
**Lammi Kivitalot oy:n teollisesti valmistettujen
asuinrakennusten laadunvarmistusohje**



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Visamäki 31.1.2013

Risto Nurmi



TOIMIPISTE

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tuotantotekniikka

| | | |
|------------------|--|-------------------|
| Tekijä | Risto Nurmi | Vuosi 2013 |
| Työn nimi | Lammi Kivitalot Oy:n teollisesti valmistettujen asuinrakennusten laadunvarmistusohje | |

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö on tehty Lammi-Kivitalot Oy:n tuotekehitysyksikölle. Tavoitteena oli luoda Lammi-Kivitalot Oy:lle laadunvarmistusohjeistus siten, että Lammi-Kivitalot Oy voi käyttää RT-kortin 80-10974 mukaisen laadunvarmistusohjeistuksen periaatteiden mukaisesti valmistamillansa asuinrakennuksilla ilmoitusmenettelyn mukaista vuotolukuarvoa.

Tiukentuvat rakennusmääräykset ja energiatehokkuusvaatimukset ovat luoneet painetta rakennuksen ilmatiiveyden parantamiseksi. Rakennuksen ilmatiiveydellä on suuri merkitys rakennuksen asumisviihtyvyydelle, energiatehokkuudelle ja rakennuksen ulkovaipan rakennusfysikaaliselle toimivuudelle.

Tutkimuksen lähtökohtana olivat Suomen ilmatiiveysmittaukseen liittyvät määräykset ja ohjeet. Aluksi perehdyttiin tiiviysmittauksia ohjaavaan standardiin SFS-EN 13829 sekä teollisesti valmistettujen asuinrakennusten laadunvarmistusohjeen ohjekorttiin RT 80-10974 sekä muihin aiheesta kirjoitettuihin teoksiin.

Tutkimuksen teettäjä, Lammi Kivitalot Oy, halusi tutkituttaa koko tuotantoprosessinsa suunnittelusta valmiiseen asuinrakennukseen asti laadunvarmistusohjeistuksen mukaisesti. Tavoitteena oli tutkia ja kartoittaa prosessin heikot kohdat. Tavoitteena oli myös kehittää käytettyjä rakennedetaljeja ja kerätä työmailta arvokasta tietoa ja palautetta.

Tämän tutkimuksen tuloksena parannettiin rakennedetaljit vastaamaan nykyisiä ilmatiiviysvaatimuksia. Asennuksen työohjeita parannettiin ja tämän tutkimuksen yhteydessä tehtiin yhtenäiset ilmatiiviysohjeet työmaille. Rakennustyömaan valvonnan helpottamiseksi koottiin vastaavalle työnohtajalle valvonta-asiakirja, johon on kerätty ilmatiiveyteen liittyvät tärkeimmät työvaiheet. Rakennustietokortista 80-10974 löytyvän ilmoitusmenettelyn avulla saatiin Lammi Kivitalot Oy:n talotyypin suunnitteluarvoksi laskettua $1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.

Avainsanat Ilmoitusmenettely, ilmapuotoluku, ilmanpitävyys

Sivut 53 s. + liitteet 32 s.

VISAMÄKI

Degree Program in Building and Construction Engineering
Production technology

Author

Risto Nurmi

Year 2013

Subject of Bachelor's thesis

Quality control instructions of prefabricated buildings

ABSTRACT

The thesis was commissioned by Lammi Kivitalot Oy product development unit.

The purpose of this study was to draw up quality control instructions for the company. The aim of the instructions is to enable the company to use the air leak value in residential buildings according to the principles set in RT 80-10974.

The tightening building regulations and energy-efficiency requirements have put a pressure to improve the air tightness of the building. The air tightness of the building plays a significant role in the living comfort of the building, the energy-efficiency and in the building physical functionality of the envelope of the building.

The regulations and instructions related to air tightness of buildings in Finland were studied. First, the standard SFS-EN 13829 directing air tightness measurements in Finland and the quality control instructions for residential buildings contained in RT 80-10974 were studied.

The company's whole manufacturing process all the way from the planning phase to the finished residential building was examined according to the quality control instructions to find the weak spots of the process.

As a result of this thesis the structural details were improved to meet the present air tightness standards of residential buildings. The installation manuals were improved and the air tightness instructions were drawn up for the sites. A supervision document was compiled containing the most important stages related to the air tightness to help the supervision of the building site. The planning value for the house type manufactured by the company was calculated to be $1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ based on the declaration method in RT 80-10974.

Keywords declaration method, air leak value, air tightness

Pages 53 p. + appendices 32 p.

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

| | |
|---|--|
| q_{50} [$\text{m}^3/(\text{h m}^2)$] | Ilmavuotoluvulla q_{50} kuvataan rakennuksen keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa:n paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden [$\text{m}^3/(\text{h m}^2)$]. |
| n_{50} [1/h] | Ilmavuotoluvulla n_{50} kertoo montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa ali- tai ylipaine. |
| $q_{50,\text{ilm}} / n_{50,\text{ilm}}$ | Ilmoitettu ilmavuotoluku $q_{50,\text{ilm}} / n_{50,\text{ilm}}$ on talotoimittajan antama ilmavuotoluku tietyille talotyypeille. Kyseessä on tällöin RT-kortin 80-10974 tarkoittama ilmoitusmenettely. |
| $q_{50,\text{vert}} / n_{50,\text{vert}}$ | Rakentamismääräyskokoelmissa annettu ilmavuotoluvun arvo, jota käytetään rakennuksen vertailulämpöhäviön laskennassa. Vuoden 2010 rakentamismääräyksissä $n_{50,\text{vert}}$ on 2,0 1/h. Vuonna 2012 siirryttiin käyttämään vertailulämpöhäviön laskennassa $q_{50,\text{vert}}$ arvoa 2,0 $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$. |
| $q_{50,\text{suun}} / n_{50,\text{suun}}$ | Ilmavuotoluvun suunnitteluarvo, jota käytetään rakennuslupavaiheessa rakennuksen energiaselvitystä ja –todistusta laadittaessa. |
| E-luku | E-luvulla kuvataan rakennuksen kokonaisenergiankulutusta suhteessa käytettyyn energiamuotoon. E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku saadaan laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain. |
| Ulkopuolinen taho | Puolueeton organisaatio, jolla on riittävä ammattitaito ja kokemus vaipparakenteiden ja liitosten toiminnasta ilmanpitävyyden kannalta, rakennuksen ilmanpitävyydsmittausten ja lämpökuvausten toteuttamiseksi sekä tulosten analysoinnista. |
| Rakennuksen lämpöhäviö | Rakennuksen lämpöhäviöllä tarkoitetaan vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettua lämpöhäviötä. |
| A_E [m^2] | Rakennuksen vaipan pinta-ala sisämittojen mukaan laskettuna. |

SISÄLLYS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 1 |
| 1.1 | Toimeksiannon tausta..... | 1 |
| 1.2 | Tutkimuksen tavoitteet ja sisältö..... | 1 |
| 2 | RAKENNUKSEN ILMATIIVEYS JA VUOTOLUKU..... | 2 |
| 2.1 | Määräykset asuinrakennusten ilmatiiveydestä..... | 2 |
| 2.2 | Eri rakennusviranomaisten käytäntöjä Suomessa..... | 4 |
| 2.3 | Asuinrakennusten energia- ja ilmatiiveysmääräyksiä Ruotsissa ja Saksassa..... | 5 |
| 2.4 | Ilmanvuotoluku..... | 7 |
| 2.5 | Rakennuksen tiiveyskoe..... | 8 |
| 2.6 | Ilmanvuotokohtien paikantaminen..... | 15 |
| 3 | RAKENNUKSEN ILMATIIVEYDEN MERKITYS..... | 17 |
| 3.1 | Asumisviihtyvyys..... | 17 |
| 3.2 | Energiatehokkuus..... | 18 |
| 3.3 | Ilmavuotojen vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen..... | 18 |
| 4 | TEOLLISESTI VALMISTETTUJEN ASUINRAKENNUSTEN LAADUNVARMISTUSOHJE..... | 19 |
| 4.1 | Laadunvarmistusohje RT 80-10974..... | 19 |
| 4.1.1 | Tutkimus..... | 20 |
| 4.1.2 | Ilmoitus..... | 21 |
| 4.1.3 | Seuranta..... | 21 |
| 5 | LAMMI-KIVITALOT OY:N LAADUNVARMISTUSOHJEISTUS JA RT-KORTIN MUKAINEN TUTKIMUS..... | 22 |
| 5.1 | Talotyypin kuvaus..... | 22 |
| 5.2 | Suunnittelu ja rakennedetailit..... | 23 |
| 5.2.1 | Tuotekehitys..... | 23 |
| 5.2.2 | Käytettävät tuotteet ja materiaalit..... | 26 |
| 5.2.3 | CE-hyväksyntä..... | 28 |
| 5.3 | Seurantakohteissa tehdyt havainnot..... | 29 |
| 5.3.1 | Ulkovaippa..... | 30 |
| 5.3.2 | Ikkunat..... | 32 |
| 5.3.3 | Läpiviennit..... | 32 |
| 5.3.4 | Alapohja..... | 36 |
| 5.4 | Asennusohjeet..... | 38 |
| 5.5 | Koulutus..... | 38 |
| 5.6 | Asuinrakennuksen tiivistysohjeet..... | 39 |
| 5.7 | Vastaavan työnjohtajan valvontatyökalu..... | 39 |
| 5.8 | Seuranta..... | 40 |

| | | |
|-----|--|----|
| 6 | ILMANVUOTOLUVUN MITTAUKSET..... | 40 |
| 6.1 | Kohteiden valinta | 40 |
| 6.2 | Kohteiden tiedot | 41 |
| 6.3 | Mittaustulokset ja havainnot | 46 |
| 7 | ILMOITUSMENETTELYN MUKAISEN VUOTOLUVUN LASKENTA..... | 48 |
| 7.1 | Kohteiden mittaustulokset..... | 48 |
| 7.2 | Talotyypin ilmoitusmenettelyn mukaisen vuotoluvun laskenta..... | 48 |
| 7.3 | Tulosten analysointi | 48 |
| 7.4 | Tutkimusraportti..... | 49 |
| 7.5 | Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten laadunvarmistusohjeen mukaisen vuotoluvun ilmoittaminen..... | 49 |
| 8 | YHTEENVETO | 50 |
| | LÄHTEET | 51 |

| | |
|---------|---|
| Liite 1 | Lammi Kivitalot Oy tiivistysohjeet |
| Liite 2 | Vastaavan työnjohtajan tarkastuslista |
| Liite 3 | Ilmoitusmenettelyn mukaisen vuotoluvun laskelma |
| Liite 4 | Lammi Kivitalot Oy:n teollisesti valmistamien asuinrakennusten ilmoitusmenettelyn mukainen ilmoitus vuotoluvusta. |

1 JOHDANTO

1.1 Toimeksiannon tausta

Tämä opinnäytetyö on tehty Lammi Kivitalot Oy:n tuotekehityksyksikölle. Lammi Kivitalot Oy on osa Lammin Betoni –konsernia, jolla on pitkät perinteet betonituotteiden ja pientalorakentamisen kehittämisessä. Lammin Betoni Oy on perustettu vuonna 1956. Lammin Betoni palvelee rakentajia tutkituilla, turvallisilla ja innovatiivisilla ratkaisuilla, joiden avulla tavoitellaan korkeampaa valmiusastetta, kustannussäästöjä ja rakentamisen helppoutta. Lammi Kivitalot Oy:n toiminta aloitettiin vuonna 2004. Tavoitteenaan tuoda markkinoille entistä korkealaatuisempia ja valmiimpia kivitaloratkaisuja. Lammi Kivitalot Oy kulkee tuotekehityksen kärjessä kehittämällä toimintaansa ja järjestelmiään jatkuvasti. Järjestelmällinen tuotekehitys ja joustava palvelu on tehnyt Lammi-Kivitalot -tuotemerkistä yhden Suomen nopeimmin kasvavista talomerkeistä. (Yritysesittely Lammi Kivitalot Oy 2012.)

Rakennusten energiatehokkuusvaatimukset kiristyvät jatkuvasti. Lammi Kivitalot Oy haluaa olla edelläkävijä energiatehokkaiden ratkaisujen tuottamisessa markkinoille. Lammi Kivitalot Oy:n tuotekehitys etsii aktiivisesti myös heikkoja lenkkejä prosessissaan. Tavoitteena on että kuka tahansa rakennuttaja kykenee rakentamaan tai rakennuttamaan korkealaatuisen ja nykyiset energiavaatimukset täyttävän kivitalon itselleen ja perheelleen. Tämän toimeksiannon tarkoituksena on rakentaa, tutkia ja kehittää laadunvarmistusohjeistus Lammi Kivitalot Oy:lle siten että yritys voi käyttää RT -kortin 80-10974 mukaista ilmoitusmenettelyä rakennuksen ilmatiiveyden vuotolukuarvona. Ilmoitettua ilmavuotolukua voidaan käyttää rakennuksen ilmavuotoluvun suunnitteluarvona ilman erillisiä selvityksiä tai mittauksia (RT 80-10974:2009, 2).

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja sisältö

Työn ensisijaisena tavoitteena oli luoda Lammi Kivitalot Oy:lle laadunvarmistusohjeistus siten että Lammi Kivitalot Oy voi käyttää laadunvarmistusohjeistuksen (RT 80-10974) periaatteiden mukaisesti valmistamillansa asuinrakennuksilla ilmoitusmenettelyn mukaista vuotolukua. Tutkimustyössä oli tavoitteena löytää sen hetkisen talonvalmistusprosessin heikot kohdat ja korjata ne. Tarkastelu koski niin materiaaleja, asennusta kuin rakennedetaljeita. Tutkimustyössä oli myös tärkeänä osana tarkistaa asennusohjeet, asentajien ja vastaavien työnjohtajien osaaminen rakennusten ilmanpitävyyden kannalta ja laatia ilmatiiveyden valvonta-asiakirja. Tutkimustyössä pääpaino oli työmaiden toiminta ilmatiiveyden näkökulmasta. Rakennusratkaisujen toimivuutta ja asennusten toteutuskelpoisuutta tarkasteltiin kriittisesti.

Toissijaisena tavoitteena oli että Lammi Kivitalot Oy:n laadunvarmistusohjeistuksen mukaisesti rakennetuilla asuinrakennuksilla voitaisiin käyttää tulevaisuudessa ilmoitusmenettelyssä vuotolukuarvona $q_{50} = 1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.

2 RAKENNUKSEN ILMATIIVEYS JA VUOTOLUKU

2.1 Määräykset asuinrakennusten ilmatiiveydestä

Energiatehokkuuteen liittyviä rakentamismääräyskokoelman osia on uudistettu nopeassa tahdissa viimeisen kymmenen vuoden ajan. Vuonna 2011 annetut uudet entistä tiukemmat määräykset tulivat voimaan 1.7.2012. Vuoden 2008 alussa tulivat voimaan laki energiatodistuksesta ja laki rakennuksen ilmastointijärjestelmän kylmlaitteiden energiatehokkuuden tarkastamisesta sekä asetukset rakennuksen energiatodistuksesta ja energiatehokkuuden laskentamenetelmästä (Ympäristöministeriö 2012a). Vuonna 2013 lausuntokierrokselle menevissä uusissa määräyksissä laajennetaan energiatodistuksen laatimista koskemaan myös vanhoja rakennuksia. Vanhoja rakennuksen energiatehokkuus määriteltäisiin energiatodistuksessa samalla tavalla kuin vuonna 2012 voimaan astuneissa uusissa uudisrakentamisen energiamääräyksissä. Rakennuksen energialuokitus tulisi pohjautumaan rakennuksen E-lukuun, joka koostuu rakennuksen laskennallisesta vuotuisesta ostoenergiankulutuksesta painotettuna eri energiamuotojen kertoimilla. Siten energiatodistus tarjoaa rakennuksen energiatehokkuudesta tietoa, joka ei ole riippuvainen käyttäjien käyttötottumuksista. Vastaava vertailumenettely on käytössä esimerkiksi kodinkoneiden energiamerkinnöissä. (Ympäristöministeriö 2012b.)

Uusimpien määräyksien lähtökohtana on Euroopan parlamentin 18.5.2010 hyväksymä rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD 2010), jonka mukaan energiatehokkuutta on edistettävä sekä uudisrakentamisessa että jo olemassa olevassa rakennuskannassa. Uusien rakennusten tulee olla vuoden 2020 loppuun mennessä lähes nollaenergiarakennuksia. Julkisia rakennuksia vaatimus koskee jo vuoden 2019 alusta. Korjausrakentamiselle on direktiivin mukaan asetettava kansalliset energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset. (Ympäristöministeriö 2011.)

Vuoden 2012 rakentamiskokoelman osassa D3 sanotaan rakennuksen ilmanpitävyydestä seuraavaa:

Kohta 2.3.1

Sekä rakennusvaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku.

Kohdassa 2.3.2 määritetään, että rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään 4 ($m^3/(h \cdot m^2)$). Toisaalta ilmanvuotoluku voi ylittää arvon 4 ($m^3/(h \cdot m^2)$), jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Pienempi ilmanpitävyys voidaan osoittaa mittaamalla tai muulla menettelyllä. Muulla menettelyllä tarkoitetaan esimerkiksi teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden ilmoitusmenettelyä.

