

Jalmari Haapalainen

**1940- JA 1950-LUVUILLA RAKENNETTujen PIENTALOJEN
ILMATIIVEYS**

1940- JA 1950-LUVUILLA RAKENNETTujen PIENTALOJEN ILMATIIVEYS

Jalmari Haapalainen
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Talonrakennus

Tekijä: Jalmari Haapalainen

Opinnäytetyön nimi: 1940- ja 1950-luvuilla rakennettujen pientalojen ilmatiiveys

Työn ohjaajat: Kimmo Illikainen, Oamk ja Kauko Tulla, Oamk

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014

Sivumäärä: 47 + 1

liitettä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä Suomessa rakennettujen 1940 - 1950-lukujen pientalojen ilmatiiveyteen sekä yleisimpien vuotokohtien paikantamiseen. Opinnäytetyö on tehty osana IEEB-hanketta, jossa Oulun ammattikorkeakoulu on mukana.

Tässä opinnäytetyössä mitattiin painekokeella eli tiiveysmittauksella 9 1940 - 1950-luvuilla rakennettua pientaloa Oulun alueelta. Painekoe suoritettiin standardin SFS-EN 13829 mukaan, menetelmällä B. Mittauksissa käytettiin Minneapolisin Blower Door -tiiveysmittauslaitteistoa. Tiiveysmittausten yhteydessä suoritettiin lämpökuvaus FLIR B400 Wetern -lämpökameralla. Tiiveysmittauksista saimme raportit mittauslaitteiston valmistajan tietokoneohjelmalla. Lämpökamerakuvaus teimme erilliset lämpökuvausraportit FLIR Reportter -ohjelmalla. Kaikki saadut tiedot raportoitiin IEEB-hankkeelle luotuun tietokantaan.

Tiiveysmittauksista saatiin n_{50} - ja q_{50} -luvut. Kaikkien mitattujen talojen n_{50} -luku vaihteli välillä 4,6 - 11,8 (1/h) ja q_{50} -luku vaihteli välillä 4,1 - 11,2 [$m^3/(m^2 \cdot h)$]. Keskiarvo n_{50} -luvulla oli 7,2 (1/h) ja q_{50} -luvulla 7,0 [$m^3/(m^2 \cdot h)$]. Mittaustuloksia verrattaessa Suomen rakennusmääräyskokoelman osan D3 asettamiin raja-arvoihin kaikki kohteet olivat G-luokassa, eli huonoimmassa luokassa. Lämpökameralla paikannetuista vuotokohdista tehtiin taulukko, jossa ilmeni vuotokohtien prosentuaalinen osuus. Vuotokohdista suurin osa sijaitti yläpohjan ja ulkoseinän liittymäkohdassa, mikä oli noin 31 % kaikista paikannetuista ilmavuodoista. Tiiveysmittaus- ja lämpökuvausraportit lähetettiin talojen omistajille. Niiden avulla talojen omistajien on helppo suorittaa tarvittavat korjaukset rakenteihin.

Asiasanat: tiiveysmittaus, ilmatiiveys, painekoe, lämpökuvaus, ilmanvuotoluku

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building Engineering

Author: Jalmari Haapalainen
Title of thesis: Airtightness of houses built in 1940s and 1950s
Supervisor(s): Kimmo Illikainen ja Kauko Tulla
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2014 Pages: 47 + 1
appendices

The objective of this thesis was to study airtightness of houses built in Finland in the 1940's and 1950's and also try find out the most common air-leakage places in them. This thesis was made as part of IEEB –project to Oulu University of Applied Sciences.

In this thesis 9 single family houses located in Oulu, Finland was measured by pressure test to find out their air-tightness. Pressure tests were made by standard SFS-EN 13829 with method B. Measurements were made with Minneapolis Blower Door air-tightness measuring equipment. In connection with air-tightness tests thermal imaging were made with FLIR B400 Western –thermal camera. By using the computer program made by the makers of the air-tightness measuring equipment we got air-tightness reports. From the thermal images we took we made detached thermal imaging reports with FLIR Reporter computer program. All gathered information was reported to the database made to the IEEB – project.

From air-tightness tests we received n_{50} and q_{50} numbers. From all the measured houses n_{50} number was in between 4,6 to 11,8 (1/h) and q_{50} number was in between 4,1 to 11,2 [$\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$]. Average of n_{50} number was 7,2 (1/h) and q_{50} number 7,0 [$\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$]. Comparing measure results set by the Finnish constructing instruction collection part D3, all of the buildings were in G-class which is the worst class. Leakage places located by thermal imaging were made as chart in which percentage of the leakages were shown. From all the leakage places most of them were located in the connection of ceiling and outer wall with the percentage of 31 from all located air-leakages. Air-tightness- and thermal imaging reports were set to the owners of the houses. Using them it is easier to the owners to make the necessary repairs.

Keywords: air-tightness test, air tightness, pressure test, thermal imaging, air leakage rate

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
MÄÄRITELMIÄ	7
1 JOHDANTO	8
2 RAKENTEIDEN ILMATIIVEYS	9
2.1 Konvektio	9
2.1.1 Savupiippuvaikutus	9
2.1.2 Tuulen aiheuttama paine-ero	10
2.1.3 Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttama paine-ero	11
2.2 Ilmavuotojen seuraukset	11
2.2.1 Ilmavuotojen vaikutus lämmitysenergiankulutukseen	12
2.3 Ilmavuodot osana uusia energiamääräyksiä	14
2.4 Tiiveysmittaus	15
2.4.1 Paineekoe	16
2.4.2 Tarvittava laitteisto	18
2.4.3 Virheeseen vaikuttavat asiat	20
2.4.4 Vuotokohtien paikantaminen	20
2.4.5 Raportointi	21
3 ILMATIIVEYDEN TOTEUTUS 1940- JA 1950-LUVUN RAKENTEISSA	22
3.1 Ilmatiiviiden rakenteiden toteutus	22
3.1.1 Ulkoseinät	22
3.1.2 Yläpohjat	23
3.1.3 Välipohjat	24
3.1.4 Alapohjat	25
3.1.5 Ikkuna- ja oviliitokset sekä läpiviennit	27
4 TIIVEYSMITTAUKSET	30
4.1 Kohteiden esittely	30
4.2 Mittaustulokset	31
4.2.1 Mittaustulosten vertailu	33
4.3 Vuotokohtien paikannus	35

4.4 Lämpökuvausraportti	37
4.4.1 Ulkoseinän ja yläpohjan liittymä	39
4.4.2 Ulkoseinän ja välipohjan liittymä	39
4.4.3 Alapohjan ja ulkoseinän liittymä	40
4.4.4 Ovet ja ikkunat	41
4.4.5 Ulkoseinien liittymä	42
4.4.6 Läpiviennit ja sähköasennukset	43
5 YHTEENVETO	45
LÄHTEET	47
LIITTEET	48

MÄÄRITELMIÄ

IEEB, Increasing Energy Efficiency in Buildings

Ilmatiiveys rakenteen kyky estää ilmavirtaus rakenteen eri kerrosten läpi. (Paloniitty 2012, 15).

Ilmansulku on ainekerros, joka estää haitallisen ilmavirtauksen rakenteen eri kerrosten läpi. (RT 80-10974. 2009).

Painekoe on rakennuksen vaipan ilmanpitävyyden tutkimiseen tarkoitettu koe, jossa rakennukseen luodaan yli- tai alipaine. (Paloniitty 2012, 14).

Tiiviysmittaus on ulkovaipan ilmapuotoluvun n_{50} ja q_{50} määrittäminen, joka suoritetaan 50 Pa:n paine-erossa. (Paloniitty 2012, 14).

Ilmanvuotoluku, n_{50} [1/h], kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu rakennuksen vaipan vuotoreittien läpi tunnissa 50 Pa:n paine-erossa. (Paloniitty 2012, 14).

Ilmanvuotoluku, q_{50} [$m^3/(h \cdot m^2)$], kuvaa 50 Pa:n paine-erossa rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa rakennusvaipan pinta-alaa kohden. (Paloniitty 2012, 15).

Rakennuksen vaippa muodostuu niistä rakennusosista, jotka erottavat rakennuksen sisäilman ulkoilmasta, maasta tai lämmittämättömästä tilasta. Näitä rakennusosia ovat ulkoseinät, ikkunat, ulko-ovet, alapohja sekä yläpohja. (Paloniitty 2012, 15).

Lämpökuvauus on toimenpide, jossa määritetään pinnan lämpötilajakauma. Lämpökuvauksen tarkoituksena on määrittää rakenteen lämpötekninen kunto, lämmöneristyskerroksen toimivuus ja rakenteellinen ilmatiiveys. (RT 14-10850. 2005.)

1 JOHDANTO

Rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttaa merkittävästi rakennuksen vaipan hyvä ilmatiiveys. Hyvä ilmatiiveys pienentää merkittävästi rakennuksen lämmittämiseen käytettävän energian kulutusta. Tiiviysmittauksella voidaan tutkia rakennuksen ilmatiiveyttä. Tiiviysmittauksessa tutkitaan rakenteiden vuotoilman määrää eli rakennuksen vaipan läpi kulkevaa vuotoilmaa.

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena perehtyä suomessa rakennettuihin 1940- ja 1950-luvun pientalojen ilmatiiveyteen painekokeen eli tiiviysmittauksen avulla. Tiiviysmittauksen yhteydessä on tarkoitus määrittää rakenteiden yleisimmät vuotokohtat lämpökuvauksen avulla. Yleisimpien vuotokohtien lisäksi työssä on tarkoitus määrittää rakennusten ilmapuotoluvut, kertoa tiiviysmittausprosessista ja antaa esimerkkejä ilmatiiviistä rakenteista. Tutkimuskohteena tässä työssä on ollut Oulun alueelta seitsemän pientaloa, jotka on rakennettu 1940- ja 1950-luvuilla.

Opinnäytetyö tehdään Oulun ammattikorkeakoululle osana IEEB-hanketta, jossa ovat Oulun ammattikorkeakoulun lisäksi mukana Oulun rakennusvalvonta, Luulajan tekniikan yliopisto, Uumajan yliopisto ja norjalainen NORUT-tutkimuslaitos sekä suomalaisia ja norjalaisia rakennusalan yrityksiä. IEEB-hankkeen tavoitteena on löytää uusia keinoja suunnitella ja rakentaa entistä energiatehokkaampaa rakennuskantaa sekä korjata vanhaa rakennuskantaa energiatehokkaamaksi.

2 RAKENTEIDEN ILMATIIVEYS

Rakenteen ilmatiiveydellä tarkoitetaan rakenteen hegittävyyttä tai epähengittävyttä eli kykyä vastustaa ilman liikkumista rakenteen läpi. Ilma voi kulkea rakenteen vaipan läpi pienien reikien, läpivientien ja liitosten kautta. (Paloniitty 2012, 12)

Ilmatiiveyttä mitattaessa on tarkoituksena tutkia rakennuksen vaipan läpi kulkevaa ilmavirtaa. Vaipassa olevien ilmapuotokohtien paikallistaminen on sitä helpompaa, mitä suurempi puotokohta on kyseessä. Myös pienet reiät ja aukot ovat merkittävä osa rakenteen ilmatiiveyttä. Pienien reikien ilmavirtausta voidaan laskea kaavalla 1 (Björkholtz 1987), jossa aikayksikkönä on sekuntti. (Paloniitty 2012, 13)

$$Q = 0,8 \cdot A \cdot \sqrt{\Delta p}$$

KAAVA 1

A = reiän pinta-ala [m²]

$\sqrt{\Delta p}$ = neliöjuuri paine-erosta

2.1 Konvektio

Konvektiota eli ilman liikettä aiheuttavat paine- ja lämpötilaerot sisä- ja ulkoilman välillä. Konvektiota voi olla kahdenlaista: pakotettua sekä luonnollista. Luonnollisessa konvektiossa lämpötilaerot aiheuttavat tiheyseron, jonka vuoksi ilma liikkuu. Pakotetussa konvektiossa paine-ero, jonka aiheuttaa jokin ulkopuolinen voima liikuttaa ilmaa. Konvektion aiheuttajia ovat esimerkiksi savupiippuvaikutus, tuuli ja ilmanvaihtojärjestelmät. (Paloniitty 2012, 13)

2.1.1 Savupiippuvaikutus

Savupiippuvaikutukseksi kutsutaan ilmiötä, jossa lämmennyt ja tiheydeltään pienentynyt huoneilma aiheuttaa huoneen yläosaan ylipainetta, kun se nousee ylöspäin. Tästä johtuen rakennuksen alaosaan alkaa virrata kylmää ilmaa sisälle ja rakennuksen yläosaan lämmintä ilmaa ulos. Huoneilman ollessa alaosaan alipaineinen ja yläosaan ylipaineinen syntyy painekenttien väliin niin sanottu neutraaliakseli, jonka paine vastaa ulkoilman painetta. Neutraaliakselin si-

jainti riippuu rakennuksen tiiveydestä. Vuotokohtien ollessa rakennuksen yläosissa neutraaliakseli sijaitsee ylhäällä, jolloin rakennuksen alaosassa on suurempi alipaine. Vuotokohtien ollessa rakenteiden alaosissa yläosan ylipaine on suurempi ja neutraali akseli sijaitsee alhaalla. Ulko- ja sisäpuolen väliset lämpötilaerot ja rakennuksen korkeus korostavat savupiippuilmiön vaikutusta. Savupiippuilmiön aiheuttamien paine-erojen suuruus voidaan laskea kaavasta 2 (Björkholtz). (Paloniitty 2012, 9)

$$\Delta p = 0,043 \cdot \Delta t \cdot h$$

KAAVA 2

Δp = paine-ero (Pa)

Δt = $t_s - t_u$ (°C)

t_u = ulkolämpötila (°C)

t_s = sisälämpötila (°C)

h = etäisyys neutraaliakselista (m)

2.1.2 Tuulen aiheuttama paine-ero

Myös tuuli voi aiheuttaa paine-eron sisä- ja ulkoilman välille. Tuulen voimakkuus, suunta, rakennuksen muoto ja sijainti vaikuttavat paine-eron suuruuteen. Rakennuksen korkeus ja suojaisuus vaikuttavat myös joko korostavasti tai alentavasti tuulen aiheuttamaan paine-eroon. Esimerkiksi tiheässä metsässä sijaitsevaan pyöreään taloon tuulen aiheuttaman paine-eron vaikutus on pienempi, kuin avaralla olevaan korkeaan neliskulmaiseen taloon.

