



Olli Alaluusua

1960- JA 1970-LUVUN PIENTALOJEN ILMATIIVEYS

1960- JA 1970-LUVUN PIENTALOJEN ILMATIIVEYS

Olli Alaluusua
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Talonrakennus

Tekijä: Olli Alaluusua

Opinnäytetyön nimi: 1960- ja 1970-luvun pientalojen ilmatiiveys

Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013

Sivumäärä: 40 + 1 liite

Tämä opinnäytetyö on tehty osana rakennusten energiatehokkuutta kartoittavaa ja parantavaa IEEB-hanketta, jossa Oulun seudun ammattikorkeakoulu on mukana. Työn tavoitteena on määrittää Suomessa 1960- ja 1970-luvuilla rakennettujen pientalojen rakenteiden ilmatiiveyden tila ja selvittää yleisimpien vuotokohtien sijainti.

Opinnäytetyö toteutettiin mittaamalla 17 pientalon ilmatiiveys painekokeella Suur-Oulun alueella. Mittauskohteet olivat pääasiallisesti alkuperäiskuntoisia tai rakennuksia, joihin oli tehty vain pieniä peruskorjauksia. Mittaukset suoritettiin Suomen Standardisoimisliiton SFS tekemän standardin SFS-EN 13829 mukaan. Mittauksessa käytettiin painekokeen vaihtoehtoista menetelmää B ja tuloksena saatiin tiiveysmittausraportista luettavat ilmanvuotoluvut q_{50} ja n_{50} . Vuotokohtien paikantamiseksi kohteissa suoritettiin lämpökamerakuvaus rakennusten ollessa alipaineistettu 50 Pa:iin. Lämpökamerakuvausten materiaalista luotiin myöhemmin tietokoneohjelmistolla lämpökuvausraportti, joista selvitettiin merkittävimpien vuotokohtien paikat.

Tiiveysmittausten ilmanvuotolukujen q_{50} keskiarvon ollessa mittausten mukaan $5,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja n_{50} keskiarvon $6,7 \text{ 1/h}$, voidaan aiempaan tutkimukseen ja muihin vertailuarvoihin verraten todeta mittauskohteiden ilmantiiveyden olleen hyvää. Tulosta tulkittaessa tulee muistaa, että kyseessä on kuitenkin 1960- ja 1970-luvuilla rakennettuja pientaloja, jolloin rakentaminen ei ole ollut lähelläkään nykyajan tasoa. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 asettamiin raja-arvoihin verrattuna tulokset ovat kuitenkin energialuokitukseltaan heikolla tasolla. Parhaan tiiveyden omaavat rakennukset ylsivät tiiveysmittausyksiköille tehdyissä energialuokituksissa E-luokkaan. Lämpökamerakuvaus osoitti selkeän linjan merkittävien vuotokohtien sijainnista, sillä noin 60 % vuodoista löytyi yläpohjan ja ulkoseinän liittymästä. Loput vuotokohtat jakaantuivat melko tasaisesti muiden rakenneliittymien kesken. Saatujen ilmanvuotolukujen ja vuotokohtien paikannuksen avulla mittauskohteiden omistajien on helppo kohdistaa mahdolliset korjaustoimenpiteensä oikeaan paikkaan purkamatta kaikkia rakenteita.

Asiasanat:

tiiveysmittaus, ilmatiiveys, painekoe, ilmanvuotoluku, rakentaminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building Engineering

Author: Olli Alaluusua

Title of thesis: Airtightness of houses from 1960s and 1970s

Supervisor: Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2013

Pages: 40 + 1 appendice

This thesis has been done as a part of IEEB-project. IEEB-project, in collaboration with Oulu University of Applied Sciences examines and develops the energy efficiency of buildings. The objective of this thesis is to examine the airtightness of houses built in 60's and 70's in Finland. The aim is also to examine where the main air leaks are situated in these houses.

The study was made by measuring the air-tightness of 17 houses with pressure tests. Measurements were made around greater-Oulu area. The houses were mainly in original condition. The measurements were made with SFS-EN 13829 Standard. The standard is created by Finnish Standard alliance, SFS. The measurements were made with alternative method B and as a result we got the air leakage figures q_{50} and n_{50} . The buildings were under pressured to 50 Pa to get the thermal imager camera results. The thermal imager camera was used to locate to air leakage points. The results were gathered and entered to computer program.

When the air-leakage figure q_{50} 's average was $5,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ and the air-leakage figure n_{50} average was $6,7 \text{ 1/h}$, compared to previous study and other measurement figures, it can be argued that the air-tightness of the houses were good. Thought it has to be remembered that these houses are built in the 60's and in the 70's when the knowhow of constructing houses wasn't at the same level as today. When compared to finish building code the results of energy efficiency were not that good. The best results were up to E-level. 60 % of the air leakage points were situated in the intersections roof and outer wall. With help of these results it is easy to repair only the important leaking points of the buildings.

Keywords:

airtightness, construction, pressure test, air leakage figure

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
MÄÄRITELMIÄ	7
1 JOHDANTO	8
2 PIENTALOJEN ILMATIIVEYS	9
2.1 Konvektion aiheuttajat	9
2.1.1 Savupiippuvaikutus	9
2.1.2 Tuulesta johtuva paine-ero	10
2.1.3 Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttama paine-ero	10
2.2 Ilmavuotojen seuraukset	11
2.3 Ilmavuotojen vaikutus lämmitysenergiankulutukseen	11
2.4 Ilmavuodot osana uusia energiamääräyksiä	12
2.5 Tiiveysmittaus	13
2.5.1 Paine-ero	14
2.5.2 Tarvittavat laitteet	16
2.5.3 Virheeseen vaikuttavat asiat	18
2.5.4 Vuotokohtien paikantaminen	18
2.5.5 Raportointi	18
3 ILMATIIVIYDEN TOTEUTUS 1960- JA 1970-LUVUN RAKENTEISSA	19
3.1 Ulkoseinä	19
3.2 Yläpohja	20
3.3 Välipohja	20
3.4 Alapohja	21
3.5 Ikkunat, ovet ja läpiviennit	22
4 TIIVEYSMITTAUKSET	24
4.1 Kohteiden esittely	24
4.2 Mittaustulokset	25
4.2.1 Mittaustulosten vertailu	27
4.2.2 Rakennusajankohdan vaikutus tuloksiin	28
4.2.3 Kerrosmäärän vaikutus tuloksiin	29

4.3 Vuotokohtien paikannus	30
4.3.1 Ulkoseinien liittymä	33
4.3.2 Yläpohjan ja ulkoseinän liittymä	33
4.3.3 Alapohjan ja ulkoseinän liittymä	34
4.3.4 Ovet ja ikkunat	34
4.3.5 Läpiviennit ja sähköasennukset	36
5 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	39
LIITE 1 Kohteiden tiedot	

MÄÄRITELMIÄ

IEEB, Increasing Energy Efficiency in Buildings

Ilmanpitävyys (ilmatiiveys) on käsite, joka kertoo rakenteen kyvystä estää ilmavirtaus rakenteen läpi (Paloniitty 2012, 15).

Ilmansulku on ainekerros, jonka tarkoituksena on estää ilmavirtausten kulku rakenteen läpi (Aho – Korpi 2009, 5).

Ilmanvuotoluku, n_{50} [1/h], Luku kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen tilavuuden verran ilmaa vaihtuu rakennuksen vaipan läpi tunnissa 50 Pa:n paine-erossa (RT 80-10974. 2009).

Ilmanvuotoluku, q_{50} [$m^3/(h \cdot m^2)$], Luvulla kuvataan 50 Pa:n paine-erossa rakennuksen vaipan läpi kulkevaa vuotoilmamäärää kuutioina vaipan neliometriä kohden tunnissa. (Paloniitty 2012, 15).

Painekoe, Ilmanpitävyyden mittaamiseen tarkoitettu koe, jossa rakennukseen luodaan yli- tai alipaine (Paloniitty 2012, 14).

Rakennuksen vaipalla tarkoitetaan rakennekerroksia, jotka erottavat sisätilat ulkoilmasta, maaperästä tai muusta lämmittämättömästä tilasta. Vaippaan kuuluu ulkoseinät aukotuksineen, alapohja ja yläpohja. (Paloniitty 2012, 15.)

RakMk, Rakentamismääräyskokoelma

Sisätilavuus, V [m^3], Rakennuksen vaipan alan rajaama sisäpuolinen tilavuus, johon ei lasketa välipohjien viemää tilavuutta (Paloniitty 2012, 15).

Vaipan pinta-ala, A_E [m^2], Sisämittojen mukaan laskettu pinta-ala (RT 80-10974. 2009).

1 JOHDANTO

Rakenteiden ilmatiiveys on merkittävä osa rakennuksen energiatehokkuutta, mutta asia on saanut sille kuuluvaa huomiota vasta nykypäivän rakentamisessa. Ilmatiiveyttä voidaan tutkia tiiveysmittauksella, jossa selvitetään rakennuksen vaipan kautta poistuvan vuotoilman määrä eli ilmanvuotoluku.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 antaa raja-arvot uusien energiamääräysten myötä vakiintuneesti käyttöön tulleelle ilmanvuotoluvulle q_{50} . Lisäksi se kehottaa kiinnittämään erityishuomiota rakenteiden liitoksiin ja läpivienteihin sekä pyrkimään rakentamisessa niin hyvään laatuun, ettei ilma- vuodoista aiheudu suurta haittaa rakenteille tai rakennuksessa oleville ihmisille. Heinäkuussa 2012 voimaan tulleet uudet energiamääräykset ovat vieneet energiankulutuksen tarkastelua enemmän kokonaisvaltaisempaan suuntaan ja korostaneet ilmatiiveyden vaikutusta energiatehokkaaseen rakentamiseen.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda kuva Suomessa 1960- ja 1970-luvuilla rakennettujen pientalojen ilmatiiveyden tilasta. Ilmatiiveyden lisäksi työssä on tarkoitus määrittää rakennusten yleisimmät vuotokohtat, kertoa tiiveysmittausprosessin kulusta ja antaa esimerkkejä ilmatiiviistä rakenteista. Tutkimuskohteina työssä on 17 kyseisellä aikakaudella rakennettua pientaloa Suur-Oulun alueella, joihin on suoritettu tiiveysmittaukset ja lisäksi myös lämpökuvaukset vuotokohtien paikannusta varten.

Opinnäytetyö tehdään osana IEEB-hanketta, jossa mukana ovat Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Oulun rakennusvalvonta, Luulajan tekniikan yliopisto, Uumajan yliopisto ja norjalainen NORUT-tutkimuslaitos sekä useita suomalaisia ja norjalaisia rakennusalan yrityksiä. IEEB-hankeen tavoitteena on luoda pohjoismainen verkosto korkeakoulujen, yritysten, tutkimuslaitosten ja yhteiskunnan kehittämiseen sekä löytää uusia keinoja suunnitella ja rakentaa entistä energiatehokkaampaa rakennuskantaa, joka edistää ympäristön kestävästä kehityksestä. Hanke on EU:n Interreg 4A Nord -ohjelman rahoittama.

2 PIENTALOJEN ILMATIIVEYS

Rakenteen ilmatiiveys käsitteenä tarkoittaa rakenteen hengittävyttä ja sen kykyä vastustaa ilman liikkumista itsensä läpi. Vaipan läpi liikkuessaan ilma voi kulkea myös reikien, liitosten ja läpivientien kautta. Esimerkiksi höyrünsulussa olevia reikiä ei tule väheksyä niiden pienuuden vuoksi sillä niistäkin aiheutuva ilmavuoto voi olla merkittävä. Pienien reikien aiheuttama ilmavirtaus voidaan laskea kaavasta 1. (Paloniitty 2012, 12–13.)

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

KAAVA 1

Q = ilmavirtaus

A = reiän pinta-ala (m²)

Δp = ulko- ja sisäilman välinen paine-ero (Pa)

2.1 Konvektion aiheuttajat

Ilman liikkumista eli konvektiota tehostaa paine-ero vallitsevan ulko- ja sisäilmanpaineen välillä, mikä johtuu ulko- ja sisäilman lämpötilaerosta. Mitä suurempi lämpötilaero on, sitä enemmän paine-eroa se aiheuttaa. Konvektiota tehostavia tekijöitä ovat myös savupiippuvaikutus, tuuli ja ilmanvaihtojärjestelmän luoma paine. (Paloniitty 2012, 13.)