Määräyksistä voidaan tehdä taulukon 1 mukainen raja-arvo –taulukko.

Taulukko 1. Rakennuksen vuotolukujen jaottelu (Paloniitty. 2012, 22) muokattu.

| q_{50} -luku | Selite |
|----------------|---|
| >4 | Poikkeukselliset rakenteelliset ratkaisut |
| ≤4 | Vähimmäisvaatimus uudisrakennuksille |
| 2 | Laskennassa käytettävä vertailuarvo |
| <1 | Määräysten suositusarvo |

Taulukkoon 2 on koottu energiamääräysten kehitys vuosina 1976-2012. Energiämääräykset ja –vaatimukset ovat selkeästi tiukentuneet 2000-luvulla. Tämä on nähtävissä niin lämmöneristyksen U-arvossa kuin rakennuksen ilmavuotoluvussa. Vuonna 2012 siirryttiin vuotoluvussa käyttämään q_{50} -vuotolukuarvo, mikä automaattisesti myös tiukensi rakennusten ilmatiiveysvaatimuksia.

Taulukko 2. Määräysten kehitys 1976-2012 (Keski-Suomen Energiatoimisto 2012, 10)

| Rakennusosien U-arvot | 1976 | 1978 | 1985 | 2003 | 2007 | 2010 annettu (lausuntoversio) | 2012 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|--|-----------------------|
| Ulkoseinä | 0,4 | 0,29 | 0,28 | 0,25 | 0,24 | 0,17 _(0,14) 0,40 hirsis. | 0,17 0,40 hirsis. |
| Yläpohja | 0,35 | 0,23 | 0,22 | 0,16 | 0,15 | 0,09 _(0,09) | 0,09 |
| Alapohja | 0,40 | 0,40 | 0,36 | 0,25 | 0,24 | 0,16/0,17 _(0,14/0,11) | 0,16 / 0,17 |
| Ikkuna | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 1,4 | 1,4 | 1,0 _(1,0) | 1,0 |
| Ovet | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 1,4 | 1,4 | 1,0 _(0,7) | 1,0 |
| Muut laskennan lähtöarvot | | | | | | | |
| n50-luku | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 | 2 | $q_{50} = 2$, max. 4 |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 0 | 0 | 0 | 30% | 30% | 45% _(50%) | 45 % |
| Vaipan lämpöhäviön jousto | 0 | 0 | 0 | 10 % | 20 % | 30 % _(30%) | Ei rajoitusta |
| Kokonaisenergiavaatimus | | | | | | | E-luku |
| Primäärienergiavaatimus | | | | | | | |

2.2 Eri rakennusviranomaisten käytäntöjä Suomessa

Lainsäädäntö ja rakennusmääräykset ovat Suomessa asuinrakennusten ilmatiiveydestä selkeät ja yksiselitteiset. Ne ovat kuitenkin luonteeltaan vähimmäisvaatimuksia. Kuntien ja kaupunkien rakennustarkastusviranomaisilla on mahdollisuus asettaa tiukempia vaatimuksia mm. ilmatiiveyden toteutukseksi rakennuksessa.

Pääkaupunkialueen kaupunkien rakennusvalvonnat tekevät paljon yhteistyötä keskenään. Tarkoituksena on luoda yhtenäiset käytännöt rakentamisen vaatimuksille ja helpottaa pääkaupunkiseudulla toimivien rakentajien toimintaa yhdenmukaisilla käytännöillä. Pääkaupunkiseudun kaupunkien rakennusvalvonnat Helsinki, Espoo, Kauniainen ja Vantaa ovat luoneet tätä toimintaa varten oman www-sivuston www.pksrava.fi. Sivustolta löytyy jo nyt erittäin paljon hyödyllisiä yhtenäisiä käytäntöjä, joita alueen rakennusviranomaiset ovat sitoutuneet noudattamaan.

Ilmatiiveysmääräyksistä pksrava –sivustolta löytyy oma ohjekortti nimeltään Asuinrakennuksen ilmanpitävyys D3-3. Ohje mukailee rakentamismääräyskokoelman osaa D3 ja toteaa teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmoitusmenettelystä seuraavasti: Teollisesti valmistetuissa asuinrakennuksissa, joissa käytetään ilmanvuotoluvun ilmoitusmenettelyä, esitetään käyttöönoton yhteydessä ilmanpitävyyteen liittyvä työmaan tarkastusasiakirjaosio. Jos kuitenkin mitataan niin ilmanpitävyysraportti esitetään rakennuksen käyttöönoton yhteydessä. Mikäli todennettu ilmanvuotoluku on suurempi kuin energiaselvityksessä käytetty arvo, tulee energiaselvitys tältä osin olla päivitetty. Jos rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskennassa esitetty suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö jää pienemmäksi, kuin vertailuratkaisun ominaislämpöhäviö, ei muuta toimenpidettä tarvita. Muussa tapauksessa suoritetaan tarvittava tiivistäminen ja uusintamittaus. Tällä hetkellä pääkaupunkiseudun kaupunkien rakennusvalvonassa on esitetty ajatus että kaikki tietyn arvon alittavat ilmanvuotoluvut mitattaisiin aina kun $q_{50,suun}$ on viety energiaselvityslaskelmassa alle arvon 1,5. Tästä ei kuitenkaan vielä ole tehty lopullista päätöstä.

Oulun rakennusvalvonta edellyttää aina tiiveysmittausta kun asuinrakennuksen ilmanvuotoluku on alle 1,5 ($q_{50,suun}$). Käytännössä kaikki rakennukset, jotka tavoittelevat matalaenergiatasoa tai passiivitalon statusta on myös mitattava. (Oulun kaupunki. 2012.)

Mikkelin kaupunki on omassa päivittämättömässä energiaselvitysohjeessaan ja sen liitteissä määritellyt että kaikki ilmanvuotolukua 1,4 1/h ($n_{50,suun}$) tai sitä parempaa ilmoitusmenettelyn mukaista arvoa voi käyttää rakennusluvan energiaselvityksessä, jos tavoitteena on matalaenergiataso ja käytetty arvo varmennetaan jälkimittauksella sekä energiaselvitys päivitetään ko. mittausten perusteella. (Mikkelin kaupunki. 2010.)

Suurin osa kunnista ja kaupungeista kuten esimerkiksi Nurmijärvi ja Mäntsälä hyväksyvät ilmoitusmenettelyn sellaisenaan. Tulevaisuudessa suuntaus näyttää kuitenkin siltä että kaikki uudet asuinrakennukset tullaan myös mittaamaan.

2.3 Asuinrakennusten energia- ja ilmatiiveysmääräyksiä Ruotsissa ja Saksassa

Rakennusten ilmatiiveys on kiinteä osa energiamääräyksiä. Euroopan parlamentti hyväksyi vuonna 2010 energiatehokkuusdirektiivin. Tämä tarkoittaa että kaikkiin EU- maihin tulee oma kansallinen liite, jossa määritellään kansalliset määräykset. Maakohtaisia eroavaisuuksia painotuksissa tulee luonnollisesti esiintymään. Tämä johtuu niin kulttuuri kuin ilmaston eroavaisuuksista.

Kaikissa Pohjoismaissa energiamuodon vaikutus on otettu huomioon määräyksissä. Suomessakin E-luvun laskennassa on asetettu kertoimet eri energiamuodoille. E-luvun ohella on tehtävä lämpöhäviöiden tasauslaskenta.

Taulukko 3. Ruotsin rakennusmääräyksissä sähkölämmityksen merkitys (Boverkts Byggregler. 2012, 266)

Tabell 9:2a Bostäder som har annat uppvärmningssätt än elvärme

| Klimatzon | I | II | III |
|--|------|------|------|
| Byggnadens specifika energi-användning [kWh per m ² A _{temp} och år] | 130 | 110 | 90 |
| Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient [W/m ² K] | 0,40 | 0,40 | 0,40 |

(BFS 2011:26).

Tabell 9:2b Bostäder med elvärme

| Klimatzon | I | II | III |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Byggnadens specifika energi-användning [kWh per m ² A _{temp} och år] | 95 | 75 | 55 |
| Installerad eleffekt för uppvärmning [kW] | 5,5 | 5,0 | 4,5 |
| + tillägg då A _{temp} är större än 130 m ² | 0,035(A _{temp} – 130) | 0,030(A _{temp} – 130) | 0,025(A _{temp} – 130) |
| Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient [W/m ² K] | 0,40 | 0,40 | 0,40 |

Ruotsin uusissa rakennusmääräyksissä (Boverkts Byggregler 2012) rakennuksen ilmatiiveys on sidottu hyvin tiukasti rakennuksen energiatehokkuuteen. Lisäksi Ruotsissa sähkölämmitykselle on asetettu selvästi muita tiukemmat energiankulutusvaatimukset (37–45 % tiukempi verrattuna muihin rakennuksiin säävyöhykkeestä riippuen). (Vuolle. 2012). Ruotsi on

jaettu kolmeen säävyöhykkeeseen (taulukko3). Ruotsin rakennusmääräyksissä kohdassa 9.31 sanotaan että rakennuksen ilmatiiveys tulee toteuttaa siten että rakennuksen energian kulutus ja sähköenergian käyttö yhdessä täyttävät määräykset. Määräyksissä energialaskennassa käytettävä q_{50} tulisi olla asuinrakennuksissa alle $0,6 \text{ l/s m}^2$. Vastaa arvoa $2,16 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Jos arvo on enemmän tai vähemmän niin energialaskennassa käytetään eri laskentakertoimia. Muissa kuin asuinrakennuksissa käytetään q_{50} arvoa $1,0 \text{ l/s m}^2$ ($3,6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$).

Silvola Vesa-Pekka on omassa opinnäytetyössään Rakennusten tiiveysmitaukset Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa tehnyt taulukon 4. Siinä on selkeästi kerrottu keskeisimmät tiiveysmääräykset kyseisissä maissa.

Taulukko 4. Rakennusten tiiveysmääräykset Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa (Silvola 2011, 32.)

| | Suomi | Ruotsi | Norja |
|---|--|--|--|
| Standardi | EN 13829 | EN 13829 | EN 13829 |
| n_{50}-luvun yksikkö | 1/h | 1/h | 1/h |
| q_{50}-luvun yksikkö | $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ | $\text{l}/(\text{sm}^2)$ | $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ |
| Rakennuksen tiivyyden ilmoittaminen (2010) | n_{50} , q_{50} (2012) | q_{50} | n_{50} |
| Normitalon tiivyyden minimi arvo | 4 1/h (2010), 4 $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ (2012) | 0,6 $\text{l}/(\text{sm}^2)$; 2,2 $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ | 3 1/h |
| Matalaenergiatalon tiivyyden raja-arvo | 0,8 1/h | 0,3 $\text{l}/(\text{sm}^2)$; 1,1 $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ | 1 1/h |
| Passiivitalon tiivyyden raja-arvo | 0,6 1/h | 0,3 $\text{l}/(\text{sm}^2)$; 1,1 $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ | 0,6 1/h |

Saksan rakennusten ilmatiiveysmääräykset tulevat Saksan energiasäästöasetuksesta EnEV vuodelta 2009. Siinä sanotaan että jos ilmatiiveys mitataan niin se ei saa olla taloissa, joissa ei ole koneellista ilmanvaihtoa, suurempi kuin arvo 3,0 1/h. Vastaavasti taloissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto arvo ei saa olla suurempi kuin 1,5 1/h (taulukko 4).

Taulukko 5. Ilmavuotomääräykset Saksassa. (EnEV 2009 . Anlage 4 §6)

| | n_{50} |
|---------------------------------------|----------|
| ohne raumluftechnische Anlagen | 3,0 1/h |
| mit raumluftechnische Anlagen | 1,5 1/h |

Saksan energialaskenta eli paikallisen E-luvun laskenta perustuu DIN-standardiin DIN V 4108-6 liite D taulukko D.3. Siinä lämpöhäviöiden laskelmassa käytetään vertailuarvoina 0,6 1/h (mitatuissa kohteissa) ja mittaamattomissa kohteissa on käytettävä arvoa 0,7 1/h. Vanhoissa taloissa on käytettävä energialaskennassa arvoa 1,0 1/h. Yleistä ilmatiiveysmittauspakkoa ei Saksassa ole. Sen sijaan kaikki passiivitalostatuksen haluat rakennukset on mitattava. Raja-arvo niillä on 0,6 1/h. Vuonna 2014 tulevaan uudistettuun EnEV 2014 ei ole näillä näkyvin tulossa muutoksia ilmatiiveysvaatimuksiin. (Pääatalo, haastattelu 15.1.2013: Uske, haastattelu 15.1.2013)

2.4 Ilmanvuotoluku

Rakennuksen tiiviyttä mitataan SFS-standardin EN 13829 mukaisella mittausmenetelmällä. Mittaus perustuu ns. paine-eromittaukseen, jossa tutkittavaan tilaan aiheutetaan paine-ero ulkoilmaan nähden (SFS-EN 13829 2000, 6: Paloniitty 2012, 14).

Rakennuksen ilmanpitävyyden mittaamisella on helppo tarkastaa rakennuksen laatu. Tiivistä taloa on pidettävä laadukkaana kun samanaikaisesti rakennuksen lämmöneristys on tehty huolellisesti. Tiivis talo on helppo toteuttaa yhtenäisellä ilmansulkukerroksella. Rakennuksen tiiviyttä kuvaamaan on määritetty kaksi ilmanvuotolukusuuretta.

Vuotolukuarvoa tarvitaan rakennuksen energiaselvityksen laadinnassa.

Ilmavuotoluku n_{50} kertoo montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa ali- tai ylipaine. Vuoden 2010 RakMr D3 annettiin vuotoluku n_{50} raja-arvot.

n_{50} =vuotoilmamäärä / rakennuksen ilmatilavuudella [1/h]

| | |
|--|----------------|
| $n_{50,vert}$ (määräyksien vertailuarvo) | 2,0 1/h |
| $n_{50, suun}$ (raja-arvo) | 4,0 1/h |

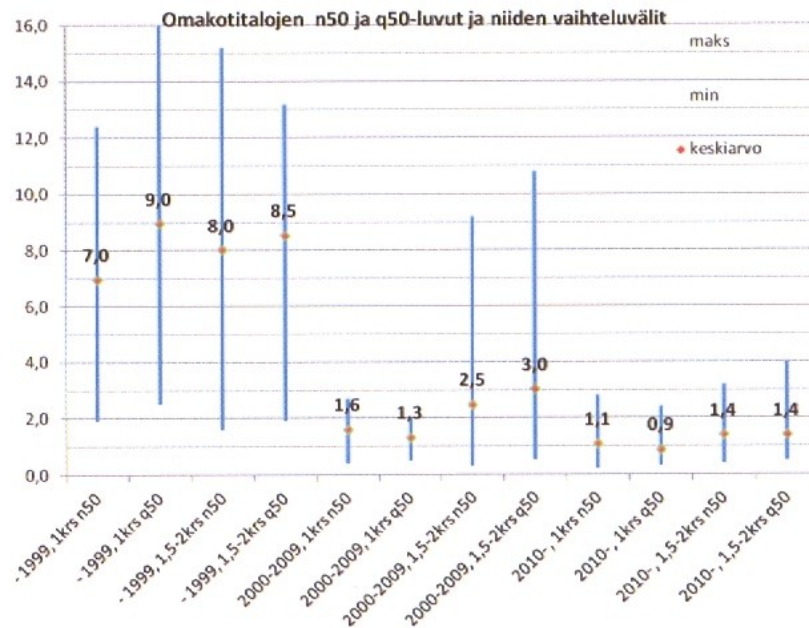
Jos suunnitelmissa on käytetty parempaa vuotolukuarvoa kuin 4,0 1/h tulee tiiviys osoittaa.

Vuonna 2012 tuli voimaan uusi rakennusmääräyskokoelman osa D3. Siinä määriteltiin vuotolukuarvot q_{50} mukaan. Lukuarvot sinällään pysyivät samana mutta koska vuotoilman määrä ilmoitetaan nyt rakennuksen vaipan pinta-alan suhteessa mitattuna niin tarkoittaa tämä käytännössä määräysten kiristymistä. (Rateko, HAMK 2011)

$$q_{50} = \text{vuotoilmamäärä} / \text{rakennuksen vaipan ala} \text{ [m}^3\text{/(h m}^2\text{)]}$$

Taulukko 6 kertoo havainnollisesti ilmapuotolukuarvon kehityksen mitatuissa omakotitaloissa viimeisen kymmenen vuoden ajalta. Rakennusten tiiveyden taso on selkeästi parantunut.

Taulukko 6. Omakotitalojen vuotolukuarvoja 2000-luvulla (Paloniitty 2012,24)



2.5 Rakennuksen tiiveyskoe

Rakennuksen tiiveyskoe eli painekoe tehdään standardin SFS-EN 13829 mukaan. Standardissa kohdassa 5.2 on esitetty kaksi erilaista menetelmää:

Method A (test of a building in use):

The condition of the building envelope should represent its condition during the season in which heating or cooling systems are used.

Method B (test of the building envelope):

Any intentional opening in the building envelope shall be closed or sealed as specified in 5.2.2 and 5.2.3.

Mittausmenetelmällä A voidaan todentaa valmiin rakennuksen vaipan tiiveys ja määräysten ja vaatimusten täyttyminen. Suomessa ei käytetä kyseistä menetelmää.