Tuulipainekentän vaikutus on vaikea määrittää tarkasti, mutta tuulen yleisesti aiheuttamaa painetta voidaan arvioida Bernoullin yhtälöllä kaavalla 3.

(Paloniitty 2012, 10)

$$\rho = c \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

KAAVA 3

ρ = tuulesta aiheutuva paine-ero (Pa)

c = tuulen suunnasta ja rakennuksen muodosta riippuva vakio

ρ = ulkoilman tiheys (kg/m³)

v = tuulen nopeus (m/s)

2.1.3 Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttama paine-ero

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmään on useita vaihtoehtoja: se voidaan toteuttaa joko painovoimaisena tai koneellisen poisto- tai koneellisen poisto- ja tuloilmanvaihdon avulla. Savupiippuilmioön perustuva painovoimainen ilmanvaihto toimii siten, että vaipan rakojen ja tuloilmaventtiilien kautta tuleva kylmä ilma lämpenee ja nousee ylöspäin. Lämmennyt ilma poistuu poistoventtiilien kautta ulkoilmaan. Painovoimainen ilmanvaihto toimii sitä paremmin, mitä suurempi tuulen nopeus on ulkona ja mitä suuremmat lämpötilaerot ovat sisä- ja ulkoilman välillä. Painovoimaisen ilmanvaihdon ongelma on tyyni ja lämmin kesäpäivä, jolloin lämpötilaeroja ei ole eikä tuuli aiheuta paine-eroja rakenteiden välille. (Paloniitty 2012, 11-12)

Koneellinen poistoilmanvaihto tai sekä poisto- että tuloilmavaihto on kehitetty painovoimaisen ilmanvaihdon ongelman ratkaisemiseksi. Koneellinen poistoilmanvaihto synnyttää rakennukseen alipaineen puhaltamalla likaisen ilman sisätilasta venttiilien kautta ulkoilmaan, jolloin puhdas ulkoilma pääsee virtaamaan rakennuksen sisälle. Tehokkain tapa hoitaa rakennuksen ilmanvaihto on säädeltävä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa raikas ulkoa tuleva ilma voidaan puhdistaa, lämmittää ja jäähdyttää koneellisesti. Ilmanvaihtojärjestelmät säädetään yleensä siten, että sisätilaan syntyy pieni alipaine, jotta kostea sisäilma ei vaurioittaisi rakenteita ja aiheuta esimerkiksi homekasvustoa rakenteihin. Koneellisen ilmanvaihdon toimivuuteen ja tarkkuuteen vaikuttaa rakennuksen vaipan tiiveys: mitä tiiviimpi vaippa, sitä tarkemmin ilmanvaihto toimii. (Paloniitty 2012, 12)

2.2 Ilmavuotojen seuraukset

Rakennuksessa vallitseva ali- tai ylipaine voivat aiheuttaa ilmavuotoja rakenteihin. Ylipaine syntyy rakennukseen yleensä savupiippuilmion vaikutuksesta, ja sen voi kumota hyvin toimivalla ilmanvaihdolla. Ylipaine syntyy yleensä kattorakenteihin ja ullakkotiloihin. Myös rakennuksen korkeus, puuttuva poistoilmanvaihto tai korkea lämpötila voi aiheuttaa ylipainetta. Rakennuksen ollessa ylipaineinen sisäilman kosteus voi kulkeutua rakenteihin ja aiheuttaa kosteus- ja homevaurion. Ilmavuodon kautta kulkeutuva ilma kuljettaa mukanaan ilman sisä-

Itävän vesihöyryn. Tätä ilmiötä kutsutaan kosteuden konvektioksi. Kosteuden konvektio johtuu aina ilmavirrasta. Vesihöyryä on aina ilmassa kaasumaisena seoksena, jota ilmavirta ottaa mukaansa. Kosteusvirta voidaan laskea kaavasta 4. (Paloniitty 2012, 16-17)

$$g = v \cdot Q$$

KAAVA 4

$$g = \text{kosteusvirta [g/s]}$$

$$v = \text{vesihöyrynpitoisuus ilmassa [g/m}^3\text{]}$$

$$Q = \text{ilmavirta [m}^3\text{/s]}$$

Rakennuksen ollessa alipaineinen kuiva ulkoilma virtaa sisään, mikä ei aiheuta kosteuden tiivistymistä rakenteihin. Ulkoilman virratessaan sisään se voi aiheuttaa vedontunnetta ja muita riskejä. Esimerkiksi ilmavirran mukana voi kulkeutua mikrobeja, radonia ja muita ilman epäpuhtauksia, jotka aiheuttavat haittaa asuinmukavuudelle sekä terveydelle. (Paloniitty 2012, 17)

2.2.1 Ilmavuotojen vaikutus lämmitysenergiankulutukseen

Yksi tärkeimmistä rakennuksen tiivyyden vaikutuksista on rakennuksen energia- kulutuksen pieneneminen. Tiiviissä rakennuksessa lämpö ei karkaa ulos eikä kylmää ilmaa pääse rakennuksen sisälle. Tavanomaisessa rakennuksessa, jonka n_{50} -luku on 4.0 1/h, vuotoilma aiheuttaa noin 15-30 % lämmitysenergiantarpeesta. Lämmitysenergiantarve kasvaa noin 7 % jokaista n_{50} -luvun kokonaisyksikön muutosta kohti. (Aho – Korpi 2009, 7)

Lämmitykseen tarvittavan energian laskemiseen tarvitaan kolme kaavaa, jotka löytyvät Suomen Rakennusmääräskokoelmasta osassa D3 2012. Lähtötietoina tarvitaan kohteen ilmavuotoluku q_{50} , vaipan ala ja paikkakunnan lämmöntarveluku/astepäiväluku sekä tarkastelujakson pituus. Ilmavuotokohtien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$ voidaan laskea kaavalla 5. (Paloniitty 2012, 18)

$$Q_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} \cdot (T_s - T_u) \cdot \Delta t / 1000$$

KAAVA 5

$$H_{\text{vuotoilma}} = \text{vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K}$$

$$T_s = \text{sisälämpötila [}^\circ\text{C]}$$

$T_u = \text{ulkolämpötila } [^{\circ}\text{C}]$

$\Delta t = \text{ajanjakson pituus } [h]$

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Vuotoilman ominaislämpöhäviö $H_{\text{vuotoilma}}$ lasketaan kaavalla 6. (Paloniitty 2012, 18)

$$H_{\text{vuotoilma}} = \rho_i \cdot c_{\rho_i} \cdot q_{v,\text{vuotoilma}}$$

KAAVA 6

$\rho_i = \text{ilmantiheys, } 1,2 \text{ kg/m}^3$

$c_{\rho_i} = \text{ilman ominaislämpökapasiteetti, } 1000 \text{Ws/(kgK)}$

$q_v = \text{vuotoilmavirta } [m^3/s]$

Vuotoilmavirta q_v lasketaan kaavalla 7. (Paloniitty 2012, 18)

$$q_{v,\text{vuotoilma}} (m^3/s) = (q_{50}/3600 \cdot X) \cdot A_{\text{vaiippa}}$$

KAAVA 7

$X = \text{kerroin:}$

1-kerroksiset 35

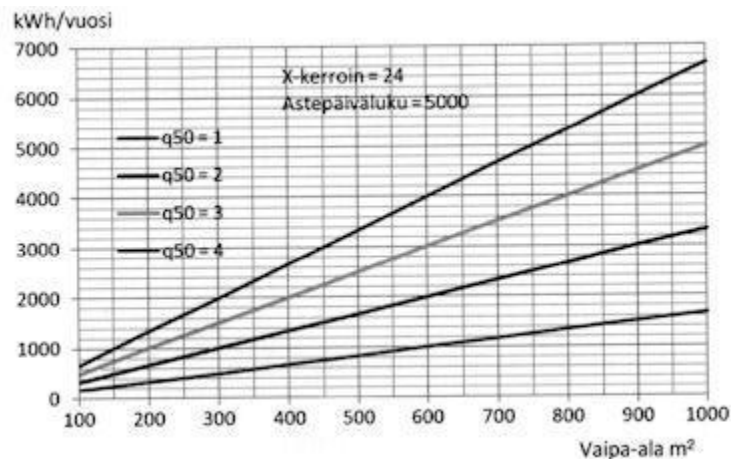
2-kerroksiset 24

3-4 kerroksiset 20

5-kerroksiset ja sitä korkeammat 15.

X-kerroin perustuu kenttäkokeiden tuloksiin. X-kertoimella muutetaan 50Pa:n paine-erolla tapahtuva ilmavuotomäärä vastaamaan normaalia käyttötilanteen paine-eron ilmavuotomäärää. (Paloniitty 2012, 18)

Kuvassa 1 on esitetty peintalojen energiankulutus kWh/vuodessa eri ilmavuotoluilla suhteessa rakennuksen vaipan alaan. Laskennassa on vakioitu X-kerroin 24 ja astepäiväluku 5000 vrkC. Talojen energiankulutus muuttuu lineaarisesti, kuten kuvasta ilmenee. (Paloniitty 2012, 19)



KUVA 1. Hallitsemattomien ilmanvuotojen kautta kulkeutuvan vuotoilman lämmittämiseen kuluva energia pienissä rakennuksissa (Paloniitty 2012, 20)

2.3 Ilmavuodot osana uusia energiamääräyksiä

Uudisrakennuksia koskevat nykyiset energiamääräykset tulivat voimaan 1.7.2012. Uusissa määräyksissä otettiin käyttöön rakennuksen kokonaisenergiankulutusta kuvaava suure, E-luku. Uusien määräysten myötä uudisrakennuksista on laadittava energiaselvitys, johon kuuluu myös energiatodistus. Parannus vanhaan energiatehokkutteeseen uusilla määräyksillä on noin 20 prosenttia. (RakMK D3 2012. 2011)

E-luku tarkoittaa rakennuksen ostoenergiakulutusta rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jota painotetaan energiamuotojen kertoimilla. E-luku saadaan, kun ostoenergian ja energiamuotojen tulot lasketaan yhteen energiamuodoittain. Energiamuodoilla kertoimet vaihtelevat ja laskennassa suositaan uusiutuvia energia muotoja. Uusiutuvaa omavaraisenergiaa ei luokitella ostoenergiaksi, vaan se vähentää ostoenergian kulutusta E-lukua laskettaessa. (RakMK D3 2012. 2011, 4)

Uusissa määräyksissä q_{50} -luku korvasi vanhan n_{50} -luvun. Vanhalla n_{50} -luvulla rakennuksen ilmatiiveyttä laskettiin rakennuksen tilavuuden kautta, kun taas uudessa q_{50} -luvussa ilmatiiveyttä lasketaan rakennuksen vaipan pinta-alan suhteen. Uusissa määräyksissä ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ [m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)\text{]}$.

Jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä, ilmanvuotoluku q_{50} saa ylittää arvon $4 \text{ [m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)\text{]}$. Jos rakennuksen ilmanpitävyyttä ei ole osoitettu mittaamalla tai muulla menettelyllä, käytetään ilmanvuotolukua $q_{50} = 4 \text{ [m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)\text{]}$. Suositus arvo q_{50} -luvulle on alle $1 \text{ [m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)\text{]}$ hyvän sisäilmaston, kosteusteknisen turvallisuuden ja energiatehokkuuden kannalta. Passiivitalossa q_{50} -luvun tulee olla alle $0,6 \text{ [m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)\text{]}$. (RakMK D3 2012. 2011, 5-6)

TIIVIYSMITTAUSLUOKITUS



KUVA 2. Tiiveysmittausyksiköiden q_{50} ja n_{50} energialuokituksena käytetyt rajat (Paloniitty 2012, 64)

2.4 Tiiveysmittaus

Suomessa tiiveysmittaus eli vaipan ilmanpitävyyden mittaaminen suoritetaan painekokeella standardin SFS-EN 13829 mukaan. Rakennustieto Oy:n ohjekortista RT 80-10974, saadaan täydennyksiä edellä mainittuun ohjeeseen. (RT 80-10974. 2009)

Rakennusten tiiveyden mittaaminen laadunvalvontamittauksena on yleistynyt merkittävästi viime vuosien aikana. Tiiveyden todentaminen on yleistynyt energiatodistuksen myötä, vaikka vaipparakenteiden ilmatiiviydestä on puhuttu jo kymmeniä vuosia. Tiiveysmittauksella voidaan määrittää ilmavuotoluku q_{50} , joka tarkoittaa rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä, eli hallitsemattomien ilmavuoto-

jen määrää. Ilmavuotoliukua tarvitaan lähtötietona rakennuksen lämmöntarpeen laskennassa. Uudisrakennuksissa lämmöntarvetta tarkastellaan rakennuslupa- vaiheessa lämpöhäviöiden tasauslaskelmassa sekä energiasevitystä ja - todistusta laadittaessa. Lämmöntarvetta tarkastellaan käytössä olevien rakennusten osalta energiakatselmuksen yhteydessä sekä mahdollisen energiatodistuksen laatimisen yhteydessä. (Paloniitty 2012, 7, 16)

Uudisrakennuksissa tiiviysmittaus on hyvä tehdä ennen pintatöiden tekemistä, kun rakennuksen vaippa on ilmatiiveydellisesti valmis. Silloin ilmavuotoluku q_{50} antaa hyvän suuntaa antavan tiedon rakennuksen ilmatiiveydestä, ja mahdolliset ilmavuodot on helppo paikallistaa lämpökameralla ja korjata mahdolliset virheet vaipan tiiveydessä vielä, kun se on helposti tehtävissä. Tällä tavoin rakennuksista saadaan ilmatiiviimpiä ja talon lämmittämiseen tarvittavan energian määrä on pienempi sekä energiatodistus on parempi. Lopullinen tiiviysmittaus täytyy tehdä uudisrakennuksissa, kun talo on valmis asumiskäyttöön, ja rakennusaikaiset mittaukset ovat osa laadunvalvontaprosessia. (Paloniitty 2012, 16, 90)

2.4.1 Paineekoe

Rakennuksen tiiveyttä mitataan niin sanotulla paine-eromenetelmällä, jossa puhallimella tai rakennuksen omalla ilmanvaihtolaitteistolla aiheutetaan rakennuksen sisälle paine-ero ulkoilmaan nähden. Puhallin asennetaan yleensä ulkooveen, mutta sen voi asentaa myös ikkunan tai tuuletusluukun paikalle. (Paloniitty 2012, 29)

Mittaus tehdään portaittain usealla paine-erolla, yleensä vähintään viidellä, 20 Pa:sta 60 Pa:iin. Paine-eron ylläpitämiseksi tarvittavat ilmamäärät mitataan. Mittaussarjasta saadaan ilmavuotokäyrä, jonka avulla voidaan laskea 50 Pa:n paine-eroa vastaava ilmamäärä. Kyseisen paine-eron ylläpitämiseksi tunnin aikana tarvittava ilmamäärä voidaan jakaa mitattavan tilan ilmatilavuudella ja tulokseksi saadaan ilmavuotoluku n_{50} . Jos ilmamäärä jaetaan vaipan alalla, tulokseksi saadaan ilmavuotoluku q_{50} . Ilmavuotoluku n_{50} esitetään yksikössä 1/h, eli kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu rakennuksen vaipan vuotoreittien läpi tunnissa. Ilmavuotoluku q_{50} esitetään yksikössä [$m^3/(h \cdot m^2)$], eli

rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Ilmavuotokoku n_{50} voidaan laskea kaavalla 8. (Paloniitty 2012, 29)

$$n_{50} = Q_{50}/V$$

KAAVA 8

n_{50} = rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla [1/h]

Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla [m^3/h]

V = rakennuksen/mitattavan osan sisätilavuus [m^3]

Ilmavuotoluku q_{50} voidaan laskea kaavalla 9. (Paloniitty 2012, 29)

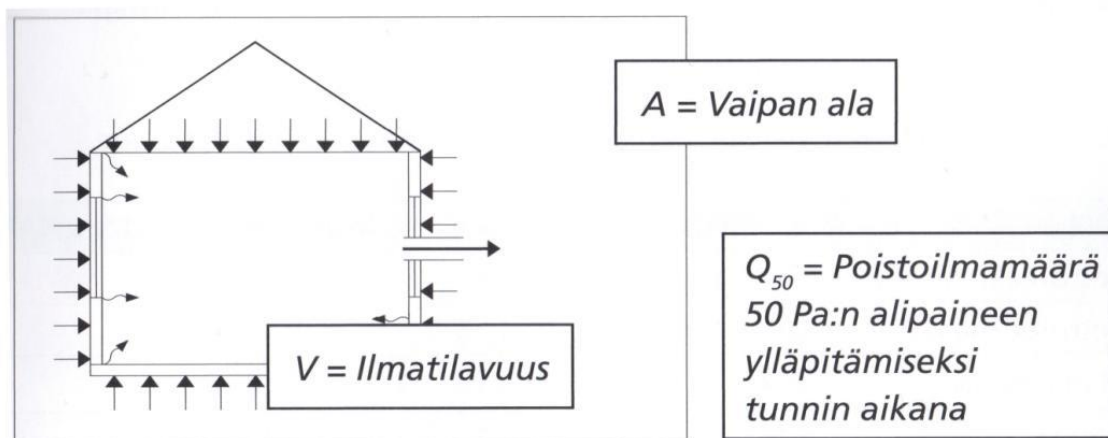
$$q_{50} = Q_{50}/A$$

KAAVA 9

q_{50} = rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla [$m^3/(h \cdot m^2)$]

Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla [m^3/h]

A = rakennuksen/mitattavan osan ulkovaipan ala [m^2]



KUVA 3. Rakennuksen tiiveysmittauksen periaate (Paloniitty 2012, 29)

Paine-eromenetelmä eli painekoe tehdään standardin SFS-EN 13829 mukaan. Paineekokeen voi tehdä kahdella eri menetelmällä A tai B, joista menetelmä B on yleisimmin käytetty. Menetelmässä A ventileitä tai tulisioja ei tiivistetä vaan ne ainoastaan suljetaan, ja tätä menetelmää kutsutuaan käyttötilanne mittaukseksi. Menetelmässä B kaikki mahdolliset ilmavuotoaukot tiivistetään, eli ilmanvaihto-

sekä korvausilmaventtiilit, tulisijat, liesituulettimet, ja tulisijojen pellit. Tiivistyksessä voidaan käyttää teippiä, muovia tai ilmapalloja. Ulko-ovet ja ikkunat täytyy sulkea mittauksen ajaksi, eikä niitä saa avata ja mitattavien tilojen ovien täytyy olla auki, jotta ilma pääsee kiertämään vapaasti rakennuksen sisällä. (RT 80-10974. 2009, 10)

Ennen mittauksen aloittamista on päätettävä mitattavien tilojen rajat. Yleisesti kaikki lämmitetyt ja jäädytetyt tilat sekä tilat, joissa on koneellinen ilmanvaihto ja jotka ovat selvästi ilmanpitävän vaipan sisäpuolella, otetaan mittaukseen mukaan. Jos mitattavaan tilaan liittyy tila, joka on selvästi ilmanpitävän vaipan ulko-puolella eikä tilan vaippa rakenteissa ole tiivistä ilmansulkua, jätetään tila mittauksen ulkopuolelle. Tällöin mitattavasta tilasta tähän tilaan johtavat kulkuaukot ja ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot suljetaan ja tiivistetään. Kun mitattavat tilat on määritetty, lasketaan mittavien tilojen ilmatilavuus ja vaipan ala. Rakennuksen ilmatilavuus saadaan määritettyä huonekorkeuden ja mitattavien tilojen pinta-alan tulosta. Välipohjat jätetään pois ilmatilavuuden laskemisesta. Vaipan ala saadaan määritettyä, kun ulkoseinien pinta-ala sisämittojen mukaan sekä ylä-pohjan ja alapohjan pinta-alat lasketaan yhteen. Ulkoseinässä olevia aukkoja ei vähennetä vaipan alasta. (RT 80-10974. 2009, 12)

2.4.2 Tarvittava laitteisto

Suomessa on saatavilla ainakin neljän eri valmistajan tiiviysmittauslaitteita, jotka ovat Retrotec, Minneapolis, Wöhler ja Swema. Tiiviysmittauksen voi tehdä rakennuksen omilla ilmanvaihtojärjestelmillä, mutta on suositeltavaa, että mittaus tehtäisiin tiiviysmittausta varten valmistetuilla ja kalibroiduilla laitteilla, sillä mittaustulos on huomattavasti tarkempi. (Paloniitty 2012, 30)

Valmistajasta riippumatta mittauslaitteisto on aina sama, ja niihin kuuluvat ilmamäärämittauksella varustettu puhallin, ovi- tai ikkuna-asennuskehikko ja lakana, paine-eromittausyksikkö, ohjausyksikkö sekä paine-eroletkut ja virtajohdot. Mittaus voidaan tehdä pelkällä laitteistolla, mutta ne on suunniteltu toimimaan valmistajan tietokoneohjelman avulla. Jokaisella valmistajalla on oma tietokoneohjelma, joka ohjaa automaattisesti mittausta, tekee tarvittavat

laskelmat ja luo mittaus raportin. Raportointitapa riippuu valmistajasta. Tässä opinnäytetyössä käytimme Minneapolis-tiiviysmittauslaitteistoa (kuva 4 ja kuva 5). (Paloniitty 2012, 30)



KUVA 4. Minneapolis-tiiviysmittauslaitteisto sisältöineen (Paloniitty 2012, 33)



KUVA 5. Minneapolis-tiiviysmittauslaitteisto käyttövalmiina (Realtest 2014)

Tiiviysmittauskaluston lisäksi tiiviysmittauksessa tarvitaan etäisyysmittalaite, jolla voidaan mitata rakennuksen vaipan-ala ja ilmatilavuus. Lisäksi tarvitaan lämpömittari, jolla voidaan mitata ulko- ja sisälämpötilat. Tarvitaan myös teippiä, muovia sekä ilmapalloja, joilla voidaan tehdä tarvittavat tiivistykset. Kannettava tietokone ja painekoeohjelma, johon syötetään kaikki tarvittavat tiedot, jotta ohjelma pystyy ilmoittamaan tiiviysmittauksen tuloksen. Lämpökamera, jolla vuotokohtat voidaan paikantaa, kun rakennus on alipaineistettu. Tikkaat, joilla pääsee katolle tai joita voi käyttää apuna sisällä korkealla sijaitsevia ilmanvaihtoventtiileitä tukittaessa. (Paloniitty 2012, 34)

2.4.3 Virheeseen vaikuttavat asiat

Tiiviysmittausta tehtäessä on tärkeää, että tulos on luotettava. Tuloksen luotettavuuteen vaikuttavat tuulen nopeus ja savupiippuilmiö, jotka vaikuttavat rakennuksen paine-ero-olosuhteeseen. Jos tuulen nopeus ylittää arvon 6 m/s, painekoetta ei saa suorittaa, koska siitä ei saada riittävän luotettavaa tulosta. Savupiippuilmiöllä on liian suuri vaikutus mittaustuloksiin, jos sisä- ja ulkolämpötilojen erotus kerrottuna rakennuksen korkeudella ylittää arvon 500 m°C. (Paloniitty 2012, 37)

2.4.4 Vuotokohtien paikantaminen

Ilmavuotokohtien paikantaminen rakenteissa on olennainen osa tiiveysmittausta. Suurimmat ja merkittävimmät ilmavuotokohtat tulee aina paikantaa, jotta voidaan todistaa, että teippaukset ja tulppaukset ovat onnistuneet ja mittaustulos on luotettava. Ilmavuotopaikkoja ei tarvitse raportoida, jos rakennuksen tiiviys täyttää sille vaaditun tason. Jos rakennuksen tiiviys ei täytä sille vaadittua tasoa, kaikki ilmavuotopaikat dokumentoidaan ja raportti luovutetaan tilaajalle. Ilmavuotokohtat voidaan paikantaa lämpökuvauksella tai merkkisavulla. Lämpökuvauus on tehokkaampi keino näistä kahdesta, sillä kuvasta voidaan lukea helposti vuotokohtien laatu ja laajuus. (Paloniitty 2012, 58)

2.4.5 Raportointi

Rakennuksen tiiviysmittauksesta tehdään aina vähintään tiiviysmittauspöytäkirja, joka toimii rakennuksen tiivistodistuksena esimerkiksi rakennusvalvontaa varten. Tiiviysmittauspöytäkirjassa ilmoitetaan lasketut ilmavuotoluvut, tiiviysmittauksen energialuokka, mittauksen tekijän yhteystiedot, mittausaika, kohteen tiedot, säätiedot, sisälämpötila, käytetty laitteisto, mittaustulokset ja vuotoilmakäyrä. (Paloniitty 2012, 63)

Tiiviysmittauksesta laaditaan laajempi tiiviysmittausraportti, jos siitä on asiakkaan kanssa sovittu. Tiiviysmittausraporttiin sisältyy tiiviysmittauspöytäkirjan lisäksi mittauksen tavoite, lyhyt johdanto ja selitysosa tiiviysmittaukseen. Lisäksi käytetyt menetelmät, tiivistymenetelmät, tiivistyspaikat, arvioitu virhetoleranssi, havainnot ja johtopäätökset. Jos myös ilmavuotojen paikannuksesta on sovittu asiakkaan kanssa, ne raportoidaan erikseen esimerkiksi lämpökuvauksella, jossa selkeästi näkyy vuotokohdat. (Paloniitty 2012, 63-64)

