaessa niitä esimerkiksi puurakenteisiin omakotitaloihin tai betonielementeistä valmistettuihin kerrostaloihin. Hirsitaloja rakentamisessa on kuitenkin vuosien saatossa tapahtunut kehitystä erityisesti saumaeristyksissä. Nykyään myös hirsitaloista on mahdollista saada erittäin ilmatäiviitä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää yli kaksikymmentä vuotta vanhan, höylähirrestä rakennetun vapaa-ajanasunnon ilmanvuotoluvut tiiviysmittauksella ja pyrkiä määrittämään rakennuksen vaipan pahimmat ilmanvuotokohdat lämpökuvauksen avulla. Saaduille tuloksille on pyritty etsimään vertailukohtia. Tämän lisäksi opinnäytetyössä perehdytään yleisesti tiiviysmittauksen ja lämpökuvauksen suorittamiseen.

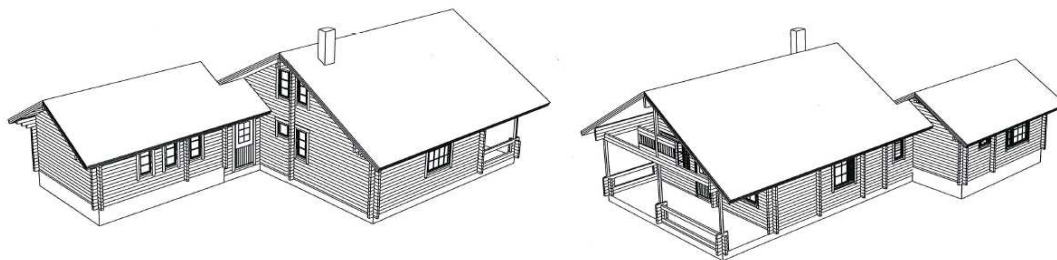
## 2 KOHDE

Opinnäytetyön kohteena on höylähirsinen huvila Suomaseman taajamassa Oriveden kunnassa (kuva 1; kuva 2). Kohde sijaitsee rantatontilla Längelmäveden rannalla.



KUVA 1. Hirsihuvila Längelmäveden suunnasta katsottuna

Huvila on rakennettu kahdessa osassa. 1,5-kerroksisen päärakennuksen rakennustyöt aloitettiin vuonna 1993 ja se valmistui seuraavana vuonna. Vuonna 2001 huvilan länsipuolelle rakennettiin lisäsiipi (kuva 2).



KUVA 2. Päärakennuksen ja lisäsiiven arkkitehtikuvat (Ollikaisen Hirsirakenne Oy 2001)

Huvila ja sen lisäsiipi on rakennettu pontitetusta höylähirrestä. Ulkoseinien rakenne ulkoa sisälle päin:

- Höylähirsi 94x145
- Pystykoolaus 45x95 k600
- Lämmöneriste 100 mm
- Höyrynsulkumuovi
- Hirsipaneeli 19x145.

Alapohjarakenne perusmaasta ylöspäin on:

- TB-laatta 80mm
- Huopakaistat
- Naulauspuu 22x100 k600
- Koolaus 45x95 k600
- Eriste 100 mm
- Höyrynsulku
- Lattialauta 28x95

Rakennus on sähkölämmitteinen ja ilmanvaihto toimii painovoimaisesti. Sähkölämmityksen lisäksi huvilassa on takka (kuva 7).



### 3 MITTAUSTAVOISTA YLEISESTI

#### 3.1 Tiiviysmittaus

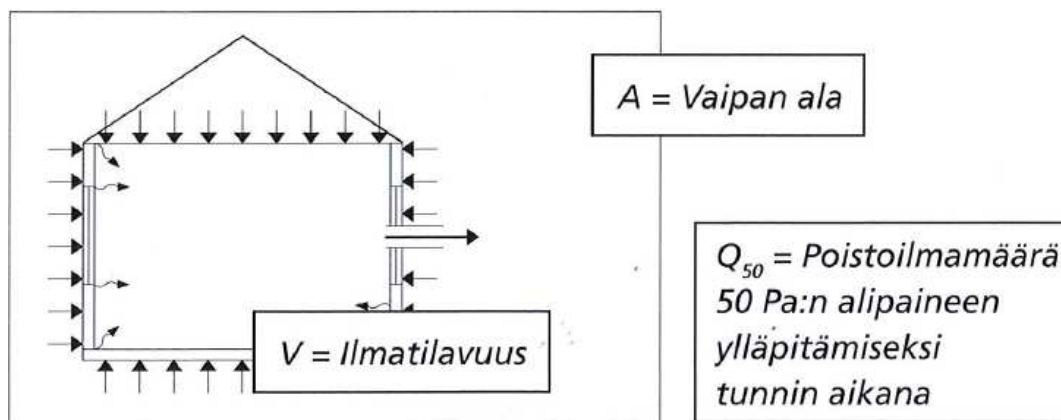
Rakennusten ilmanpitävyyden mittaaminen on yleistynyt viime vuosina merkittävästi energiatehokkuuden parantamisen lyödessä itseään läpi suomalaisessa uudis- ja korjausrakentamisessa. Energiatodistuksen myötä tarve vaipparakenteiden ilmantiiviyden todentamiselle on lisääntynyt. Tiiviysmittaus on olennainen osa vaipparakenteiden ilmantiiviyden selvittämistä. (Paloniitty 2012, 7.)

Hyvän ilmantiiviyden saavuttaminen on tärkeää kolmesta eri syystä:

- Varmistetaan rakennuksen vaipparakenteiden kosteustekninen toimivuus
- Saavutetaan parempi asumismukavuus
- Pienennetään energiankulutusta. (Paloniitty 2012, 7.)

Rakennuksen tai sen osan tiiviyttä mitataan paine-eromenetelmällä eli painekokeella. Paine-erokokeessa tutkimuksen kohteena olevaan tilaan aiheutetaan paine-ero ulkoilmaan nähdessä. Paine-ero saadaan aikaan puhaltimella, joka asennetaan oveen tai ikkunan tuuletusluukun tilalle. Rakennuksen omaa ilmanvaihtolaitteistoa voidaan myös käyttää paine-eron aikaansaamiseksi, mutta tarkimpien mittaustulosten saamiseksi suositellaan käytettäväksi tiiviysmittaustarkoitukseen valmistettuja ja kalibroituja mittauslaitteistoja. (Paloniitty 2012, 14, 31.)

Painekokeen tarkoituksena on selvittää ilmanvuotoluvut  $n_{50}$  ja  $q_{50}$ . Ilmanvuotoluku  $n_{50}$  saadaan laskettua, kun tarvittava ilmamäärä 50 Pa:n paine-eron ylläpitämiseksi tunnin ajan jaetaan tutkittavan tilan ilmatilavuudella. Ilmanvuotoluku  $n_{50}$  esitetään yksikössä 1/h, vaihtoa tunnissa. Ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saadaan jakamalla tarvittava ilmamäärä vaipan alalla (kuva 3). Yksikkönä ilmanvuotoluvussa  $q_{50}$  on [ $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ]. (Paloniitty 2012, 14–15.)



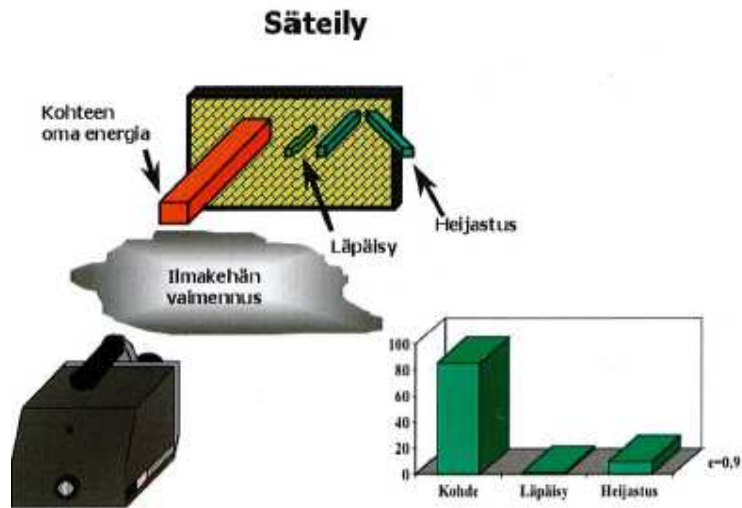
KUVA 3. Vaipan tiiviysmittauksen periaate (Paloniitty 2012, 29)

### 3.2 Lämpökuvaus

Lämpökuvausta on käytetty Suomessa yli 20 vuoden ajan rakennusten kunnonarvioinnissa ja lämpöteknisen toimivuuden selvittämisessä. Lämpökuvauksen yleistymisen on mahdollistanut lämpökameratekniikan kehittyminen huomattavasti viime vuosikymmenien aikana, mikä näkyy lämpökameroiden parantuneena erotuskykyinä, kokona, painona ja kuvankäsittelyominaisuuksina. (Paloniitty 2006, 11.)