2.1.1 Savupiippuvaikutus

Savupiippuilmiossa massaltaan kevyempi ilma nousee rakennuksen yläosaan aiheuttaen sinne ylipaineen, ja tästä johtuen kylmä ulkoilma tulee alhaalta rakennukseen sisään ja lämmin ilma virtaa yläosasta ulos. Rakennuksen ollessa yläosastaan ylipaineinen ja alaosastaan alipaineinen näiden painekenttien väliin jää neutraaliakseli, jossa ilmanpaine vastaa ulkona vallitsevaa ilmanpainetta. Neutraaliakselin sijainti korkeussuunnassa riippuu vuotokohtien sijainnista: mitä ylempänä vuotokohtat ovat sitä ylempänä on neutraaliakselikin. Savupiippuvaikutuksen aiheuttama paine-ero voidaan laskea kaavalla 2. (Paloniitty 2012, 9.)

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

KAAVA 2

$\Delta\rho$ = paine-ero (Pa)

Δt = $t_s - t_u$ (°C)

t_u = ulkolämpötila (°C)

t_s = sisälämpötila (°C)

h = etäisyys neutraaliakselista (m)

2.1.2 Tuulesta johtuva paine-ero

Savupiippuvaikutuksesta johtuva paine-ero on jokseenkin pieni verrattuna tuulesta aiheutuvaan paine-eroon, johon vaikuttavat useat seikat, kuten tuulen nopeus ja suunta sekä rakennuksen muoto ja sijainti. Tuulen aiheuttamien painekenttien tarkkaa sijaintia on hankala määrittää, mutta sille voidaan laskea suuntaa antava arvo kaavalla 3. (Paloniitty 2012, 10.)

$$\rho = c \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v^2$$

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

Savupiippuilmioon perustuvan painovoimaisen ilmanvaihdon sijaan ilmanvaihto voidaan toteuttaa koneellisen poisto- tai koneellisen poisto- ja tuloilmanvaihdon avulla. Toimiakseen koneellisen ilmanvaihdon tulee olla säädetty oikein, jotta se palvelee käyttötarkoitustaan eikä aiheuta esimerkiksi kosteusongelmia rakenteisiin. Haluttu paine-ero asuinrakennuksissa on 0–10 Pa:n alipaine. Paras mahdollinen tarkkuus ilmanvaihdon säädöissä saadaan, kun rakennuksen vaippa on mahdollisimman tiivis. (Paloniitty 2012, 11–12.)

2.2 Ilmavuotojen seuraukset

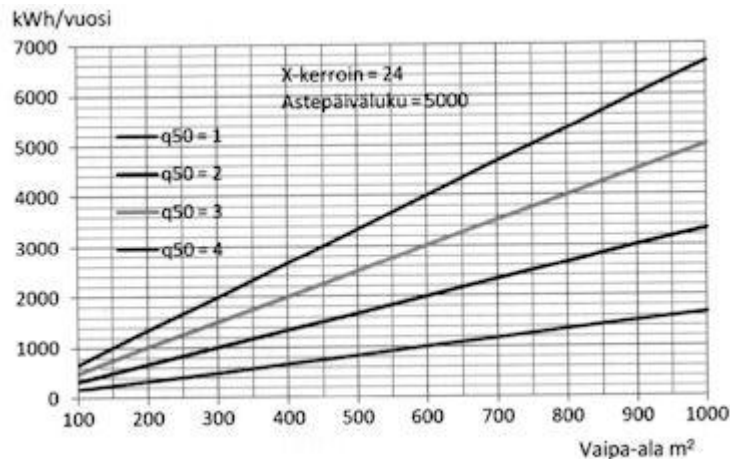
Rakennuksessa, jossa ilmantiiveydestä ei ole huolehdittu rakentamisvaiheessa tai vuotokohtia on syntynyt jälkeempään esimerkiksi läpivientien tai seinäkiinnitysten vuoksi, on edellytykset usealle ongelmalle. Vuotokohdista ilman mukana pääsee vapaasti kulkemaan kosteutta, mikrobeja, radonia ja muita ilman epäpuhtauksia, jotka aiheuttavat haittaa asuinmukavuudelle sekä terveydelle. Vuodot aiheuttavat lisäksi vedon tunnetta, heikentävät koneellisen ilmanvaihdon säätötarkkuutta ja heikentävät huomattavasti rakennuksen energiatehokkuutta. (Vinha ym. 2009, 13.) Lämpimän sisäilman virratessa ulos kosteus voi kondensoitua vaipparakenteisiin ja aiheuttaa kosteus- ja homevaurioita tai talviaikaan myös jäätyä (Aho – Korpi 2009, 8).

Suomen Rakentamismääräyskokoelman mukaan rakentamisessa tulee pyrkiä niin hyvään laatuun ja tiiveyteen, ettei edellä mainituista ongelmista pääse aiheutumaan suurta haittaa rakenteille tai sen käyttäjille. Erityisesti liitoskohdissa ja läpivienneissä tulee rakentamisen olla huolellista. (RakMk D3 2012, 2.3.1.)

2.3 Ilmavuotojen vaikutus lämmitysenergiankulutukseen

Tiiveyden osuus rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen on yksi oleellisimmista siihen vaikuttavista tekijöistä. Suuntaa antavaa vaikutusta lämmitysenergian kulutukseen voidaan laskea Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 esitetyillä kolmella kaavalla. Kaavojen käyttöön tarvitaan ilmanvuotoluku q_{50} , vaipan ala ja joitakin paikkakuntakohtaisia tietoja. Energiatodistusta laadittaessa ilmanvuotojen lämpöhäviöt tulee määrittää edellä mainituilla kaavoilla. (Paloniitty 2012, 18, 20.)

Normaalissa pientalossa, jonka ilmanvuotoluku n_{50} on $4,0 \text{ }^1/\text{h}$, ilmavuotojen osuus rakennuksen lämmitysenergiatarpeesta on noin 15–30 %. Kuvassa 1 näkyy ilmanvuotoluvun q_{50} vaikutus lämmitysenergiankulutukseen suhteessa vaipan alaan. (Aho – Korpi 2009, 7.)



KUVA 1. Vuotoilman vaikutus lämmitysenergiankulutukseen vuodessa (Paloniitty 2012, 20)

2.4 Ilmavuodot osana uusia energiamääräyksiä

Nykyiset uudisrakennuksia koskevat energiamääräykset tulivat voimaan 1.7.2012, jolloin painopiste energiatehokkuudessa siirtyi lämpöhäviöiden hallitsemiseen ja käyttöön otettiin uusi rakennuksen kokonaisenergiankulutusta kuvaava suure, E-luku. Määräysten siivittämänä uudisrakennuksista on laadittava energiaselvitys, johon kuuluu myös energiatodistus. Uusien määräysten myötä energiatehokkuuteen tulee teoreettisesti keskimäärin 20 %:n parannus. (Kemppainen 2012, 7, 17–18.)

E-luku mallintaa rakennuksen vuotuista ostoenergiankulutusta rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. Lukua korjataan energiamuotojen kertoimilla, suosien uusiutuvia ja ympäristöystävällisiä energiamuotoja. (RakMk D3 2012, 8.)

Ilmanvuotoluku q_{50} korvasi n_{50} -ilmanvuotoluvun, ja näin ollen vuotoilmaa tarkastellaan rakennuksen ilmatilavuuden sijasta vaipan pinta-alan suhteen. Lisäksi q_{50} -luvun raja-arvoihin tuli tiukennuksia. Rakentamismääräyskokoelman asettamat raja-arvot ilmanvuotoluvulle q_{50} nähdään taulukossa 1. (Kemppainen 2012, 40.)

TAULUKKO 1. Uusien määräysten asettamat raja-arvot ilmanvuotoluvulle q_{50} (RakMk D3 2012, 10–11)

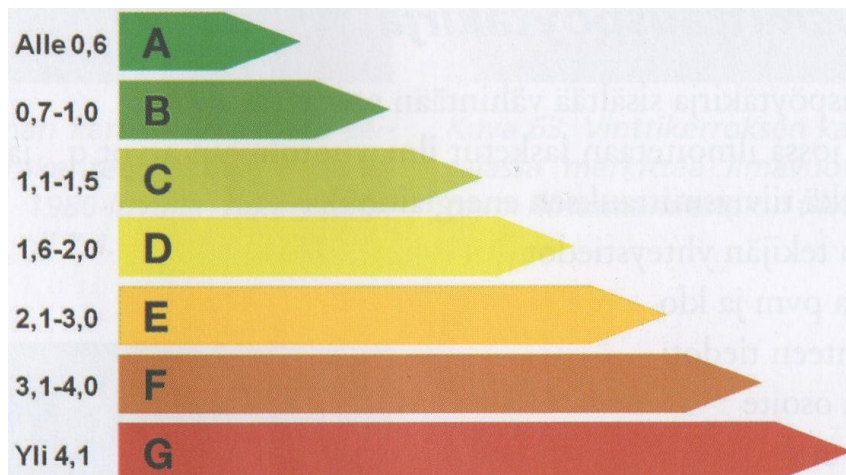
q_{50} [m ³ /(h*m ²)]	Teksti selite
>4	Poikkeukselliset rakenteelliset ratkaisut
≤4	Vähimmäisarvo uudisrakennukselle. Pienempi arvo on osoitettava mittaamalla tai muulla menettelyllä.
2	Tasauslaskennassa käytettävä vertailuarvo
≤1	Suositusarvo

2.5 Tiiveysmittaus

Vaipan ilmanpitävyyden määrittämiseksi tehtävä tiiveysmittaus suoritetaan Suomessa painekokeella standardin SFS-EN 13829 mukaan, jossa annetaan selkeä toimintamalli mittauksen suorittamiseksi. Täydennyksiä edellä mainittuun ohjeeseen saa Rakennustieto Oy:n ohjekortista RT 80-10974. (RT 80-10974. 2009.)

Tiiveysmittauksen tuloksena saadaan rakennuksen vaipan ilmanpitävyys eli hallitsemattomien ilmapuotojen määrä, joka ilmoitetaan ilmanvuotolukuna q_{50} . Ilmanvuotolukua tarvitaan uusissa rakennuksissa energiatodistuksen tai selvityksen tekemisessä ja lämpöhäviöiden tasauslaskentaa suoritettaessa. Käytössä olevien rakennusten osalta se on tarpeen energiakatselmusta tehtäessä tai mahdollista energiatodistusta laadittaessa. (Paloniitty 2012, 14, 16.)

Energialuokitukset ilmanvuotoluvuille on jaettu seitsemään eri luokkaan, jotka näkyvät kuvassa 2. Passiivitalon ilmanvuotoluku tulee olla alle 0,6 m³/(h*m²). (Paloniitty 2012, 64.)



KUVA 2. Ilmanvuotoluokituksen energialuokituksen rajat (Paloniitty 2012, 64)

Tiiveysmittauksesta saatava hyöty uudisrakennuksissa on suurimmillaan, kun se tehdään heti ulkovaipan ja läpivientien ollessa ilmatiiveydellisesti valmiita. Tällöin rakentamisen laadusta voidaan varmistua jo ennen pintatöiden tekoa ja virheet ovat helposti korjattavissa. Lopputuloksena on ilmatiiviimpi rakennus, vuotoilman osalta parempi energiatodistus sekä lämmitysenergian tarpeen minimointi. (Paloniitty 2012, 16.)

Ilmoitusmenettely on toinen vakioitu tapa osoittaa rakennuksen ilmatiiveys. Menettely perustuu talotoimittajan kykyyn todentaa jonkin talotyyppin ilmanpitävyys ilman erillistä tiiveysmittausta kaikkiin tekemiinsä rakennuksiin. (Aho – Korpi 2009, 8.)