3 ILMATIIVEYDEN TOTEUTUS 1940- JA 1950-LUVUN RAKENTEISSA

1940 - 50-luvulla sodan jälkeen rakennettiin tyyppitaloja, joita olivat suunnittelemassa maan parhaat arkkitehdit. Talot olivat ulkoasultaan vaatimattomia sekä muistuttivat paljon toisiaan. Pohjaratkaisultaan talot olivat selkeitä suorakaiteita ja rakenteeltaan puurakenteisia, pysty- tai vaakalaudoitettuja. Tyyppitalot olivat puolitoistakerroksisia ja ne poikkesivat aikaisemmasta rakentamisesta niin paljon, että muuttivat maaseudun kuvan täysin. Ilman- ja höyrynsulkuna käytettiin tervapaperia. 1940-luvulla lämmöneristeenä käytettiin pääosin sahanpurua ja kutterilastua, joita saatiin sivutuotteena saha- ja puuseppäteollisuudesta. 1950-luvulla mineraalivilla alkoi syrjäyttää purueristeitä. (Broström 2008, 11, 39)

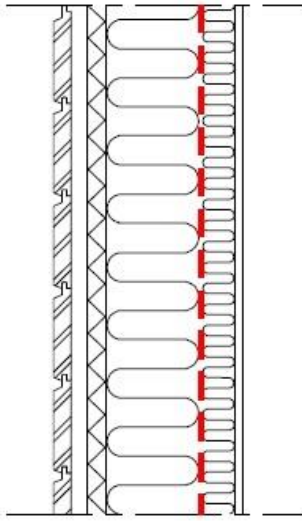
3.1 Ilmatiiviiden rakenteiden toteutus

Rakenteen ilmatiiviyys yleensä toteutetaan erillisellä ilmansulkukerroksella. Ilmansulkukerroksena toimii myös höyrynsulku, joka tarvitaan aina kerroksellisissa rakenteissa. Ilmansulkukerroksen tulee säilyä ilmanpitävänä koko rakennuksen käyttöajan ajan. Rakenteiden ja niiden liittymien muodonmuutokset voivat vaikuttaa ilmansulkukerroksen ilmanpitävyyteen. Tästä johtuen rakennukset tulee suunnitella siten, ettei merkittäviä muodonmuutoksia pääse syntymään. Ilmansulkukerrokseen rakennusaikana syntyvät reiät tulee paikata ilmansulkukerroksen tyypistä riippuen eri menetelmillä. (Aho – Korpi 2009, 10-11)

3.1.1 Ulkoseinät

Yleisin asuinrakennuksissa käytetty runkomateriaali on puu. Ilman- ja höyrynsulku toteutetaan puurunkoisissa rakennuksissa yleensä yhdellä yhtenevällä kerroksella. Ilman- ja höyrynsulkuna yleensä käytetään muovikalvoa tai solumuovieristyslevyä. Ilmansulku sijoitetaan joko suoraan sisäpinnan levyn taakse tai noin 50 mm:n etäisyydelle levystä lämmöneristeen sisään. Jälkimmäinen tapa on parempi hyvän ilmatiiveyden saavuttamiseksi, koska sulku on paremmin suojassa esimerkiksi seinään lyödyiltä nautoilta. Lisäksi seinään

upotetut sähköasiat ja seinälevyn takana kulkevat sähköputket voidaan asentaa sulkua rikkomatta. (Aho - Korpi 2009, 12)



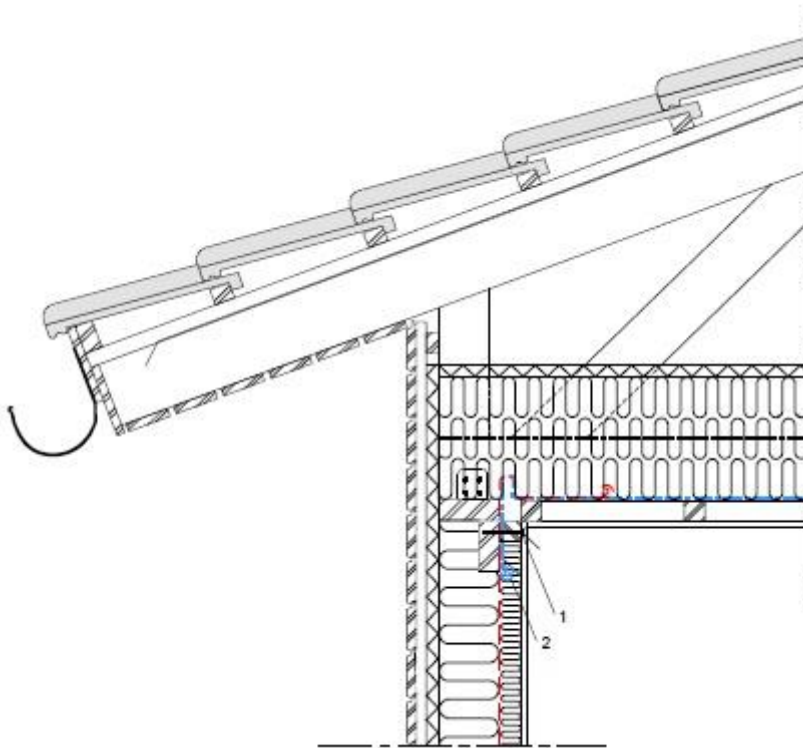
KUVA 6. Ulkoseinä jossa ilman- ja höyrynsulku on asennettu 50mm etäisyydelle sisäpinnasta (Aho - Korpi 2009, 13)

3.1.2 Yläpohjat

Puurakenteisissa sekä kivrakenteisissa rakennuksissa Suomessa yleisimmin käytetty yläpohjaratkaisu on puurakenteinen yläpohja. Puurakenteisessa yläpohjaratkaisussa ilman- ja höyrynsulku sijoitetaan samalla tavalla kuin puurunkoisissa seinissä eli rakenteen sisäpintaan. Ilmansulkuna voidaan samalla tavalla käyttää joko muovikalvoa tai solumuovieristyslevyä. Muovikalvoa käytettäessä yläpuoleiset lämmöneristeet saattavat painaa kalvoa tai sen liitoskohtaa niin, että liitoskohta tai kalvo ajan myötä venyy tai menee rikki. Muovikalvon venyminen tulee estää riittävän tiheällä rimoituksella tai laudoituksella. Muovikalvon liitoskohdat tulee limittää ja teipata yhteen riittävän tartuntakyvyn sekä pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä. Liitoskohdat on myös hyvä puristaa tiiviisti yhteen puurimoilla. Solumuovieristyslevyjen liitokset saadaan tiiviiksi vaahdottamalla. Liitoskohdat on myös hyvä teipata, koska vaahtosaumat saattavat haljeta rakenteiden elämisen takia. (Aho - Korpi 2009, 18-19)

Kuvassa 7 näkyy puurakenteisen yläpohjan ja ulkoseinän välinen liitos, kun ilmansulkuna on käytetty muovikalvoa. Kuvan 7 kohdassa 2 yläpohjan

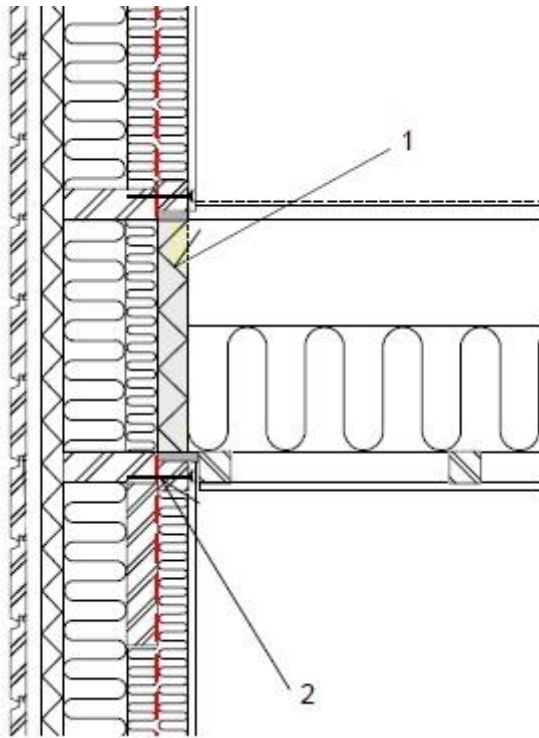
ilmansulkukalvo on tuotu limittäin yhteen ulkoseinän ilmansulkukalvon kanssa sisäverhouslevyn kiinnitysriman alapuolelle. Liitos puristetaan vielä tiiviisti yhteen samalla kiinnitysrimalla, jotta saadaan riittävän tiivis lopputulos, kuvan 7 kohta 1. Rakennuksen nurkissa ilmansulkukalvot laskostetaan, limitetään ja teipataan yhteen. (Aho - Korpi 2009, 51)



KUVA 7. Puurakenteisen yläpohjan ja ulkoseinän välinen liitos (Aho - Korpi 2009, 50)

3.1.3 Välipohjat

Kuvassa 8 näkyy puurakenteisen ulkoseinän ja välipohjan liitos, kun ilmansulkuna on käytetty muovikalvoa. Kuvan 8 kohdassa 1 näkyy solumuovieristyslevy, joka on asennettu välipohjan kohdalle, palkkien väliin. Levy on tiivistetty vaahdottamalla levyn jokaiselta reunalta palkkeihin ja seinän alaosan riman väliin. Kuvan 8 kohdassa 2 seinän ilmansulkukalvo on puristettu tiiviiksi seinän yläohjauspuuhun sisäverhouslevyn yläkiinnityksrimalla. Vastaava tiivistys tehdään ylempässä kerroksessa seinän alaohjauspuuhun. (Aho - Korpi 2009, 69)

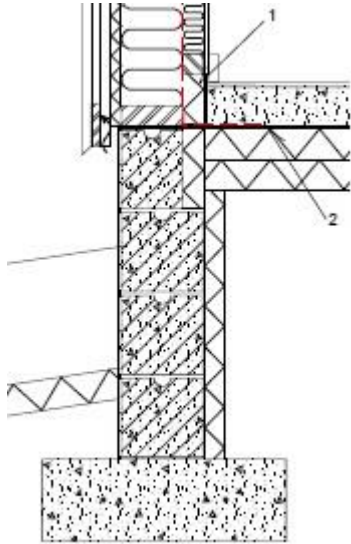


KUVA 8. Puurakenteisen ulkoseinän ja välipohjan liitos (Aho - Korpi 2009, 68)

3.1.4 Alapohjat

Ilmanpitävä alapohjarakenne edesauttaa hyvän sisäilman laadun saavuttamista. Alapohjarakenteiden läpi virtaava ilma kuljettaa mukanaan paljon epäpuhtauksia, joista haitallisin on radon-kaasu. Suurin huomio maanvaraisissa alapohjissa tulee kiinnittää rakenteen liitoksiin ja läpivienteihin, koska paikallavaletut teräsbetonilaatat ovat rakenteina riittävän ilmanpitäviä. (Aho - Korpi 2009, 22)

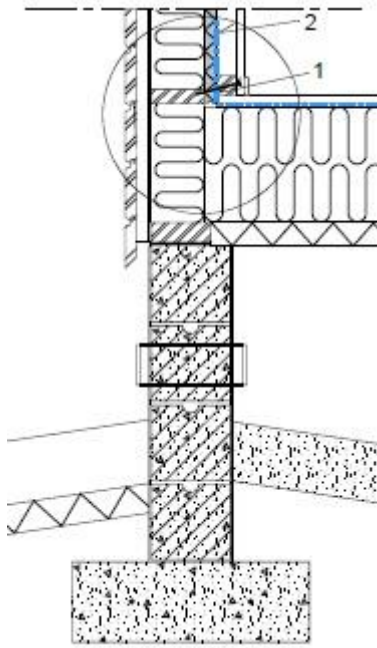
Kuvassa 9 näkyy puurakenteisen ulkoseinän ja maanvaraisen betonilaatan liittymä kohta. Kuvan tapauksessa betonilaatta on valettu seinien pystytyksen jälkeen. Kuvan 9 kohdassa 1 seinän ilmansulkukerrosta vasten asennetaan muovieristelevykaista, joka on vähintään laatan paksuinen, jotta betonia ei menisi väärin paikkoihin. Kuvan 9 kohdassa 2 seinän alajuoksupuun alta on tuotu kumibitumikermikaista betonilaatan alle. Kumibitumikermikaista estää haitalliset ilmavuodot sekä kosteuden kondensoitumisen puurakenteisiin. Seinän ilmansulkumuovi taitetaan kermikaistan päälle, liitoksen tiiveyden varmistaa yläpuoleisten rakenteiden paino. (Aho - Korpi 2009, 29)



KUVA 9. Puurakenteisen ulkoseinän ja maanvaraisen alapohjan liitos (Aho - Korpi 2009, 28)

Ryömintätilan tehokas tuuletus on olennaista puurakenteisilla tuulettuvilla alapohjilla. Ryömintätilan kylmäilma ei saa päästä alapohjarakenteen lämmöneristekerrokseen, ja tästä johtuen lattiarakenteen tuulensuojan pitäisi olla lämpöä eristävä, kosteutta kestävä sekä riittävän ilmatiivis. Tuulensuoja sijaitsee rakenteen kylmässä pinnassa, joten se ei saa toimia rakenteen höyrinsulkuna. Puurakenteisessa tuulettuvassa alapohjassa on hyvä olla erillinen ilmansulkukerros lattian levyrakenteen alla. Ilmansulkukerrosena voidaan käyttää esimerkiksi kalvomaista ilmansulkua tai muovieristyslevyä. (Aho - Korpi 2009, 22-23)