Lämpökuvaaminen on ainetta rikkomaton tutkimusmenetelmä, jolla voidaan selvittää vaipparakenteiden ilmanpitävyyttä, rakenteiden lämpöteknistä toimivuutta, rakennusmateriaalien ominaisuuksia ja talotekniikan vikoja ja puutteita. Lämpökuvausta voidaan käyttää yhtenä tutkimusmenetelmänä uudisrakennuskohteiden laadunvalvontamittauksissa ja vanhojen rakennusten kuntotutkimuksissa. (Paloniitty 2006, 11.)

Lämpökuvaus perustuu pintojen emittoimaan lämpösäteilyyn. Säteilyn voimakkuus riippuu pintalämpötilasta sekä materiaalin kyvystä lähettää lämpösäteilyä eli emissiokertoimesta. Materiaalin emissiokerroin on välillä 0-1. Alhainen kerroin tarkoittaa pinnan olevan kiiltävä ja heijastava, kun taas lähellä 1:tä oleva emissiokerroin tarkoittaa heijastuksen osuuden olevan pieni. Lämpökamera mittaa tutkittavasta pinnasta tulevaa kokonaislämpösäteilyä (kuva 4), johon sisältyy paitsi pinnasta heijastunut säteily, myös joissakin tapauksissa pinnan läpi tullut säteily. (Paloniitty 2006, 16.)



KUVA 4. Kokonaissäteilyn muodostuminen ja emissiivisyys (Paloniitty 2006, 17)

Emissiivisyyteen, eli pinnan kykyyn lähettää lämpösäteilyä, vaikuttavat säteilyn aallonpituus, pintalämpötila, materiaali ja kuvauskulma. Käytännössä kuvattaessa rakennuksia eniten vaikuttavat pintamateriaalin emissiokerroin ja kuvauskulma. Kuvauskulman muuttuessa myös pinnan emissiivisyys muuttuu. Lisäksi kuvausetäisyys vaikuttaa kohteen kuvaukseen siten, että mitä kauempaa kohdetta kuvataan, sitä suurempaa aluetta yksi kuvapiste edustaa. Mitä suurempi yhden kuvapisteen alue on, sitä varmemmin yksittäinen ympäristöään kylmempi tai lämpimämpi kohta jää havaitsematta. (Paloniitty 2006, 17–18.)

## 4 MITTAUSVÄLINEET

### 4.1 Tiiviysmittauskalusto

Perinteiseen tiiviysmittauslaitteistoon kuuluu:

- Ilmamäärämittarilla varustettu puhallin,
- Ovi- tai ikkuna-asennuskehikko ja lakana,
- Paine-eron mittausyksikkö,
- Ohjausyksikkö,
- Paine-eroletkut ja virtajohdot sekä
- Kannettava tietokone ja painekoeohjelma. (Paloniitty 2012, 30.)

Isoilla puhaltimilla pienten ilmamäärien tarkkaa mittaamista varten jotkut laitevalmistajat ovat varustaneet puhaltimensa erikokoisilla kuristusrenkailla, joilla saadaan pienennettyä ilmavirta-aukkoa ja siten mitattua ilmamäärää tarkemmin. Esimerkiksi Minneapolis-puhaltimessa (kuva 5) on kuristusrenkaat A, B, C, D ja E joista A on aukoltaan suurin ja E pienin. (Paloniitty 2012, 32, 34.)



KUVA 5. Minneapolis-tiiviysmittauslaitteisto (Paloniitty 2012, 31)

## 4.2 Lämpökamera

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin. Se mittaa kohteen pinnasta luonnostaan lähtevää lämpösäteilyä. Kameran ilmaisimien avulla kuvattavan kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta saadaan digitaalisesti reaaliajassa muodostettua lämpökuvaa. (Paloniitty 2006, 15.)

Kameratekniikka on kehittynyt huomattavasti vuosikymmenten aikana. Vuosina 1958–1995 markkinoilla oli skanneritekniikkaa käyttäviä lämpökameroita. Nämä kamerat piti jäädyttää nestemäisen typen avulla, sillä niiden ilmaisimet olivat herkkiä lämpösäteilylle ainoastaan nestemäisen typen lämpötilassa. Skanneritekniikassa kuva-alueen kuvapisteidensä lähettämä infrapunasäteily mitataan yhden ilmaisimen 1. detektorin avulla. Tällöin kuvattava alue käydään läpi piste pisteeltä. Vuodesta 1995 markkinoilla on ollut saatavissa matriisitekniikalla varustettuja lämpökameroita. Matriisi-detektoreissa jokaisella kuvapisteellä on oma ilmaisimien. Matriisitekniikkaa hyödyntävissä kameroissa mittaus perustuu kuvattavan kohteen lämpösäteilyn aiheuttamaan ilmaisimen resistiiviseen muutokseen. Suurin lämpötilojen erotuskyky saavutetaan uudenmallisilla kvanttikaivodetektoreilla; jopa 3 mK eli 0,03 °C. (Paloniitty 2006, 16.)

Mittauksessa käytettiin FLIR Systemsin valmistamaa EXX-sarjan E60bx -lämpökameraa (kuva 6). Kamerassa on 3,5 tuuman LCD-kosketusnäyttö. Lämpökuvan resoluutio on 320x240 pikseliä ja digitaalisen kameran 3,1 megapikseliä. Kameran lämpötilaherkkyys on <0,045 °C ja lämpötilan mittausalue -20 - +120 °C. Kamera painaa vain 880 grammaa. (FLIR E-Series bx: FLIR 2013.) Mittauksessa käytetty lämpökamera ottaa lämpökuvan yhteydessä myös visuaalikuvan mitattavasta kohdasta.



KUVA 6. FLIR E60bx -lämpökamera (FLIR E60bx, FLIR Systems 2015)

## 5 MITTAUSTEN SUORITUS

### 5.1 Esivalmistelut

#### 5.1.1 Tiiviysmittaus

Ennen painekokeen aloittamista tulee mitata kohteen tilavuus sekä ulkovaipan ala ilmanvuotolukujen  $n_{50}$  ja  $q_{50}$  laskemiseksi. Tilavuus ja ala saadaan selvitettyä käyttäen apuna rakennuspiirustuksia ja laseretäisyysmittaria. Tiiviysmittauksen alussa tulee selvittää ulkoilman ja sisäilman lämpötilat, tuuliolosuhteet sekä kirjata lähimmän sääaseman antama tieto ulkoilman paineesta. Lisäksi tulee selvittää rakennuksen lämmitysmuoto sekä ilmanvaihtotapa. (Paloniitty 2012, 38, 50.)

Rakennuksen tarkoituksenmukaiset aukot tulee sulkea ja tiivistää ennen painekokeen aloittamista. Näihin toimenpiteisiin kuuluvat muun muassa

- ulko-ovien ja ikkunoiden tuuletusluukkujen sulkeminen
- takan hormin tulppaaminen ja kaikkien luukkujen teippaus (kuva 7)
- liesituulettimen poistoilmaputken tulppaaminen (kuva 8)
- raitisilmaputkien tulppaaminen ja teippaaminen (kuva 9).

Tulppaaminen tapahtuu käsipumpulla täytettävillä kumipalloilla. Teippiä käytetään apuna niiden venttiilien tiivistämisessä, jossa ei pystytä käyttämään kumipalloa. Lisäksi tulee varmistaa, että kylpyhuoneiden vesilukoissa on vettä. (Paloniitty 2012, 44)



KUVA 7. Takan luukku teipattuna.



KUVA 8. Liesituulettimen tulppaus. KUVA 9. Venttiilien teippaus.

Tiivysmittauksen tekeminen luotettavasti vaatii riittävän vakaan paine-ero-olosuhteen. Standardin SFS EN 13829 mukaan tuulen nopeuden tulisi olla alle 6 m/s, minkä lisäksi sisä- ja ulkolämpötilojen erotus kerrottuna rakennuksen korkeudella ei saisi ylittää 500 m°C jolloin savupiippuilmillä olisi liian suuri vaikutus tuloksiin. (Paloniitty 2012, 37.)