2.5.1 Paineekoe

Tiiveyttä mitataan paine-eromenetelmällä, joka suoritetaan standardin SFS-EN 13829 määräämällä tavalla vaihtoehtoisesti, joko menetelmällä A tai B. Menetelmä A on niin sanottu käyttötilanteen mittausta, jolloin venttiilejä tai tulisijoja ei tiivistetä vaan, ne ainoastaan suljetaan. Yleisimmin käytetyssä menetelmässä B tiivistykset suoritetaan kaikkiin ilmanvaihtoventtiileihin, tulisijoihin, liesituulettiin, korvausilmaventtiileihin ja tulisijojen pelteihin. Tiivistyksessä voidaan käyttää teippauksen lisäksi myös ilmapalloja tai muovia suurien aukkojen tiivistämiseen. Ikkunat ja ulko-ovet suljetaan, mutta mitattavien tilojen väliset ovet tulee olla avattuina, jotta ilma pääsee kiertämään vapaasti. (RT 80-10974. 2009, 10.)

Mittaukseen otetaan mukaan ulkovaipan rajaamat tilat, kaikki lämpimät ja pääkäyttötarkoituksen mukaiset tilat sekä ilmanvaihtoteknisesti samaa osastoa olevat tilat. Ennen mittausten aloittamista on päätettävä mitattavien tilojen rajat ja laskettava niiden lattiapinta-ala A_L . Lisäksi tulee määrittää huonekorkeus h , rakennuksen sisätilavuus V ja vaipan pinta-ala A_E . (RT 80-10974. 2009, 11.)

Rakennuksen yhteen ovi- tai ikkuna-aukkoon asennetaan puhallinseinä, joka koostuu puhallinkehikosta, tiivistyskankaasta ja niihin kiinnitettävästä puhaltimesta. Ennen paineistamista tulee tehdä nollapaine-eron mittausta, jolloin puhallin suljetaan tiivistyskankaalla. Normaalisti käytettävän puhallinseinän sijaan paineistus voidaan suorittaa myös rakennuksen omalla ilmanvaihtojärjestelmällä. (Paloniitty 2012, 19–20.)

Painekoe on hyvä tehdä sekä yli- että alipainekokeella ja tulosten poiketessa toisistaan enintään 0,5 yksikköä käytetään lopullisena ilmanvuotolukuna mittausten keskiarvoa. Arvojen poiketessa enemmän kuin raja-arvo sallii, käytetään huonompaa saatua tulosta. Lähtökohtana painekokeessa on määrittää ilman tilavuusvirta, joka ylipainekokeessa täytyy puhaltaa rakennukseen tai alipainekokeessa puhaltaa rakennuksesta pois, jotta saadaan aikaiseksi 50 Pa:n paine-ero. Mittaukset tehdään portaittain yleensä viiteen eri paineroon 20 Pa:sta 60 Pa:iin, 10 Pa:n välein. Ilmanvuotoluku q_{50} voidaan kuitenkin laskea myös alempien paine-erojen mittaustuloksista logaritmisella asteikolla lineaarisesti ekstrapoloimalla. (RT 80-10974. 2009, 11.) (Kaava 4.)

Ilmanvuotoluku q_{50} voidaan laskea kokeesta saadulla ilmavirtauksen arvolla, kuten kaavassa 4 on osoitettu (Vinha ym. 2009, 21).

$$q_{50} = R_{50} / A_E$$

KAAVA 4

$$q_{50} = \text{ilmanvuotoluku (m}^3\text{/(h}\cdot\text{m}^2\text{))}$$

$$R_{50} = \text{puhaltimen läpi 50 Pa:n paine-erolla virtaava ilmavirtaus (m}^3\text{/h)}$$

$$A_E = \text{rakennuksen vaipan pinta-ala (m}^2\text{)}$$

2.5.2 Tarvittavat laitteet

Tiiveysmittauslaitteistoja on usean eri valmistajan tekemiä, kuten muun muassa Blowerdoor Basic, Retrotec, Wöhler ja Swema (Paloniitty 2012, 30). Niistä tarkempaan käsittelyyn otetaan kuvassa 3 näkyvä Blowerdoor Basic -laitteisto.



KUVA 3. Blowerdoor Basics -tiiveysmittauslaitteisto (Oy Teknocalor Ab 2012)

Blowerdoor Basic -tiiveysmittauslaitteistoon kuuluvat puhallinyksikkö, nailonkangas, ovikehys, viisi erikokoista puhaltimen kuristerengasta, letkut, DG-700 4-kanavainen paineyksikkö, TECTITE-tietokoneohjelma, RS 232 -kaapeli, kantolaukut, puhallinyksikön suoja sekä kalibrointitodistus ja käyttöohjeet. Mittauksiin tarvitaan myös käyttöön soveltuva tietokone ohjelmiston ajamista varten. Laitteiston tarkemmat tekniset tiedot löytyvät taulukosta 2. (Oy Teknocalor Ab 2012.)

TAULUKKO 2. Blowerdoor Basic-tiiveysmittauslaitteiston tekniset tiedot (Oy Teknocalor Ab 2012)

Tilavuusvirta	19–7200 m ³ /h
Paine-ero	-1250—+1250 Pa
Mittari	automaattinen nollaus 10 s välein
Tarkkuus	+/- 1 % tai 0,15 Pa, kumpi suurempi
Mittarin näyttö	8 * 3 cm
Mittarin virtalähde	6 * AA paristot (kesto noin 100 h)
Puhallinyksikön virtalähde	230 V
Tietokoneohjelma	TECTITE
Laitteistovaatimukset	WIN '98 tai uudempi, Excel '97 tai uudempi, COM- tai USB-portti

Mittauksissa tarvitaan itse tiiveysmittauslaitteiston lisäksi etäisyysmittalaite vai-
pan alan ja tilavuuden määrittämiseksi. Lisäksi tarvitaan sisä- ja ulkolämpötilo-
jen mittaamiseen tarkoitettu lämpömittari. Teippiä, muovia ja ilmapalloja tiivis-
tämisen suorittamiseen, sekä tikkaat avuksi korkeassa tilassa sijaitseviin läpi-
vienteihin. (Paloniitty 2012, 34.) Kuvassa 4 on esitelty mittaustarvikkeet kanto-
pakkauksissaan.



KUVA 4. Mittaustarvikkeet ja lämpökamera (Paloniitty 2012, 33)

2.5.3 Virheeseen vaikuttavat asiat

Tiiveysmittauksen virheeseen ja hyväksyttävään läpiajoon vaikuttaa useita eri tekijöitä, kuten savupiippuilmio ja tuuli. Sääolojen tulee olla melko selkeä ja tuulennopeus alle 6 m/s. Savupiippuilmion vaikutus mittaukseen voidaan todeta kertomalla sisä- ja ulkolämpötilojen erotus rakennuksen korkeudella ja näiden suureiden tulo pitäisi olla alle 500 m°C, jotta mittaus on hyväksyttävä. Mittausta ennen suoritettavassa paine-erotestissä tulevien nollapaine-erojen keskiarvo ei saa ylittää 5 Pa:a, jotta mittaus olisi hyväksyttävä. (Paloniitty 2012, 37.)

2.5.4 Vuotokohtien paikantaminen

Tiiveysmittaukseen sisältyy usein myös vuotokohtien paikantaminen, mutta se ei ole osa varsinaista tiiveysmittausprosessia (Paloniitty 2012, 34). Lämpökuvauus toimii parhaimmalla mahdollisella tavalla vuotokohtien paikantamisessa, kun se tehdään ensin normaaleissa paineoloissa ja sen jälkeen rakennuksen ollessa alipaineistettu. Näitä kuvia vertailemalla pystytään erottamaan kylmäsillat todellisista ilmanvuotokohdista. Vuotokohtia voi etsiä myös merkkisavulla, rakennuksen ollessa joko yli- tai alipaineistettu. (RT 80-10974. 2009, 11.)

2.5.5 Raportointi

Tiiveysmittauksesta tehdään aina dokumentti, mutta sen laajuudessa voi kuitenkin olla vaihtelevuutta. Vähimmäisvaatimuksena on tiiveysmittauspöytäkirja, joka sisältää kaikki mittauksessa käytetyt arvot, laitteistot, mittauksen tekijän ja teko ajankohdan. Lisäksi siitä tulee selvitä kohdetiedot, säätiedot, mittaustulokset ja vuotoilmakäyrä. (Paloniitty 2012, 63.)

Laajempi dokumentti mittauksesta on tiiveysmittausraportti, joka sisältää edellisten lisäksi myös sanallisen selityksen tavoitteista, mittauksen kulusta, käytetyistä tiivistysmenetelmistä, virhetoleranssista ja mittaajan havainnoista. Lämpökamerakuvauksen kuuluessa mittaukseen, on suositeltavaa tehdä erillinen lämpökuvausraportti, mistä ilmanvuotokohdat nähdään selkeälukuisesti. (Paloniitty 2012, 63–64.)

3 ILMATIIVIYDEN TOTEUTUS 1960- JA 1970-LUVUN RAKENTEISSA

Ilmatiiviiseen rakenteeseen pyrittäessä on käytettävä juuri siihen rakennetyyppiin sopivaa ilmansulkua tai tuotetta, joka edistää rakenteen ilmatiiveyttä. Ilmanpitävyyden toteuttamisessa käytettyjen menetelmien ja materiaalien tulee säilyä ilmanpitävinä rakennuksen käyttöiän ajan ja niiden tulee kestää muodonmuutoksia ilmanpitävyyttään menettämättä. Ilmatiiveyteen liittyviä materiaaleja on muun muassa höyrynsulkumuovi, höyrynsulkupaperi, höyrynsulkuteippi, läpivientikappaleet, polyuretaanivaahdo, elementtisaumamassa ja silikonisaumamassa. (Aho – Korpi 2009, 11.)

1960-luvulla täystiilitalot alkoivat yleistyä ja tiilimuurien välisenä eristeenä alettiin käyttää mineraalivillaa purun sijaan. Puu oli yleisin ulkoseinärakenteen rungon materiaalivalinta. Ulkoseinissä ilmansulkua ei välttämättä käytetty ollenkaan, mutta vaihtoehtoja kyllä löytyi tervapaperista ilmansulkumuoviin. Alapohjat ovat 1960- ja 1970-lukujen tyypillisiä ongelmarakenteita. Alapohjat tehtiin maanvaraisina, lattiapinta sijaitsi lähes maan tasalla, valesokkeliratkaisuja käytettiin paljon ja alapohjista puuttui kapillaarikatkot. Polystyreenimuovi eli styrox syrjäytti 1960-luvulla purueristeen myös alapohjien eristeenä. (Lindblad 2010, 15.)

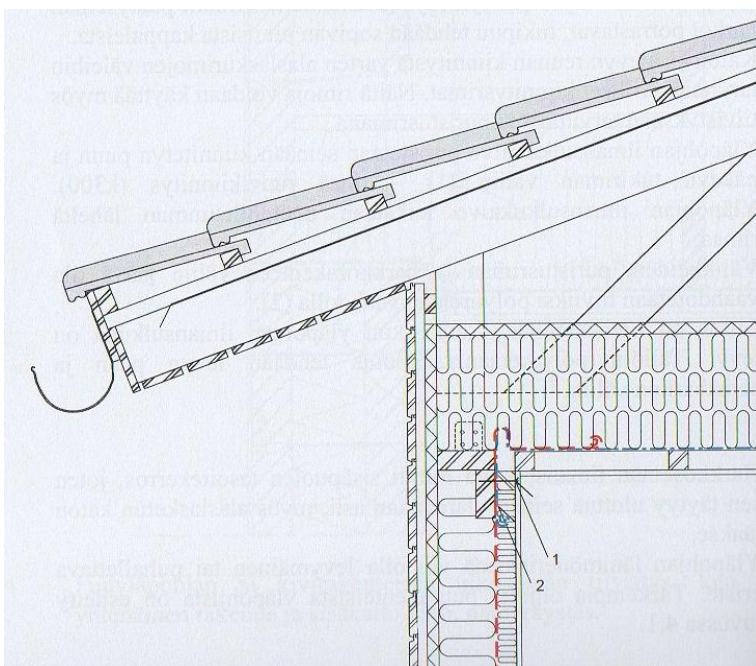
1960-luvulla rakentamiseen suhtauduttiin melko vapaasti, eikä määräyksiä aina noudatettu, vaan asiat tehtiin omaan tyyliin. Rakennukset olivat matalia, tasakattoisia ja suuri-ikkunaisia. 1970-luvulla taas rakennettiin harjakattoisia taloja, joiden päädyissä oli paljon ikkunoita ja usein myös parveke. (Asunmaa 2012.)