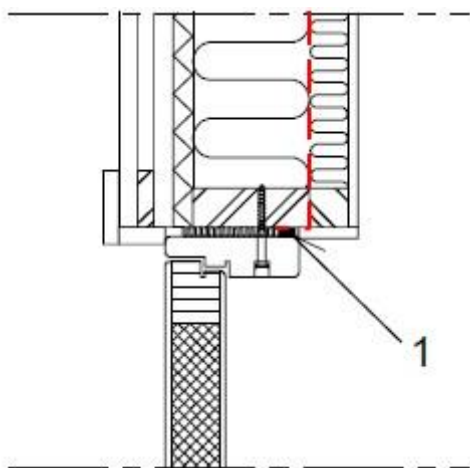
Kuvassa 10 näkyy puurakenteisen ulkoseinän ja tuulettuvan ryömintätilallisen alapohjan liitos. Kuvan 10 kohdassa 1 lattian ja seinän ilmansulkukalvot on limitetty sisäverhouslevyn alareunan kiinnityspuun taakse. Kiinnityspuulla tiivistetään limityskohta. Kuvan 10 kohdassa 2 lattian ilmansulkukalvon reuna on teipattu seinän ilmansulkukalvoon tiiveyden varmistamiseksi. Jos lattian ilmanpitävänäkerrosena on käytetty ilmanpitävää levyä, seinälinjalle asennetaan erillinen höyrinsulkuvuovikaista. Kaistan toinen reuna tiivistetään levyn alle ja toinen reuna käännetään seinän ilmansulun sisäpuolelle ja teipataan kiinni seinän ilmansulkuun. (Aho - Korpi 2009, 37)



KUVA 10. Puurakenteisen ulkoseinän ja tuulettuvan alapohjan liitos (Aho - Korpi 2009, 36)

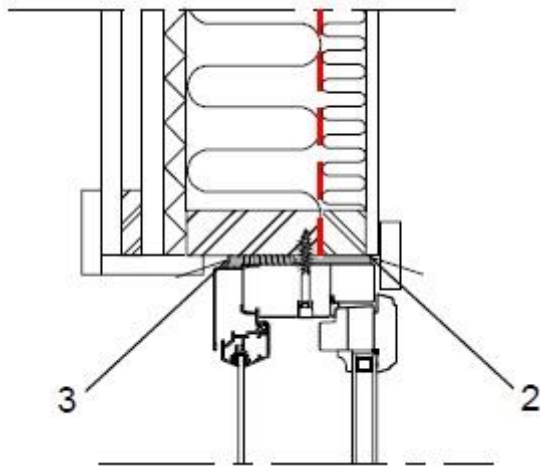
3.1.5 Ikkuna- ja oviliitokset sekä läpiviennit

Kuvassa 11 näkyy oven tiivistäminen puurunkoiseen seinärakenteeseen. Kuvan seinässä ilmansulkuna on käytetty muovikalvoa. Oven tiivistäminen voidaan toteuttaa mineraalivillalla tai polyuretaanilla. Elastinen kittaus sisäpinnassa takaa liitoksen ilmanpitävyyden, kuva 11 kohta 1. (Aho - Korpi 2009, 81)



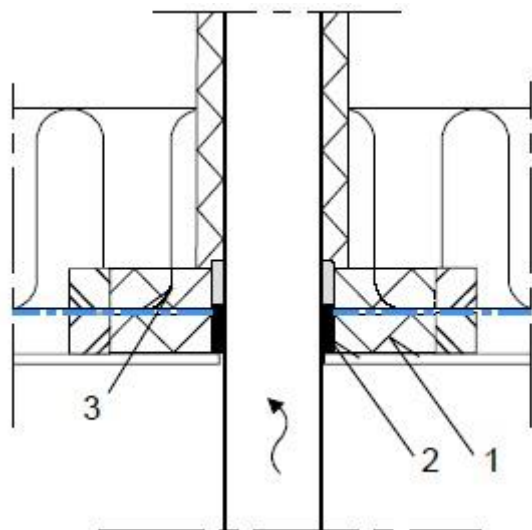
KUVA 11. Oven tiivistäminen puurunkoiseen seinärakenteeseen (Aho - Korpi 2009, 80)

Kuvassa 12 näkyy ikkunan tiivistäminen puurunkoiseen seinärakenteeseen. Kuvan seinässä ilmansulkuna on käytetty muovikalvoa. Ikkunan tiivistämiseen on käytetty polyuretaania, kuva 12 kohta 2. Kuvan 12 kohtaan 3 on merkattu pieni tuuletusrako. Jotta polyuretaania ei mene tuuletusrakoon, voidaan uloin-paan pintaan asentaa mineraalivillakaista. (Aho - Korpi 2009, 81)



KUVA 12. Ikkunan tiivistäminen puurunkoiseen seinärakenteeseen (Aho - Korpi 2009, 81)

Kuvassa 13 näkyy putkiläpiviennin tiivistäminen puurunkoiseen yläpohjaan solumuovieristelevykauluksella. Kyseinen tiivistys tapa on sopii erityisesti kohtiin, joissa monta putkea läpäisee ilmansulkukerroksen samasta kohdasta. Kuvan 13 kohdassa 1 solumuovieristyslevy vaahdotetaan koolausrimojen väliin. Kuvan 13 kohdassa 2 läpivientiputki on viety levykauluksen ja ilmansulun läpi, jonka jälkeen putki on tiivistetty vaahdottamalla levykauluksen. Kuvan 13 kohdassa 3 myös ilmansulun toiselle puolelle on asennettu solumuovieristyslevy. Toisen levyn asennus ei ole pakkolinen toimenpide, ja se edellyttää erillisten koolausrimojen asentamista rakenteeseen. Rakenteen ilmansulkukalvo tulee tällöin kahden tiivistyslevyn väliin. (Aho - Korpi 2009, 87)



KUVA 13. Putkiläpivientien tiivistäminen solumuovieristyslevykauluksella (Aho - Korpi 2009, 86)

4 TIIVEYSMITTAUKSET

Tässä opinnäytetyössä tehdyt tiiveysmittaukset tehtiin osana tutkimustyötä Oulun seudun ammattikorkeakoulun IEEB-projektille (Increasing Energy Efficiency in Buildings). Mittauskohteena oli 37 pientaloa, jotka oli rakennettu 1940-1990-luvuilla. Mittausryhmään kuului kolme opiskelijaa. Tiiveysmittauksista tehtiin tiiveysmittausraportit lämpökuvauksineen, ja raportit palautettiin kohteiden omistajille. Tiiveysmittaukset dokumentoitiin IEEB-projektille tehtyyn tietokantaan. IEEB-projektin tavoitteena on löytää uusia keinoja suunnitella ja rakentaa entistä energiatehokkaampaa rakennuskantaa sekä korjata vanhaa rakennuskantaa energiatehokkaamaksi.

Tiiveysmittaukset suoritettiin standardin SFS-EN 13829 mukaan käyttäen ohjekortin RT 80-10974 mallia apuna. Mittaukset teimme luvussa 2.4.1 esitetyllä tavalla käyttäen menetelmää B. Mittauslaitteistona käytimme Oulun ammattikorkeakoulun Minneapolis-tiiveysmittauslaitteistoa ja tietokoneohjelmaa, joka ohjasi tiiveysmittausta automaattisesti. Käytetty laitteisto on käsitelty tarkemmin luvussa 2.4.2.

4.1 Kohteiden esittely

Tässä opinnäytetyössä mittauskohteena oli 1940- ja 1950-luvulla rakennettuja pientaloja. Kolme kohteista oli 1940-luvulta ja kuusi kohteista oli 1950-luvulta. Suureksi ongelmaksi kohteiden löytämisessä koitui se, että rakennusten täytyi olla alkuperäiskuntoisia ja mahdollisimman vähän peruskorjattuja, jotta ne vastaisivat oman aikakautensa rakennuskantaa. Kaikki kohteet olivat 2-kerroksisia pientaloja tai rintamamiestaloja, osassa kohteissa oli myös kellari. Kohteeseen 1 on tehty laajennus vuonna 1993 ja kohteeseen 2 on tehty laajennus vuonna 1974, mutta koska rakennukset suurimmilta osin olivat alkuperäiskuntoisia, ne luokiteltiin 1940-luvun rakennuksiksi. Kohteista tarkemmat tiedot on taulukossa 1 ja liitteessä 1.

Taulukko 1. Kohdeluettelo

Kohde	Rak. Vuosi	Kerrosluk	n ₅₀	q ₅₀	m ³ /ilmavuotavuus	m ² /vaipanala	Runko-materiaali	Ulko-verhous	Rak.tapa	Alapohja	Höyrynsulku	Lämmitys-muoto	Ilmanvaihto
1	1945...93	2	11,50	11,10	270	279	puu	puu	paik	maanv.bet	tervap./muo	varaava sähkö	painovoim.
2	1948...74	2	4,63	4,12	378	425	puu	puu	paik	maanv.bet	tervap./muo	Kes.l. pelletti	painovoim.
3	1949	2	5,14	5,95	338	293	puu	puu	paik	maanv.bet	tervapaperi	Öljy, vesikiert patterit	painovoim.
4	1950	2	5,96	5,60	332	353	puu	puu	paik	maanv.bet	tervapaperi	Öljy, vesikiert patterit	painovoim.
5	1951	2	11,83	11,19	355	375	puu	puu	paik	maanv.bet	tervapaperi	KL	painovoim.
6	1952	2	6,86	6,65	381	392	hirsi	puu	paik	maanv.bet	tervapaperi	sähkö + takka	painovoim. Koneel poisto
7	1955	2	5,83	6,00	268	260	puu	puu	paik	maanv.bet	tervapaperi	KL	painovoim.
8	1956	2	6,22	5,83	261	279	puu	puu	paik	maanv.bet	tervapaperi	varaava sähkö	painovoim.
9	1957	2	6,76	6,24	273	296	puu	puu+rappaus	paik	maanv.bet	tervapaperi	varaava sähkö	painovoim.

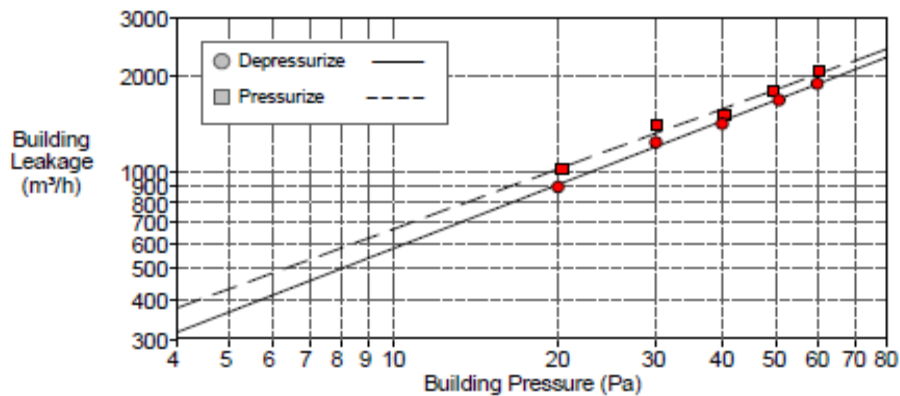
paik = paikallaan rakennettu kappalevarasta
 terwap. = terwapaperi
 Kes.l. = Keskukslämmitys
 KL = kaukolämpö

4.2 Mittaustulokset

Olellaisiin mittaustuloksista on ilmanvuotoluku n_{50} ja q_{50} . Ilmanvuotoluvut toimivat lähtökohta koko mittaukselle ja ovat yli- ja alipaineen keskiavoja. Kohteiden mittaustulokset on dokumentoitu IEEB-projektille luotuun tietokantaan, joka toimii työkaluna tulosten vertailussa. Tietokannalla pystytään helposti vertailemaan esimerkiksi eri vuosikymmenillä rakennettujen talojen ilmanvuotolukuja rakennustyyppin mukaan.

Tiiveysmittauksista tehtiin tiiveysmittausraportit kohteiden omistajille. Tiiveysmittausraportista (kuva 14) nähdään ilmanvuotoluvut n_{50} ja q_{50} talon ollessa yli- tai alipaineistettuna sekä ilmanvuotolukujen keskiarvot. Raportissa on myös ilmanvuotokäyrä, josta nähdään rakennuksen ilmavuotoluku (m^3/h) sen ollessa yli- tai alipaineistettu 20 Pa:sta 60:iin. Käyrässä alipaineistus on merkitty ympyrällä ja ylipaineistus neliöllä, jotta käyrää voidaan lukea helpommin. Käyrässä on lineaarinen viiva, joka näyttää keskiarvon mittaustuloksista. Yleensä kuristuskiekkujen vaihtaminen aiheuttaa ilmavuotoluvuissa joillain paineistuksilla hyppyjä, kuten kuvasta näkee. Raportista nähdään myös mittaustilanteen ilmasto-olosuhteet sekä tarvittavat rakennuksen tiedot. Lisäksi raportista selviää mittaauksessa käytettävä standardi, mittaustapa ja käytetty mittaustilasto.