Ilmatiivysmittaus suoritetaan aina valmiissa tai lähes valmiissa rakennuksessa. Mittauksen suorittaminen vaatii, että höyrynsulkumuovit on asennettu kunnolla, läpiviennit on tiivistetty, ovet ja ikkunat ovat asennettu ja kaivot ja viemärit ovat käytössä. Mittauksen rajaamisessa kannattaa pyrkiä välttämään osastointeja ja pyrkiä mittaamaan koko rakennus. Puhallin tulee asentaa tuulelta suojaisimpaan julkisivun osaan ja korkeussuunnassa neutraaliakselille eli ilmatilavuuden puoleen väliin. (Paloniitty 2012, 38–39.)

Mittauskalusto asentaminen aloitetaan viemällä ulkoilman painetta mittaava letku ulos riittävän kauas puhaltimen ilmavirtauksesta. Seuraavaksi ovikehikko asennetaan valittuun ovenkarmiin tai ikkunan tuuletusluukkuun. Kehikon salvat tulee lukita huolellisesti. Tämän jälkeen kehikkoon kiinnitetään tiivistyskangas, ja puhallin asennetaan kankaan puhallinaukkoon. Tarvittavat letkut, liittimet ja virtajohdot kiinnitetään paikoilleen mitausyksikköön, ohjausyksikköön ja tietokoneeseen. (Paloniitty 2012, 40–43.)

### 5.1.2 Lämpökuvaus

Lämpökuvausta varten täytyy tehdä valmistelevia toimenpiteitä. Näitä toimenpiteitä ovat:

- Lämpökuvauksesta ja sen kestosta ilmoittaminen asukkaille ja tilan käyttäjille.
- Kuvattavien tilojen irtokalusteiden siirtäminen pois kuvattavilta ulkoseiniltä kuitenkin niin, että kalusteet eivät häiritse normaalia sisäilman liikettä. Ulkoseiniä vasten olevat kalusteet tulee siirtää riittävän ajoissa ennen kuvauksen aloittamista, muuten ulkoseinien ja lattianrajan pintalämpötiloiksi saadaan virheellisiä arvoja.
- Kiintokalusteiden sisältä kuvattaessa kalusteiden täytyy olla tyhjä ja kaappien ovat auki 12 tunnin ajan ennen kuvauksen aloittamista.
- Ikkunaverhojen poistaminen tai siirtäminen keskelle ikkunaa 12 tuntia ennen kuvausten aloittamista ikkunarakenteiden kuvausta varten.
- Kuvattavissa tiloissa ilmastoinnin ja lämmityksen tulee olla normaalin käyttötilanteen säädöillä vähintään 24 tunnin ajan ennen kuvauksen aloittamista.

Lisäksi ennen lämpökuvauksen aloittamista tulee selvittää olosuhdetiedot ulko- ja sisätiloista sekä rakennuksen tiedot. (Paloniitty 2006, 50–51.)

## 5.2 Tiiviysmittauksen suorittaminen

Tiiviysmittauksessa pyrittiin noudattamaan pääpiirteittäin standardissa SFS-EN 13829 (menetelmä B) ja RT-kortissa 80-10974 annettuja ohjeita ilmatiiviysmittauksen suorittamisesta.

Mittauksen alussa kannettavalla tietokoneella olevaan mittausohjelmaan syötetään ulko- ja sisäilman lämpötilat ja ulkoilman paine. Ennen varsinaista mittausta puhaltimella tehdään niin kutsuttu manuaalinen ajo. Tämän tarkoituksena on mitata millä kuristusrenkaalla mitattavaan tilaan saadaan tarvittava 50 Pa:n alipaine, sekä saada selville, onko kohteeseen jäänyt tiivistämättömiä ilmavuotopaikkoja. Lisäksi ennen varsinaista puhallussarjaa puhallinaukko peitetään vallitsevan paine-eron mittaamiseksi. Tällä mitataan tuulen ja savupiippuvaikutuksen aiheuttama vallitseva paine-ero. Paine-eron tulisi olla alle 5 Pa. (Paloniitty 2012, 50–51.)

Puhaltimella luodaan valittu paine-ero. Paine-eron saavuttamiseksi mitataan tarvittava puhaltimen läpäisevä ilmavirtaus. Ilmavirtaus mitataan vähintään viidellä tasaisin välein



valitulla paine-erolla. Mittauspaineiksi suositellaan käytettäväksi 30, 40, 50, 60 ja 70 Pa:n mittapaine-eroja, mutta mittauspaineet voidaan valita vapaasti, kuitenkin siten, että suurin paine-ero on vähintään 50 Pa. Mittauslaite mittaa puhaltimen läpi virtaavan ilmamäärän kullakin paine-erolla mittaajan ilmoitettua puhaltimessa käytetyn kuristusrenkaan koon mittausohjelmaan. Puhallussarjan jälkeen suoritetaan vielä toinen paine-eromittaus puhaltimen ollessa peitettynä loppupaineen mittaamiseksi. Mikäli alussa ja lopussa mitattujen paineiden erotus on yli 5 Pa, kokeen tulosta ei tule hyväksyä. Kun alipainemittaus on suoritettu onnistuneesti, käännetään puhallin ja tehdään vastaavalla tavalla ylipainemittaus. Mittausohjelma tekee lopuksi tuloksista ilmanvuotokäyrän (kuvio 1) josta ilmenee ilmamäärä paine-eron suhteen ali- ja ylipaineessa. (Paloniitty 2012, 51–52, 56.)

Työssä tiiviiden mittaukseen käytettiin Minneapolisin valmistamaa Blower Door Model 4:ää (Kuva 10). Mittaus suoritettiin kuristusrenkaalla A. Lämpökuvauksia varten rakennukseen muodostettiin ennen puhallussarjoja 2 Pa:n alipaine.



KUVA 10. Minneapolis Blower Door asennettuna oviaukkoon. (Kuva: Jarno Oravasaari 2015)

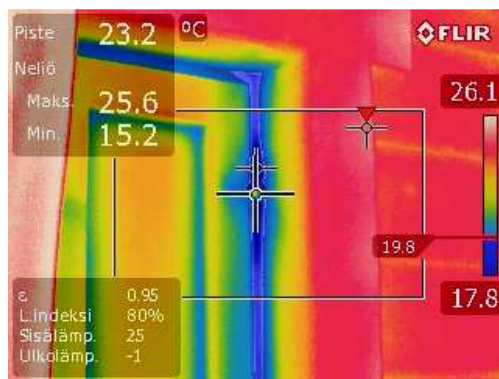
### 5.3 Lämpökuvauksen suorittaminen

Ennen lämpökuvauksen aloittamista säädetään kameran asetukset ja kirjataan mittausolosuhteet ylös. Kirjattaviin tietoihin kuuluvat muun muassa pinnan emissiokerroin, kuvausetäisyys ja kuvattavan tilan lämpötila. Kuvausetäisyys sisätiloissa on noin 2-4 metriä ja

ulkona alle 10 metriä. Kamerassa pyritään käyttämään mahdollisimman laajaa väripalettia selkeiden kuvien saamiseksi. (Paloniitty 2006, 52.)

Kuvauksessa pyrittiin kiertämään rakennus säännöllisesti ympäri kahteen kertaan aloittaen päärakennuksen alakerrasta läsiiven kautta siirtyen lopuksi päärakennuksen parvelle. Kuvaus suoritettiin ensin 2 Pa:n alipaineessa, ja uudelleen 50 Pa:n alipaineessa mahdollisten uusien ilmapuotokehtien löytämiseksi ja ensimmäisellä kierroksella havaittujen vuotokehtien korostamiseksi. Lopuksi ulkovaippa kuvattiin ulkopuolelta kiertäen rakennus ympäri. Lämpökuvauksessa keskityttiin rakennuksen ulkovaipan ilmapuotojen paikantamiseen. Tähän opinnäytetyöhön kerätyt kuvauskohdat merkittiin kohteen pohjakuvaan (kuva 16).

Lämpökameran näyttämästä kuvasta (kuva 11) näkyy oikeassa laidassa oleva lämpötilaskaala sekä mittaustyökalut. Kuvassa 11 on keskellä laatikko mittaustyökalu, josta selviää kyseisen alueen maksimi- ja minimilämpötilat. Lisäksi kuvasta on luettavissa yksittäisen kuvauspisteen lämpötila.



KUVA 11. Lämpökameran näyttö.

Lämpökuvien raportoinnissa käytettiin ThermaCAM Reporter 2000 –ohjelmaa. Ohjelmalla tehdyssä esimerkkiraportissa (liite 1) on esitettyä vierekkäin lämpökuva ja valokuva kuvattavasta kohdasta. Ohjelman lämpökuvasta ilmenee lämpötilaskaala sekä mittaustyökalut.