3.1 Ulkoseinä

Puurunkoista ulkoseinää tiivistettäessä kalvomaisella materiaalilla, ilmatiiveyden kannalta tärkeimpiä asioita ovat muovin sijainti, jatkosten saumaus ja ettei rakenteeseen jää rakennuskosteutta. Ilmansulkumuovin tulee sijaita heti sisäpinnan levyn takana tai noin 50 mm etäisyydellä siitä lämmöneristeen sisällä. (Aho – Korpi 2009, 12.)

3.2 Yläpohja

Kuvassa 5 näkyy puurakenteisen yläpohjan ja ulkoseinän liitoskohta, jossa ilmatiiveyteen on kiinnitetty erityisesti huomiota ja ilmansulkuina on käytetty muovikalvoja. Kuvan 5 kohdassa 2 näkyy, miten yläpohjan ilmansulkumuovi viedään sisäverhouslevyn kiinnitysriman alapuolelle, jotta saadaan riittävä limitys ulkoseinän ilmansulkumuovin kanssa. Liitos puristetaan tiiviiksi kiinnitysrimalla, kuten kuvan 5 kohdassa 1 näkyy. (Aho – Korpi 2009, 51.)

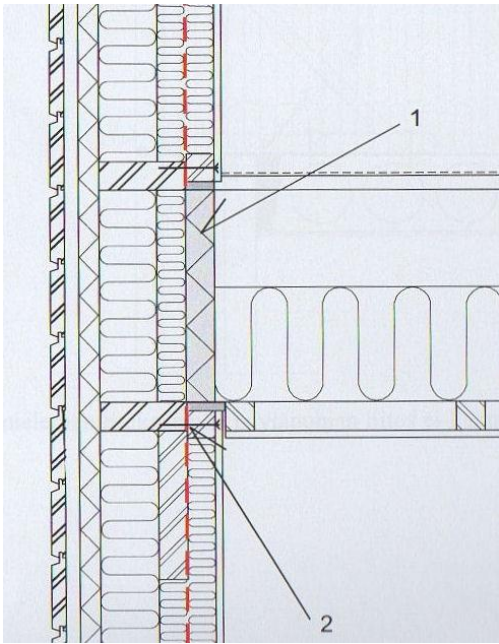


KUVA 5. Puurakenteisen yläpohjan ja ulkoseinän liitosdetalji (Aho – Korpi 2009, 50)

3.3 Välipohja

Puurunkoisen ulkoseinän ja välipohjan liitoksen ilmatiiviissä toteutuksessa tulee ottaa huomioon seuraavia seikkoja, kun ilmansulkuna käytetään muovia.

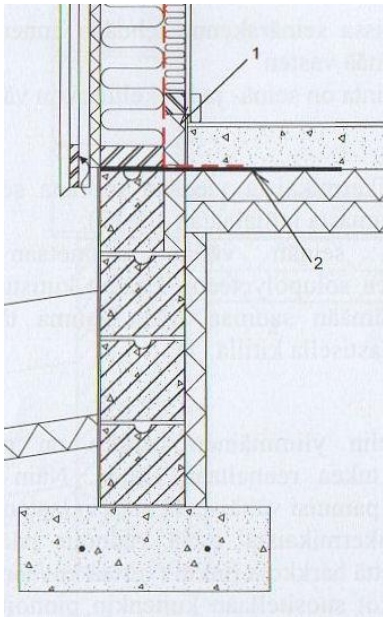
Alemman kerroksen seinän ilmansulkumuoville tulee tehdä puristusliitos seinän yläohjauspuuhun, kuten kuvan 6 kohdassa 2 näkyy. Kuvassa 6 kohdassa 1 näkyy välipohjaan asennettava solumuovieristelevy, joka tiivistetään vaahdottamalla. (Aho – Korpi 2009, 69.)



KUVA 6. Puurakenteisen välipohjan ja ulkoseinän liitosdetalji (Aho – Korpi 2009, 68)

3.4 Alapohja

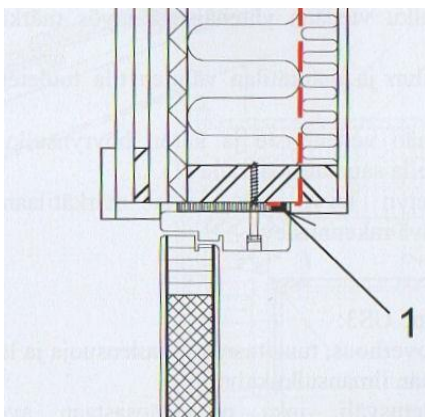
Kuvassa 7 on mallitapaus puurunkoisen seinän ja maanvastaisen betonilaatan välisestä ilmatiiviistä liitoksesta, kun seinän ilmansulkuna käytetään muovia. Kuvan 7 kohdassa 1 näkyy miten seinän ilmansulkumuovia vasten asennetaan muovieristelevykaista, joka on vähintään laatan paksuinen. Seinän alajuoksupuun alta tuodaan bitumikermikaista aina betonilaatan alle saakka, kuten kuvan 7 kohdassa 2 näkyy. Seinän ilmansulkumuovi taitetaan bitumikermikaistan päälle. (Aho – Korpi 2009, 29.)



KUVA 7. Puurakenteisen ulkoseinän ja maanvaraisen alapohjan liitosdetalji (Aho – Korpi 2009, 28)

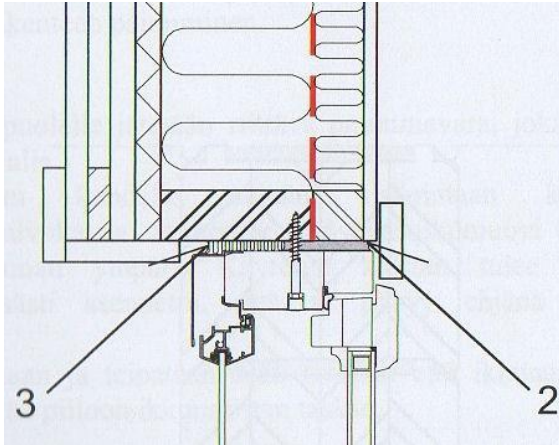
3.5 Ikkunat, ovet ja läpiviennit

Muidenkin ilmatiiviiden rakenteiden toteutuksen mukaisesti huolellisuus on tärkein asia myös ovien ja ikkunoiden tiivistämisessä. Kuvassa 8 näkyy oven ilmatiivisasennus puurunkoiseen ulkoseinään, jossa ilmansulkuna on käytetty muovikalvoa. Kuvan 8 kohdan 1 mukaisesti sisäpuolinen ilmanpitävyys varmistetaan elastisella kittauksella ja seinän ilmansulkumuovi limitetään sen kanssa. (Aho – Korpi 2009, 81.)



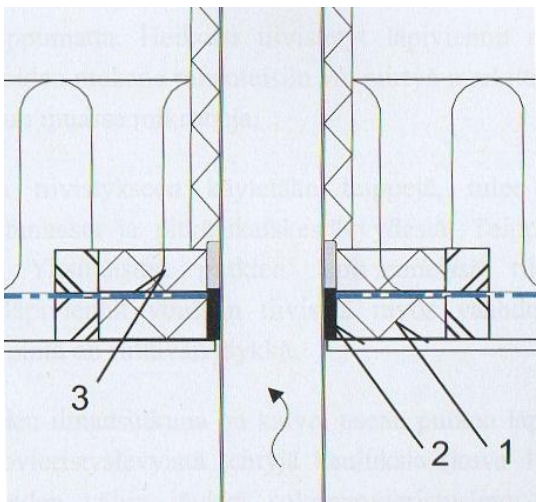
KUVA 8. Puurakenteisen ulkoseinän ja oven liitosdetalji (Aho – Korpi 2009, 80)

Kuvan 9 kohdassa 3 on jätetty tuuletusrako ikkunan karmin ulkopintaan ja tiivistäminen puurakenteisen ulkoseinän kanssa on aloitettu ulkoapäin mineraalivillalla ja jatkettu polyuretaanivaahdolla tiivistäen, kuten kuvan 9 kohdassa 2 näkyy (Aho – Korpi 2009, 81).



KUVA 9. Puurakenteisen ulkoseinän ja ikkunan liitosdetalji (Aho – Korpi 2009, 81)

Putkien ilmatiivis läpivienti puurunkoisessa yläpohjassa voidaan toteuttaa solumuovieristyslevykaulusella, kuten kuvassa 10 näkyy. Yläpohjan koolausrimojen väliin vaahdotetaan solumuovieristyslevy ja lisäksi levy voidaan asentaa myös ilmansulkumuovin toiselle puolelle, kuten kuvan 10 kohdissa 1 ja 3 näkyy. Kuvan 10 kohdassa 2 näkyy levykaulus, jonka läpi putket on viety ja tiivistetty vaahdolla. (Aho – Korpi 2009, 86.)



KUVA 10. Putkiläpivienti puurakenteisessa yläpohjassa (Aho – Korpi 2009, 86)

4 TIIVEYSMITTAUKSET

Ilmativeysmittaus toteutettiin standardin SFS-EN 13829 ja ohjekortin RT 80-10974 mukaan. Mittauksessa edettiin ja valmistelut suoritettiin jo luvussa 2.4.1 esitetyllä tavalla käyttäen menetelmää B. Mittauslaitteistona käytimme kalibroitua Minneapolis Blowerdoor -laitteistoa.

4.1 Kohteiden esittely

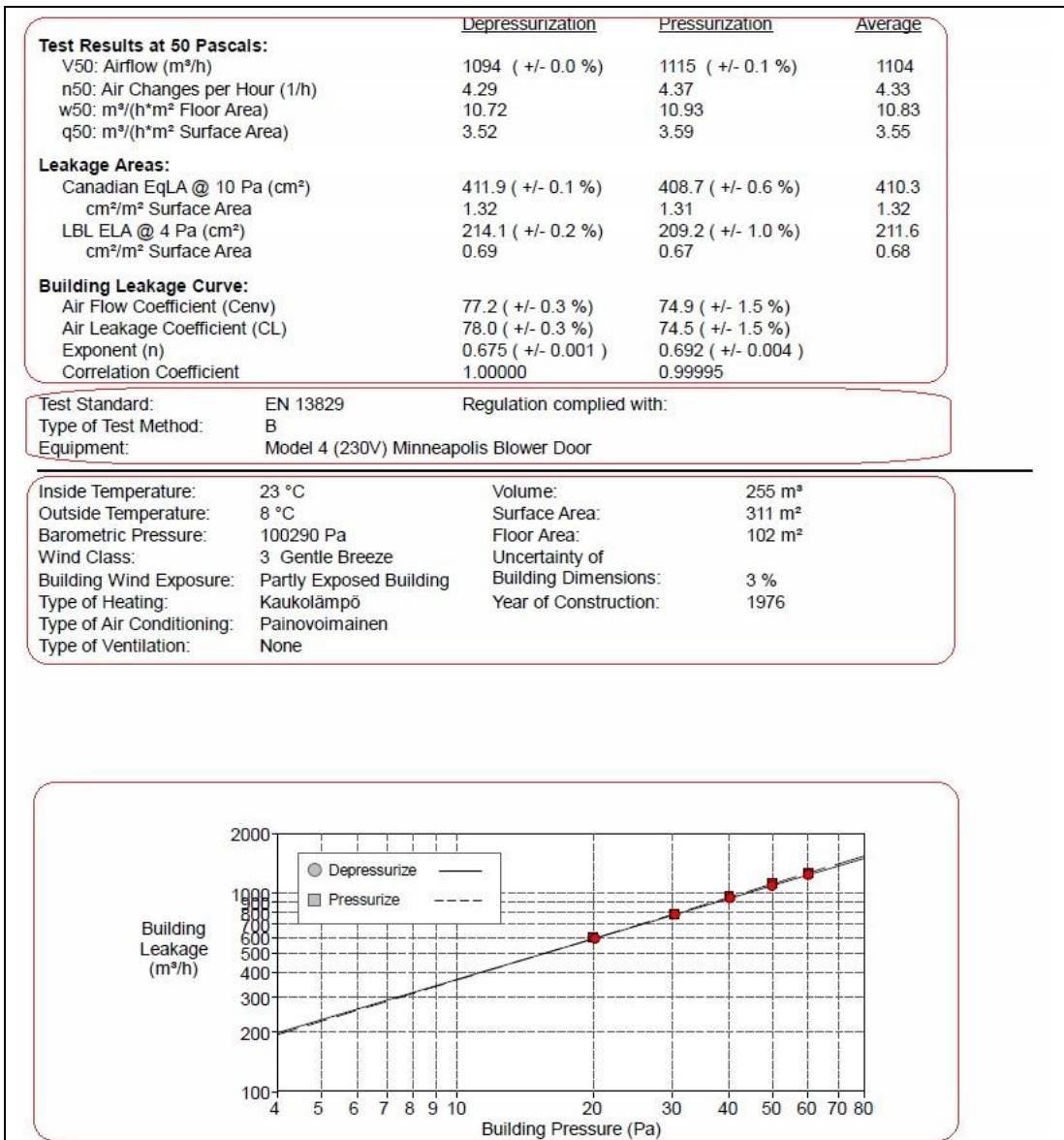
Mittauskohteet koostuvat viidestä 1960-luvulla ja kahdestatoista 1970-luvulla rakennetusta pientalosta. Kaikki kohteet sijaitsevat Suur-Oulun alueella. Talois-
ta 15 on erillisiä omakotitaloja ja 2 on kytkettyjä omakotitaloja. Jokainen kohde on paikalla rakennettu ja seinärakenteeltaan puurunkoinen. Alapohjarakenteena on käytetty maanvaraista betonilaattaa ja ulkoverhouksena toimii tiilimuuraus tai puu. Suurimmassa osassa kohteista ilmansulkuna on käytetty muovikalvoa, lukuun ottamatta kahta kohdetta, joista toisessa ilmansulkuna toimii tervapaperi ja toisessa tapetti. Kohteista kolme on 2-kerroksisia ja loput neljätoista 1-kerroksisia. Kohteiden tarkemmat tiedot löytyvät taulukosta 3 ja liitteestä 1.