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	1669 (+/- 1.0 %)	1809 (+/- 2.1 %)	1739
n50: Air Changes per Hour (1/h)	4.94	5.35	5.14
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	10.72	11.61	11.16
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	5.71	6.18	5.95
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	645.2 (+/- 4.3 %)	742.7 (+/- 9.1 %)	694.0
cm ² /m ² Surface Area	2.21	2.54	2.37
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	340.3 (+/- 6.8 %)	405.5 (+/- 14.5 %)	372.9
cm ² /m ² Surface Area	1.16	1.39	1.27
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	124.8 (+/- 10.7 %)	160.3 (+/- 22.8 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	126.8 (+/- 10.7 %)	159.2 (+/- 22.8 %)	
Exponent (n)	0.659 (+/- 0.028)	0.621 (+/- 0.060)	
Correlation Coefficient	0.99728	0.98628	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		
Inside Temperature:	22 °C	Volume:	338 m ³
Outside Temperature:	4 °C	Surface Area:	293 m ²
Barometric Pressure:	100160 Pa	Floor Area:	156 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	2 %
Type of Heating:	Öljy, vesikiertoiset patterit	Year of Construction:	1949
Type of Air Conditioning:	Painovoimainen		
Type of Ventilation:	None		

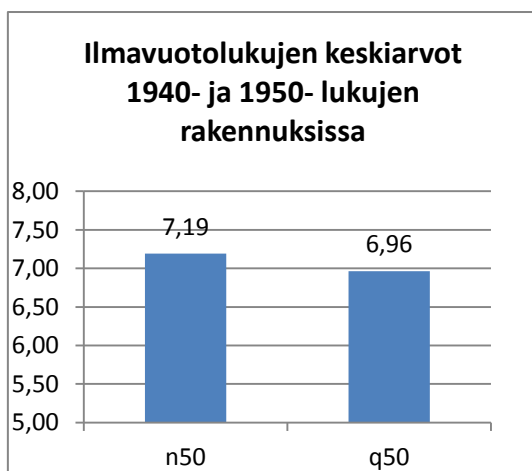


KUVA 14. Ote tiiveysmittausraportista

4.2.1 Mittaustulosten vertailu

Kaikissa 1940- ja 1950-lukujen kohteissa ilmanvuotoluku n_{50} oli välillä 4,6 ja 11,8 1/h, keskiarvo ilmanvuotoluvulle n_{50} oli 7,2 1/h. Ilmanvuotoluku q_{50} oli välillä 4,1 ja 11,2 $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, keskiarvo ilmanvuotoluvulle q_{50} oli 7,0 $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ (kuva 15). Muutamaa poikkeusta lukuunottaen ilmanvuotoluku q_{50} oli noin 0,2 yksikköä pienempi kuin ilmanvuotoluku n_{50} . Tämä johtuu siitä, että vaipan ala rakennuksissa oli suurempi kuin ilmatilavuus. Rakennusmääräyskokoelman kohdan D5 mukaan n_{50} -luvun arvo välillä 5-10 1/h tarkoittaa heikkoa ilmanpitävyyttä, ja silloin ilmanpitävyydestä ei ole huolehdittu rakennuksen suunnittelussa tai rakentamisen aikana. (RakMK D5 2013.)

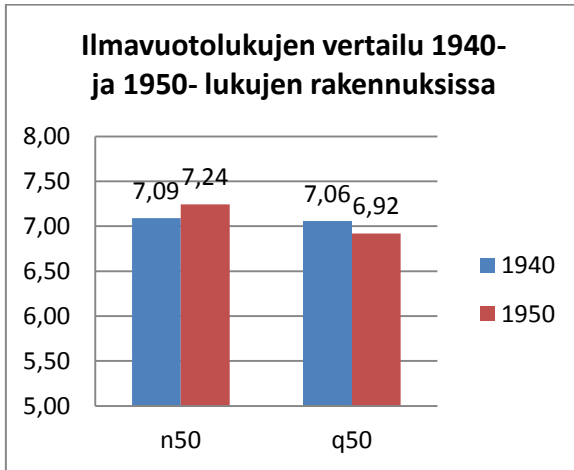
Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta antaa liitteessä ennen 1970-lukua rakennettujen pientalojen n_{50} -luvulle arvon 6,0 1/h (Ympäristöministeriö 176/2013, liite 1). Ilmanvuotoluvun n_{50} keskiarvo poikeaa vain 1,2 yksikköä oletusarvosta, joten saadut tulokset ovat hyvin lähellä normaalia tasoa.



KUVA 15. Ilmavuotolukujen keskiarvot 1940- ja 1950- lukujen rakennuksissa

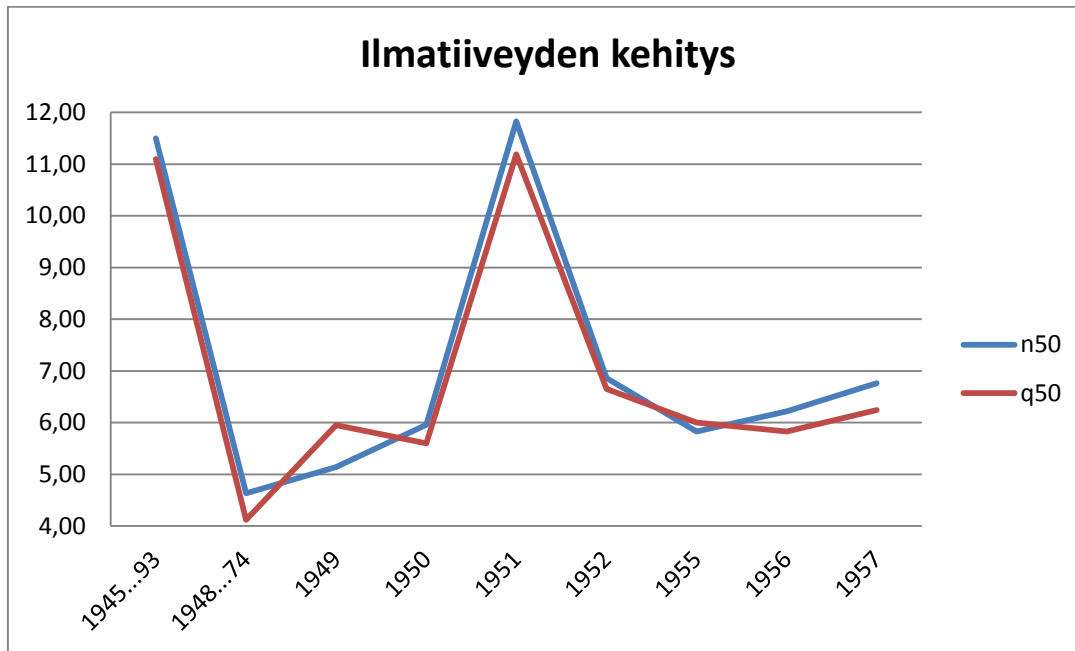
Ilmavuotolukujen keskiarvoja vertailtaessa vuosikymmenten perusteella (kuva 16) huomataan, että molemmilla vuosikymmenillä q_{50} -luvun arvot ovat pienemmät kuin n_{50} -luvun arvot. 1940-luvun rakennuksissa keskiarvo n_{50} -luvusta ja q_{50} -luvusta ovat melkein samat, kun taas 1950-luvun rakennuksissa kyseisten arvojen välillä on noin 0,3 yksikköä. Ilmanvuotolukuun q_{50} vuosikymmenten

välillä on tapahtunut 0,14 yksikön parannus, kun taas ilmannvuotolukuun n_{50} vuosikymmenten välillä on tapahtunut 0,15 yksikön huontuminen. Vertailussa on kuitenkin otettava huomioon, että kohteita 1940-luvulle oli vain kolme, kun taas 1950-luvulle kohteita oli kuusi, ja tämä saattaa vääristää vertailun tuloksia.



KUVA 16. Ilmavuotolukujen vertailu 1940- ja 1950- lukujen rakennuksissa

Ilmatiiveyden kehitystä tutkittiin myös rakennusvuosien perusteella, josta saatiin käyrä, joka kuvaa ilmatiiveyden kehitystä (kuva 17). Paria hyppyä lukuunottamatta käyrästä nähdään, että ilmannvuotoluvut ovat pysyneet aikalailla samana vuosien vieressä eteenpäin. Käyrä kuvaa hyvin sitä, että ilmatiiveydestä ei ole rakentamisessa huolehdittu 1940- ja 1950-luvuilla. Kuten aikaisemmin jo mainitsin, mitattavia kohteita oli vähän ja käyrä on vain suuntaa antava malli kyseisten vuosikymmenten ilmatiiveydestä.



KUVA 17. Ilmatiiveyden kehitys

Mittaustuloksia vertailtaessa ilmanvuotoluvuille asetettuihin energialuokkiin (kuva 2) kaikki kohteet olivat G-luokassa, eli huonoimmassa luokassa. G-luokassa lämmitysenergian tarve kasvaa ilmanvuotoluvun suureudessa. Kohteista yksi oli lähellä F-luokkaa ilmanvuotoluvulla q_{50} 4,1 [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$]. F-luokassa lämmit-tämiseen tarvittavan energiamäärän säästö on noin 0-7 %.

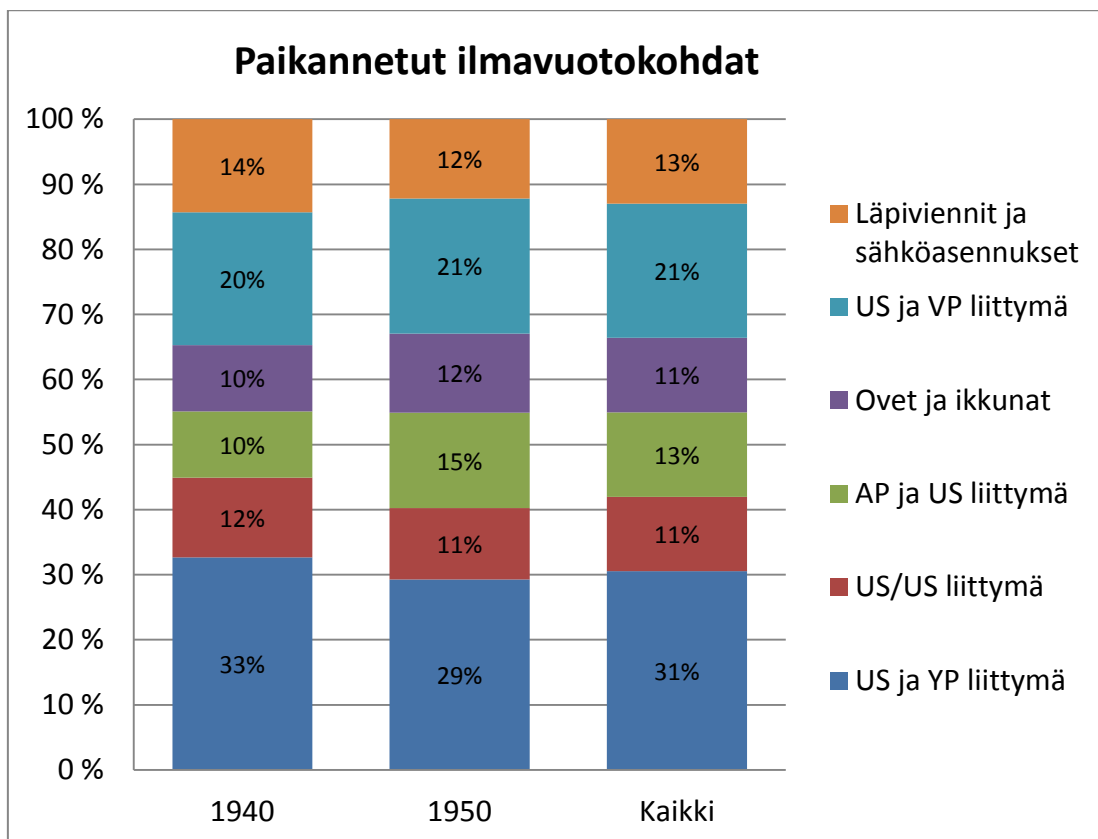
Mittaustuloksia voidaan myös vertailla Sauli Paloniityn kirjassa Rakennusten tiiveysmittaukset oleviin tutkimusten tuloksiin rakennusten tiiveyksistä. Kohteena tutkimuksessa oli 23 pientaloa 1940-1999-luvuilta. Tutkimuksessa pientalojen ilmanvuotoluvut vaihtelivat n_{50} -luvulla välillä 1,9 – 12,4 (1/h) ja q_{50} -luvulla välillä 2,5 – 17,0 [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$]. Keskiarvo n_{50} -luvulla oli 7,0 (1/h) ja q_{50} -luvulla 9,0 [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$] (Paloniitty 2012, 24-25). Tässä opinnäytetyössä saadut tulokset ja Paloniityn kirjassa olevan tutkimuksen tulokset ovat lähellä toisiaan. Ilmanvuotoluvuissa n_{50} -luvuilla on eroa vain 0,2 (1/h) ja q_{50} -luvuilla on eroa 2,0 [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$].

4.3 Vuotokohtien paikannus

Tiiveysmittauksen jälkeen paikansimme rakenteissa olevia vuotokohtia lämpökameran avulla kaikissa kohteissa. Ennen lämpökuvausta rakennus oli alipaineistettu 50 Pa:iin noin 15 minuutin ajan, jotta rakenteet ehtivät kylmetä vuo-

tokohdista ja vuotokohtat oli helpompi paikantaa. Lämpökuvaukset suoritettiin FLIR B400 Western -lämpökameralla.