Suomessa käytössä on standardin SFS-EN 13829 mainitsema menetelmä B. Menetelmässä B testataan vaipan tiiveyttä 50 Pa yli- tai alipaineella.. Rakennus voi olla myös keskeneräinen. Menetelmä A on tarkoitettu vain valmiiden talojen tiiveyden tarkastamiseen.

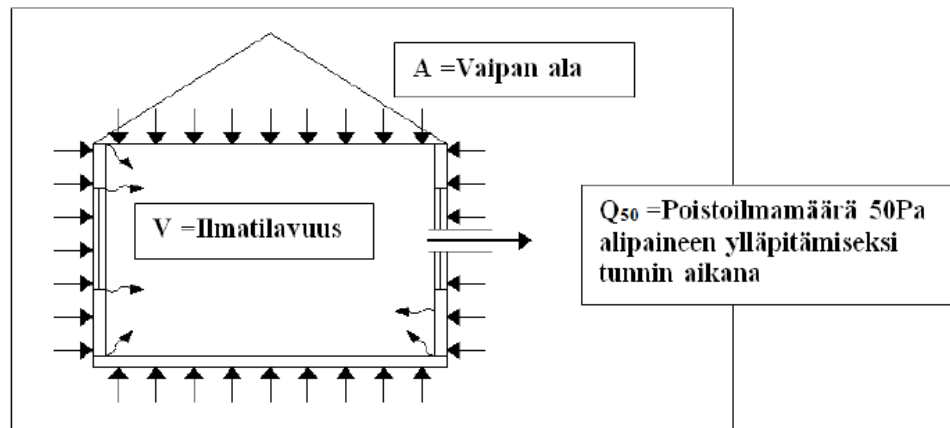
Mittausmenetelmällä B mitattaessa suljetaan kaikki tarkoituksellisesti ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot. Lisäksi tulisijat ja hormit suljetaan tiiviisti teippaamalla tai muulla luotettavalla tavalla. Käytännössä on mittauksen ajaksi lupa sulkea tiiviisti ne ulkovaipan aukot, joiden ilmavirta on hallittua ja muutenkin säädeltävissä (Kuva 1). Ikkunat ja ovet suljetaan myös. Ikkunoiden ja ovien tiivisteiden toimivuus tarkistetaan mittauksessa, joten niiden lisätiivistäminen mittauksen ajaksi ei ole sallittua. (RT 80-10974, 2009, 10-11)



Kuva 1. Takan luukun tiivistys (RT 80-10974,2009, 11).

Rakennuksen tiiveyttä mitataan niin sanotulla paineromenetelmällä, jossa mitattavaan tilaan aiheutetaan paine-ero ulkoilmaan nähden (kuva 2).

Paine-ero rakennuksessa aikaansaadaan sitä varten tehdyllä painekoelaitteistolla tai vaihtoehtoisesti rakennuksen omilla ilmanvaihtolaitteilla. Ilmanvaihtoluku tulisi pääsääntöisesti mitata sitä varten kehitetyllä laitteistolla, koska sillä saatu mittaustulos on luotettavampi. Poikkeustapauksessa on kuitenkin järkevää käyttää rakennuksen omia ilmanvaihtolaitteistoja.



Kuva 2. Vaipan tiiviysmittauksen periaate (Illikainen 2012, 5)

Tiiveyskoe tehdään aina sekä ali- että ylipainemittauksena. Näiden tulosten keskiarvo on varsinainen mittaustulos. Painekokeessa määritetään ilman tilavuusvirta joka puhalletaan rakennuksesta ulos (alipainekoe) tai rakennukseen sisään (ylipainekoe). Jos yli- ja alipainemittauksen keskinäinen tulos vaihtelee suuresti on syytä tarkastaa vaipan tiiveys uudelleen ennen mittaustapahtuman hyväksymistä. Yleinen syy tähän on ettei kaikkia ikkunoita ole suljettu kunnolla. Yli- ja alipainemittauksen ero saa olla maksimissaan 0,5 mittaussyksikköä. Tällöin saadaan käyttää mittausten keskiarvoa. Jos ero on suurempi niin on ilmanvuotoluvun lopulliseksi tulokseksi annettava arvoista suurempi.

Vaikka lopullinen tulos määritellään 50 Pa paine-erossa niin itse mittaus tehdään 30-70 Pa mittauspisteillä. Ilmavirtaus tulee mitata vähintään viidellä tasaisin välein olevalla paine-erolla siten, että suurimman paine-eron tulisi olla vähintään 50 Pa. Tietyissä tapauksissa voidaan hyväksyä myös pienempi paine-ero. Siinäkin tapauksessa lopullinen tulos kuitenkin määritellään logaritmisien laskukaavan mukaan 50 Pa paine-erossa.

Sauli Paloniityn kirjassa Rakennusten tiiviysmittaus on sivuilla 40-44 esitetty kuvin ja sanoin tiiveysmittauslaitteiston asennus mitattavaan kohteeseen. Sitä ei ole syytä käydä tässä työssä tarkemmin.

Suomen mittaustalaitteistosta suurin osa on Minneapolis Blower Door –mittauslaitteistoja (kuva 3). Hyvin yleinen on myös Retrotecin laitteistot (kuva 4).

Muiden merkkien osuus ei ole merkittävä. Eri mittaustalaitteistojen käyttöalueet löytyvät taulukosta 7.

Taulukko 7. Tiiveysmittauslaitteet (Paloniitty 2012)

| MERKKI | VALMISTUSMAA | KÄYTTÖALUE m ³ /h (50 Pa) min/max | |
|----------------------|--------------|---|-------|
| Retrotec 1000 | USA/Kanada | 8 | 9514 |
| Retrotec Q4E | USA/Kanada | 8 | 13592 |
| Minneapolis | USA | 19 | 7200 |
| Wöhler | Saksa | 50 | 2500 |
| Swema | Ruotsi | | 1120 |



Kuva 3. Minneapolis –laitteisto



Kuva 4. Retrotec –laitteisto

Rakennuksen tiiveysmittaukseen tarvitaan tiiveysmittauskaluston lisäksi seuraavia välineitä ja tarvikkeita:

- Tiivistysteippiä ja muovia hankalien suljettavien aukkojen tiivistämiseen.
- Amerikkalaisen jalkapallon sisäkumeja ja pumppu tai kompressori ilmanvaihto- ja viemäriputkien sulkemiseen.
- A-tikkaat kohteen sisäkorkeuden mukaan mitoitettuna. Normaalit notjatikkaat ovat usein tarpeelliset seinällä sijaitsevan ilmanvaihtokoneen raitisilmaventtiilin sulkemiseksi.
- Mittalaite vaipan alan ja rakennuksen tilavuuden mittaamiseksi. Lasermittauslaite.
- Lämpömittari sisä- ja ulkoilman lämpötilan mittaamiseksi.
- Lämpökamera paikantamaan alipaineisen mittauskohteen vuotokohtat.
- Savukone, jolla voidaan paikantaa painekokeen jälkeen rakennuksen sisäpuolelta ilmavuotopaikat.
- Virtausmittari sisäpuoleiseen vuotokohtien paikantamiseen.
- Kannettava tietokone liitettäväksi ilmatiiveysmittauslaitteistoon, Tietokoneessa tarvittava painekoeohjelma.

Talvikautena vuotokohtien paikantaminen tapahtuu lämpökameran avulla. Sen sijaan lämpimän kauden aikana, jolloin ulkolämpötila on korkeampi eikä sisä- ja ulkoilman välillä ole riittävää lämpötilaeroa on käytettävä savua tai virtausmittaria vuotokohtien paikantamiseksi.

Uusissa taloissa ilmapuotoluvun mittaaminen on suositeltavaa tehdä siinä vaiheessa rakentamista, kun kaikki ulkovaipan ilmanpitävyyteen vaikuttavat rakennustyöt on tehty valmiiksi, mutta vaipan mahdollista lisätiivistämistä voidaan vielä suorittaa. Jos ilmapuotoluvun suunnittelu-arvoa on käytetty lämpöhäviöiden kompensoinnissa ja mittaustulos poikkeaa suunnittelu-arvosta huonompaan suuntaan, tehdään lisätiivistäminen ja uusintamittaus, ja tarvittaessa tätä jatketaan, kunnes päästään suunnittelu-arvon mukaiselle tasolle. (RT 80-10974. 2009, 12).

Ennen kuin itse mittaaminen voidaan suorittaa on mitattava mitattavan kohteen ulkovaipan ala ja tilavuus. Vaikka q_{50} mittaamiseksi riittää pelkän vaipan alan mittaaminen niin tällä hetkellä on käytäntö että mitataan myös n_{50} ja sen arvon määrittämiseen tarvitaan myös tilavuus.

Vaipan alaan lasketaan ulkoseinien pinta-ala sisämittojen mukaan lasketuna. Aukkoja kuten ikkunoita ei vähennetä pois. Vaipan pinta-alaan lisätään ylä- ja alapohjan pinta-ala.

Rakennuksen tilavuus on huonekorkeuden ja kokonaissisämittojen mukaan lasketun pinta-alan tulo. Välipohjia ei lasketa rakennuksen ilmatilavuuteen.

Mittausohjelmaan syötetään kohteen tiedot ja vallitsevat olosuhteet. Ulkoilmaan olosuhteista määritellään vallitseva ilmanpaine, tuuli, rakennuksen sijainti (suojaan paikka vai tuulelle altis), kosteus ja lämpötila. Taulukko 8 määrittelee tuulen luokitukset.

Taulukko 8. Tuulen luokitukset (SFS-EN 13829. 2000, 23)

Table D.1 - Beaufort scale for wind force (extract)

| Beaufort Number | Name | Wind speed m/s | Description |
|-----------------|-----------------|----------------|---|
| 0 | calm | less than 0,45 | calm; smoke rises vertically |
| 1 | light air | 0,45 to 1,34 | direction of wind shown by smoke but not by wind vanes |
| 2 | light breeze | 1,8 to 3,1 | wind felt on face; leaves rustle; ordinary vane moved by wind |
| 3 | gentle breeze | 3,6 to 5,4 | leaves and small twigs in constant motion; wind extends light flag |
| 4 | moderate breeze | 5,8 to 8 | raises dust and loose paper; small branches are moved |
| 5 | fresh breeze | 8,5 to 10,7 | small trees in leaf begin to sway; crested wavelets form on inland waters |
| 6 | strong breeze | 11,2 to 13,9 | large branches in motion; telegraph wires whistle; umbrellas used with difficulty |
| 7 | moderate gale | 14,3 to 17 | whole trees in motion; inconvenience in walking against wind |
| 8 | fresh gale | 17,4 to 20,6 | breaks twigs off trees; generally impedes progress |

Paine-ero mittaus pyritään mittaamaan tuulelta suojassa olevan julkisivun puolelta

Ennen varsinaista mittausta tehdään niin sanottu manuaalinen ajo. Manuaaliohjauksella säädetään puhaltimen nopeutta siten että aikaansaadaan 50 Pa alipaine. Manuaalisen ajon tarkoituksena on

- selvittää, onko rakennukseen jäänyt tiivistämättömiä ilmavuotopaikkoja.
- mitata saadaanko rakennukseen riittävä alipaine
- kokeilla, mitä kuristusrenkaita aiotaan käyttää.

Manuaalinen ajo antaa karkean käsityksen mitattavan kohteen tiiveydestä. (Paloniitty 2012, 50-51).

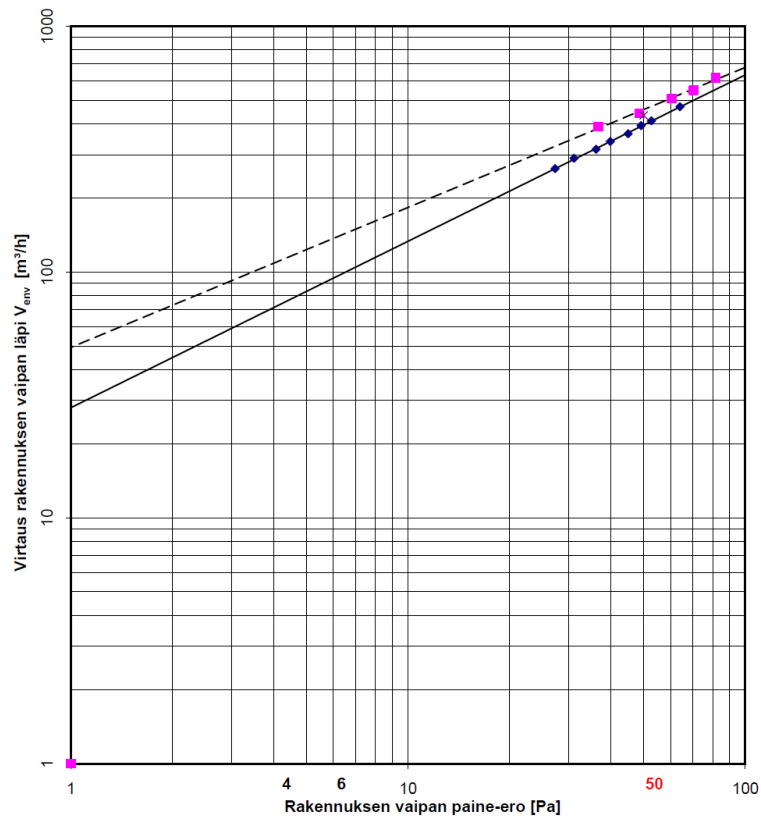
Mittauksen aikana on huomioitava että kaikkien sisäovien pitää olla täysin auki eikä ulko-ovia saa avata mittauksen aikana.

Mittaus etenee siten, että ennen varsinaista puhallussarjan tekemistä suoritetaan paine-eromittaus sisä- ja ulkoilman välillä puhallin peitettynä. Tätä kutsutaan nollapaine-eroksi tai lähtöpaineeksi. Nollapaine-eron tulee olla alle 5 Pa. Mittauksella tarkistetaan vallitsevien olosuhteiden merkitys mitaustilanteeseen eli tuulen ja savupiippuvaikutuksen aiheuttama paine-ero. Nollapaine-eromittauksen jälkeen voidaan aloittaa varsinainen mittaus. Mittausohjelmisto säätelee puhaltimen nopeutta automaattisesti ennalta määrättyjen paine-erojen mukaisesti. Yleensä mittaus tehdään ylhäältä alas eli suurimmasta paine-erosta pienempään. Mittauslaite mittaa paine-eroa puhaltimessa ja muuttaa sen ilmamääräksi. Mittauslaitteen toinen puoli mittaa jatkuvasti mitattavan kohteen paine-eroa ulkoilmaan nähden. Näillä tiedoilla ohjelmisto pystyy laskemaan mittausarvot.

Lopuksi suoritetaan loppupaine-eron mittaus peittämällä puhallin. Loppupaine-eron ja lähtöpaine-eron ero saa maksimissaan olla 5 Pa.

Mittausohjelmisto laskee saaduista tuloksista rakennuksen ilmavuotokäyrän (taulukko 9). Tämän jälkeen mittaus toistetaan ylipainemittauksena kääntämällä puhallin ympäri ja aloittamalla mittaus alusta.

Taulukko 9. Malli ilmavuotolukukäyrästä



Mittausraportissa esitetään saatu vuotolukuarvo mittausraportin kannessa kuvan 4 tavoin

| ILMANPITÄVYYSLUOKITUS | | n_{50} -LUKU | q_{50} -LUKU |
|-----------------------|----------|----------------|----------------|
| $\leq 0,6$ | A | | |
| 0,7 - 1,0 | B | 0,88 1/h | 1,0 m³/m²h |
| 1,1 - 1,5 | C | | |
| 1,6 - 2,0 | D | | |
| 2,1 - 3,0 | E | | |
| 3,1 - 4,0 | F | | |
| $\geq 4,1$ | G | | |

Kuva 4. Vuotolukuarvojen esitystapa raportoinnissa

Mittausraportin tulee sisältää myös seuraavat asiat. (RT 80-10974, 13)

- rakennuksen tunniste- ja laajuustiedot
- rakennuksen tai sen mitatun osan ilmatilavuus
- rakennuksen tai mitatun osan vaipan ala
- mittajaan nimi ja mittauspäivä

- säätiedot
 - ulkolämpötila
 - tuulen nopeus
 - tuulen suunta
 - ilmanpaine
- tiiviysmittauksen kattavuus
- tiedot mittauksessa käytetyistä laitteistoista ja koejärjestelyistä
 - kalibrointitiedot
 - paine-eron tuottamistapa
 - mittauspisteiden sijainti
 - mittauksen ajaksi suljetut aukot
 - mahdolliset poikkeamat standardista SFS-EN 13829
- mittaustulokset
 - mittauspaine-erot
 - mitatut vuotoilmavirrat eri paine-eroilla
 - sisälämpötila
 - ulkolämpötila
 - ilmanpaine
- mittaustuloksista määritetty vuotoilmavirta 50 Pa paine-erolla
- Vaipan ilmavuotoluku n_{50} ja q_{50} .

Jos asiakkaan kanssa on sovittu, tiivysmittauksesta laaditaan laajempi tiivysmittausraportti. Tällöin kysymyksessä on laajempi tutkimusraportti, jossa on tarkemmin kirjattu vuotokohtien sijainnit, havainnot ja johtopäätökset vuotojen vakavuudesta ja mahdollisista korjaustoimenpiteistä.