TAULUKKO 3. Kohdeluettelo

Kohde	Rak. Vuosi	m ³ / ilmatilavuus	m ² / vaipanala	Runkomateriaali	Ulko-eristys	Rakennustapa	Alapohja	Höyrynsulku	Krs.	Talotyyppi	Lämmitysmuoto	Ilmanvaihto	Lisätiedot	Mittaus
1	1978	425	550	Puu	Puu	pr.	bl./mv.	Muovi	2	pt.	Sähkö	pv.		ali- ja ylipaine ka.
2	1970	295	365	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.	Keskuslämmitys (pelletti)	pv.	Alkuperäiskuntoinen	ali- ja ylipaine ka.
3	1979	468	446	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.	Kaukolämpö	kn./LTO		ali- ja ylipaine ka.
4	1972	292	364	Puu	Tiili				1	pt.	Sähkö/ilmalämpöpumppu	pv.		alipaine
5	1960	250	259	Puu	Puu	pr.	bl./mv.	Tapetti	2	pt.	Sähkö/ilmalämpöpumppu	pv.	Ei täysin alkuperäiskuntoinen	ali- ja ylipaine ka.
6	1978	437	413	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	2	pt.	Keskuslämmitys (öljy)	pv.		ali- ja ylipaine ka.
7	1977	320	380	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	ko.	Sähkö	kn./LTO		ali- ja ylipaine ka.
8	1976	255	311	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.	Kaukolämpö	pv.	Peruskorjaamaton	ali- ja ylipaine ka.
9	1961	225	290	Puu	Puu	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.	Ilmavesilämpöpumppu	pv.	Alkuperäiskuntoinen	ali- ja ylipaine ka.
10	1966	233	302	Puu	Puu				1	ko.	Kaukolämpö	pv.	Runkoleijona asennettu, ikkunat vaihdettu	ali- ja ylipaine ka.
11	1972	304	385	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.	Keskuslämmitys (öljy)	pv.	Alkuperäiskuntoinen	ali- ja ylipaine ka.
12	1967	268	340	Puu	Puu	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.	Keskuslämmitys (öljy)	kn.	Ikkunat vaihdettu	ali- ja ylipaine ka.
13	1977	316	385	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.	Keskuslämmitys (öljy)	pv.	Ikkunat vaihdettu	alipaine
14	1978	343	414	Puu	Tiili	pr.			1	pt.	Keskuslämmitys (öljy)	kn.	Ovet ja katto uusittu	alipaine
15	1965	173	245	Puu	Puu	pr.	Puu/mv.	Tervapaperi	1	pt.	Keskuslämmitys (Puu/Sähkö)	pv.	Seinät lisäeristetty, ikkunat vaihdettu	alipaine
16	1976	301	371	Puu	Puu	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.	Keskuslämmitys (Sähkö)	pv.	Ulkoverhous uusittu, ei lisäeristetty, katto uusittu	ali- ja ylipaine ka.
17	1976	318	322	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.	Kaukolämpö	kn.		alipaine
pr. = paikalla rakennettu											pv. = painovoimainen			
bl. = betonilaatta											kn. = koneellinen			
mv. = maanvarainen											LTO = lämmön talteenotto			
pt. = pientalo														
ko. = kytketty omakotitalo														

4.2 Mittaustulokset

Tiiveysmittausraportin vuotokäyrästä voidaan lukea rakennuksen ilmavuodot (m³/h) sen ollessa paineistettuna joko yli- tai alipaineiseksi 20 Pa:sta 60 Pa:iin. Alipainemittauksen vuotomäärät on merkitty käyrään ympyrällä ja ylipainemittauksen vuotomäärät neliöllä. Kyseisessä mittauksessa (kuva 11) ne ovat kuitenkin lähestulkoon samat, joten merkintöjä on vaikea erottaa käyrästä. Vuotokäyrän yläpuolella nähdään mittaustilanteen ilmasto-olosuhteet ja mittauksessa tarvittavat tiedot rakennuksesta. Näiden tietojen yläpuolella on merkittynä mittauksessa noudatettava standardi, mittaustapa ja käytetty mittauslaitteisto. Raportin yläosasta voidaan lukea mittauksien tulokset ylipaineistettuna, alipaineistettuna sekä lopullisina arvoina käytettävät keskiarvot.



KUVA 11. Ote tiiveysmittausraportista

Kaikkien kohteiden mittaustulokset käsiteltiin kyseisten ilmantiiveysraporttien perusteella ja niistä kootulla taulukkolaskennalla (liite 1). Vertailupohjaksi otettiin 1960-luvun rakennukset ja 1970-luvun rakennukset, jotta nähtäisiin miten eri vuosikymmenien rakentaminen on vaikuttanut rakennusten ilmantiiveyteen. Toinen vertailu toteutettiin eri kerroslukumäärien perusteella, jotta nähtäisiin, miten ilmanvuotoluvut n_{50} ja q_{50} muuttuvat kerrosmäärän vaihdellessa. Lisäksi saatuja mittaustuloksia verrattiin jo olemassa oleviin tutkimuksiin ja Suomen rakentamismääräyskokoelman asettamiin vaatimuksiin. Mittauskohteiden rakenteissa ei löytynyt riittävästi eroavaisuuksia, jotta ilmanvuotolukuja olisi voitu tältä osin vertailla.

4.2.1 Mittaustulosten vertailu

Mittaustulosten vertailu tehdään pääasiassa nykyään käytössä olevan ilmanvuotoluvun q_{50} mukaan, mutta aiemmin käytössä ollutta ilmanvuotolukua n_{50} verrataan muun muassa ympäristöministeriön asettamiin arvoihin. Asetuksen antamia arvoja käytetään, mikäli rakennusvaipan ilmanvuotolukua ei ole voitu muulla tavoin selvittää. Ilmanvuotoluvulle n_{50} kaikkien kohteiden keskiarvoksi saatiin 6,7 1/h ja ääriarvojen vaihteluväli oli 2,6–12,4 1/h. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä antaa laskentaliitteessään 1960- ja 1970-lukujen rakennuksille ilmanvuotoluvun n_{50} arvon 6 1/h. (Ympäristöministeriö, laskentaliite.) Saadut tulokset ilmanvuotoluvulle n_{50} noudattavat oletusarvoa melko tarkasti, ja tästä voidaan päätellä tuloksien olevan normaalilla tasolla.

Kaikkien mittauskohteiden ilmanvuotolukujen q_{50} keskiarvo oli $5,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja ääriarvojen vaihteluväli oli 2,6–10,3 $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Tuloksia verratessa Suomen rakentamismääräyskokoelman uudisrakennuksille asettamaan suositusarvoon $1,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, voidaan todeta nykypäivän vaatimustason olevan suhteellisen korkealla. Puhuttaessa 1960- ja 1970-lukujen rakennuksista käyttökelpoisempi vertausarvo on $4,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, sillä vanhaakin rakennusta myytäessä ja halutessa käyttää kyseistä arvoa pienempää ilmanvuotolukua energiatodistuksessa, se tulee todistaa mittaamalla. Mittauskohteista 41,2 %:n q_{50} -arvot olivat pienemmät kuin määräysten asettama raja-arvo $4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.

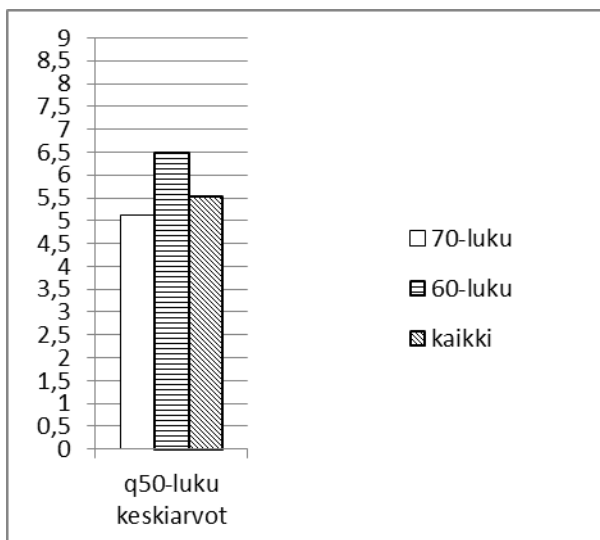
Vertaillen tuloksia ilmanvuotoluvuille asetettuihin energialuokkiin (kuva 2), yhdenkään kohteen ilmatiiveys ei yltänyt A-, B-, C- tai edes D-luokkaan. Kuitenkin 23,5 % kohteista oli E-luokassa eli niiden tiiveyden voidaan sanoa olevan hyvä ja energiansäästön noin 7–14 %. Tyydyttävään F-luokkaan ylsi 17,6 % kohteista, jossa mahdollinen energiansäästö on noin 0–7 %. Loput 58,8 % kohteista oli huonoimmassa eli G-luokassa, jossa lämmitysenergiantarve vain kasvaa ilmanvuotoluvun suurenessa, eikä energiansäästöjä pääse tulemaan.

Sauli Paloniityn teosta Rakennusten tiiviysmittaus varten on koottu erittäin kattava otanta ennen vuotta 1999 Suomessa rakennettujen pientalojen ilmanvuotoluvuista. Kyseisessä otannassa keskimääräiseksi ilmanvuotoluvuksi q_{50} oli saa-

tu $9,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja n_{50} -ilmanvuotolukujen keskiarvoksi $7,0 \text{ 1/h}$. (Paloniitty 2012, 24.) Tuohon huomattavasti laajempaan tutkimukseen verrattuna, tässä opinnäytetyössä saatu keskiarvo $5,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ilmanvuotoluvulle q_{50} on merkittävästi parempi. Ilmanvuotoluvulle n_{50} saatu keskiarvo $6,7 \text{ 1/h}$ on lähestulkoon sama kuin edellä mainitussa tutkimuksessa, vaikka mittauskohteiden rakennusvuodet eivät näissä kahdessa tutkimuksessa olekaan täysin vertailukelpoisia.