Paikannetut ilmanvuotokohtat jaettiin kuuteen eri luokkaan: ulkoseinän ja välipohjan liittymä, ovet ja ikkunat, alapohjan ja ulkoseinän liittymä, ulkoseinän ja ulkoseinän liittymä eli nurkka paikat, ulkoseinän ja yläpohjan liittymä sekä läpiviennit ja sähköasennukset. Ulkoseinän ja yläpohjan liittymäkohta oli suurin ilmanvuotopaikka molemmilla vuosikymmenillä, ja sinne sijoittui noin 31 % kaikista ilmapuodoista. Ulkoseinän ja välipohjan liittymäkohta oli toiseksi suurin ilmanvuotopaikka, johon noin 21 % ilmapuodoista sijoittui. Loput vuotokohtadista eli noin 48 % sijoittui molemmilla vuosikymmenillä melko tasaisesti oviin ja ikkunoihin, alapohjan ja ulkoseinän liittymään, ulkoseinän ja ulkoseinän liittymään eli nurkkiin sekä läpivienteihin ja sähköasennuksiin. Mitattavia kohteita 1940- ja 1950-luvuilta oli melko vähän, mutta tulokset ovat hyvin suuntaa antavia vuosikymmenten talojen vuotokohtadista. Kuvasta 18 voi tarkastella vuotokohtien prosenttuaalista jakaumaa tarkemmin molemmilta vuosikymmeniltä.



KUVA 18. Paikannetut ilmapuotokohtad

4.4 Lämpökuvausraportti

Lämpökuvauksista teimme asiakkaille raportit, jossa pahimmat vuotokohdat rakennuksissa oli paikannettu. Raportit tehti FLIR Reportter -ohjelmalla. Ohjelmaan lisäsimme kuvat valmiiseen raporttipohjaan. Ohjelma ottaa lämpökuvista tiedot ja yhdistää automaattisesti lämpökuvan ja normaalin kuvan. Kuvia muokattiin hieman, jotta vuotokohdat näkyivät helpommin, ja kuvaan lisättiin maksimi- ja minimilämpötilat, kuvan lukemisen helpottamiseksi. Raportin kansilehdessä näkyy kohdetiedot, käytetyt mittausparametrit, sisä- ja ulkoilman olosuhteet, sekä kuva käytetystä mittauslaitteistosta (kuva 19).

Kohdetiedot: Pasi Klemetilä, 2krs rintamamiestalo +kellari.

Kuvauspaikka: Ilvestie 5, Oulu, 90530

Kuvauspäivämäärä: 22.10.2012

Valokuva



Mittausparametrit

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	21.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.5 m
Kameratyyppi	FLIR B400_ Westem

Ulkoilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	3 m/s
Pilvisyys	Puolipilvinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	2 °C

Sisäilman olosuhteet

Sisäilman suhteellinen kosteus	34.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-50 Pa
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20 °C

Kommentit:

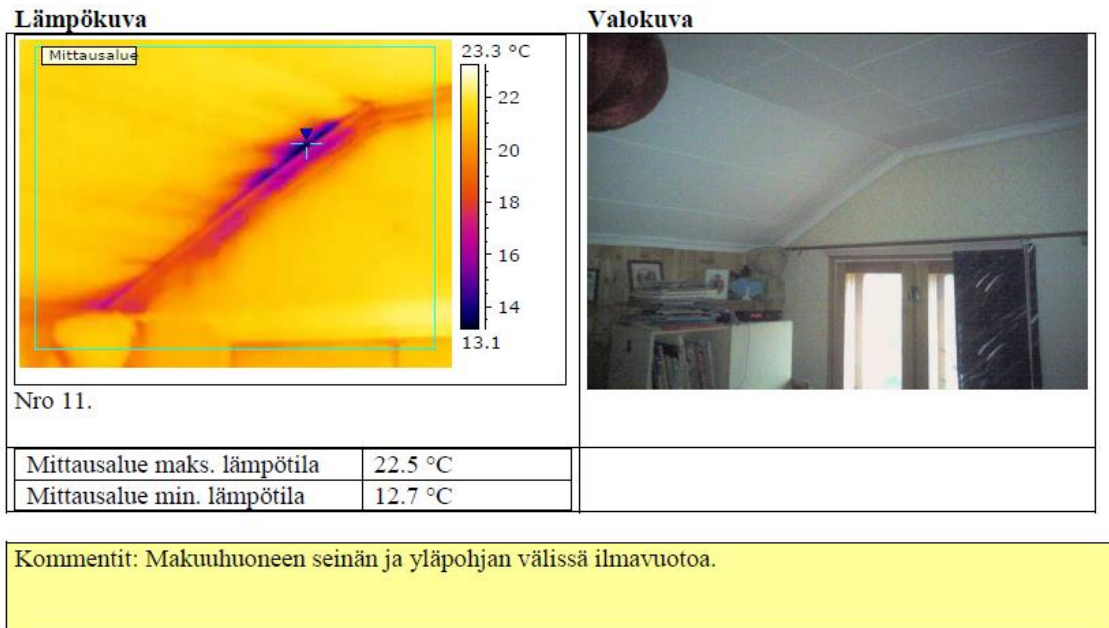
- Kuva käytetystä tiiviysmittauslaitteistosta.
- Kuvauksessa käytetyt mittausparametrit sekä ulko- ja sisäilman olosuhteet.
- Lämpökuvissa näkyvä sininen kolmio paikantaa mittausalueen kylmimmän kohdan.

KUVA 19. Lämpökuvausraportin kansilehti

Lämpökuvausraportin muilla sivuilla esitettiin rakennusten pahimmat ilmanvuotokohdat. Sivuille oli sijoitettu kaksi kuvaparia, normaali ja lämpökuva ilmanvuotokohdasta. Kuvien alle oli ilmoitettu mittausalueen maksimi ja minimi lämpötila sekä lyhyt kuvaus ilmanvuotopaikasta sekä sen laajuudesta. Seuraavaksi käydään läpi yleisimmät ilmanvuotokohdat, ja kaikista näytetään yksi esimerkki tapaus.

4.4.1 Ulkoseinän ja yläpohjan liittymä

Kaikissa kohteissa noin 31 % ilmapuodoista sijaisti ulkoseinän ja ylä-pohjan liittymäkohdassa. Kuva 20 on kohteen 3 makuuhuoneesta. Kuvasta näkyy ilmanvuotoa yläpohjan ja ulkoseinän liittymäkohdasta. Kuvasta näkyy myös minimi lämpötila, joka on 12,7 °C ja maksimi lämpötila, joka on 22,5 °C. Ulkolämpötila kuvaushetkellä oli 4 °C.

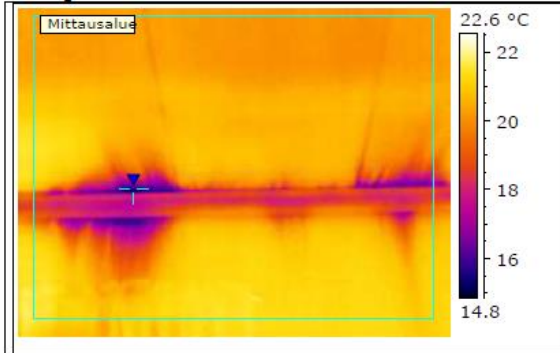


KUVA 20. Kohde 3, esimerkki ulkoseinän ja yläpohjan liittymän vuotokohdasta

4.4.2 Ulkoseinän ja välipohjan liittymä

Kaikissa kohteissa noin 21 % ilmanvuodoista sijaitsi ulkoseinän ja välipohjan liittymässä. Kuva 21 on kohteen 3 olohuoneesta. Kuvasta näkyy ilmanvuotoa ulkoseinän ja välipohjan liittymäkohdassa. Mittausalueen maksimi lämpötila oli 22.0 °C ja minimi lämpötila oli 15.1 °C ulkolämpötilan ollessa 4 °C.

Lämpökuva



Valokuva



Nro 5.

Mittausalue maks. lämpötila	22.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	15.1 °C

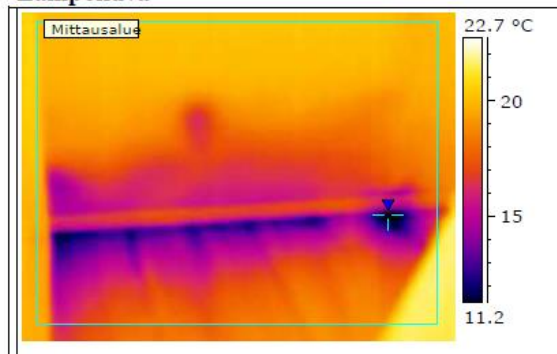
Kommentit: Olohuoneessa ulkoseinän ja välipohjan välissä ilmavuotoa. Kauttaaltaan samankaltainen.

KUVA 21. Kohde 3, esimerkki ulkoseinän ja välipohjan liittymän vuotokohdasta

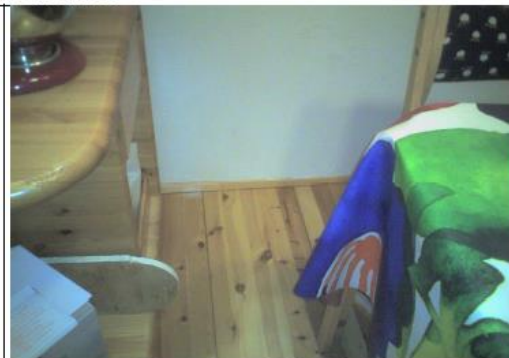
4.4.3 Alapohjan ja ulkoseinän liittymä

Kaikissa kohteissa noin 13 % ilmavuodoista sijaitsi alapohjan ja ulkoseinän liittymäkohdassa. Kuva 22 on kohteen 6 ruokailutilasta. Kuvassa näkyy ilma-
vuotoa alapohjan ja ulkoseinän liittymäkohdassa. Mittausalueen maksimi
lämpötila oli 21.9 °C ja minimi lämpötila oli 10.7 °C ulkolämpötilan ollessa -7 °C.

Lämpökuva



Valokuva



Nro 5.

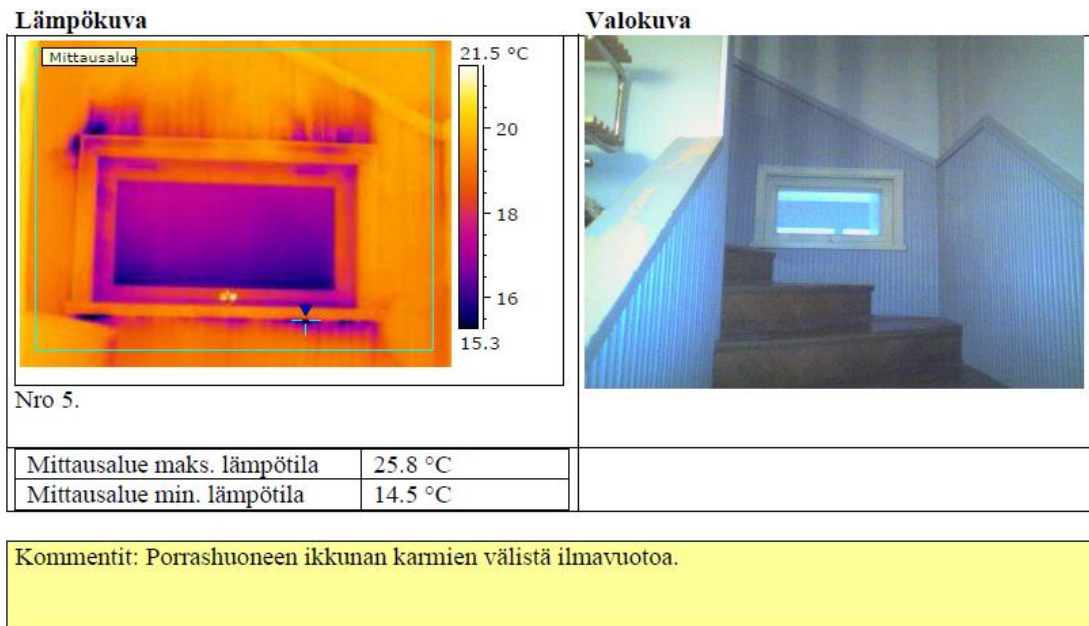
Mittausalue maks. lämpötila	21.9 °C
Mittausalue min. lämpötila	10.7 °C

Kommentit: Ruokailutilan alapohjan ja seinän välissä ilmavuotoa.

KUVA 22. Kohde 6, esimerkki alapohjan ja ulkoseinän liittymän vuotokohdasta

4.4.4 Ovet ja ikkunat

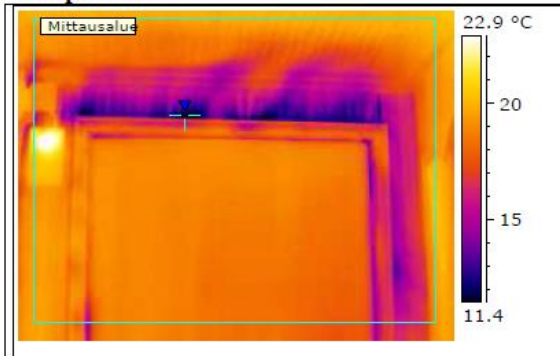
Kaikissa kohteissa noin 11 % ilmvuodoista sijaitsi ovissa ja ikkunoissa. Yleisimmin ilmvuodot ikkunoissa ja ovissa, johtuu siitä, että ne ovat huonosti tiivistetty tai tiivisteet ovat vahentuneet ja heikentyneet. Kuva 23 on kohteen 4 porrashuoneesta. Kuvassa näkyy ilmvuotoa ikkunan karmien välistä. Mittausalueen maksimi lämpötila oli 25.8 °C ja minimi lämpötila oli 14.5 °C ulkolämpötilan ollessa 3 °C.