2.6 Ilmanvuotokohtien paikantaminen

Ilmatiiveysmittauksen yhteydessä on tärkeää myös paikantaa mahdolliset vuotokohtat. Tiiveysmittaajaan tulee paikantaa ainakin suurimmat ja merkittävimmät vuotokohtat. Hyvin usein jo pienilläkin toimenpiteillä saadaan rakennuksen ilmavuotoja vähennettyä. Tällöin energiankulutus ja asumisviihtyvyys voi parantua merkittävästi.

Päätoimintaperiaate on että ilmavuotojen paikantaminen tehdään 50 Pa alipaineessa.

Ilmavuotojen paikantamiseksi on kolme tärkeää menetelmää.

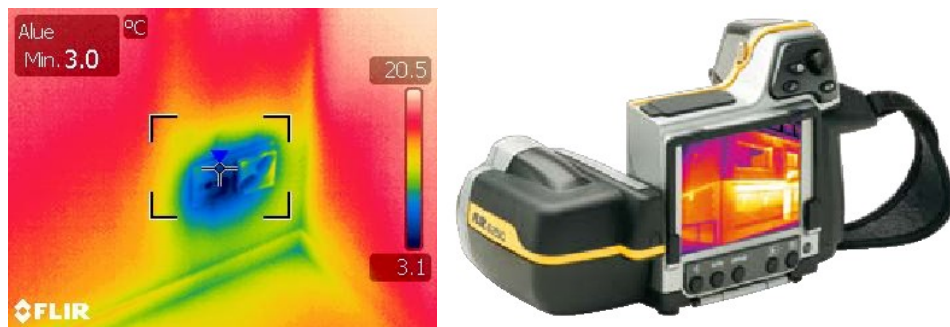
- lämpökamerakuvausella tehtävä paikantaminen
- savukoneella tehtävä paikantaminen
- virtausmittarilla tehtävä paikantaminen
- paljaalla kädellä tehtävä tunnustelu

Tärkein näistä menetelmistä on lämpökamerakuvaus. Lämpökamerakuvaus on tehokas tapa vuotokohtien paikantamiseksi. Lämpökamerakuvaus ilmaisee tarkan ilmavuotokohdan. Vuotokohdan täsmällinen korjaus on tällöin myös helppoa ja halpaa. Välttämättä ei tarvitse purkaa suurta aluetta vaan usein jopa vain pienen korjausreiän tekeminen on riittävää korjauksen tekemiseksi.

Lämpökamerakuvauksen ongelmana on ettei sitä voida käyttää kesäkuukausina, jolloin ei saavuteta riittävää lämpötilaeroa sisä- ja ulkoilman välillä. Virallinen lämpökamerakuvaus vaatii vähintään 15 asteen lämpötilaeron sisä- ja ulkoilman välillä. Vuotokohtien paikantamista voidaan tehdä vielä 5-10 asteen lämpötilaerossa. Mitä pienemmäksi lämpötilaero menee sen haastavampaa paikantaminen on.

Lämpökamerakuvaus yhdessä tiiveysmittauksen kanssa antaa erinomaisen tarkan kuvan kunkin ilmavuodon vakavuudesta.

Tiiveysmittauksen yhteydessä tehtävässä ilmavuotojen paikantamisessa käytettävän lämpökameran ei tarvitse olla teknisesti niin hyvä kuin virallisen lämpökamerakuvaukseen tarkoitetun kameran. Parempilaatuisen kameran kuvaa on kuitenkin helpompi tulkita ja antaa tarkemman kuvan tilanteesta. Kuvassa 5 on tyypillinen sähkörasian ilmavuoto kuvattuna kuvan mukaisella Flir B250 lämpökameralla.



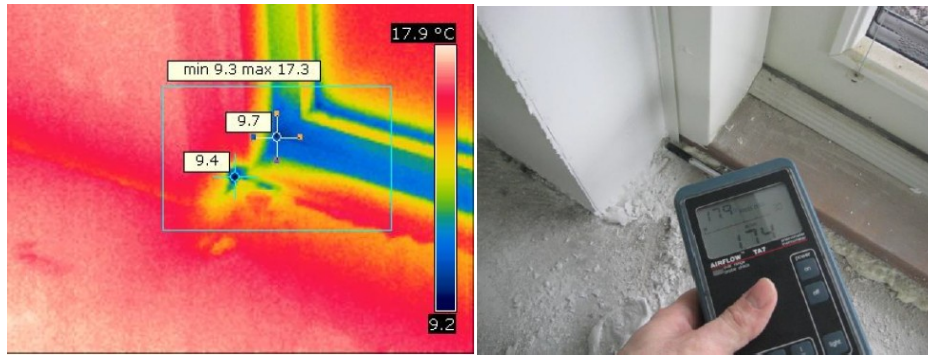
Kuva 5. Pistorasian ilmavuoto ja Flir B250 lämpökamera.

Merkkisavut ovat hyviä, koska niitä voidaan käyttää vuodenaikaan katsomatta. Merkkisavulla kannattaa ilmavuotokohtia etsiä lattian ja seinän vierustoilta sekä ikkunoiden ja ovien liitoksissa.

Ennen merkkisavun käyttöä on kuitenkin syytä tarkistaa niiden käytön sallittavuus. Monissa julkisissa tiloissa on kaikkien savua tuottavien laitteiden käyttö kielletty, joten on syytä tarkistaa tilanne ennen käyttöä. Myös monet savuilmaisimet reagoivat kyseisiin merkkisavuihin.

Mikäli rakennuksen vaippa on suuri, saattaa olla työlästä etsiä vuotokohtia merkkisavujen avulla. Merkkisavuja on monessa eri muodossa kuten kynänä sekä ampullina.

Ilmavirtausmittareilla voidaan paikallistaa vuotoja. Mittari asetetaan ilmavuodon kohdalle ja mitataan vuodon määrä. Mittaria voidaan käyttää ympäri vuoden. Kuva 6 kertoo havainnollisesti lämpökamerakuvan ja virtausmittarin eron. Mittaukset on tehty samasta kohtaan.



Kuva 6. Ilmavuodon paikantaminen lämpökameralla ja virtausmittarilla. (Achilles 2011)

Virtausmittaria käytettäessä tulee mittajaan tietää tyypillisimmät vuoto-
paikat ja todentaa ne virtausmittarilla. Sen sijaan lämpökameralla voidaan
nopeasti tarkastaa suuriakin pintoja suurella varmuudella.

3 RAKENNUKSEN ILMATIIVEYDEN MERKITYS

3.1 Asumisviihtyvyys

Asukkaalle konkreettinen hyöty hyvästä rakennuksen ilmatiiveydestä tulee parempana asumisviihtyvyytenä. Huono rakennuksen tiiveys aiheuttaa vedon tunnetta kylmän ulkoilman virratessa sisätiloihin. Pahimmillaan huono tiiveys aiheuttaa terveysriskejä. Vaipan hyvä tiiveys estää rakenteista haitallisten epäpuhtauksien kulkeutumisen huoneilmaan. Erityisesti alapohjan haitallisten epäpuhtauksien kulkeutuminen huonetilaan on estettävää. Lisäksi hyvä ilmanpitävyys parantaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa estäen näin homeen kasvulle otollisten olosuhteiden muodostumisen. Ilmanpitävässä rakennuksessa sisäilman laatu ja ilmanvaihto ovat paremmin hallittavissa. Lämmön talteenottolaitteistosta saadaan parempi hyöty kun ilma ei poistu suoraan raoista vuotoilmana vaan ilmanvaihtojärjestelmän venttiilien kautta. Tiivis alapohja liittymineen estää maaperässä mahdollisesti esiintyvän radonin ja mikrobien pääsyn sisäilmaan. Tiiviin talon ääneneristys on myös parempi.

Vaipan ilmanpitävyyden parantamisella on lähes pelkästään positiivisia vaikutuksia.

- 1) Erilaisten haitallisten aineiden ja mikrobien virtaus sisäilmaan vähenee.
- 2) Kosteuden virtaus vaipparakenteisiin vähenee.
- 3) Vaipparakenteiden sisäpinnat eivät jäähdy ulkoa tulevien ilmavirtausten seurauksena
- 4) Rakennuksen energiankulutus vähenee ilmanvaihdon tapahtuessa LTO:n kautta.

- 5) Rakennuksen käyttäjien kokema vedon tunne vähenee
- 6) Vaippa estää paremmin tulipalon leviämistä
- 7) Ilmanvaihdon säätäminen ja tavoiteltujen painesuhteiden säätäminen helpottuu, mutta toisaalta säätöjen tekeminen on vielä aiempaakin tärkeämpää.

Sisäilmaston laatu vaikuttaa suoraan ihmisten suorituskykyyn ja asumis-tyytyväisyyteen. Asunto mielletään viihtyisäksi, jos sen lämpötila tuntuu sopivalta.

3.2 Energiatehokkuus

Ilmanpitävässä rakennuksessa lämpö ei karkaa ilmavirtausten mukana ulos eikä kylmää ilmaa tule sisään. Pientalojen yleisimmät ilmavuotokohtat ovat yläpohjan ja ulkoseinän liitoskohdat, ikkunoiden ja ovien liitoskohdat ulkoseiniin sekä läpiviennit.

Hallitsemattomalla vuotoilmalla on suuri vaikutus kokonaisenergiankulutukseen. Pientaloissa laskennallinen kokonaisenergiankulutuksen lisäys on keskimäärin 4 % jokaista n_{50} -luvun kokonaisuusyksikön lisäystä kohti. Vuotoilman tarvitsevan energian osuus suhteessa kasvaa siirryttäessä matala-energiarakentamisen suuntaan. (Rateko 2011, RT 80-10974, 4)

Kokonaisenergiankulutus on pientalossa ($n_{50} = 4$ 1/h) 6-20 % suurempi kuin erinomaisen ilmanpitävyydystason ($n_{50} = 1$ 1/h) omaavassa talossa. Pelkästään vaipan ilmanpitävyyden parantamisella on siis merkittävä vaikutus energiankulutuksen pienentämiseksi.

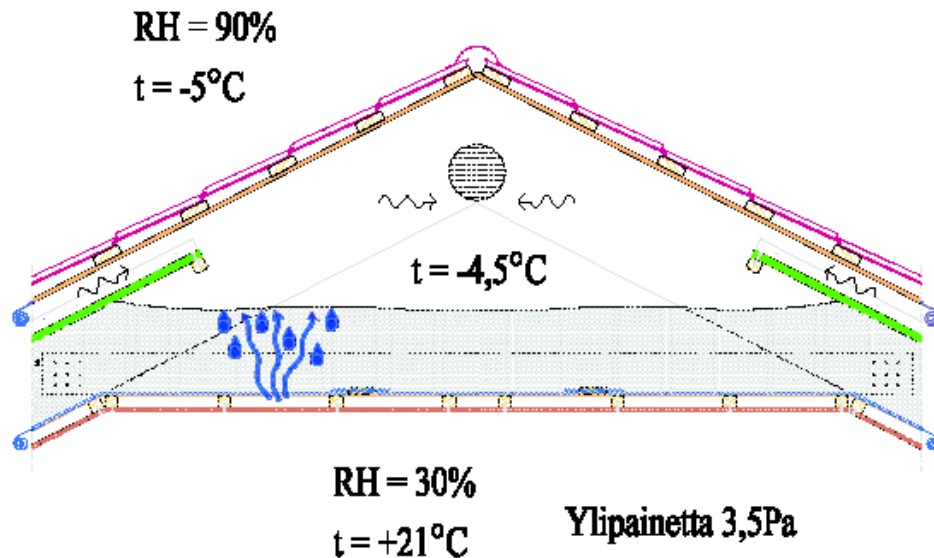
Jotta lämpöenergiaa voidaan hyödyntää tehokkaasti, on rakennuksen oltava tiivis ja hyvin eristetty.

Rakennusmääräyskokoelman osan D3 mukaan on uudesta asuinrakennuksesta tehtävä kokonaisenergiatarkastelu kohdan 2.1 mukaisesti. Kokonaisenergiatarkastelu tarkoitetaan rakennuksen E-luvun laskentaa. E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku saadaan laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain. Kohdan 2.3.2 mukaan rakennusvai-pan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään 4 ($m^3/(h m^2)$).

3.3 Ilmavuotojen vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen

Rakennuksen höyrynsulussa olevien vuotokohtien kautta pääsee lämmintä ulkoilmaa kosteampaa ilmaa rakenteisiin. Sisäilmaa kylmemmissä olosuhteissa on vaarana, että vuotoilman kosteus tiivistyy rakenteiden kylmiin osiin aiheuttaen rakenteissa kosteusongelmia. Riski homeen muodostumiselle on suuri. Yleisesti rakennus säädetään alipaineiseksi, mutta raken-

nuksen yläosassa saattaa esiintyä ylipainetta erityisesti korkeissa rakennuksissa tai sen osissa. Ylipaine saattaa johtua myös huonosti säädetyistä ilmanvaihdosta, ilman lämpötilaeroista tai tuulesta. Tiiviissä rakennuksessa on tärkeää säätää ilmanvaihto oikein. Sisäpuolen ollessa ylipaineinen, voi vaipassa olevan reiän tai raon kautta kulkeutua sisäilmasta huomattavia määriä kosteuspoista ilmaa rakenteisiin konvektiolla (kuva 7).



Kuva 7. Konvektio (Paloniitty 2011)

4 TEOLLISESTI VALMISTETTUIJEN ASUINRAKENNUSTEN LAADUNVARMISTUSOHJE

4.1 Laadunvarmistusohje RT 80-10974

Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) ja Teknillisen korkeakoulun (TKK) AISE -tutkimusprojekti alkoi vuonna 2005 ja päättyi vuonna 2008. AISE on lyhennys sanoista asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Vuonna 2004 kun projektia aloiteltiin ei Suomessa rakennusten ilmatiiveysratkaisuihin oltu perehdytty syvällisesti. Ohjeita rakenteiden ja niiden välisten liitosten suunnittelua vaipan ilmanpitävyyden kannalta ei ollut. Tutkimuksen tarkoitus oli luoda ohjeet ilmanpitävyyden rakenneratkaisuiksi. AISE -tutkimuksen loppuraportti 141 sisältää tyypillisimmät rakennedetaljit niin puu- kuin kivitaloille. Suunnitteluohjeet on laadittu TTY:n Rakennetekniikan laitoksen asiantuntijaryhmän toimesta. (TTY 2009).

Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten laadunvarmistusohje RT 80-10974 on laadittu AISE –tutkimuksen yhteydessä. Ohjeet samalla myös täydentävät standardissa SFS-EN 13829 annettuja ohjeita rakennuksen ilmavuotoluvun mittauksesta.

RT –kortin 80-10974 ohjeessa esitetään ilmanpitävyyden laadunvarmistuksen periaatteet ja ilmavuotoluvun ilmoitusmenettely. Ilmoitusmenettelyä voidaan käyttää teollisesti valmistetuissa asuinrakennuksissa. Ilmoitusmenettelyllä talotehdas voi antaa talotyyppikohtaisen arvon ilmavuotoluvulle, jota käytetään rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuutta.

Ilmoitusmenettely koostuu kolmesta osiosta:

- tutkimus
- ilmoitus
- seuranta

4.1.1 Tutkimus

Talotoimittajan on teetettävä ulkopuoleisella taholla tutkimus kunkin valitsemansa talotyypin ilmanpitävyydestä. Talotyypin erityispiirteet tulee määrittellä tarkasti. Talotyypissä käytettävät rakennedetaljit, käytettävät rakennustavat, rakennusmateriaalit ja työmaavalvonnan ilmatiiveyden osalta ulkopuolinen taho tarkastaa ja arvio niiden sopivuuden myös siten että ne mahdollistavat ilmanpitävyyden säilymisen myös pitkän ajan kuluessa. Talotoimittajan tulee esittää ulkopuoliselle taholle tarvittavat dokumentit.

Tutkimus sisältää vähintään kuusi kyseisen talotyypin mittauskohdetta. Ulkopuoleinen taho valitsee itsenäisesti kyseiset mittauskohdet. Mitattavat kohteet tulee valita satunnaisesti eri asennusryhmät ja maantieteelliset alueet huomioon ottaen. Ilmavuotoluvun mittaukset voivat olla myös aikaisemmin tehtyjä, jos ne ovat ulkopuoleisen tahon tekemiä ja asianmukaisesti dokumentoituja. Jos aikaisempia kohteita otetaan mukaan, niin tällöin on otettava mukaan kaikki ne kohteet, jotka edustavat kyseistä talotyyppiä. Kohteita ei saa valita mittaustulosten mukaan.

Eri toteutusratkaisut voidaan yhdistää samaan talotyyppiin, jos ratkaisujen ilmoitetut ilmavuotoluvut ovat erikseen laskettuna alle mittausta edellyttävän raja-arvon ja enintään 0,5 l/h suurempia kuin talotyypin yhdistetty ilmoitettu ilmavuotoluku.