## 6 MITTAUSTEN TULOKSET

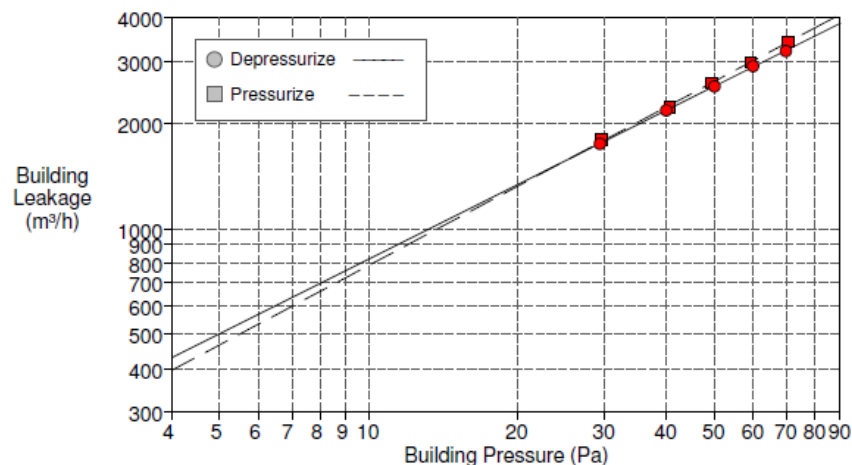
### 6.1 Hirsirakennuksen tiiviysmittaus

Käyttäen olemassa olevia rakennuspiirustuksia ja laseretäisyysmittaria laskettiin ilmanvuotolukujen selvittämiseksi tarvittavat tilavuus sekä ulkovaipan ala. Näillä saatiin huvilan yhteenlasketuksi tilavuudeksi  $257 \text{ m}^3$  ja ulkovaipan alaksi sisämittoja käyttäen  $260 \text{ m}^2$ . Lisäksi mitattiin vallitsevat olosuhteet ulkona ja sisällä sekä selvitettiin kohteen lämmitys- ja ilmanvaihtotapa. Tulokset ovat nähtävissä taulukossa 1. Rantatontilla sijainnistaan huolimatta huvila on pääosin tuulelta suojassa johtuen runsaasta puustosta ja viereisistä rakennuksista.

TAULUKKO 1. Ulko- ja sisäolosuhteet mittaushetkellä.

Inside Temperature:	26 °C	Volume:	257 m <sup>3</sup>
Outside Temperature:	-0 °C	Surface Area:	296 m <sup>2</sup>
Barometric Pressure:	102970 Pa	Floor Area:	68 m <sup>2</sup>
Wind Class:	0 Calm	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Protected Building	Building Dimensions:	2 %
Type of Heating:	Sähkölämmitteinen	Year of Construction:	1993
Type of Air Conditioning:	Painovoimainen		
Type of Ventilation:	None		

Tiiviysmittaus tehtiin viidellä tasaisin välein valitulla mittauspaine-erolla. Paine-eroiksi valittiin suositellut 30, 40, 50, 60 ja 70 Pa (taulukko 3). Ensin suoritettiin alipainemittaus, jonka jälkeen puhallin käännettiin ja suoritettiin ylipainemittaus. Tuloksista mittausohjelma laski kohteelle ilmanvuotoluvut (taulukko 2) ja ilmapuotokäyrän (kuvio 1).



KUVIO 1. Kohteen ilmapuotokäyrä.

## TAULUKKO 2. Tiiviysmittauksen tulokset.

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
<b>Test Results at 50 Pascals:</b>			
V50: Airflow (m <sup>3</sup> /h)	2531 ( +/- 0.2 %)	2623 ( +/- 0.4 %)	2577
n50: Air Changes per Hour (1/h)	9.84	10.20	10.02
w50: m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> Floor Area)	37.22	38.57	37.89
q50: m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> Surface Area)	8.56	8.87	8.72
<b>Leakage Areas:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm <sup>2</sup> )	910.2 ( +/- 1.2 %)	877.0 ( +/- 2.3 %)	893.6
cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> Surface Area	3.08	2.97	3.02
LBL ELA @ 4 Pa (cm <sup>2</sup> )	460.8 ( +/- 1.8 %)	426.0 ( +/- 3.6 %)	443.4
cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> Surface Area	1.56	1.44	1.50
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (Cenv)	157.2 ( +/- 2.7 %)	140.2 ( +/- 5.5 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	161.4 ( +/- 2.7 %)	140.1 ( +/- 5.5 %)	
Exponent (n)	0.704 ( +/- 0.007 )	0.749 ( +/- 0.014 )	
Correlation Coefficient	0.99986	0.99950	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door, S/N CE2359		

Taulukosta 2 selviää ilmanvuotoluvut n50 ja q50 ali- ja ylipaineessa sekä näiden keskiarvot. Ilmanvuotoluvun n<sub>50</sub> keskiarvoksi saatiin 10,02 ja q<sub>50</sub> keskiarvoksi 8,72. Molemmat luvut ovat tiiviysmittausluokituksen (kuvio 2) mukaan selvästi huonoimmassa G-luokassa. Lisäksi taulukossa 2 on esitetty puhaltimen läpi virrannut ilmamäärä sekä yhteenlaskettu ilmanvuotopinta-ala.

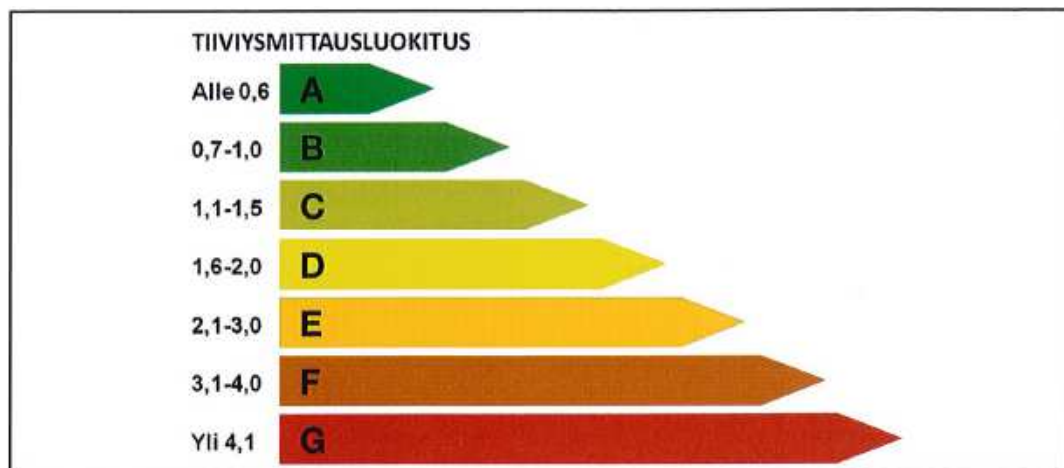
## TAULUKKO 3. Puhallussarjojen paine-erot.

**Data Points: Depressurization:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m <sup>3</sup> /h)	Temperature Adjusted Flow (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-1.5	n/a				
-71.5	163.9	3413	3204	0.1	Ring A
-61.6	134.1	3090	2901	0.9	Ring A
-51.8	102.8	2709	2544	0.4	Ring A
-41.7	74.7	2313	2172	0.4	Ring A
-31.1	48.0	1858	1745	0.2	Ring A
-1.8	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.5 p01+ = 0.0 p02- = -1.8 p02+ = 0.0					

**Data Points: Pressurization:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m <sup>3</sup> /h)	Temperature Adjusted Flow (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-1.6	n/a				
69.1	148.9	3254	3407	0.2	Ring A
57.9	113.1	2840	2974	-0.5	Ring A
47.9	85.9	2479	2596	-0.3	Ring A
39.1	62.6	2119	2219	-1.4	Ring A
28.1	40.8	1715	1795	0.9	Ring A
-1.3	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.6 p01+ = 0.0 p02- = -1.3 p02+ = 0.0					



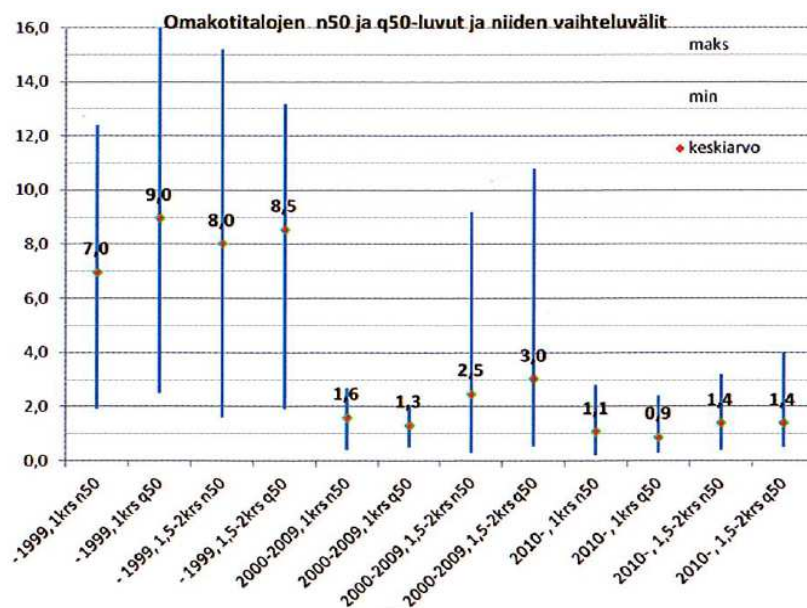
KUVIO 2. Tiiviydsmittausluokitukset Suomessa.