KUVA 23. Kohde 4, esimerkki ikkunoiden ilmvuodosta

Kuva 24 on kohteen 4 eteisestä. Kuvassa näkyy ilmvuotoa välioiven karmien välistä. Mittausalueen maksimi lämpötila oli 24.2 °C ja minimi lämpötila 10.4 °C ulkolämpötilan ollessa 3 °C.

Lämpökuva



Valokuva



Nro 6.

Mittausalue maks. lämpötila	24.2 °C
Mittausalue min. lämpötila	10.4 °C

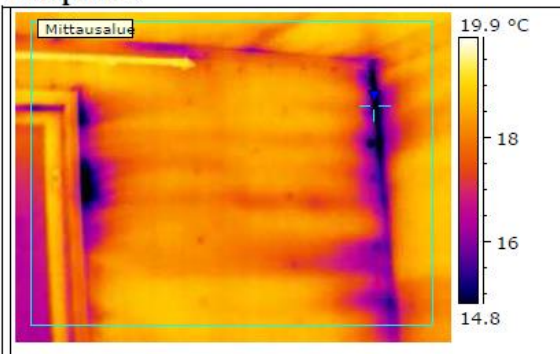
Kommentit: Eteisen välioven karmien välistä ilmavuotoa.

KUVA 24. Kohde 4, esimerkki ulko-oven ilmavuodosta

4.4.5 Ulkoseinien liittymä

Kaikissa kohteissa noin 11 % ilmavuodoista sijaitsi ulkoseinien liittymäkohdassa. Kuva 25 on kohteen 5 makuuhuoneesta. Kuvassa näkyy ilmavuotoa ulkoseinien liittymäkohdassa ja ikkunan karmien välissä. Mittausalueen maksimi lämpötila oli 19.5 °C ja minimi lämpötila 13.1 °C ulkolämpötilan ollessa 2 °C.

Lämpökuva



Valokuva



Nro 9.

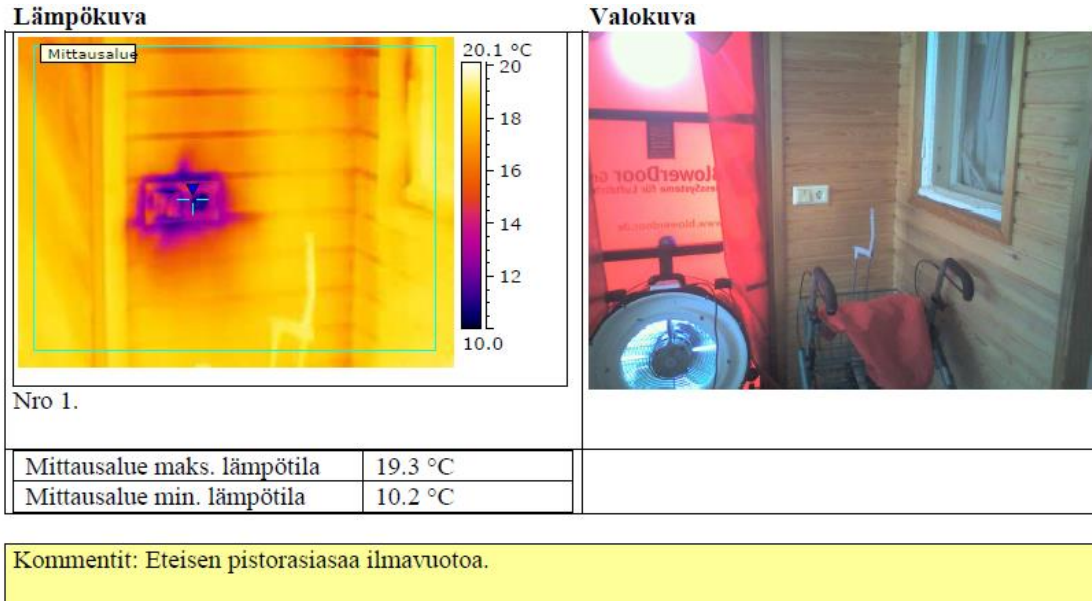
Mittausalue maks. lämpötila	19.5 °C
Mittausalue min. lämpötila	13.1 °C

Kommentit: 2. Makuuhuone seinien välissä ilmavuotoa, myös ikkunan karmeissa ja yläpohjassa.

KUVA 25. Kohde 5, esimerkki ulkoseinien liittymän ilmavuodosta

4.4.6 Lämpiviennit ja sähköasennukset

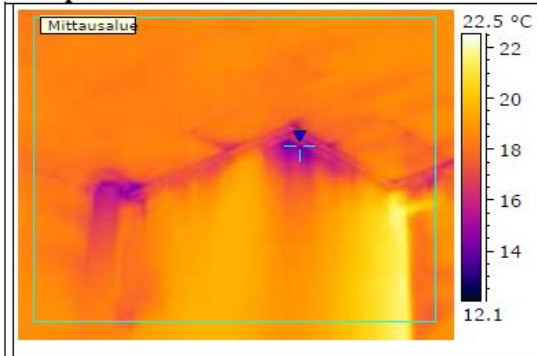
Kaikissa kohteissa noin 12 % ilmapuodoista sijaitsi läpivienneissä ja sähköasennuksissa. Kuva 26 on kohteen 1 eteisestä. Kuvassa näkyy ilmapuotoa sähköasennuksesta. Mittausalueen maksimi lämpötila on 19.3 °C ja minimi lämpötila 10.2 °C ulkolämpötilan ollessa -1 °C.



KUVA 26. Kohde 1, esimerkki sähköasennuksen ilmapuodosta

Kuva 27 on kohteen 9 makuuhuoneesta. Kuvassa näkyy ilmapuotoa hormin läpiviennin kohdalla. Mittausalueen maksimi lämpötila oli 21.9 °C ja minimi lämpötila 13.7 °C ulkolämpötilan ollessa 3 °C.

Lämpökuva



Nro 8.

Mittausalue maks. lämpötila	21.9 °C
Mittausalue min. lämpötila	13.7 °C

Valokuva



Kommentit: Hormin läpivienti yläkerrassa, ilmapuotoa.

KUVA 27. Kohde 9, esimerkki läpiviennin ilmapuodosta

5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua Suomessa 1940- ja 1950-luvuilla rakennettujen pientalojen ilmatiiveyteen sekä yleisimpien vuotokohtien paikantamiseen. Opinnäytetyössä käsiteltiin myös tiiveysmittauksen kulkua ja siihen tarvittavaa laitteistoa sekä annettiin esimerkkejä ilmatiiviiden rakenteiden toteuttamiseen. Opinnäytetyö tehtiin tutkimustyönä osana IEEB-projektia Oulun ammattikorkeakoululle.

Tässä opinnäytetyössä tutkimus kohteena oli 7 pientaloa 1940- ja 1950-luvuilta. Kaikkien kohteiden ilmanvuotoluvut n_{50} -luvulla olivat välillä 4,6 - 11,8 (1/h) ja q_{50} -luvulla välillä 4,1 - 11,2 [$m^3/(m^2 \cdot h)$]. Keskiarvo n_{50} -luvulla oli 7,2 (1/h) ja q_{50} -luvulla 7,0 [$m^3/(m^2 \cdot h)$]. Mittaustuloksia vertailtiin Sauli Paloniitin kirjassa Rakennusten tiiveysmittaukset oleviin tutkimusten tuloksiin rakennusten tiiveyksistä. Kohteena Paloniitin tutkimuksessa oli 23 pientaloa 1940-1999-luvuilta. Tutkimuksessa pientalojen ilmanvuotoluvut vaihtelivat n_{50} -luvulla välillä 1,9 – 12,4 (1/h) ja q_{50} -luvulla välillä 2,5 – 17,0 [$m^3/(h \cdot m^2)$]. Keskiarvo n_{50} -luvulla oli 7,0 (1/h) ja q_{50} -luvulla 9,0 [$m^3/(h \cdot m^2)$]. Tässä opinnäytetyössä saatujen tulosten ja Paloniitin kirjassa olevan tutkimuksen tulokset ovat lähellä toisiaan. Ilmanvuotolukujen keskiarvoissa n_{50} -luvulla oli eroa vain 0,2 (1/h) ja q_{50} -luvulla oli eroa 2,0 [$m^3/(h \cdot m^2)$].

Kaikissa kohteissa suoritettiin lämpökuvaukset rakennuksen ollessa alipaineistettuna 50 Pa:iin. Lämpökuvausten avulla yritettiin selvittää yleisimpiä vuotokohtia rakennuksen vaipassa. Lämpökuvausten perusteella kävi ilmi, että yläpohjan ja ulkoseinän liittymäkohdassa sijaitsi eniten ilmavuotoja. Kaikista ilmavuodoista noin 31 % sijaitsi yläpohjan ja ulkoseinän liittymässä. Toiseksi suurin vuotopaikka oli välipohjan ja ulkoseinän liittymä kohta, jossa noin 21 % ilmavuodoista sijaitsi. Loput vuotokohdista eli noin 48 % sijoittui melko tasaisesti oviin ja ikkunoihin, alapohjan ja ulkoseinän liittymään, ulkoseinän ja ulkoseinän liittymään eli nurkkakohtiin sekä läpivienteihin ja sähköasennuksiin.

Opinnäytetyössä tehdyillä mittauksilla saatiin hyvin suuntaa antava kuva 1940- ja 1950-luvuilla rakennettujen talojen tiiveydestä ja niiden yleisimmistä vuoto-

kohdista. Mitattavia kohteita oli vähän, koska tavoitteena oli löytää alkuperäis-
kuntoisia tai mahdollisimman vähän peruskorjattuja pientaloja, mikä koitui
ongelmaksi. Mittauksia tehtäessä suureksi ongelmaksi koitui tuuli, koska
tiiveysmittauksesta ei saa luotettavaa tulosta, jos tuuli ylittää arvon 5 m/s.
Kovan tuulen takia osa mittauksista joudittiin siirtämään paremmalle päivälle,
mutta lopulta kaikki kohteet saatiin mitattua.

Tiiveysmittaukset ja lämpökuvaukset tehtiin kolmen opiskelijan ryhmällä, joista
kenelläkään ei ole tiiveysmittaajan tai lämpökuvauksen pätevyyttä. Tästä johtuen
mittaustulokset eivät ole virallisiin dokumentteihin soveltuvia. Tulokset ovat kui-
tenkin hyvin suuntaa antavia rakennusten ilmatiiveydestä. Tiiveysmittaus- ja
lämpökuvauksraportit palautettiin talojen omistajille, ja niistä on varmasti suuri
hyöty, jos he aikovat korjata tai kuunostaa taloja.

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja tehdyt tutkimukset opettavaisia. Tii-
viysmittausten ja lämpökuvauksien tekemisestä sekä talojen tiiveyden tärkei-
destä saatiin paljon hyödyllistä tietoa, josta on varmasti hyötyä tulevaisuudessa
ja työelämässä.

LÄHTEET

Paloniitty, Sauli 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

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

Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Aho, Hanna – Korpi, Minna 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.

Realtest, Minneapolis Blower Door-laitteisto käyttövalmiina. Saatavissa: <http://realtest.fi/portfolio-view/tiiviysmittaus/> Hakupäivä 27.3.2014.

Broström, Samuli 2008. Pientalojen rakenteet, rakennusmateriaalit ja rakentamista koskevat määräykset vuosina 1940 – 1970. Oulu: Oulunseudun ammattikorkeakoulu rakennustekniikan osasto. Opinnäytetyö.

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta, liite 1. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/6186.pdf>. Hakupäivä 2.5.2014.

LIITTEET

Liite 1 Kohteiden tiedot

Kohteiden tiedot

Liite 1

Kohde	Rak. Vuosi	Kerros-luku	n50	q50	m3 / ilma-tilavuus	m2 / vaipan ala	Runko-materia ali	Ulko-verhous	Rak.t apa	Ala-pohja	Höyryn- /ilmansulku	Lämmitys-muoto	Ilmanvaihto
1	1945...93	2	11,50	11,10	270	279	puu	puu	paik	maanv.bet	tervap./muovi	varaava sähkö	painovoim.
2	1948...74	2	4,63	4,12	378	425	puu	puu	paik	maanv.bet	tervap./muovi	Kes.l. pelletti	painovoim.
3	1949	2	5,14	5,95	338	293	puu	puu	paik	maanv.bet	tervapaperi	Öljy, vesikiert patt	painovoim.
4	1950	2	5,96	5,60	332	353	puu	puu	paik	maanv.bet	tervapaperi	Öljy, vesikiert patt	painovoim.
5	1951	2	11,83	11,19	355	375	puu	puu	paik	maanv.bet	tervapaperi	KL	painovoim.
6	1952	2	6,86	6,65	381	392	hirsi	puu	paik	maanv.bet	tervapaperi	sähkö + takka	painovoim. Koneel poisto
7	1955	2	5,83	6,00	268	260	puu	puu	paik	maanv.bet	tervapaperi	KL	painovoim.
8	1956	2	6,22	5,83	261	279	puu	puu	paik	maanv.bet	tervapaperi	varaava sähkö	painovoim.
9	1957	2	6,76	6,24	273	296	puu	puu+rappaus	paik	maanv.bet	tervapaperi	varaava sähkö	painovoim.
		Keskiarvo:	7,19	6,96									
paik = paikallaan rakennettu kappaletavarasta													
tervap. = tervapaperi													
Kes.l. = Keskuslämmitys													
KL = kaukolämpö													