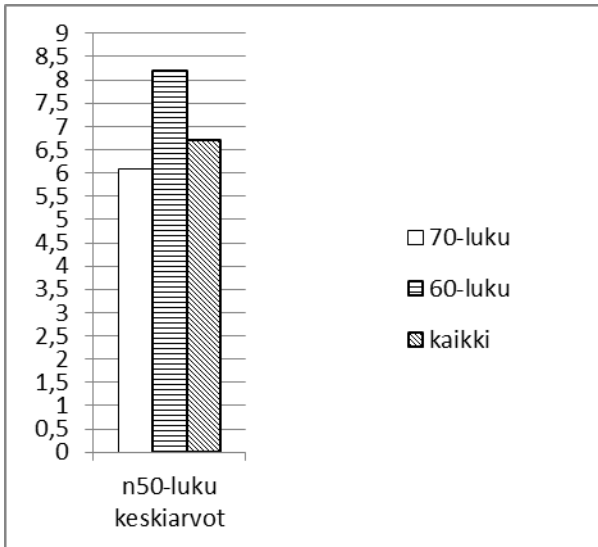
4.2.2 Rakennusajankohdan vaikutus tuloksiin

Ilmanvuotoluvun q_{50} keskiarvo (kuva 12) oli noin yhtä yksikköä pienempi kuin ilmanvuotoluvun n_{50} keskiarvo (kuva 13) tarkasteltaessa 1970-luvun rakennuksia.



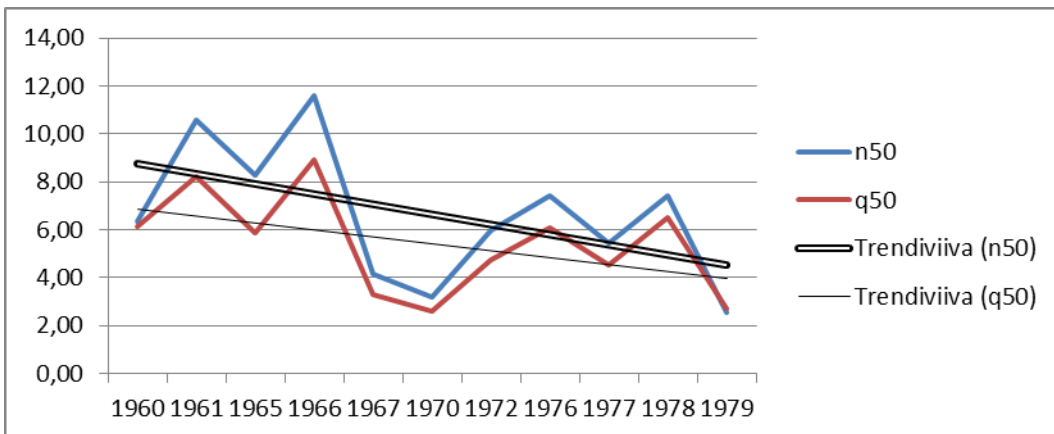
KUVA 12. Ilmanvuotoluvun q_{50} keskiarvot eri vuosikymmeninä

1960-luvun rakennuksissa eroavaisuutta oli hieman enemmän ilmanvuotolukujen q_{50} (kuva 12) ja n_{50} (kuva 13) välillä, jopa $1,7$ yksikköä. Ilmanvuotolukujen erot johtuvat siitä että rakennusten ilmatilavuudet (m^3) ovat hieman vaipanpinta-aloja (m^2) suurempia erityisesti, 1960-luvulla rakennetuissa pientaloissa.



KUVA 13. Ilmanvuotoluvun n_{50} keskiarvot eri vuosikymmeninä

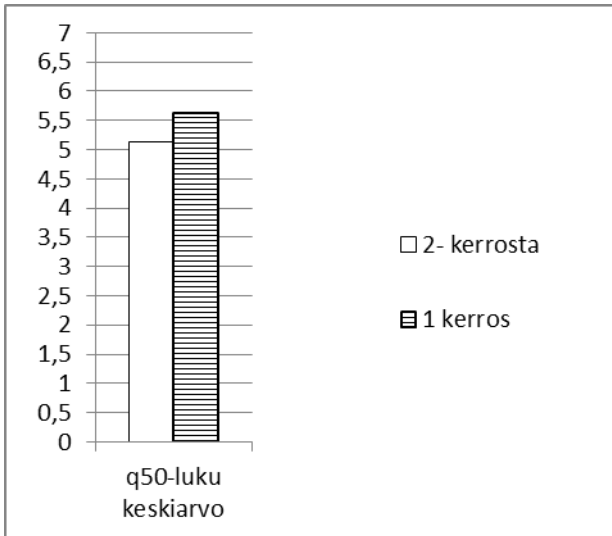
Ilmantiiveyden kehitystä vuositasolla tutkiakseen eroteltiin kaikkien mittauskohteiden tulokset rakennusvuoden mukaan ja samana vuonna rakennettujen pientalojen ilmanvuotoluvuista laskettiin keskiarvo. Näin ollen kuvasta 14 voidaan nähdä ilmantiiveyden trendiviivan olevan laskeva mitä, lähemmäs 1980-luvun alkua mennään. Tämä johtunee lähinnä rakentamisen huolellisuuden ja materiaalien parantumisesta.



KUVA 14. Pientalojen ilmatiiveyden kehitys 1960-luvulta 1970-luvun loppuun

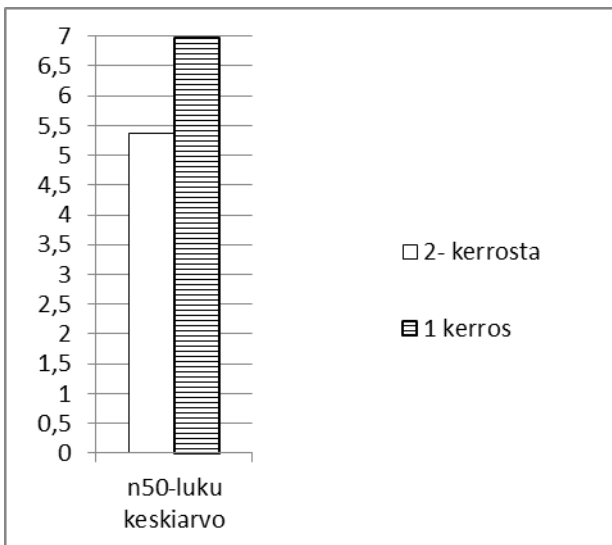
4.2.3 Kerrosmäärän vaikutus tuloksiin

Tarkasteltaessa kerrosmäärän vaikutusta ilmanvuotolukuihin huomataan, että 2-kerroksisissa rakennuksissa ilmanvuotoluvut q_{50} (kuva 15) ja n_{50} (kuva 16) ovat lähestulkoon samat.



KUVA 15. Ilmanvuotoluvun q_{50} keskiarvot kerrosmäärän perusteella

Yksikerroksisissa rakennuksissa ilmanvuotoluku n_{50} (kuva 16) on noin 1,4 yksikköä suurempi. Tämä johtuu siitä että 1-kerroksisissa rakennuksissa vaipan pinta-ala on suhteessa suurempi kuin ilmatilavuus.



KUVA 16. Ilmanvuotoluvun n_{50} keskiarvot kerrosmäärän perusteella

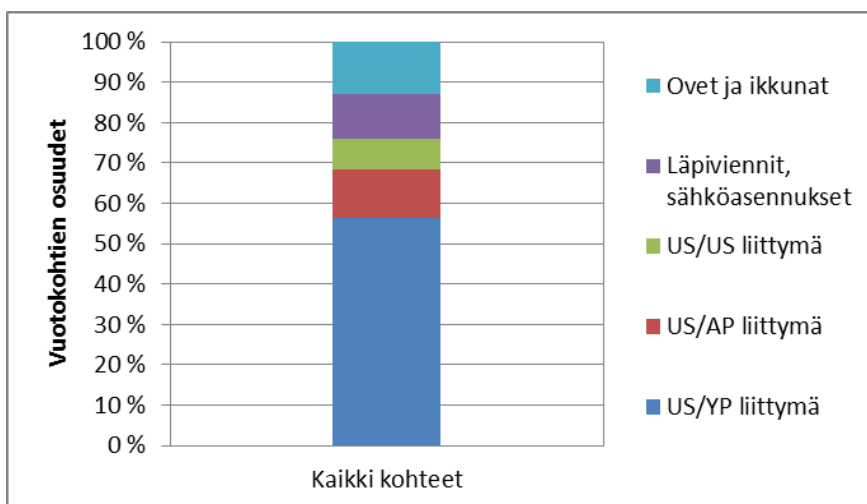
4.3 Vuotokohtien paikannus

Vuotokohtien paikantaminen toteutettiin talon sisäpuolelta lämpökameralla kuvaamalla, kun rakennusta oli pidetty alipaineistettuna 50 Pa:iin noin 15 minuutin ajan. Normaalipaineolojen lämpökuvausta ei suoritettu, mutta kylmäsilat pyrittiin

erottamaan ilmapuodoista lämpökuvien käsittelyn jälkeen. Kuvauksessa käytettiin FLIR B400 Western -lämpökameraa ja kuvauspaikan tunnistuksen helpottamiseksi annettiin äänikommentteja kuvattavasta rakenteesta.

Mittauksissa tehdyissä lämpökamerakuvauksista pystyi selkeästi näkemään, että yläpohjan ja ulkoseinän välinen liittymä oli ylivoimaisesti yleisin vuotokohta. Rakenneliittymät jaettiin viiteen eri luokkaan: ulkoseinän ja yläpohjan liittymä, ulkoseinien liittymä, alapohjan ja ulkoseinän liittymä, ovet ja ikkunat sekä läpiviennit ja sähköasennukset. Ulkoseinän ja välipohjan liittymää ei otettu omaksi ryhmäkseen, koska lähes kaikki mittauskohteista olivat 1-kerroksisia pientaloja. Vuotokohtien lukumäärä on laskettu lämpökuvauksien pohjalta tehdyistä lämpökuvauksiraporteista, ottaen huomioon vain merkittävät ilmanvuotokohdat.

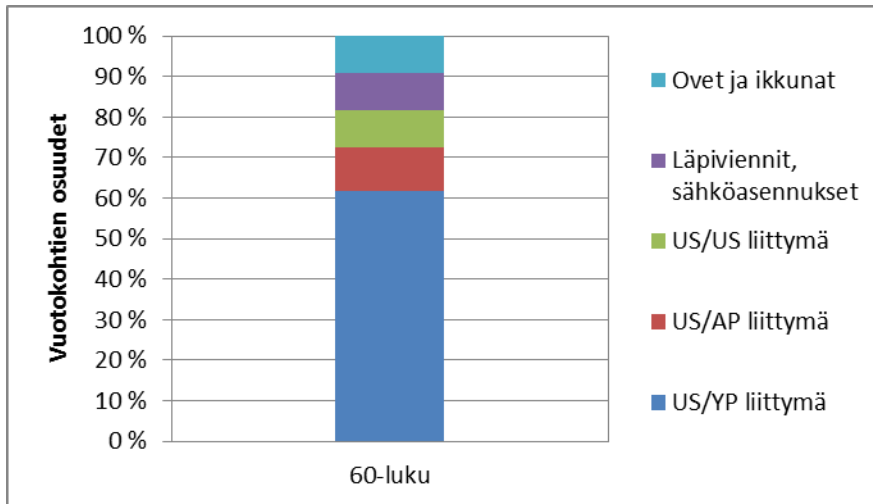
Kuten yllämainittu yläpohjan ja ulkoseinän liittymissä oli yli puolet (55%) kaikista vuotokohdista. Loput vuotokohdat jakaantuivat melko tasaisesti muiden rakenneliittymien kesken. Ovista ja ikkunoista ja niiden liittymistä ulkoseinään löytyi noin 13 % vuotokohdista, sekä ulkoseinän ja alapohjan liittymäkohdissa oli noin 12 % vuodoista. Läpivienneistä ja sähköasennuksista ilma pääsi vuotamaan 11 %:n osuudella ja ulkoseinien liittymistä löytyi 7 % vuotokohdista. Kuva 17 havainnollistaa kaikkien mittauskohteiden vuotokohtien prosentuaalista jakaumaa.