## 6.2 Tiiviyden vertailu

Sauli Paloniitty on kerännyt tietoa rakennusten tiiviydestä Suomessa kirjaansa Rakennusten tiiviydsmittaus (2012). Paloniityn tutkimusaineisto käsittää kokonaisuudessaan 640 mittauskohdetta, joita ovat olleet omakotitalot, rivitalo- ja kerrostalo- huoneistot, kerrostalot ja muut kohteet. Tämän opinnäytetyön vertailukohdiksi on valittu Paloniityn tutkimusaineistosta omakotitalot.

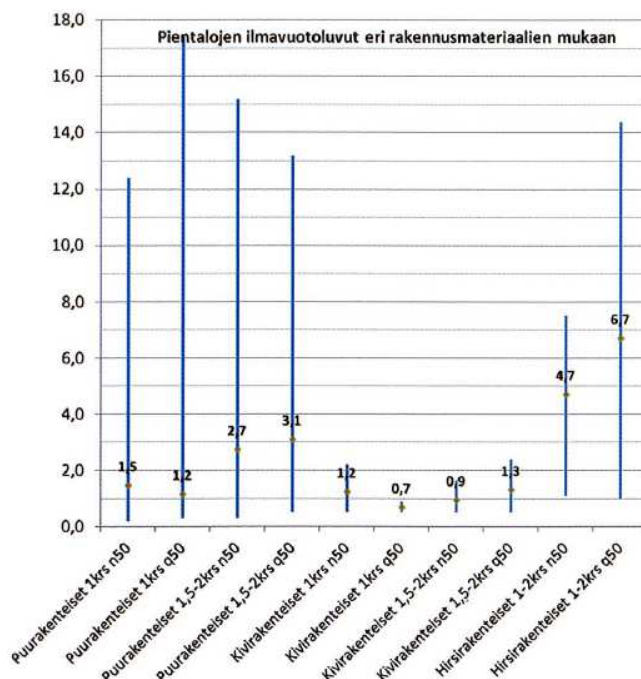
Kuvassa 14 on esitetty omakotitalojen ilmapuotoluvut ja niiden vaihteluvälit eri vuosikymmeninä. Tutkimuksessa vanhimmat kohteet on rakennettu 1940-luvulla. Kuvasta käy ilmi, että ennen vuotta 1999 rakennettujen talojen tiiviyds vaihtelee huomattavasti. Monikerroksisilla taloilla heikoin mitattu  $q_{50}$ -luku oli noin 13,2 ja paras noin 2. tutkimuksessa 1-kerroksisten rakennusten todetaan olevan tiiviimpiä verrattaessa monikerroksisiin rakennuksiin. (Paloniitty 2012, 24.)

Nykypäivän tiiviydsmittausluokituksilla tutkimuksessa mukana olleet ennen vuotta 1999 rakennetut monikerroksiset talot sijoittuvat  $q_{50}$ -luvulla luokkiin D – G, keskiarvon 8,5 ollessa selvästi huonoimmassa luokassa. Paloniityn tutkimustuloksiin verrattessa opinnäytetyön kohteena oleva hirsihuvilan tiiviyds  $q_{50}$ -lukuna on lähes sama kuin Paloniityn tutkimusaineiston keskiarvo.



KUVIO 3. Pientalojen ilmastuotoluvut ja niiden vaihteluvälit. (Paloniitty 2012, 24.)

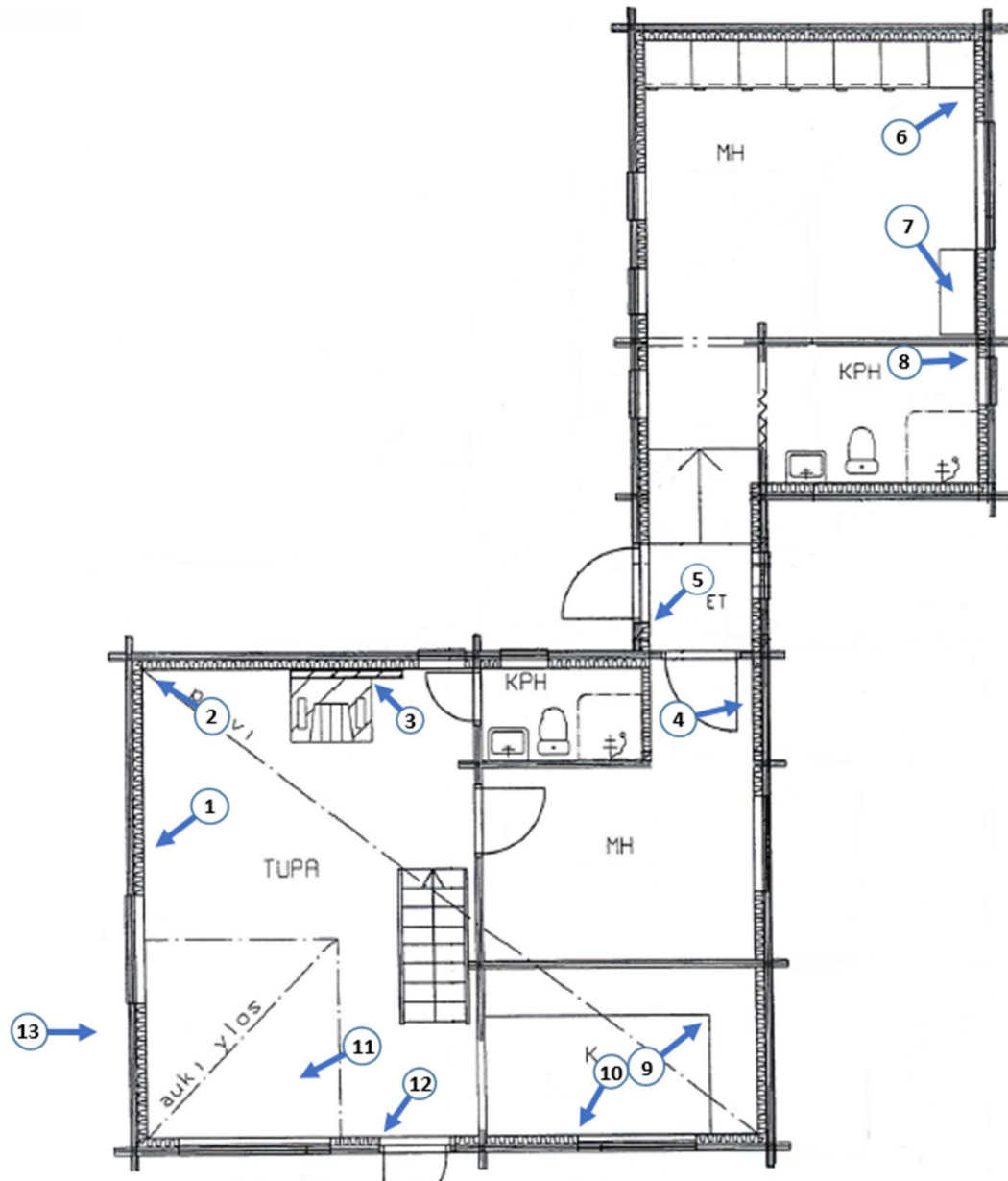
Lisäksi Paloniitty on selvittänyt pientalojen ilmastuotolukujen keskiarvot eri rakennusmateriaalien mukaan (kuvio 4). Kuvioista 4 nähdään monikerroksisten, hirrestä rakennettujen pientalojen  $q_{50}$ -arvon vaihtelevan välillä 1 – 14,5 keskiarvon ollessa 6,7. Opinnäytetyössä mitatun hirsihuvilan  $q_{50}$ -luku on huonompi kuin Paloniityn tutkimusaineiston keskiarvo.