Ulkopuoleinen taho esittää tutkimuksen tuloksena tutkimusraportin. (RT 80-10974 2009, 4-5)

4.1.2 Ilmoitus

Tutkimuksessa mitattujen vähintään kuuden kohteen perusteella voidaan laskea kaavalla 1 kullekin talotyypille ilmoitettu ilmavuotoluku. RT – kortissa vuodelta 2009 kaava on ilmoitettu n_{50} –luvun muodossa. Kaava 1 on muokattu q_{50} –luvun muotoon. Uusi D3 2012 määrittelee käytettäväksi ilmavuotolukua q_{50} .

$$(1) \quad q_{50,ilm} = \overline{q_{50}} + k \times s_{q,50}$$

missä $\overline{q_{50}}$ = talotyypin mitattujen arvojen keskiarvo

k = kerroin, joka riippuu mitattujen rakennusten lukumäärästä

s_{q50} = talotyypin mitattujen ilmavuotolukuarvojen keskihajonta

$$(2) \quad s_{q50} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (q_{50,i} - \overline{q_{50}})^2}}{n-1}$$

missä $q_{50,i}$ = yksittäinen ilmavuodon mittaustulos [$m^3/(h \cdot m^2)$]

n = mitattujen rakennusten lukumäärä

$$(3) \quad k = 0,674 + \frac{1}{n}$$

Kaavalla 3 laskettu ilmoitusmenettelyn mukainen vuotoluku annetaan $0,1 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ tarkkuudella.

Näillä kaavoilla laskettu ilmoitusmenettelyn mukainen vuotoarvo tarkoittaa käytännössä sitä että 75 % tarkasteltavan talotyypin kaikista rakennuksista täyttää ilmoitetun ilmavuotoluvun 84 % varmuudella.

Talotoimittaja voi käyttää talotyypin ilmoitettuna ilmavuotolukuna myös suurempaa arvoa, kuin kaavalla 1 on saatu. (RT 80-10974 2009, 6)

4.1.3 Seuranta

Talotyyppiä koskevan tutkimuksen valmistuttua alkaa seurantajakso. Ilmanpitävyyden seuranta tapahtuu kolmen vuoden jaksoissa. Seurantaan otetaan vähintään kolme kyseisen seurantajakson aikana valmistunutta kohdetta. Talotoimittaja tai ulkopuolelinen taho tekee seurantamittaukset. Jos talotoimittaja tekee seurantamittaukset itse, on seurantamittauksissa oltava myös ulkopuolinen taho laadunvalvojana.

Seurantamittauksista tehdään seurantaraportti. Raporttiin tulee kirjata mahdolliset rakennemuutokset seurantajakson aikana. Kaikki seurantajakson aikana mitatut kohteet otetaan mukaan seurantaraporttiin.

Seurantamittausten yhteydessä ilmoitettu ilmavuotoluku lasketaan käyttämällä kaavassa 1 kertoimen k arvona samaa arvoa, kuin on käytetty ko. talotyypin tutkimuksen yhteydessä. Tällöin seurantamittausten vuotoluku-arvo on vertailukelpoinen tutkimuksessa saadun arvon kanssa.

Jos seurantamittausten perusteella saatu vuotolukuarvo poikkeaa ilmoitetusta arvosta, niin talotoimittaja voi pyytää ulkopuolisen tahon mittaamaan lisää kohteita. Jos talotyypin seurantajakson aikana laskettu arvo vielä uusienkin mittausten perusteella poikkeaa ilmoitetusta arvosta, on talotyypin ilmoitusmenettelyn mukaista arvoa muutettava vastaavasti. Jos ilmoitusmenettelyn mukainen arvo on suurempi, ei sitä tarvitse muuttaa.

Ilmoitetun ilmavuotoluvun pohjana oleva tutkimusraportti ja viimeisimmän seurantajakson raportti on esitettävä pyydetessä rakennushankkeen ryhtyvälle, rakennuksen käyttäjälle, omistajalle, valvojalle ja rakennusvalvonnan edustajalle. (RT 80-10974 2009, 6-7)

Vanhoiden rakennusten uusintamittauksia on syytä tehdä noin viiden vuoden kuluttua kyseisen talotyypin tutkimuksesta. Uusintamittaus antaa talotehtaalte arvokasta tietoa tuotekehityksen tueksi.

5 LAMMI-KIVITALOT OY:N LAADUNVARMISTUSOHJEISTUS JA RT-KORTIN MUKAINEN TUTKIMUS

5.1 Talotyypin kuvaus

Tutkimuksen lähtökohdaksi määriteltiin talotyyppi , jolle Lammi Kivitalot Oy haluaa käyttää ilmoitusmenettelyn mukaista vuotolukuarvoa.

Tutkittavan talotyypin tarkempi kuvaus:

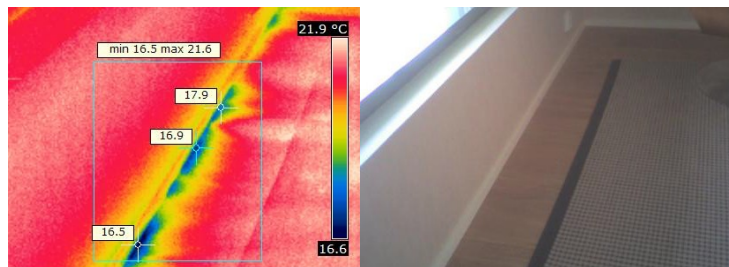
- Seinät Lammin Betonin valmistama betonivaluharkko.
- Yläpohja puurakenteinen.
- Yläpohjassa ilmansulkupaperi, höyrynsulkumuovi tai -levy.
- Alapohja joko tuulettuvalla ryömintätilalla (ontelolaatta) tai maanvaraisella betonilaatalla toteutettu.
- Asuinrakennuksen kerrosluku 1-3.

5.2 Suunnittelu ja rakennedetaljit

Lammi Kivitalot Oy on aktiivisesti ollut mukana kehittämässä rakenneratkaisuja ilmatiiviiden liitosten rakenneratkaisuksi osallistumalla aktiivisesti eri tutkimushankkeisiin. AISE –tutkimuksen tuloksena syntynyt loppuraportti 141 ja siihen liittyvät ohjeet ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteuttamiseksi on ollut Lammi Kivitalojen perusta ilmatiiviin liitoksen suunnittelulle. Rakennedetaljeja on näistä edelleen kehitetty luotettavimmiksi ottamalla huomioon asentajien parannusehdotukset ja oman tuotekehityksen tutkimustulokset. Uudet materiaalit ovat myös tuoneet uusia kehittyneempiä ratkaisuja.

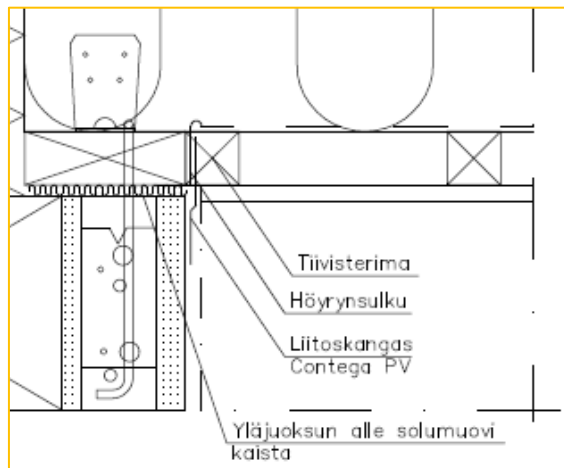
5.2.1 Tuotekehitys

Lammi Kivitalojen omalla tuotekehityksellä on ollut keskeinen rooli Lammi Kivitalojen ilmantiiveyden parantamisessa. Tuotekehitysyksikön havaittua muun muassa ongelmia alapohjan tiivistyksissä (kuva 8) oman laadunvarmistuksensa kautta niin paneuduttiin asiaan järjestelmällisesti. Asuinrakennuksen ilmantiiveyden parantamiseksi ja asennustyön helpottamiseksi Lammi Kivitalot siirtyi FP Finnprofiles Oy:n kehittämän ilmasulku- ja radonkaistan käyttöön. Lähdettiin markkinoimaan ja viemään tietoa ilmantiiveyden tärkeydestä asiakkaille korostaen myös alapohjan ilmansulun tärkeyttä. Lähdettiin puhumaan ilmansulusta radonsulun asemasta.

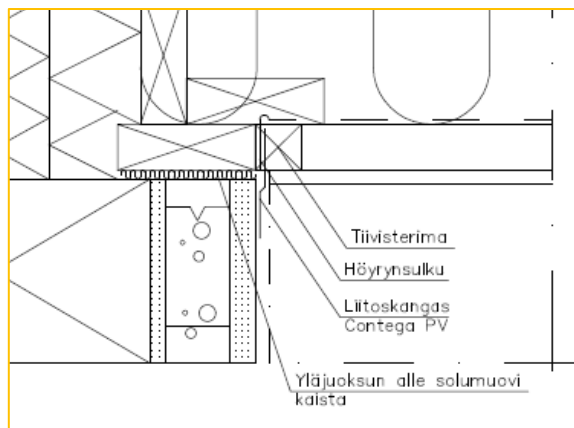


Kuva 8. Alapohjan ilmavuoto seinän ja lattian liitoksessa

Tutkimuksessa käytiin läpi kaikki rakennuksen ilmantiiviyteen vaikuttavat rakennedetaljikuvat ja päivitettiin vastaamaan todellisuutta. Kuvissa 9 ja 10 on Lammi Kivitalojen yläpohjan rakenneratkaisut, jotka todettiin toimiviksi ilmatiiviiksi ratkaisuksi myös tämän tutkimuksen aikana.



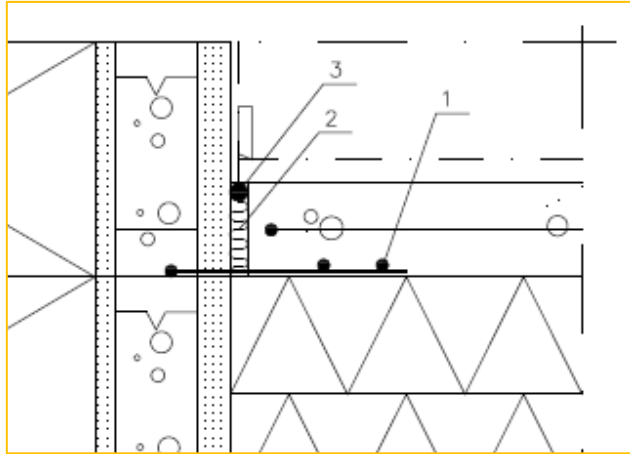
Kuva 9. Yläpohjan rakennekuva



Kuva 10. Yläpohjan päädyn liitos.

Yläpohjan höyrynsulkumuovi asennetaan riittävällä laskoksella yläjuoksun kylkeen. Contega PV -tiivistenauha liimataan höyrynsulkumuoviin kiinni. Tiivistenauhan alaosa kiinnitetään saneerauslaastilla betoniharkkoseinään. Contega PV on Redi –Yhtiöt Oy:n tuote.

Ilmatiiveyden kannalta betoniharkkotalo on erinomainen ratkaisu. Betoni ei vaadi erillistä ilmansulkua vaan betoni itsessään on riittävän tiivis. (Betoniteollisuus 2010, 10) Betoniharkkotalon heikkoja kohtia ovat erilaiset aukot, kuten ikkunat ja ovet. Lammi Kivitalot on yhteistyökumppaniensa kanssa kehittänyt näihin omat rakenneratkaisunsa. Kaikkiin talotyypin rakenteisiin löytyy oma rakennedetalji . Alapohjan ilmasulun ja radonkai-
tan asennusohje on esitetty kuvassa 11.

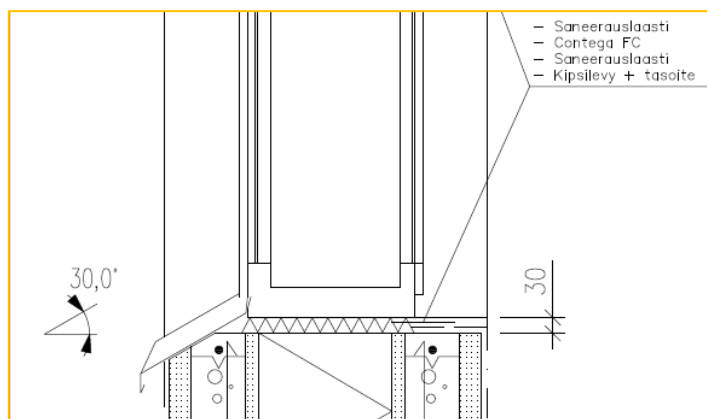


Kuva 11. Alapohjan tiivistyskuva

Alapohjan ilmansulkuna ja radonkaistana Lammi Kivitalot käyttää FP Finnprofiles Oy:n EPDM- kaistaa. Ilmansulkukaista jätetään kuvan mukaisesti harkon saumaan. Myöhemmin tehtävä betonivalu kiinnittää ilmansulkukaistan ilmatiiviisti sokkeliin. EPDM -kaistassa olevat nystyrät jäävät lattiavalussa betonivalun sisään ja toimivat tartuntoina. EPDM on elastinen kumi. Se sietää hyvin betonin kuivumiskutistumisen vahingoittumatta. Sama EPDM –kaista toimii niin radonsulkuna kuin ilmansulkuna.

Litteen 1 tiivistysohjeista löytyy tarkat asennusohjeet valokuvineen ja rakennedetaljikuvinen kaikista ilmatiiveyteen vaikuttavista rakenteista.

Ikkunoiden (kuva 11) ja ovien asennus tehdään Tiivistalon Contega FC – tuotteella. Periaate on sama kuin Contega PV:n asennuksessa. Tiivistysnauha liimataan karmiin kiinni siten että nurkkiin jää riittävä poimu (n. 5-8 cm). Liimauksen jälkeen karmi asennetaan normaalisti paikoilleen. Ta-soitemiehet liimaavat saneerauslaastilla Contega FC:n betoniharkkoon. Tämän jälkeen tehdään lopullinen smyygi joko tasoitteella tai kipsilevyllä.



Kuva 12. Rakennedetalji ikkunoiden asennuksesta.

Ilmanvaihto- ja sähköläpiviennit tehdään aina niitä varten kehitetyillä läpivientikauluksilla.

5.2.2 Käytettävät tuotteet ja materiaalit

Tutkimuksessa tarkastettiin kaikki ilmatiiveyteen liittyvät materiaalit ja tiivistystuotteet. Toimittajilta saatiin tutkimusta varten lisätietoa ja tarvittavat tutkimustulokset käyttöön.

Lammin Betoni omia tuotteita ei tässä nyt tutkittu, koska betoni itsessään on todettu monessa erillisessä tutkimuksessa riittävän ilmatiiviiksi materiaaliksi. Betonin tiiviys on paras tae radonia ja ilmavuotoja vastaan. Liitokset ja saumat tulee tiivistää huolella. Maanvastaisessa alapohjassa betonilaatan paksuuden tulee olla vähintään 80 mm. Maanvarainen alapohja tehdään alipaineiseksi ja radon tuuletetaan pois alapohjasta putkistojen ja tarvittaessa poistoimurin avulla. Liitossaumat tiivistetään bitumikermein tai tiivistysmassalla. Maanvastaisissa rakenteissa paras ratkaisu on mahdollisimman yhtenäinen ja tiivis alapohja- ja perustusrakenne, jossa on vähän tiivistystä vaativia kohtia. Ryömintätilaisessa alapohjassa radon tuulettaa pois luonnostaan. Myös ryömintätilainen alapohja tulee tehdä ilmatiiviiksi. (Betoniteollisuus ry 2012).

Betoniharkkojen asennusohjeet ja betonointi työnä ja siihen liittyvä valvonta käytiin kuitenkin tarkasti läpi niin ohjeiden osalta kuin varsinaisen asennuksen osalta työmailla paikan päällä.

Ilmatiiveyteen liittyviä tuotteita ja materiaaleja tarkastettiin tutkimuksessa seuraavasti:

- höyrynsulkuteipit
- ikkunoiden ja ovien asennustarvikkeet Contega FC
- Yläpohjan ja seinän tiivistysnauha Contega PV
- Alapohjan ilmansulkukaista malli FP
- Alapohjan läpivientikaulukset mallia FP
- Hormien tiivistystuotteet malli Tiivistalo

Käytännössä tuotteet tulevat kahdelta eri valmistajan tuoteperheistä. Molemmat valmistajat ovat testauttaneet tuotteitansa ulkopuoleisella taholla ja antaneet tutkimustulokset tämän tutkimukseen käyttöön.

Tiivistalo on testauttanut tuotteitansa järjestelmällisesti. Testaustodistuksia löytyy muun muassa paloturvallisuudesta, ekologisuudesta, päästöistä, terveellisyydestä ja vesitiiveydestä. Suurelle osalle tuotteita löytyy jo CE – hyväksyntä.

Asuinrakennuksen tiiveyden kannalta tärkeimmät testit Tiivistalon tuotteille on tehty käytetyn liiman pitävyydestä ja materiaalin ilmatiiveydestä. System Intellolle on myönnetty VTT:n sertifikaatti VTT-C-8580-12. System Intello on rakennuksen vaipan tiivistys- ja kosteudenhallintajärjestelmä. Liiman pitävyyttä testattiin kuvan 13 laitteella. Taulukoon 10 on kirjattu VTT:n Pro Clima Acrylat Solid liiman vanhenemistutkimuksen tulokset Tescon tiivistysteipillä. Kyseistä liimaa käytetään myös Contega – tuotteissa. Testissä ei havaittu liimaan tartunnan heikkenemistä.