KUVA 17. Vuotokohtien prosentuaalinen osuus kaikissa mittauskohteissa

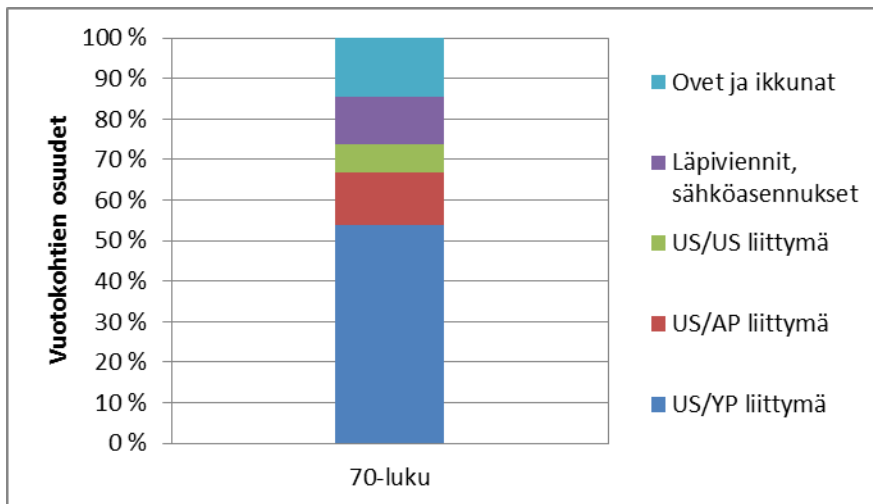
Mittauskohteiden rakenteiden ollessa lähestulkoon samat kaikissa tapauksissa, eri rakenteiden ja materiaalien vaikutusta vuotopaikkoihin ei voida vertailla. 60-

ja 70-lukujen rakennuskantaa vertaillakseen yritettiin selvittää eri vuosikymmenien rakentamisen vaikutusta vuotokohtien paikkaan. Kuva 18 sisältää 60-luvun vuotokohtien prosentuaalisen jakauman.



KUVA 18. Vuotokohtien prosentuaalinen osuus 60-luvun mittauskohteissa

Kuvasta 19 nähdään vuotokohtien prosentuaalinen jakauma 70-luvulla rakennetuissa pientaloissa.



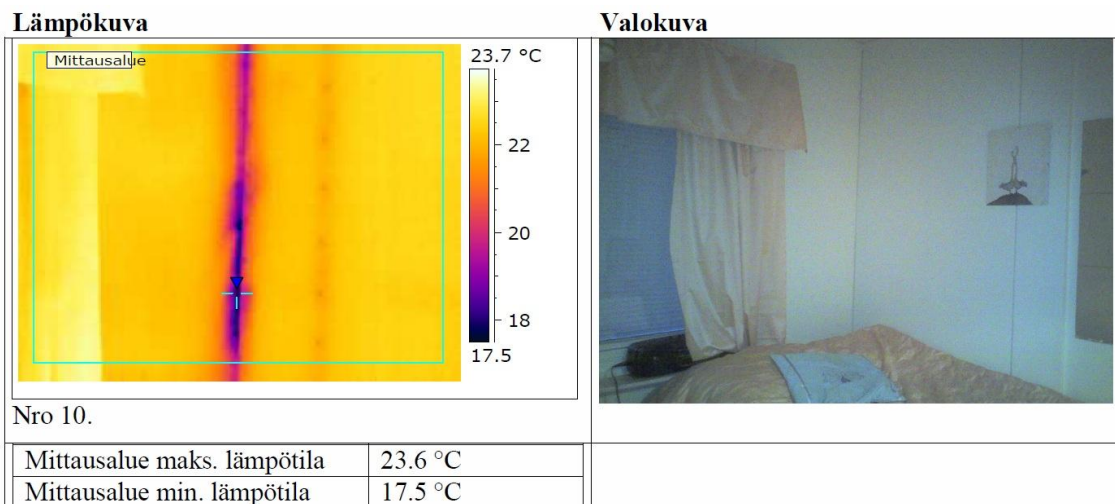
KUVA 19. Vuotokohtien prosentuaalinen osuus 70-luvun mittauskohteissa

Huomioon otettavia eroavaisuuksia kyseisten vuosikymmenien rakennuskannassa ei paljoa löytynyt. Vahvimpana esiin tulee 60-luvulla rakennettujen pientalojen osalta yläpohjan ja ulkoseinän liittymän osuuden suuruus, joka on 61 % kaikista vuotokohdista. Muutoin jakaumat noudattavat melko samaa linjaa. Seu-

raavassa käsitellään eri rakenneliittymien ilmanvuotokohtat kaikista mittauskoh-
teista löytyneiden pahimpien ja selkeimpien vuotokohtien perusteella.

4.3.1 Ulkoseinien liittymä

Kuvassa 20 näkyy kohteen 12 makuuhuoneessa olevien ulkoseinien liittymästä
tuleva ilmavuoto. Kohteen 12 ilmanvuotoluku q_{50} on $3,27 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Lämpöku-
van oikealla puolella olevasta lämpötilaskaalasta ja kuvan väreistä voi päätellä
eri pinnoilla vallitsevat lämpötilat. Lämpökuvan alapuolella näkyy kuitenkin mit-
tausalueen minimi- ja maksimilämpötilat, jotka tässä tapauksessa ovat $17,5 \text{ }^\circ\text{C}$
ja $23,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Ulkoseinien liittymäkohdat näkyvät lämpökamerassa lähes aina hie-
man viileämpänä puurakenteisessa talossa, koska nurkkarakenteessa on kyl-
mäsilta pystyrunko. Tässä lämpökuvassa näkyy kuitenkin myös ilmavuotoa,
joka ilmenee himmenevänä värihäntänä.

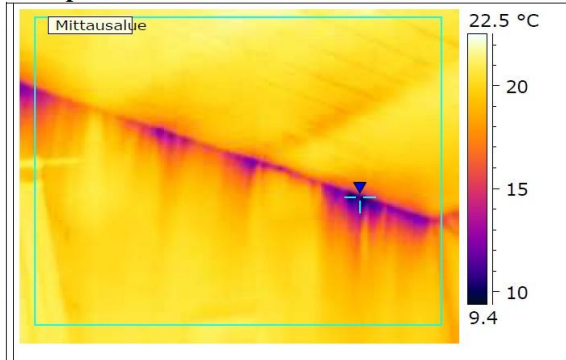


KUVA 20. Ilmanvuotoa ulkoseinien välisestä liittymästä

4.3.2 Yläpohjan ja ulkoseinän liittymä

Kuvassa 21 näkyy kohteessa 5 ruokailutilassa olevan ulkoseinän ja yläpohjan
liittymästä tuleva ilmavuoto, joka jatkuu koko seinälinjan läpi. Kohteen 5 ilman-
vuotoluku q_{50} on $6,11 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Kyseisen kuvan minimi- ja maksimilämpötilat
ovat $9,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $21,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Lämpökuva



Nro 14.

Mittausalue maks. lämpötila	21.9 °C
Mittausalue min. lämpötila	9.8 °C

Valokuva

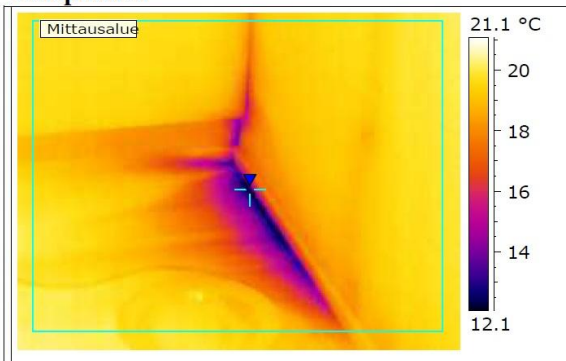


KUVA 21. Ilmanvuotoa yläpohjan ja ulkoseinän välisestä liittymästä

4.3.3 Alapohjan ja ulkoseinän liittymä

Kuvassa 22 näkyy kohteessa 16 makuuhuoneessa olevan ulkoseinän ja alapohjan liittymästä listan takaa tuleva ilmavuoto. Tämä on tyypillinen kyseisen rakenneliittymän vuoto. Kohteen 16 ilmanvuotoluku q_{50} on $6,39 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Kyseisen kuvan minimi- ja maksimilämpötilat ovat $11,5 \text{ °C}$ ja $20,4 \text{ °C}$.

Lämpökuva



Nro 5.

Mittausalue maks. lämpötila	20.4 °C
Mittausalue min. lämpötila	11.5 °C

Valokuva



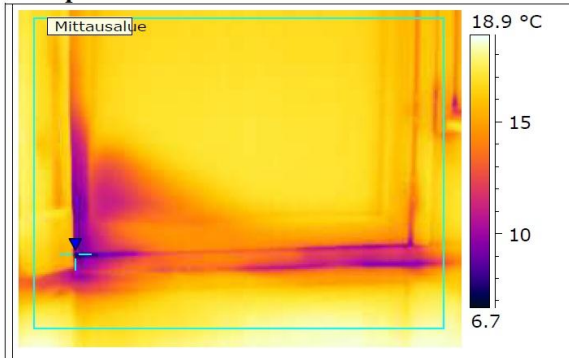
KUVA 22. Ilmanvuotoa alapohjan ja ulkoseinän välisestä liittymästä

4.3.4 Ovet ja ikkunat

Kuvassa 23 näkyy kohteessa 10 olohuoneessa olevan ulko-oven ilmavuoto, jossa ilma pääsee virtaamaan kynnyksen alta ja tiivisteiden välistä. Kohteen 10

ilmanvuotoluku q_{50} on $8,93 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Kyseisen kuvan minimi- ja maksimilämpötilat ovat $6,9 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $18,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Lämpökuv



Valokuva



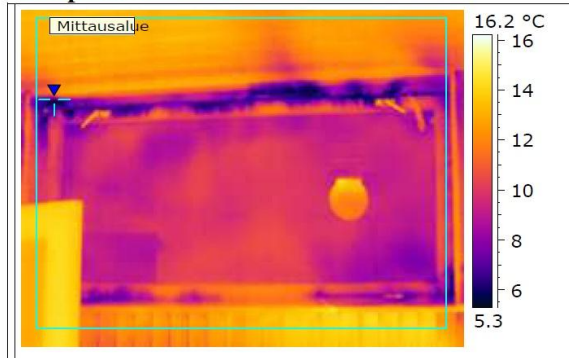
Nro 1.

Mittausalue maks. lämpötila	18.6 °C
Mittausalue min. lämpötila	6.9 °C

KUVA 23. Ilmanvuotoa ulko-oven tiivisteistä ja kynnyksen alta

Kuvassa 24 näkyy kohteessa 11 kylpyhuoneessa olevan ikkunan ilmanvuoto ikkunan tiivisteistä ja karmien välistä. Kohteen 11 ilmanvuotoluku q_{50} on $6,60 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Kyseisen kuvan minimi- ja maksimilämpötilat ovat $5,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $15,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Lämpökuv



Valokuva



Nro 16.

Mittausalue maks. lämpötila	15.1 °C
Mittausalue min. lämpötila	5.3 °C

KUVA 24. Ilmanvuotoa ikkunan tiivisteistä ja karmien välistä

4.3.5 Läpiviennit ja sähköasennukset

Kuvassa 25 on kohteessa 5 ruokailutilassa olevan liesituulettimen hormin läpiviennistä tuleva ilmapuoto. Kohteen 5 ilmanvuotoluku q_{50} on $6,11 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.

Kyseisen kuvan minimi- ja maksimilämpötilat ovat $8,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $26,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Lämpökuv



Valokuva



Nro 17.