KUVIO 4. Pientalojen ilmastuotoluvut eri rakennusmateriaalien mukaan. (Paloniitty 2012, 25.)

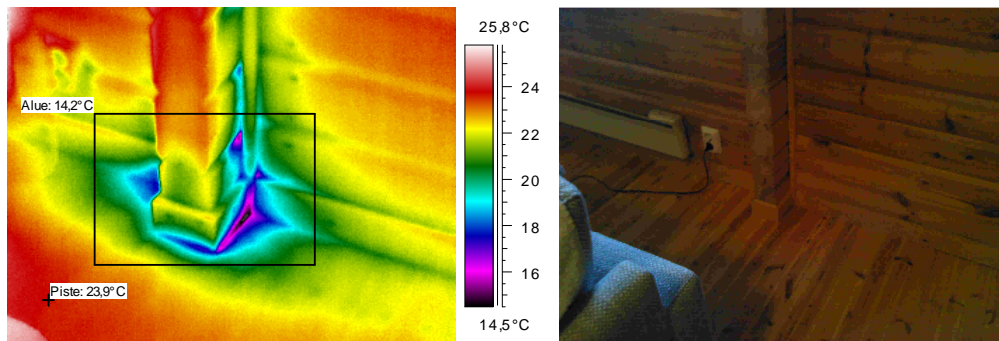
### 6.3 Hirsirakennuksen lämpökuvaus

Lämpökuvaus suoritettiin tiiviysmittauksen yhteydessä, ensin 2 Pa:n alipaineessa ja tämän jälkeen pahimpien ilmavuotokohtien korostamiseksi 50 Pa:n alipaineessa. Lämpökuvia otettiin yhteensä 71 kappaletta, joista 7 on kuvattu ulkopuolelta rakennusta.

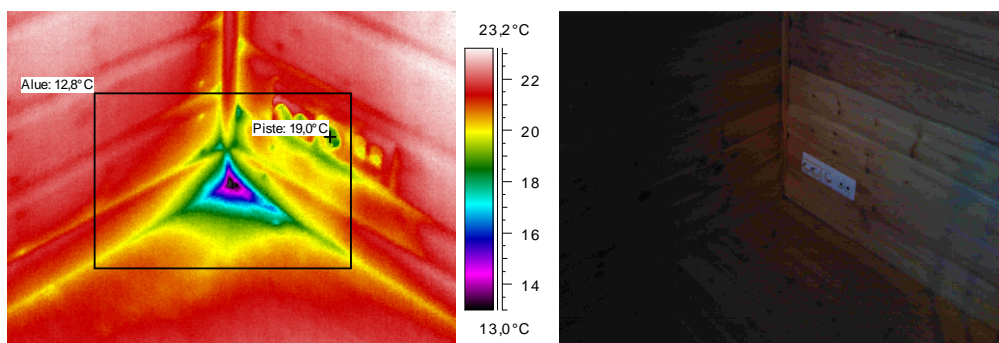


KUVA 12. Pohjakuva, johon on merkitty otetut lämpökuvat.

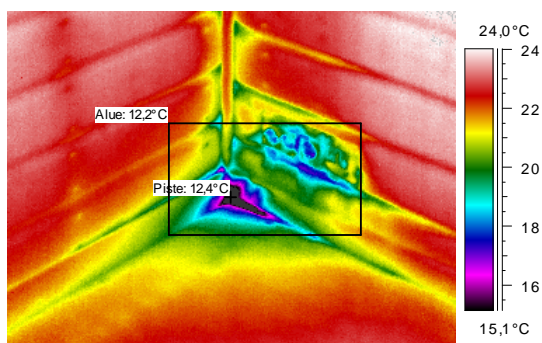
Pahimmiksi ilmapuotokohdiksi paljastuivat rakennuksen ulkonurkat, hirsien liitoskohdat sekä ikkunoiden ja ovien karmit. Lisäksi joissakin kohdin rakennuksen ulkovaippaa oli lämmöneristys jäänyt puutteelliseksi. Alla on esitetty muutama esimerkki ilmapuotokohdista, loput pohjakuvaan merkityt lämpökuvat löytyvät liitteestä 2.



KUVA 13. Lämpökuva 1 (-2 Pa). Hirsien ja alapohjan ympärillä ilmapuotoa.

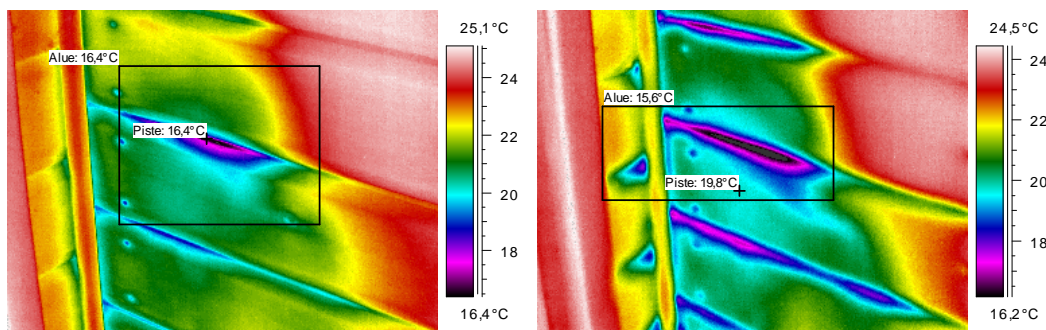


KUVA 14. Lämpökuva 2 (-2 Pa). Ulkonurkan ilmapuoto.

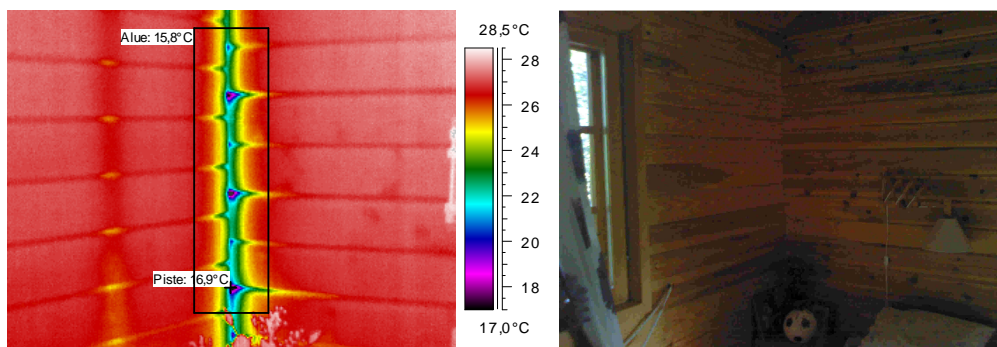


KUVA 15. Lämpökuva 2 (-50 Pa). Sama ulkonurkka kuvattuna 50 Pa:n alipaineessa. Kuvassa korostuu ulkonurkan ilmapuodon lisäksi myös sähkörsioiden kautta vuotava kylmä ilma.

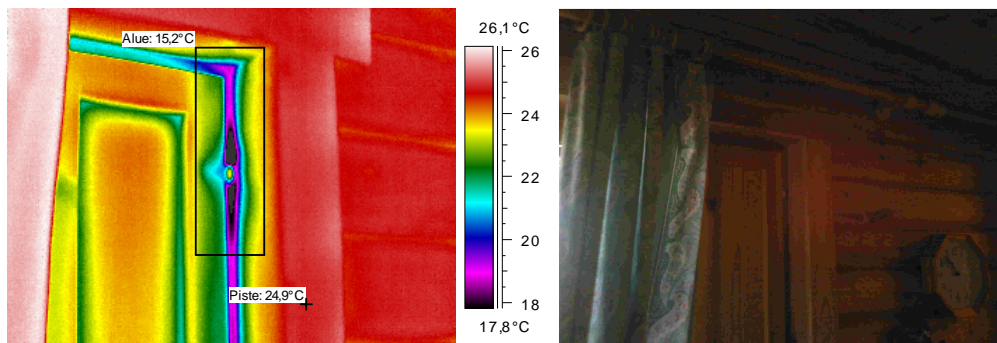




KUVA 16. Lämpökuva 4 (-2 Pa ja -50 Pa). Puutteellinen tiivistys ja eristys hirsien välissä.



KUVA 17. Lämpökuva 7 (-2 Pa). Ulkoseinän ja väliseinän rajakohdassa laajaa ilmavuotoa.



KUVA 18. Lämpökuva 10. Ikkunassa tiivistevuotoa.