Kuva 13. Teipin testausta (peeling –veto) (VTT-S-07025-10, 3)

Taulukko 10. Pro Clima Acrylat Solid liiman tartuntalujuus eri alustoilla testituotteena Tescon No 1 tiivistysteippi (VTT-S-07025-10, 3)

| | | Tartuntalujuus, N/50 mm | | |
|----------------------------|---|--|-----------------|-------------------|
| Tartunta-alusta | Vertailuarvo, säilytetty 3 vrk vakio-olosuhteissa | Lämpövanhennus | | |
| | | 4 viikkoa | 8 viikkoa | 12 viikkoa |
| | | <i>Vanhenmuksen vastaama aika +20 °C:ssa</i> | | |
| | | <i>2,5 vuotta</i> | <i>5 vuotta</i> | <i>7,5 vuotta</i> |
| Betonilaatta | | | | |
| Keskiarvo* | 29 | 40 | 45 | 40 |
| Maksimi | 35 | 48 | 54 | 50 |
| Minimi | 24 | 34 | 40 | 31 |
| Höylätty mänty | | | | |
| Keskiarvo* | 52 | 51 | | |
| Maksimi | 55 | 54 | >70** | >70** |
| Minimi | 46 | 48 | | |
| Intello höyrynsulku | | | | |
| Keskiarvo* | 41 | | | |
| Maksimi | 45 | >70** | >70** | >70** |
| Minimi | 36 | | | |

* Tulos laskettu vetomatkalta 20 – 60 mm.

** Testituote ei irtoa alustastaan vaan alkaa venyä.

FP Finnprofiles on testauttanut oman EPDM -kumista valmistetun tuoteperheensä Tampereen teknillisessä yliopistossa. Testeissä testattiin EPDM-kumin toimivuutta ilmasulun raaka-aineena. EPDM -kuminen ilmansulkuläpivienti todettiin kokeissa varmemmaksi ja tiiviimmäksi kuin verrokkituote. (TRT/1909/2010, 8-9)

5.2.3 CE -merkintä

Useimmissa rakennustuotteissa tulee olla CE -merkintä 1.7.2013 alkaen. CE -merkintä on pakollinen, olipa tuote myynnissä ainoastaan Suomessa tai myös muualla EU:ssa. CE -merkinnällä valmistaja osoittaa, että rakennustuotteen keskeiset ominaisuudet on selvitetty siihen sovellettavan harmonisoidun tuotestandardin mukaisesti. Harmonisoitu tuotestandardi ilmoittaa tuoteryhmäkohtaisesti tuotteilta selvittävät ominaisuudet ja muut vaatimukset. CE -merkinnällä valmistaja vakuuttaa näiden vaatimusten toteutuvan. CE -merkintä kertoo ostajalle tuotteen ominaisuudet yhdenmukaisella tavalla ja helpottaa niiden vertailua. Merkintä mahdollistaa sen, että tuote voi olla markkinoilla kaikkialla Euroopassa. CE -merkintä rakennustuotteessa ei vielä takaa sitä, että tuote soveltuu käytettäväksi tiettyyn rakennuskohteeseen, tietyssä maassa. Suunnittelua, rakennustuotteiden käyttöä sekä rakennuskohdetta säätelevät edelleenkin kansalliset viranomaissäädökset, esimerkiksi Suomen rakentamismääräyskokoelma. Suomen rakentamismääräyksissä asetetaan vaatimuksia esimerkiksi kantavien rakenteiden ja julkisivujen pakkasenkestävyydelle. CE -merkintä tuotteessa ei automaattisesti takaa sitä, että tuotteen pakkasenkestävyys olisi Suomen viranomaisvaatimusten mukainen tai että tuotteen pakkasenkestävyyttä olisi ylipäänsä testattu. (Ympäristöministeriö, 2011, 1-2).

Koska talopaketeille ei ole harmonisoitua tuotestandardia, talopaketteja ei ole pakko olla CE -merkintää. Jos talopakettia ei CE-merkitä, käytettyjen komponenttien, joilla on harmonisoitu tuotestandardi, on oltava CE -merkittyjä. (Pientaloteollisuus PTT ry, 2011, 2).

CE -merkinnän perustana 1.7.2013 jälkeen on rakennustuoteasetuksen mukaisen valmistajan laatima suoritusasoilmoitus. Siinä ilmoitetaan mm. tuotteen keskeisten ominaisuuksien ilmoitetut arvot ja luokat.

CE -merkintä yhdessä suoritusasoilmoituksen kanssa auttaa vertailemaan eri tuotteita keskenään. Periaatteessa kaikkien markkinoilla olevien tuotteiden pitäisi täyttää 1.7.2013 lähtien harmonisoidun tuotestandardin vähimmäisvaatimukset. Tällöin välttyään myös kuvan 14 ongelmatilanteelta. Kuvasta näkyy ikkunan paha ilmavuoto. Kyseisen kohteen yksikään ikkuna ei sulkeutunut ilmatiiviisti. Kyseessä ei ole yksikään tämän tutkimuksen kohteista vaan vuonna 2009 valmistunut hirsirakenteinen ympärivuotiseen käyttöön tarkoitettu huvila. Kyseessä ei ollut tiivistevika vaan rakenteellinen valmistusvirhe. (Nurmi 2012 , 7)

Kuva 14. Esimerkkikuva huonolaatuisista ikkunoista. (Nurmi, 2012)



Ikkunoiden ja ovien laadun ja tiiveyden vaikutus tulevaisuudessa kasvaa entisestään kun vuotoluvussa mennään alle $0.6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Tämä on jo nyt havaittavissa mitattujen kohteiden kohdalla.

5.3 Seurantakohteissa tehdyt havainnot

Tähän tutkimukseen valittiin satunnaisesti pääkaupunkiseudun kevään 2012 aikana alkavia kohteita. Kohteissa tutkittiin muun muassa seuraavia asioita:

- Rakennedetaljien toimivuutta käytännössä.
- Etsittiin ilmatiiveyden kannalta riskikohtia rakenteista.
- Eri asennusryhmien osaamista ja toimintaa työmailla.
- Tarkastettiin työohjeiden toimivuutta.
- Tehtiin ja koottiin erillinen tiiveysohje.
- Kuvattiin koulutusmateriaalia

Kohteet (kuva 15) on tässä tutkimuksessa merkitty koodein. Tarkat tiedot kohteista ja asennusryhmistä löytyy tutkimuskansiosta.

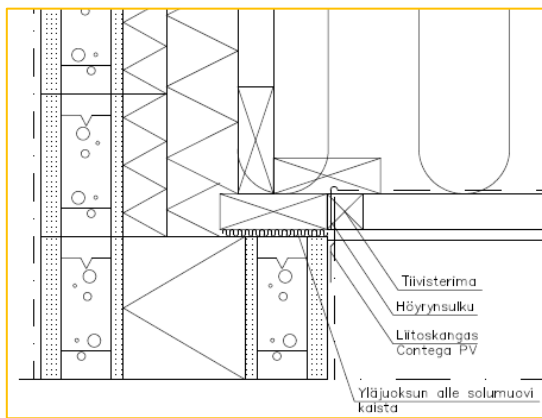
| Kohde | Asennusryhmä | Paikkakunta | Kerros-luku | Käyntimäärä |
|-------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| A | T | Helsinki | 2 | 3 |
| B | T | Vantaa | 1+2 | 5 |
| C | V | Helsinki | 1+1 | 3 |
| D | V | Espoo | 1+1 | 4 |
| E | V | Espoo | 1+1 | 3 |
| F | S | Espoo | 1+1 | 3 |
| G | K | Tuusula | 1+1 | 3 |
| H | K | Espoo | 2 | 2 |
| I | R | Espoo | 1+2 | 4 |
| J | U | Kirkkonummi | 2 | 4 |

Kuva 15. Kohteet

Keväällä 2013 nämä kaikki 10 kohdetta tiiveysmitataan ja lämpökamera-kuvataan. Saatuja tuloksia verrataan seurantajakson havaintoihin ja kerättyyn aineistoon. Aineistosta tehdään koulutusmateriaalia seuraaviin asennusryhmien koulutustilaisuuksiin. Asennusryhmille ja vastaaville työntekijöille annetaan lisäksi henkilökohtainen palaute omasta/omista kohteista.

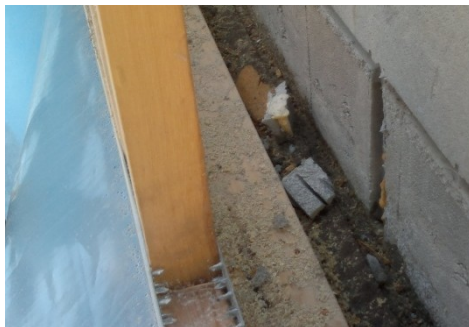
5.3.1 Ulkovaippa

Ulkovaipan osalta kiinnitettiin erityistä huomiota seinän ja katon liitoskohaan. Asennusryhmissä oli kahta eri koulukuntaa. Molemmat ratkaisut on hyviä ja suositeltavia. Toinen perustuu AISE –tutkimuksen rakennedetailiin ja toinen Lammi Kivitalojen uuteen toteutustapaan (kuva 16) . Molemmat liitostavat ovat käytössä Lammi Kivitaloilla.



Kuva 16. Lammi Kivitalojen päivitetty detaljikuva yläpohjan päätyräystästä.

Kohteessa G oli kuitenkin poikettu näistä molemmista siten, että yläjuoksun alle oli asennettu bitumihuopakaista solumuovieristeen tilalle. Tässäkin tapauksessa seinän eristys on yhtenäinen eikä näin ollen aiheuta ongelmia. Riski on lähinnä siinä, että syntyisi ilmavuoto yläjuoksun alapuolelta puhallusvillan läpi vintille. Korjaustoimenpiteenä tässä kohteessa asia hoidettiin siten, että bitumihuopaa kavennettiin ja puhdistettuun harkon pintaan liimattiin uretaanivaadolla pontattu uretaanilevy pystyyn yläjuoksun ja harkon eristeen väliin. Sisäpuolelle höyrynsulkuun ja seinään asennettiin vielä contega PV kuvan 16 mukaisesti.



Kuva 17. Kohde G, yläjuoksun alla bitumihuopa

Yläpohjan rakenteissa suurimmat haasteet tulevat arkkitehtonisesti haastavissa ratkaisuissa. Näissäkin tapauksissa yleensä pystytään käyttämään samoja tiivistysratkaisuja hiukan soveltaen. Kohteessa G (kuva 18) osa katosta on sisäpuolelta viisto ja osa tasainen. Tällöin syntyy erikoistilanne näiden kahden kattotyypin liitoskohdassa. Rakennerratkaisu on kuitenkin sama kuin kuvassa 16. Kuvan 18 harkkoseinää vasten oleva pystytolppa on rinnastettava kuvan 16 yläjuoksuksi ja tehtävä rakenne normaalin detailjikuvan mukaisesti.



Kuva 18. Kahden eri kattorakenteen liitos.

Erilaisten taloteknisten laitteiden asennus aiheuttaa suuria ongelmia, jollei niitä ole huomioitu riittävän hyvin suunnitteluvaiheessa. Kuvassa 19 on yläpohjaan tehty jälkikäteen asennussyvennys vesikiertoista talon jäähdytyslaitteistoja varten. Koteloinnin kohdalla yläpohjan eristyspaksuus on huomattavasti pienempi kuin muualla. Lisäksi höyrynsulkumuovi on joutunut rikkomaan. Lämpöeristyksen parantamiseksi tullaan syvennys vielä vuoraamaan yhtenäisellä uretaanilevytyksellä. Lisäksi höyrynsulku teipataan kiinni uretaanilevyihin.



Kuva 19. Jäähdytyslaitteiston asennussyvennys.

5.3.2 Ikkunat

Lammi Kivitalojen ohjeistuksen mukaan ikkunat ja ovet tulee asentaa Tiivistalon Contega FC –tiivistysnauhan avulla. Seurantakohteissa oli havaittavissa että tiivistysnauhaa pääsääntöisesti kyllä käytettiin mutta noin puolessa kohteista tiivistysnauhan asennus tehtiin osittain väärin. Näissä virheellisissä asennuksissa oli unohdettu kulmaan tuleva laskostus (kuva 20). Laskostuksen puute aiheuttaa sen, että tasointuvaiheessa tiivistysnauha joudutaan katkaisemaan. Tämä aiheuttaa epäjatkuvuuskohdan tiivistyksessä ja vaarana on ilmavuoto.



Kuva 20. Contega FC tiivistysnauhan virheellinen asennus. Laskos puuttuu.

Kohteessa C oli rakennuttaja tilannut epähuomiolla ikkunatoimittajalta ikkuna-asennuksen virheellisesti. Domuksen asentaja kertoi, että heiltä ikkuna-asennus on tilattu ns. pelkkänä uretaaniasennuksena ei tiivistysnauha-asennuksena. Contega FC –tiivistysnauhat löytyivät työmaalta ja ne annettiin Domuksen ikkuna-asentajan käyttöön. Yksi kellarikerroksen pieni ikkuna ehdittiin asentaa ennen asian huomaamista. Kyseisestä ikkunasta tehtiin poikkeamismerkintä.

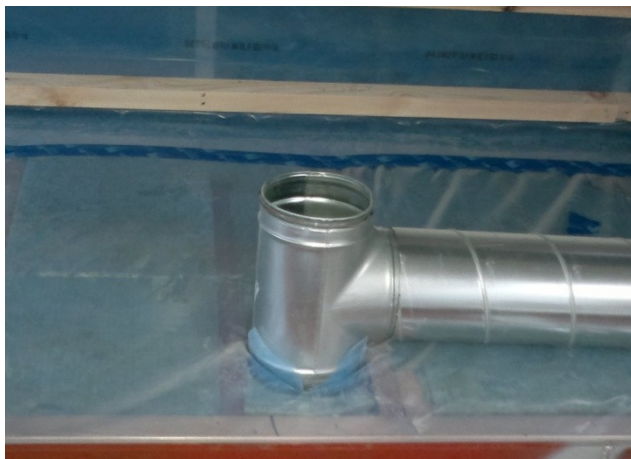
Tapauksen jälkeen on yhteistyötä eri ikkunatoimittajien kanssa tiivistetty ja heitä on informoitu Lammi Kivitaloihin tulevien ikkunoiden ja ovien asennustavasta. Myös koulutusta on tehostettu.

5.3.3 Läpiviennit

Lammi Kivitalojen tiiveysmittaamista asuinrakennuksista suurimmat ja yleisimmät vuotokohdat löytyvät ilmavaihto- ja sähköläpivienneistä (kuvat 21, 22 ja 23). Erityisiä ongelmapaikkoja ovat tekniset tilat ja erilaiset putkikanaalit (kuva 24).



Kuva 21. Sähköputkien rikkoma höyrynsulkumuovi.



Kuva 22. Iv-kanavan puutteellinen tiivistys.



Kuva 23. Höyrynsulkumuovi tiivistetty virheellisesti iv-kanavan eristykseen



Kuva 24. Puutteellinen putkikanaalin tiivistys



Kuva 25. Esimerkillisesti tehty putkikanaviston tiivistys

Seurantakohteiden palauteaineiston ansiosta on asennusohjeita täsmennetty ja toimitussisältöä laajennettu. Nykyinen toimitus sisältää jokaiselle sähköputkelle oman höyrynsulkumuovin läpivientitiivisteen. Tiivistysohjeiden selkeyttämiseksi tehtiin myös oma erillinen tiivistysohjeistus, josta löytyy kaikki tärkeimmät rakennuksen ilmatiiveyteen liittyvät tiivistysohjeet.

Monesti rakennuskohteissa oli panostettu erittäin hyvin rakennuksen asuinosan tiiveyteen mutta oli unohdettu teknisen tilaan tulevien putkien tiivistys. Teknisen tilan ja asuinosan välinen putkien ja kaapeleiden sekamelska ja huono tiivistys pilaa muuten hyvän ilmatiiveyden. Pienellä suunnittelijoiden ajatustyöllä ja vastaavan työnjohtajan valvonnalla voidaan lopputulosta parantaa huomattavasti. Kuvan 26 tapauksessa ei teknistä tilaa pystytty enää tiivistämään riittävän hyvin jälkikäteen. Onneksi kyseisessä tapauksessa oli mahdollista ottaa tekninen tila mukaan tiiveysmittaukseen ja rajata ainoastaan autotalli pois (kuva 27).



Kuva 26. Teknisen tilan tiivistysongelma. Teknisen tilan ja asuintilan välisiä läpiviennitejä ei ole mahdollista enää tässä vaiheessa tiivistää ilmatiiviisti.



Kuva 27. Kuvan 26 tekninen tila kuvattu autotallista päin. Teknisen tilan läpiviennit tiivistettiin ja autotalli eristettiin tiiveysmittauksen ulkopuolelle.

Seurantakohteissa tarkastettiin myös hormien läpivientien tiivistys. Kuvassa 28 on haastava 2-horminen elementtipiippu. Poikkeuksellisesti tässä kohteessa on käytetty kahta erillistä yksihormista piippua. Lisäksi hormit ovat ulkoseinää vasten. Lämpölaajenemista ei juurikaan tapahdu kyseisellä eristetyllä valmishormilla. Pystysaumat voidaan tiivistää Tescon No 1 tiivistysteipillä. Kyseinen teippi voidaan liimata suoraan betonipintaan ja taasoite asentaa suoraan teipin pintaan.