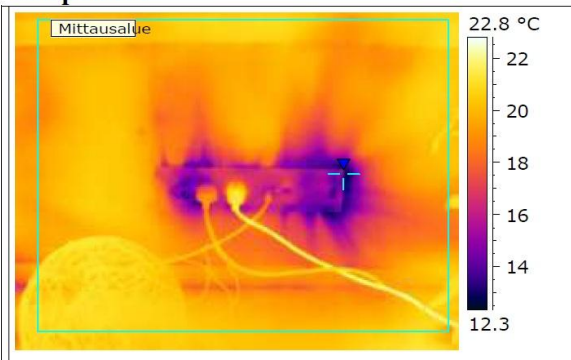
Mittausalue maks. lämpötila	26.3 °C
Mittausalue min. lämpötila	8.6 °C

KUVA 25. Ilmanvuotoa liesituulettimen hormin läpiviennistä

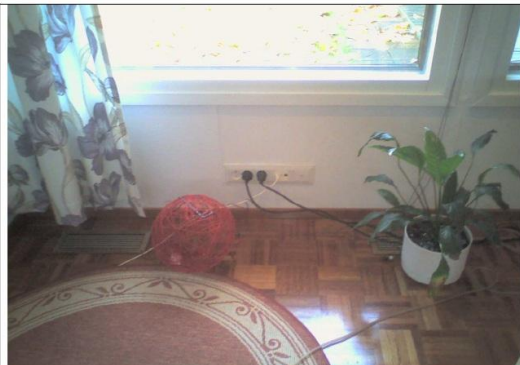
Kuvassa 26 on kohteessa 3 ruokailutilassa olevan pistokerasian ilmapuoto.

Kohteen 3 ilmanvuotoluku q_{50} on $2,69 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Kyseisen kuvan minimi- ja maksimilämpötilat ovat $12,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $22,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Lämpökuv



Valokuva



Nro 4.

Mittausalue maks. lämpötila	22.6 °C
Mittausalue min. lämpötila	12.6 °C

KUVA 26. Ilmanvuotoa pistokerasiasta

5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda kuva Suomessa 1960- ja 1970-luvuilla rakennettujen pientalojen vaipan ilmatiiveydestä ja paikantaa yleisimpien vuotokohtien sijainnit. Lisäksi tavoitteena oli kertoa tiiveysmittausprosessin kulusta ja antaa esimerkkejä ilmatiiviiden rakenteiden toteutuksesta. Tutkimuskohteina työssä on 17 kyseisellä aikakaudella rakennettua pientaloa, joihin tiiveysmittaus ja lämpökuvaus suoritettiin. Lähes kaikki kohteet ovat rakenteiltaan samanlaisia eli puurunkoisia ja paikalla rakennettuja pientaloja, joissa ilmansulkuina on käytetty muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta muovia.

Mittauksessa saatujen ilmanvuotolukujen q_{50} keskiarvo $5,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ oli aiempaan huomattavasti laajempaan tutkimukseen verrattuna hyvä, sillä kyseisen mittauksen q_{50} keskiarvoksi oli saatu $9,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Tuloksien ero oli jopa $3,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Laajemmassa tutkimuksessa mukana olleet mittauskohteet olivat kaikki rakennettu ennen vuotta 1999 ja rakenteiltaan hieman vaihtelevampia kuin tässä tutkimuksessa. Kaikkien mittauskohteiden ilmanvuotolukujen n_{50} keskiarvoksi saatiin $6,7 \text{ 1/h}$ ja saatua tulosta voidaan pitää normaalina, kun verrataan tuloksia ympäristöministeriön asetukseen rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Kyseisen asetuksen laskentaliitteessä annetaan ilmanvuotoluvulle n_{50} ohjearvo $6,0 \text{ 1/h}$ 1960- ja 1970-luvuilla rakennetuille pientaloille.

Tuloksiin suurimman virheen tekivät mittaushetkellä vallinneet tuuliolosuhteet ja ilmanvaihtojärjestelmän teippausten tiiviys. Mittaukset kuitenkin pyrittiin suorittamaan mahdollisimman suotuisissa olosuhteissa ja valmistelevat toimenpiteet tekemään erityisen huolellisesti. Ilmanvuotoluvun hyvälle tai huonolle arvolle ei voi antaa tarkempaa rakenteellisen virheen selitystä, koska rakenteita ei ole purettu lämpökamerakuvaus osoittamien vuotopaikkojen kohdalla.

Vaipan ilmanvuotokohtien paikantamisessa käytetty lämpökamerakuvaus alipaineistetussa rakennuksessa kertoi selkeää kieltä vuotokohtien sijainnista. Heti muutaman huoneen kuvattua nähtiin yläpohjan ja ulkoseinän liittymän olevan pahin riskirakenne ilmavuodoille. Tämä tieto ei kuitenkaan tullut yllätyksenä,

koska muissakin aiemmin tehdyissä kartoituksissa eniten vuotoja on esiintynyt kyseisessä liittymässä.

Opinnäytetyön tavoitteet eivät olleet niinkään numeerisiin tuloksiin viittaavat, vaan tämän työn tulosten voidaan sanoa luovan käyttökelpoisen, vaikkakin hieman suppean kuvan 1960- ja 1970-lukujen rakennusten ilmatiiveydestä. Lisäksi ilmanvuotokohdat saatiin paikannettua ongelmitta. Tiiveysmittausprosessi on käyty vaihe vaiheelta läpi ja ilmatiiviistä rakenteista on annettu yksinkertaiset esimerkit.

Tutkimukseen tarvittavia tiiveysmittauksia suoritettaessa suurimmaksi ongelmaksi osoittautui mittauspäivien tuuli ja noin viisi mittausta jouduttiin siirtämään yli 6 m/s puhaltaneen tuulen vuoksi. Tiiveysmittauskalustoon kuuluvan puhaltimen kalibrointi eri kiekkokoolle aiheutti myös ongelmia ylipaineistuksessa ja haluttuun paineeseen ei aina päästy. Tästä johtuen osa mittauksista tehtiin ainoastaan alipainekokeena. Mittauspäivien sopiminen mittauskohteiden asukkaiden kanssa sujui erittäin hyvin ja mittaukset saatiin siltä osin toteutettua jouhevasti. Ainoastaan joitakin tietoja kohteiden rakenteista jäi puuttumaan.

Saadut ilmanvuotoluvut ja paikannetut ilmanvuotokohdat eivät ole virallisiin asiakirjoihin kelpaavia tuloksia, koska mittausryhmällä ei ole tiiveysmittaajan tai lämpökuvaajan pätevyyttä. Tulokset ovat lähinnä suuntaa antavia ja auttavat kartoittamaan rakennusten ilmatiiveydellistä tilaa. Lisäksi lämpökamerakuvauksista on suuri apu mittauskohteiden omistajille mahdollisten korjaustöiden kohdistamisessa.

Opinnäytetyön tekeminen ja ilmantiiveyden tutkimiseen perehtyminen oli erittäin mielenkiintoista ja antoisaa. Se opetti muodostamaan kokonaiskuvaa ilmatiiviin rakenteen tekemisessä huomioon otettavista asioista ja muistutti rakentamisen huolellisuuden tärkeydestä.

LÄHTEET

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

Vinha, Juha – Korpi, Minna – Kalamees, Targo – Jokisalo, Juha – Eskola, Lari – Palonen, Jari – Kurnitski, Jarek – Salminen, Mikko – Salminen, Kati – Keto, Matias 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.

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

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

Kempainen, Jani 2011. Uusien rakennusten energiamääräykset 2012. Rakennusteollisuus ry. Saatavissa:

<http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=energiam%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset%202012%2020%25&source=web&cd=2&ved=0CDAQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.rakennusteollisuus.fi%2Fdownload.aspx%3FintFileID%3D2564%26intLinkedFromObjectID%3D9780&ei=2LnuULWjIMXmtQalqCAAQ&usg=AFQjCNGIOeSuVZKtumJvnlHreuToiJ30dw>. Hakupäivä 10.1.2013.

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

Oy Teknocalor Ab, Blowerdoor tiiveydentestauslaitteisto. Saatavissa:

<http://www.teknocalor.fi/fi/mittauslaitteet/tuotteet/ilmastointi/rakennusten-tiiveydentestauslaitteisto/blowerdoor-tiiveydentestauslaitteisto>. Hakupäivä 11.1.2013.

Lindblad, Esko 2010. 1960-luvun pientalojen riskirakenteita - case tapauksia. Saatavissa: http://www.sisailmakeskus.fi/kuvat/file/Esko%20Lindblad_10-2010_web.pdf. Hakupäivä 19.2.2013.

Asunmaa, Martti 2012. Rakentamisen historiaa. Saatavissa: <http://archive.is/E5aj>. Hakupäivä 19.2.2013.

Ympäristöministeriö. Laskentaliite ympäristöministeriön asetuksen "rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä" Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BE6B413C1-DAB5-4433-9D0F-F4C81AC6EF00%7D/31398>. Hakupäivä 7.4.2013.

Kohde	Rak. Vuosi	n50	q50	m3 / ilmatilavuus	m2 / vaipan ala	Runko materiaali	Ulkoverhoukset	Rakennustapa	Alapohja	Höyrynsulku	Krs.	Talotyyppi
1	1978	3,71	2,87	425	550	Puu	Puu	pr.	bl./mv.	Muovi	2	pt.
2	1970	3,21	2,60	295	365	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.
3	1979	2,56	2,69	468	446	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.
4	1972	3,57	2,87	292	364	Puu	Tiili				1	pt.
5	1960	6,34	6,11	250	259	Puu	Puu	pr.	bl./mv.	Tapetti	2	pt.
6	1978	6,09	6,44	437	413	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	2	pt.
7	1977	6,34	5,34	320	380	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	ko.
8	1976	4,33	3,55	255	311	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.
9	1961	10,59	8,22	225	290	Puu	Puu	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.
10	1966	11,60	8,93	233	302	Puu	Puu				1	ko.
11	1972	8,36	6,60	304	385	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.
12	1967	4,15	3,27	268	340	Puu	Puu	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.
13	1977	4,51	3,70	316	385	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.
14	1978	12,38	10,26	343	414	Puu	Tiili	pr.			1	pt.
15	1965	8,26	5,84	173	245	Puu	Puu	pr.	Puu/mv.	Tervapaperi	1	pt.
16	1976	7,89	6,39	301	371	Puu	Puu	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.
17	1976	9,97	8,30	318	322	Puu	Tiili	pr.	bl./mv.	Muovi	1	pt.

pr. = paikalla rakennettu

bl. = betonilaatta

mv. = maanvarainen

pt. = pientalo

ko. = kytketty omakotitalo

Kohde	Lämmitysmuoto	Ilmanvai	Lisätiedot	Mittaus
1	Sähkö	pv.		ali- ja ylipaine ka.
2	Keskuslämmitys (pelletti)	pv.	Alkuperäiskuntoinen	ali- ja ylipaine ka.
3	Kaukolämpö	kn./LTO		ali- ja ylipaine ka.
4	Sähkö/ilmalämpöpumppu	pv.		alipaine
5	Sähkö/ilmalämpöpumppu	pv.	Ei täysin alkuperäiskuntoinen	ali- ja ylipaine ka.
6	Keskuslämmitys (öljy)	pv.		ali- ja ylipaine ka.
7	Sähkö	kn./LTO		ali- ja ylipaine ka.
8	Kaukolämpö	pv.	Peruskorjaamaton	ali- ja ylipaine ka.
9	Ilmavesilämpöpumppu	pv.	Alkuperäiskuntoinen	ali- ja ylipaine ka.
10	Kaukolämpö	pv.	Runkoleijona asennettu, ikkunat vaihdettu	ali- ja ylipaine ka.
11	Keskuslämmitys (öljy)	pv.	Alkuperäiskuntoinen	ali- ja ylipaine ka.
12	Keskuslämmitys (öljy)	kn.	Ikkunat vaihdettu	ali- ja ylipaine ka.
13	Keskuslämmitys (öljy)	pv.	Ikkunat vaihdettu	alipaine
14	Keskuslämmitys (öljy)	kn.	Ovet ja katto uusittu	alipaine
15	Keskuslämmitys (Puu/Sähkö)	pv.	Seinät lisäeristetty, ikkunat vaihdettu	alipaine
16	Keskuslämmitys (Sähkö)	pv.	Ulkoverhous uusittu, ei lisäeristetty, katto uusittu	ali- ja ylipaine ka.
17	Kaukolämpö	kn.		alipaine

pv. = painovoimainen

kn. = koneellinen

LTO = lämmön talteenotto