Lämpökuvien raportoinnissa voidaan käyttää esimerkiksi ThermaCAM Reporter 2000 -ohjelmaa. Ohjelmalla tehty malliraportti on liitteessä 1. Raportissa on kameralla otettu lämpökuva lämpötilaskaalalla ja valituilla mittaustyökaluilla sekä visuaalinen kuva samasta kohdasta. Lisäksi kuvasta selviää kameran tiedot, objektin parametrit, olosuhdetiedot ja lasketut lämpötilaindeksit. Lämpötilaindeksin suuruudesta riippuen raporttiin mainitaan myös mahdollinen korjaustarve neliasteisen korjausluokituksen mukaan.

## 7 POHDINTA

Tiivysmittaus suoritettiin onnistuneesti ja sääolosuhteet olivat otolliset mittauksen suorittamiselle. Mittauksesta saaduista ilmanvuotoluvuista selviää, että nykyään Suomessa käytössä olevalla tiivysmittausluokituksella mitattuna opinnäytetyön kohteena oleva hirsirakennus on ilmatiivideltään huonoimmassa luokassa G. Hirsirakennuksen ilmatiivyys on kuitenkin yhteneväinen verrattaessa tuloksia vuosina 1940–1999 rakennettujen pientalojen ilmatiivistuloksiin. Nykypäivän ilmatiivyysstandardeilla saatu tulos ei kelpaisi laadullisesti. Onkin selvää, että 90-luvun alkupuolella pientalojen ilmatiivyyteen ei ole panostettu läheskään samalla huolellisuudella kuin nykyään.

Rakennuksen huono ilmatiivyys yllätti opinnäytetyön tekijän. Kohteen pahimmiksi ilma-  
vuotokohdiksi selvitettiin lämpökuvauksella rakennuksen ulkonurkat, hirsien liitoskohdat sekä ikkunoiden ja ovien karmit. Lisäksi joissakin kohdissa oli ulkoseinän lämmöneristys jäänyt puutteelliseksi. Osa lämpökameralla otetuista kuvista jäi haluttua huonolaatuisemmiksi johtuen huonosta kuvausetäisyydestä ja kuvauskulmasta. Lisäksi osa lämpökameran ottamista digitaalisista kuvista jäi liian hämäräksi johtuen kohteen huonosta valaistuksesta.

Lämmöneristysten puutteellisuus seinissä voitaisiin korjata irrottamalla seinistä paneelit ja höyrynsulku, ja lisäämällä puuttuneet lämmöneristeet. Myös ikkunoiden ja ovien karmien lämmöneristysten puutteet ovat korjattavissa. Sen sijaan hirsien liitoskohtien ilma-  
vuotojen korjaaminen ei onnistuisi aivan pienellä vaivalla.

Saatujen ilmavuotolukujen avulla hirsihuvilalle on mahdollista laskea lämmitystarve energiatodistusta varten. Kohteelta ei kuitenkaan lain mukaan vaadita energiatodistusta, sillä se on käytössä maksimissaan 4 kuukautta vuodesta. Mikäli huvila myytäisiin tai vuokrattaisiin, tulisi sille laatia energiatodistus kevennetyn menettelyn mukaisesti, jos ostaja olisi huvilan omistajan lähisukulainen, tai jos kohdetta ei myytäisi julkisesti esillä olevalla ilmoituksella.

Opinnäytetyö opetti erittäin paljon rakennusten ilmatiivyyden ja lämpökuvauksen teoriaa, sekä varsinaisten tiivysmittauksen ja lämpökuvauksen suorittamisesta asianmukaisesti.

## LÄHTEET

FLIR E-Series bx. 2013. FLIR Systems, Inc. Luettu 18.11.2015  
[http://www.flir.com/uploadedFiles/Thermography\\_USA/Products/Product\\_Literature/flir-e-series-bx-datasheet.pdf](http://www.flir.com/uploadedFiles/Thermography_USA/Products/Product_Literature/flir-e-series-bx-datasheet.pdf)

FLIR E60bx Infrared Camera. 2015. FLIR Systems, Inc. Luettu 17.11.2015.  
<http://store.flir.com/product/e60bx-infrared-camera-refurbished/e-series-infrared-cameras>

Laki rakennusten energiatodistuksesta 50/2013. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050>

Arkkitehtikuva. Ollikaisen Hirsirakenne Oy. 2001.

Paloniitty, S. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Tampere: Suomen Rakennusmedia Oy.

Paloniitty, S. & Kauppinen, T. 2006. Rakennusten lämpökuvaus. Jyväskylä: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy.

RT 80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. Rakennustieto RT ry.

SFS-EN 13829. 2015. Rakennusten lämpötekniset ominaisuudet. Ilmanpitävyyden määrittäminen. Painekoe. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

## LIITTEET

## Liite 1. Lämpökuvauksen mittausraportti.

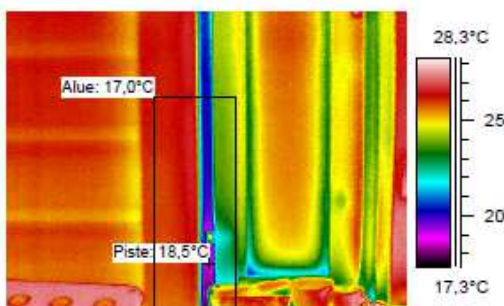
Lämpökuva 1

## MITTAUSRAPORTTI

Lämpökuvaus 13.10.2015

Jami Helenius  
Opinnäytetyökohte Orivesi

Tupa



Mittauspiste 1	18,5°C
Mittausalue min	17,0°C
Mittausalue max	26,9°C

Lämpökuvatieto	Arvo
Kameran tyyppi	FLIR E60bx
Kameran sarjanro	49004312
Objektin parametri	Arvo
Emissiivisyys	0,95
Etäisyys kohteeseen	3,0 m
Taustalämpötila	25,0°C
Ilman lämpötila	25,0°C

Ukolämpötila	Sisälämpötila	Paine-ero	Suhteellinen kosteus	Tuuli	Pilvisyys
0,0°C	25,0°C	-2 Pa	23,2 rH-%	0-1 m/s	Puolipilvinen

Laskettu lämpötilaindeksi mitatusta minimilämpötilasta	68	Laskettu lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	74
--	----	---	----

Kommentit: Ikkunan reunassa tiivistevuoto  
Korjausluokkasuositus: 3

Korjausluokitus on seuraava:

1. *Korjattava*

Pinnan lämpötila ei täytä Asumisterveysohjeen välttävää tasoa (ilmavuoto, eristevika). Heikentää oleellisesti rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa (esim. korjausvaurio).  
TI < 61 %

2. *Korjaustarve selvítettävä*

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

3. *Lisätutkimuksia*

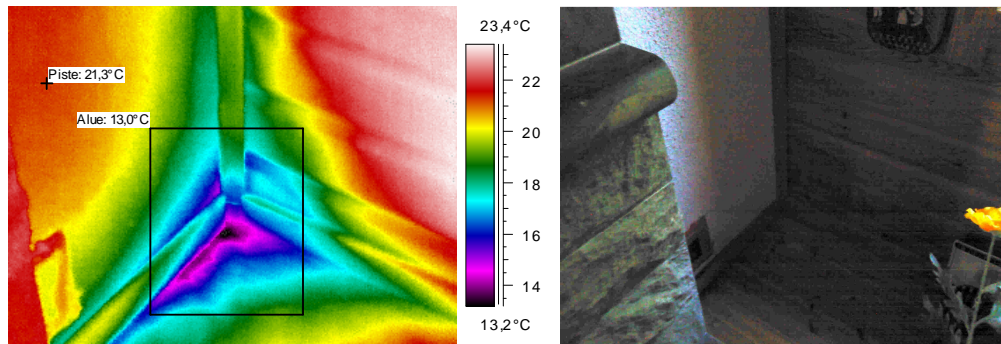
Täyttää asumisterveydelle asetetut hyvän tason vaatimukset, mutta piilee tilan käyttötarkoituksen huomioiden kosteus- ja lämpöteknisen toiminnan riski. On tarkasteltava rakenteen kosteustekninen toiminta tai tehtävä muita lisätutkimuksia (esim. tiiviysmittaus)  
TI > 65 %