Kuva 28. Hormin tiivistys

5.3.4 Alapohja

Lammi Kivitalojen otettua käyttöön FP Finnprofiles Oy valmistaman ilmansulku- ja radontiivistyskaistan on alapohjan ja seinän vuoto-ongelma saatu hyvin pieneksi. Uusissa kohteissa alapohjan ilmapuodot ovat olleet hyvin pieniä. Vaikka tilanne on hyvin hallinnassa on koulutuksessa vielä vähän parannettavaa. Kuvissa 29 ja 30 nähdään, ettei ilmansulkukaista kierrä väliseinää ympäri ja että nurkkien tiivistys ei ole täysin aukoton. Ongelmat ovat pieniä ja saadaan kuntoon kiinnittämällä koulutuksessa asiaan huomiota.

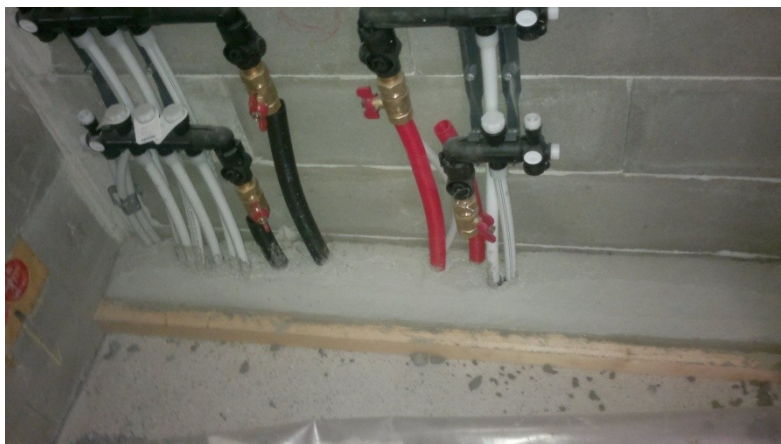
Kuvissa 31 ja 32 on kaksi esimerkkiä tiiviistä alapohjan putkiläpiviennistä.



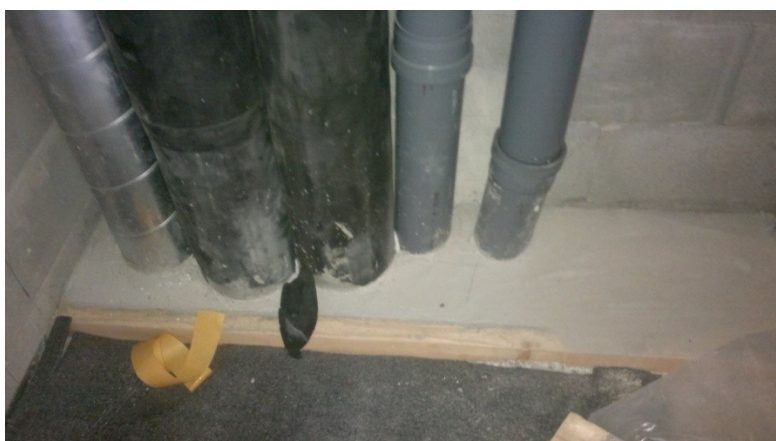
Kuva 29. Ilmansulku- ja radonkaistan asennuskuva



Kuva 30. Ilmansulku- ja radonkaistan puutteellinen asennus.



Kuva 31. Putkiläpiviennit kohteessa F.



Kuva 32. Putkiläpivientejä kohde F.

5.4 Asennusohjeet

Lammi Kivitalot Oy:ltä löytyy asennusohjeet kaikkiin Lammi-Kivitalot - taloprojektiin liittyviin rakenteisiin. Sen lisäksi heidän kotisivuiltaan löytyy linkit erinomaisen havainnolliseen asennusvideokansioon.

Seuraavat työohjeet tarkastettiin ja tarvittaessa ohjeita täsmennettiin.

- Ilmansulku- ja radonkaistan asennusohje.
- FP alapohjan läpivientikaulusten asennusohje
- FP teippausohje höyrynsulun läpivientikauluksille.
- LammiTassu työohje
- Ladottavan muottiharkon työohjeet.
- Lämpökivien työohjeet.
- Piipun läpiviennin tiivistysohje. (Schiedel)
- Permerter asennusohje. (Schiedel)
- Betonoinnin ohje ja muistilista.

Linkit uusille asennusvideoille löytyvät osoitteesta:

<http://www.lamminbetoni.fi/portal/fi/tuotteet/tyoohjeet/video-ohjekirjasto/>

5.5 Koulutus

Lammi Kivitalot Oy:n koulutussuunnitelma lähtee siitä ajatuksesta, että koko tuotantoketju suunnittelusta jokaiseen asentajaan tuntee rakennuksen ilmatiiveyden perusteet. Koko tuotantoketjun pitää tietää miksi rakenteet tehdään suunnitellulla tavalla.

Asennusryhmille ja työnjohdolle suunnatun koulutussuunnitelman tavoitteena on käydä läpi osa-alueittain työohjeiden ja esimerkkien avulla läpi niitä epäkohtia, jotka vaikuttavat rakennuksen huonoon ilmanpitävyyteen. Tässä koulutussuunnitelmassa ei kuitenkaan käydä läpi niitä seikkoja, jotka liittyvät rakennuksen suunnitteluratkaisuun. Hyvällä arkkitehtisuunnittelulla ja rakennuksen kokonaissuunnittelulla voidaan helpottaa hyvän ilmanpitävyyden syntymistä, mutta ilman huolellista koulutusta ja opastusta, työmaa-aikaista huolellisuutta sekä sitoutumista hyvä rakennuksen suunnittelukaan ei takaa hyvän ilmanpitävyyden syntymistä. Siksi tässä koulutussuunnitelmassa rakennuksen kokonaissuunnittelu on rajattu pois. Suunnittelun merkitystä kuitenkin väheksymättä. (Järventie 2012)

1. Rakennuksen suunnitteluratkaisut
2. Rakenteet ja rakenneratkaisut
 - ilmanpitävyyden kannalta rakennuksen kriittisten osien läpikäyminen
 - näissä rakennuksen eri osissa sovellettavien ratkaisujen periaatteet

- käytettyjen materiaalien ja ratkaisujen ominaisuudet
- 3. Asennustyö
 - eri ratkaisuvaihtoehtojen asennuksen ohjeistus
 - asennustyön huolellisuuden merkityksen korostaminen
 - hyvien ja huonojen toteutusratkaisujen läpikäyminen eri kohteista otettujen kuvien avulla
 - huolellisuuden merkityksen korostaminen
- 4. Valvonta ja dokumentaatio
 - ilmanpitävyyden merkitys sekä liittyminen määräyksiin, energiankulutuksen laskentaan sekä osoittamismenettelyyn
 - laadunvarmistusprosessin eri osa-alueiden läpikäyminen
 - työmaa-aikaisen valvonnan rakenne sekä dokumentointivastuu

Koulutusohjelman kohderyhmänä ovat urakoitsijat / asennusryhmät sekä hankkeen vastaavana työnjohtajina toimivat tahot.

Koulutuksesta vastaavat Lammi Kivitalot Oy organisaatio sekä tarvittaessa eri ratkaisuja toimittavien tahojen asiantuntijat.

5.6 Asuinrakennuksen tiivistysohjeet

Seurantakohteissa tapahtuneiden haastattelujen perusteella ja tehtyjen havaintojen perusteella nähtiin tarpeelliseksi tehdä erilliset rakennuksen tiivistysohjeet. Ohjeisiin on kerätty kaikki oleellinen tiivistystieto Lammi-Kivitalot asuinrakennukseen ilmatiiveyteen liittyen. Aikaisemminkin kaikki tieto oli kyllä olemassa mutta hajallaan eri työohjeiden joukossa. Nyt rakennuksen ilmatiiveyteen liittyvät ohjeet on yhdistetty yhdeksi yhtenäiseksi ohjeeksi (liite 1).

5.7 Vastaavan työnjohtajan valvontatyökalu

Vastaavan työnjohtajan tarkistuslista toimii rakennuksen ilmatiiveyteen liittyvissä asioissa omana tiiveyteen liittyvänä valvontatyökaluna. Sen tarkoituksena on varmistaa että rakennuksen ilmatiiveyteen liittyvät rakenteet on tehty ilmatiiviisti ja oikein, jotta ne kestäisivät koko rakennuksen käyttöiän.

Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten laadunvarmistusohjeen ohjekortissa RT 80-10974 asia määritellään seuraavasti: ”Valvoja, rakenne-suunnittelija ja työnjohtaja tarkastavat yllä kuvatulla tavalla, että rakenteet ja niiden liitokset sekä läpiviennit on tehty suunnitelmien ja ohjeiden mukaan. Tarkastukset tehdään läpivientien ja rakenteiden liittymien osalta ennen kuin rakenteet on peitetty pintarakentein. Kustakin tarkastuksesta tehdään erilliset allekirjoituksin varustetut pöytäkirjat, jotka liitetään työmaan asiakirjoihin ja kunnan rakennusvalvonta tarkastaa halutessaan niiden olemassaolon.”

RT –kortin vaatimus on toteutettu Lammi-Kivitaloissa liitteen 2 vastaavan työnjohtajan tarkistuslistalla.

Vastaavan työnjohtajan tarkistuslista toimii laadunvarmistusasiakirjana Lammi Kivitalot Oy:n tuotannolle ja kopio siitä on lähetettävä Lammi Kivitalot Oy:lle.

5.8 Seuranta

Lammi Kivitalot Oy:n ilmoitusmenettelyyn liittyvä seuranta on toteutettu siten, että ulkopuoleinen taho mittaa satunnaisesti kolmen vuoden seurantajakson aikana vähintään kolme kohdetta. Lisäksi kaikki muut kohteet jotka on mitattu seurantajakson aikana ja jotka täyttävät kyseisen talotyypin vaatimukset otetaan mukaan seurantalaskelmaa.

6 ILMANVUOTOLUVUN MITTAUKSET

6.1 Kohteiden valinta

Lammi Kivitalot Oy:n teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmoitusmenettelyn mukaisen vuotoluvun laskentaan on päätetty ottaa mukaan seuraavat kohteet:

1. Vuoden 2011 alusta lähtien kaikki kohteet, joista on mitattu q_{50} ja jotka täyttävät kyseisen talotyypin vaatimukset.
2. Lisäksi ulkopuoleinen taho on määritellyt neljä kohdetta mitattaviksi.
3. Yksi kohteista on yksi seurantakohteista.
4. Kolme kohteista on Tampereen asuntomessujen kohteita. Mittaukset on tehnyt ulkopuoleinen taho asuntomessuorganisaation toimeksiantosta.
5. Kohteet jakaantuvat tasaisesti ympäri Suomea.
6. Kohteet jakaantuvat eri asennusryhmille.
7. Yhteensä laskentaan otettiin mukaan 11 kohdetta.
8. Muutama kohde hylättiin puutteellisten mittausraporttien takia tai jos kohteesta oli mitattu pelkkä n_{50} –vuotolukuarvo.

6.2 Kohteiden tiedot

Kohde 1



Kuva 33. Omakotitalo Erlund

Omakotitalo Erlund, Juoksuhaudantie 21a, 00430 Helsinki

Talotyyppi: Pientalo

Ulkoseinä: Betonivaluharkko (Lammi Kivitalo, LL 400)

Yläpohja: Puurunkoinen yläpohja höyrinsulkumuovilla

Alapohja: Maanvarainen teräsbetoni-laatta

Ilmanvaihto: Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Rakennusvuosi: 2011

Kohteen kerrosluku: 2

Kohde 2



Kuva 34. Omakotitalo Luukkanen-Astikainen

Omakotitalo Luukkanen-Astikainen, Äminnentie 10, 02780 Espoo

Talotyyppi: Pientalo

Ulkoseinä: Betonivaluharkko (Lammi Kivitalo, LL 400)

Yläpohja: Puurunkoinen yläpohja höyrinsulkumuovilla

Alapohja: Maanvarainen teräsbetoni-laatta

Ilmanvaihto: Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Rakennusvuosi: 2011

Kohteen kerrosluku: 2

Kohde 3



Kuva 35. Omakotitalo Jokipii ja Ollila

Omakotitalo Jokipii ja Ollila, Suometsäntie, 61850 Kauhajoki

Talotyyppi: Pientalo

Ulkoseinä: Betonivaluharkko (Lammi Kivitalo, LL 400)

Yläpohja: Puurunkoinen yläpohja ilmansulkupaperilla

Alapohja: Maanvarainen teräsbetonilaatta

Ilmanvaihto: Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Rakennusvuosi: 2011

Kohteen kerrosluku: 2

Kohde 4



Kuva 36. Omakotitalo Galkin

Villa Calla Jr, Kankaantie 16, 01610 Vantaa

Talotyyppi: Pientalo

Ulkoseinä: Valuharkko, (Lammi Kivitalo, LL 400)

Yläpohja: Puurunkoinen yläpohja höyrynsulkumuovilla

Alapohja: Teräsbetonirakenteinen alapohja

Ilmanvaihto: Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Rakennusvuosi: 2011

Kohteen kerrosluku: 2

Kohde 5



Kuva 37. Villa Hesse, Tampereen asuntomessut

Villa Hesse. Hessenkuja 3, 33870 Tampere

Talotyyppi: Pientalo

Ulkoseinä: Lammi-Lämpöharkko LL 400

Yläpohja: Puurunkoinen yläpohja höyrinsulkumuovilla

Alapohja: Teräsbetonirakenteinen alapohja

Ilmanvaihto: Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Rakennusvuosi: 2012

Kohteen kerrosluku: 1

Kohde 6



Kuva 38. Villa Pärssinen, Tampereen asuntomessut

Villa Pärssinen, Kiplinginkuja 2, 33870 Tampere

Talotyyppi: Pientalo

Ulkoseinä: Lammi lämpöharkko LL 400

Yläpohja: Puurunkoinen yläpohja höyrinsulkumuovilla

Alapohja: Teräsbetonirakenteinen alapohja

Ilmanvaihto: Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Rakennusvuosi: 2012

Kohteen kerrosluku: 2

Kohde 7



Kuva 39. Villa Ilo, Tampereen asuntomessut

Villa Ilo, Sartrenkuja 6, 33870 Tampere

Talotyyppi: Pientalo

Ulkoseinä: Lammi lämpöharkko LL 400

Yläpohja: Puurunkoinen yläpohja höyrinsulkumuovilla

Alapohja: Teräsbetonirakenteinen alapohja

Ilmanvaihto: Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Rakennusvuosi: 2012

Kohteen kerrosluku: 3

Kohde 8



Kuva 40. Omakotitalo Rouvila

Omakotitalo Rouvila, Sipilänkatu 1, 13500 Hämeenlinna

Talotyyppi: Pientalo

Ulkoseinä: Betonivaluharkko

Yläpohja: Puurunkoinen yläpohja höyrinsulkumuovilla

Alapohja: Betonirakenteinen alapohja

Ilmanvaihto: Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Kohteen kerrosluku: 1

Kohde 9



Kuva 41. Omakotitalo Vuola

Omakotitalo Vuola, Nupurintie 6, 28600 Pori

Talotyyppi: Pientalo

Ulkoseinä: Betonivaluharkko

Yläpohja: Puurunkoinen yläpohja alumiinipintaisilla PU-eristelevyillä

Alapohja: Betonirakenteinen alapohja

Ilmanvaihto: Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Rakennusvuosi: 2012

Kohteen kerrosluku: 1

Kohde 10



Kuva 42. Omakotitalo Lithovius

Omakotitalo Lithovius, Iikankuja 12, 91900 Liminka

Talotyyppi: Pientalo

Ulkoseinä: Betonivaluharkko

Yläpohja: Puurunkoinen yläpohja höyrinsulkumuovi

Alapohja: Betonirakenteinen alapohja

Ilmanvaihto: Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Rakennusvuosi: 2012

Kohteen kerrosluku: 1

Kohde 11



Kuva 43. Omakotitalo Vornanen

Omakotitalo Vornanen, Tilustie 7, Vantaa

Talotyyppi: Pientalo

Ulkoseinä: Betonivaluharkko LL400

Yläpohja: Puurunkoinen yläpohja höyrinsulkumuovi

Alapohja: Betonirakenteinen alapohja

Ilmanvaihto: Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Rakennusvuosi: 2012

Kohteen kerrosluku: 3

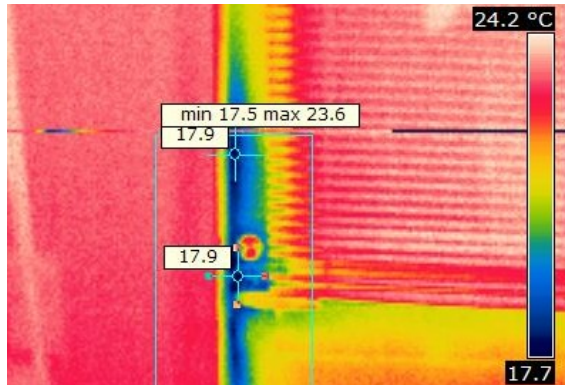
6.3 Mittaustulokset ja havainnot

Kaikkien kohteiden mittaustulokset olivat hyviä tai erinomaisia. Tutkimuskansiosta löytyy kaikkien kohteiden mittausraportit.

Taulukko 11. Mittaustulokset

| Kohde | Paikkakunta | Kerrok- sua | q ₅₀ | n ₅₀ | Mittaus- päivä | Mittaja |
|-------|-------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------|
| 1 | Helsinki | 2 | 0,93 | 0,78 | 4.3.2011 | Achilles |
| 2 | Espoo | 2 | 1,00 | 0,88 | 12.3.2011 | Achilles |
| 3 | Kauhajoki | 2 | 0,60 | 0,40 | 2.7.2011 | Achilles |
| 4 | Vantaa | 2 | 1,10 | 1,10 | 14.12.2011 | Achilles |
| 5 | Tampere | 1 | 0,53 | 0,57 | 6.6.2012 | Korhonen |
| 6 | Tampere | 2 | 0,61 | 0,60 | 31.5.2012 | Korhonen |
| 7 | Tampere | 3 | 0,81 | 0,53 | 31.5.2012 | Korhonen |
| 8 | Hämeenlinna | 1 | 0,69 | 0,74 | 31.8.2012 | Achilles |
| 9 | Pori | 1 | 0,54 | 0,55 | 14.9.2012 | Achilles |
| 10 | Liminka | 1 | 0,24 | 0,26 | 23.11.2012 | Puotiniemi |
| 11 | Vantaa | 3 | 0,88 | 0,64 | 16.12.2012 | Nurmi |

Kun vuotoluvussa päästään arvoon 1,0 tai alle ei rakennuksen tiivistyksessä voi olla suuria ilmavuotoja. Tällöin ilmavuodot koostuvat useasta pienestä vuotokohdasta. Kohteessa 8 esimerkiksi ilmavuodot löytyivät etupäässä ikkunoista ja ovista (kuva 44).



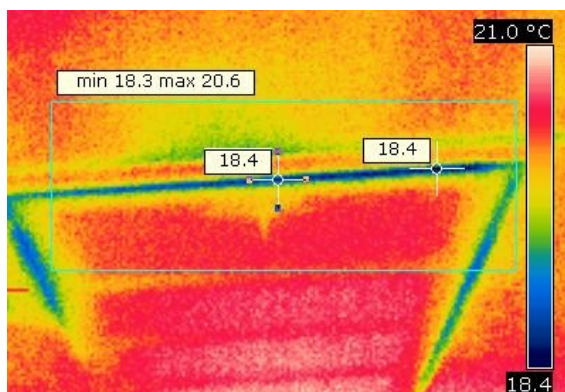
Kuva 44. Oven tiivisteiden ilmavuoto.

Kohteessa 11 ilmavuodot löytyivät teknisen tilan tiivistyksestä. Tämän kohteen ilmavuotoluku todennäköisesti hieman paranisi kun autotallin ja asuintilojen välinen paloseinä saadaan täysin valmiiksi (kuva 45).



Kuva 45. Keskeneräinen ja väliaikainen tiivistys.

Kohteessa 4 ilmavuotoja löytyi muun muassa kattoluukusta (kuva 46), ikkunoista sekä ulko-ovesta.



Kuva 46. Ilmavuotoja kattoluukun tiivisteissä

7 ILMOITUSMENETTELYN MUKAISEN VUOTOLUVUN LASKENTA

7.1 Kohteiden mittaustulokset

Lammi Kivitalot Oy on tehnyt valmistamiensa asuinrakennusten tiiveysmittauksia vuodesta 2005 lähtien. Mittauksia tehtiin ensin AISE – tutkimushankkeen yhteydessä. Kymmenen vuotta sitten valmistuneissa omakotitaloissa n_{50} –vuotoluku oli keskimäärin noin 3,0 l/h. Vuonna 2008 n_{50} –vuotolukuarvo oli pudonnut jo arvoon 1,1 l/h. Tämän tutkimuksen mitattujen kohteiden n_{50} – vuotolukuarvo oli pudonnut jo erinomaiselle tasolle eli arvoon 0,6 l/h.

Tässä tutkimuksessa olemme keskittyneet määrittämään ilmoitusmenettelyn mukaista q_{50} –vuotolukuarvoa. Taulukon 11 q_{50} –vuotolukuarvon keskiarvoksi saadaan 0,7 m³/(h m²).

Mitattujen kohteiden suurin vuotolukuarvo oli 1,1 m³/(h m²) ja pienin 0,24 m³/(h m²).

7.2 Talotyypin ilmoitusmenettelyn mukaisen vuotoluvun laskenta

Kun tarvittavat vähintään kuusi onnistunutta raportoitua mittausta on saatu suoritettu, voidaan ilmoitusmenettelyn mukainen vuotolukuarvo laskea. Taulukon 11 yhdentoista mittaustuloksen perusteella voitiin laskea ilmoitusmenettelyn mukainen vuotolukuarvo q_{50} kaavalla (1). Laskentaa varten tehtiin excel -taulukko (liite 3).

Talotyypin ilmoitusmenettelyn mukaiseksi vuotolukuarvoksi saatiin pyöristyssääntöjen mukaisesti.

$$q_{50,ilm}=1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$$

7.3 Tulosten analysointi

Ilmoitusmenettelyn mukaista vuotolukua tarkasteltaessa voidaan havaita, että keskihajonnalla ja kertoimella k on suuri merkitys lopulliseen ilmoitettavaan vuotolukuarvoon. Mitä vähemmän mittaustuloksia on sitä suurempi vaikutus keskihajonnalla on. Tässä tapauksessa keskihajonta ja kerroin k nostavat vuotoluvun keskiarvoa 35 % lopulliseen ilmoitettavaan vuotolukuarvoon nähden. Saatu ilmoitusmenettelyn mukainen vuotoarvo tarkoittaa käytännössä sitä että 75 % tarkasteltavan talotyypin kaikista rakennuksista täyttää ilmoitetun ilmavuotoluvun 84 % varmuudella.

Mitattujen kohteiden kerrosluvun lukumäärän ja saadun vuotoluvun tarkastelussa voidaan tehdä erikoinen havainto. Yksikerroksiset rakennukset ovat saaneet keskiarvoltaan parhaimman vuotoluvun. Kolmikerroksisten rakennusten odotettiin menestyvän paremmin. Kolmikerroksisten rakennusten kolmas kerros on käytännössä kellarikerros. Siinä ikkunoita on vähän ja yleensäkin maanalaisena kerroksena se on erittäin tiivis kerros. Kun tarkastellaan rakennusten muita piirteitä, kuten arkkitehtonista vaativuutta, huomataan, että yksikerroksiset rakennukset on tehty teknisesti turvallisilla ja yksinkertaisilla rakenteilla. Sen sijaan kaksi ja kolme kerroksiset rakennukset ovat rakenneteknisesti hyvin vaativia.

Taulukko 12. Kerroslukumäärä ja vuotolukuarvon keskiarvo

| kerroslukumäärä | q ₅₀ keskiarvo | kohteita |
|-----------------|---------------------------|----------|
| 1 | 0,50 | 4 |
| 2 | 0,85 | 5 |
| 3 | 0,84 | 2 |
| 1-3 | 0,72 | 11 |

7.4 Tutkimusraportti

Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmapitävyyden laadunvarmistusohje RT 80-10974 määrittelee että tehdystä tutkimuksesta tulee tehdä tutkimusraportti. Tutkimusraportin tulee sisältää ulkopuolisen tahon tekemät rakennusten ilmapitävyysmittaukset sekä määrittelyt ainakin talotyypin kuvauksesta, käytettävistä liitoksista ja detaljeista, rakennustavoista, rakennusmateriaaleista, rakennusprosessista ja työmaavalvonnasta siltä osin, kun ne liittyvät rakennuksen ilmapitävyyden toteuttamiseen ja varmistamiseen. Edellä mainitut asiat esitetään tutkimuksen tuloksena laaditussa tutkimusraportissa.

Lammi Kivitalot Oy:n tutkitun talotyypin ilmapitävyydestä on tehty erillinen digitaalinen tutkimuskansio ja tutkimusraportti. Nämä sisältävät edellä mainitut asiat.

7.5 Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten laadunvarmistusohjeen mukaisen vuotoluvun ilmoittaminen

Tämän tutkimustyön loppuraportin yhteydessä on annettu todistus ilmoitusmenettelyn mukaiseksi ilmapitävyydeksi, jota Lammi Kivitalot Oy voi halutessaan käyttää. Lammi Kivitalot Oy voi halutessaan käyttää myös suurempaa ilmapitävyyden lukuarvoa. (Liite 4.)

$$q_{50,ilm} = 1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$$

8 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli ensisijaisesti luoda Lammi Kivitalot Oy:lle laadunvarmistusohjeistus siten että Lammi Kivitalot Oy voi käyttää laadunvarmistusohjeistuksen (RT 80-10974) periaatteiden mukaisesti valmistamillansa asuinrakennuksilla ilmoitusmenettelyn mukaista vuotolukua. Tutkimustyössä oli tavoitteena löytää sen hetkisen talonvalmistusprosessin heikot kohdat ja korjata ne. Tarkastelu koski niin materiaaleja, asennusta kuin rakennedetaljeita. Tutkimustyössä oli myös tärkeänä osana tarkistaa asennusohjeet, asentajien ja vastaavien työnjohtajien osaaminen rakennusten ilmanpitävyyden kannalta ja laatia ilmatiiveyden valvonta-asiakirja. Tutkimustyössä pääpaino oli työmaiden toiminta ilmatiiveyden näkökulmasta. Rakenneratkaisujen toimivuutta ja asennusten toteutuskelpoisuutta tarkasteltiin kriittisesti. Toissijaisena tavoitteena oli että Lammi Kivitalot Oy:n laadunvarmistusohjeistuksen mukaisesti rakennetuilla asuinrakennuksilla voitaisiin käyttää tulevaisuudessa ilmoitusmenettelyssä vuotolukuarvona $q_{50} = 1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.

Tutkimuksen tavoitteissa onnistuttiin erinomaisesti. Lammi-Kivitalot ovat rakenteeltaan ja periaatteeltaan betonivalmisteisia rakennuksia. Tällöin ne ovat jo luonnostaan hyvin ilmanpitäviä ja tiiviitä. Lammi-Kivitalot valmistetaan kohteissa paikanpäällä. Tämä asettaa erityisiä vaatimuksia koulutukselle, työohjeille ja valvonnalle. Tässä tutkimustyössä tarkastettiin olemassa olevat ohjeet ja täydennettiin niitä. Lisäksi tehtiin erilliset asuinrakennuksen ilmanpitävyyteen liittyvät tiivistysohjeet ja vastaavan työnjohtajan ilmatiiveyteen liittyvä valvonta-asiakirja.

Ilmoitusmenettelyn mukaisen vuotoluvun laskentaan otettiin mukaan yksitoista kohdetta, jotka vastasivat määritellyn talotyypin vaatimuksia. Saadut mittaustulokset vaihtelivat $0,24-1,1 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ välillä. Tulosten pohjalta laskettiin Rakennustietokortin 80-10974 esitellyn ilmoitusmenettelyn avulla ilmoitettava ilmanvuotolukuarvo $q_{50,\text{ilm}}$ valitulle talotyypille. Ilmoitettavaksi ilmanvuotolukuarvoksi saatiin $1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Mitattujen kohteiden ilmavuodot paikallistettiin etupäässä ovien ja ikkunoiden tiivisteisiin ja teknisen tilan läpivienteihin.

Rakennustietokortin 80-10974 ilmoitusmenettelyyn liittyvät ohjeet ovat erinomaisena apuvälineenä kun luodaan tämän kaltaista laadunvarmistusjärjestelmää talotehtaalle. Ilmoitusmenettely antaa talotehtaalle ja loppuasiakkaalle varmuuden siitä, että näin rakennettu asuinrakennus tulee olemaan ilmatiiveydeltään kyseistä ilmatiiveysluokkaa, kunhan annettuja ohjeita noudatetaan. Mielestäni kuitenkin ilmoitusmenettelyn merkitys ja luonne tulee ajan kuluessa muuttumaan. Jo tällä hetkellä osa kaupunkien rakennusvalvonnoista vaatii ilmavuotoluvun tarkistusmittauksen jos energialaskennassa on käytetty alle $1,5 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ vuotolukuarvoa. Mielestäni tulee aika jolloin rakennusmääräykset vaativat kaikkien uudiskohteiden mittaamista.

LÄHTEET

Achilles Ingo. 2011. Insinööritoimisto Dimensio Oy. Tiiveysmittausraportti omakotitalo Espoo.

Betoniteollisuus ry. 2010. Kivitalojen energiatehokkuus. Helsinki. www.betoni.com/Download/.../Kivitalojen%20energiatehokkuus.pdf

Betoniteollisuus ry. 2012. Tietoa betonista. Betoni ja kestävä kehitys. Viitattu 23.1.2013. <http://www.betoni.com/tietoa-betonista/betoni-ja-kestava-kehitys/betoni-rakennusmateriaalina>

Boverkts Byggregler BBR 19. 2012. (Ruotsin rakennusmääräykset 2012). Boverket. <http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Bygg--och-konstruktionsregler-ESK/Boverkets-byggregler-BBR-19/>

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma , 2012 Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö.

EnEV 2009. Saksan energiasäästölaki 2009. http://www.enev-online.org/enev_2009_volltext/index.htm

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU. Asetus rakennusten energiatehokkuudesta. EU . Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=119069&lan=fi>

Illikainen Kimmo. 2012. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Tiiviysmittaus ja siihen liittyvä lämpökuvaus. PowerPoint –esitys 5.10.2012.

Järventie Jan-Erik. 2012. Lammi-Kivitalot Oy. Tuote- ja kehityspäällikkö. Lammi-Kivitalot Oy:n koulutusstrategia.

Keski-Suomen Energiatoimisto. 2012. Rakentamisen energiamääräykset 2012. PowerPoint-esitys. Rakentaminen ja Talotekniikka –messut 16.3.2012. Keski-Suomen Energiatoimisto

Mikkelin kaupunki. 2010. Ilmanvuotoluvun valinta, liite energiaselvitykseen. Rakennuksen ilmanvuotoluku 2010. http://www.mikkeli.fi/fi/sisalto/09_lomakkeet/

Nurmi Risto. 2012. Lämpökuvausraportti As Oy Alppiruusu. Kittilä

Oulun kaupunki. 2012. Oulu Tiiveyskortti A4-7.5.2012. http://oulu.ouka.fi/rakennusvalvonta/pdf/Tiiveyskortti_A4-7_05_2012.pdf

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

Paloniitty Sauli 2011. HAMK. Rakennusfysiikka. Painesuhteet luentomoniste.

Pientaloteollisuus PTT ry. 2011. CE –merkintä taloteollisuuden kannalta. Jäsentiedote.

Rakennusvalvonta Helsinki, Espoo, Vantaa ja Kauniainen. 2012. Yhtenäiset käytännöt. Asuinrakennuksen ilmanpitävyys D3-3. www.pksrava.fi.

Rateko, Hamk 2011. Rakennusfysiikka, Rakennusten lämpökuvaaja, rakennusten tiiviyn mittaaja –henkilösertifiointikoulutus. Hämeenlinna. Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus RATEKO

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

SFS-EN 13829. 2000. Suomen Standardisoimisliitto SFS RY. Helsinki

Silvola Vesa-Pekka, 2011. Rakennusten tiiviysmittaukset Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö

Tampereen teknillinen yliopisto. 2009. Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 141. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampereen teknillinen yliopisto.

TRT/1909/2010 2010 FP Finnprofiles Oy. Tutkimusraportti. Tampereen teknillinen yliopisto. Ei julkinen.

VTT-C-8580-12. Tiivistalo. 2012. System Intello. Redi –Yhtiöt Oy. Klaukkala. http://www.tiivistalo.fi/tiedostot/default.asp?sivu=tekniset_todistukset

VTT-C-8580-12. Tiivistalo. 2012. System Intello. Redi –Yhtiöt Oy. Klaukkala. http://www.tiivistalo.fi/tiedostot/default.asp?sivu=tekniset_todistukset

Vuolle Mika. 2012. Uudet rakentamisen energiamääräykset –Kokonaisenergiatarkastelu. PowerPoint –esitys Lahden rakennusvalvonnan koulutustilaisuus 14.3.2012. Equa Simulation Finland Oy. <http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/525E2DA4BAE7B367C22575A000386C55>

Ympäristöministeriö. 2011. Uusittu rakennusten energiatehokkuusdirektiivi hyväksytty. Viitattu 15.1.2013. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=149497>

Ympäristöministeriö. 2012a. Energiatodistus. Viitattu 5.1.2013. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=423652&lan=FI>

Ympäristöministeriö. 2012b. Rakennusten energiatodistusten uudistus. Viitattu 15.1.2013. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=409960&lan=fi>

Ympäristöministeriö. 2011. Rakennustuotteiden CE –merkintä. Yleisesite. Helsinki. www.ymparisto.fi/CE-merkinta.

Yritysesittely Lammi Kivitalot Oy 2012.
<http://www.lammi-kivitalot.fi/yhteystiedot/yritysesittely>

HAASTATTELUT

Päätalo Juha. 2013. 2009 sertifioitu passiivitaloneuvoja (Passivhaus Institut, Darmstadt), arkkitehtiopiskelija Hochschule München, passiivitaloasiantuntija, Arkkitehtuuritoimisto Kimmo Lylykangas, erityisalueena kylmäsilta- ja energialaskenta. Haastattelu 15.1.2013.

Uske Christine. 2013. Arkkitehti M.A. EnEV sertifioitu energialaskija, erikoisalana energiatehokas saneeraus, tuntiopettaja Hochschule München, arkkitehtuurin tiedekunta. Haastattelu tehty Päätalon välityksellä 15.1.2013.