4. *Hyvä*

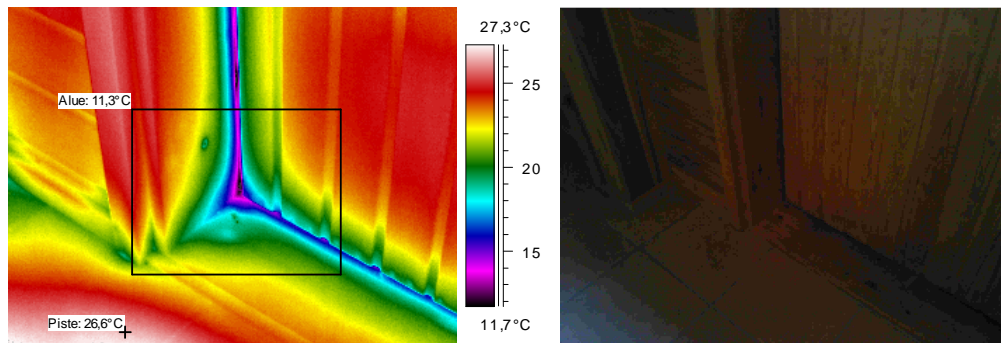
Täyttää hyvän tason vaatimukset. Ei korjaustoimenpiteitä. TI > 70 %

## Liite 2. Loput opinnäytetyöhön valitut lämpökuvat.

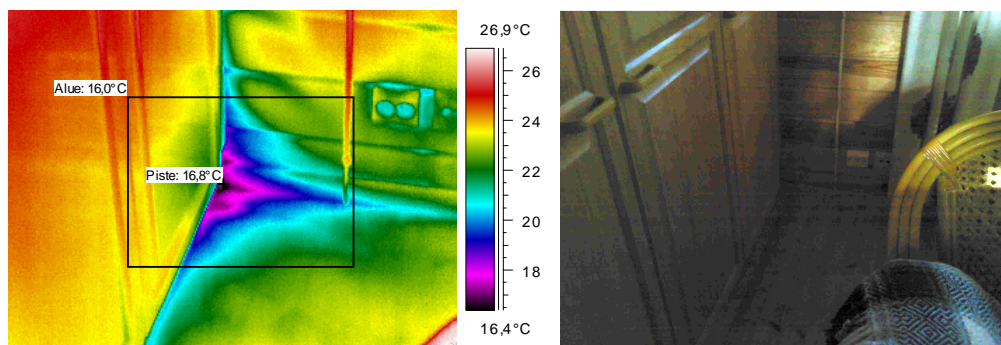
1(3)



Lämpökuvaa 3 (-2 Pa). Takan hormin ja alapohjan nurkan ilmavuoto.

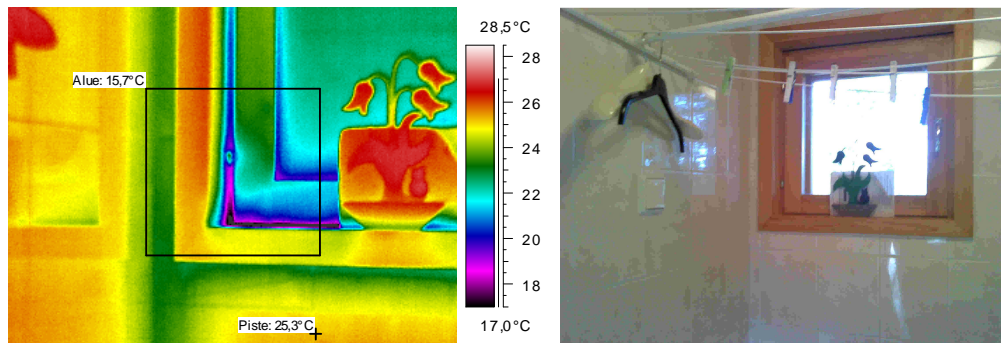


Lämpökuvaa 5 (-2 Pa). Oven nurkassa tiivistevuotoa.

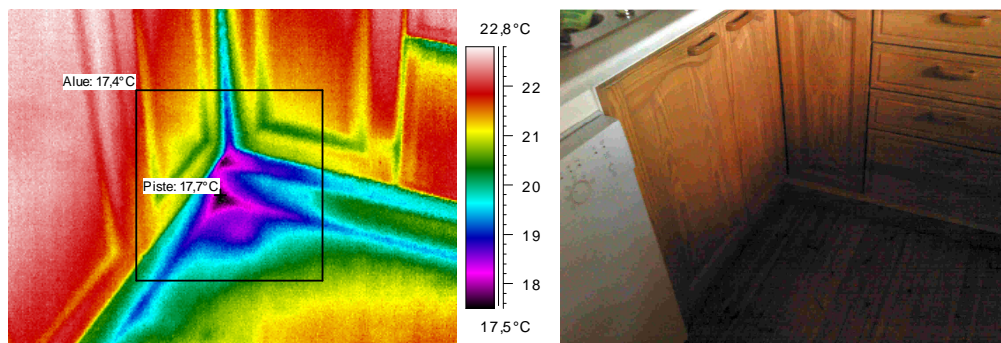


Lämpökuvaa 6 (-2 Pa). Kalusteiden ja alapohjan nurkan ilmavuoto.

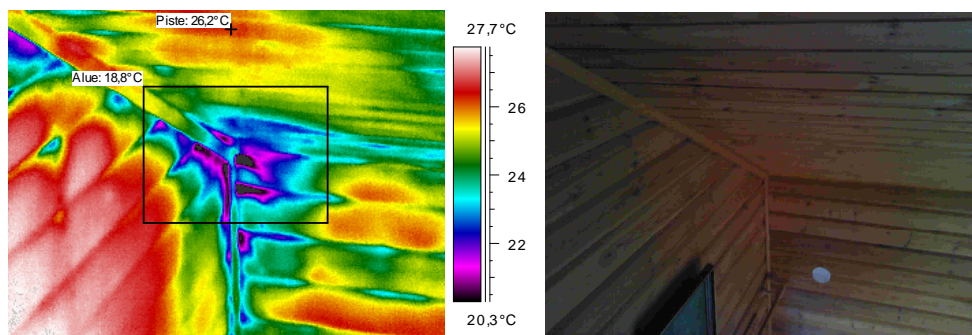
2(3)



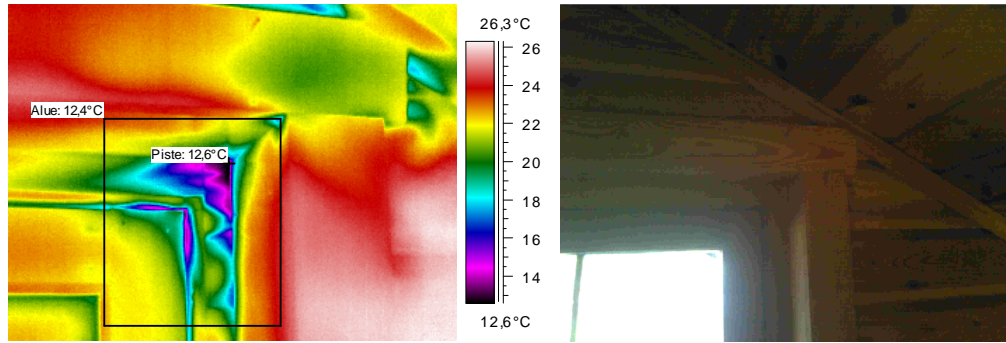
Lämpökuva 8 (-2 Pa). Kylpyhuoneen ikkunan nurkan tiivistevuoto.



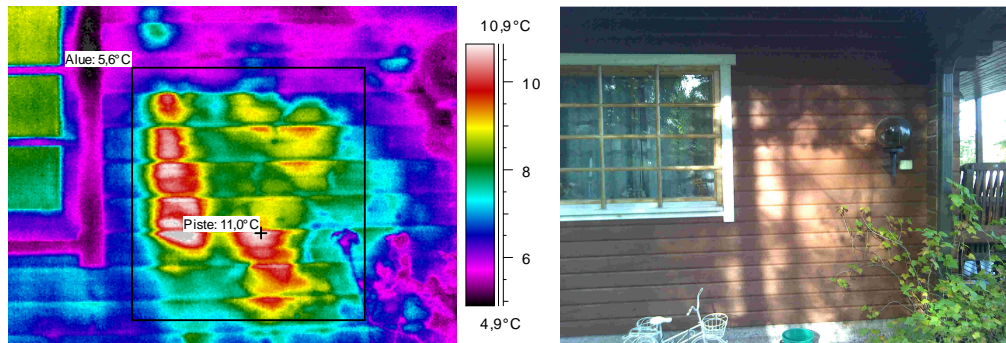
Lämpökuva 9 (-50 Pa). Keittiön kalusteiden alta vuotaa ilmaa.



Lämpökuva 11 (-50 Pa). Ulkoseinien ja yläpohjan nurkkakohdan ilmapuoto parvelta kuvattuna.



Lämpökuvaa 12 (-50 Pa). Parvekkeen oven nurkan ilmavuoto.



Lämpökuvaa 13. Ulkoseinän eristyksessä on puutteita.