

Tommi Leppänen

# Rakennuksen tiiviysmittaus

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Syyskuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  				
<b>Tekijä(t)</b> Tommi Leppänen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Talotekniikka				
<b>Nimeke</b>  Rakennuksen tiiviysmittaus					
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka rakennuksen tiiviys mitataan erillisellä painekoelaitteistolla ja rakennuksen omilla ilmanvaihtolaitteilla. Opinnäytetyöni tilaaja on Insinööri-toimisto Jormakka Oy. Jormakka Oy on joensuulainen vuonna 1964 perustettu suunnittelu-toimisto, jonka toimialana on LVI-, sähkö-, rakennusautomaatio- ja energiatekninen suunnittelu.</p> <p>Työssäni tein yhden tiiviysmittauksen erillisellä painekoelaitteistolla ja selvitin hieman mittauskaluston kustannuksia ja tiiviysmittaajan koulutukseen liittyviä asioita. Mittasin Joensuun Karhumäkeen keväällä 2012 valmistuneen omakotitalon tiiveyden. Omakotitalon tiiveyden mittamiseen meni n. 3 tuntia valmisteluineen. Käytimme mittauksessa talon alipaineistamiseen Minneapolis Blowerdoor puhallinta liitettynä tietokoneeseen. Mittauksella saatiin selville omakotitalon ilmanvuotoluvut <math>q_{50}</math> ja <math>n_{50}</math>. Tiiviysmittaus suoritettiin standardin SFS-EN 13829 menetelmän B ja RT 80-10974 2009-kortin mukaisesti.</p> <p>Mittauskohteen <math>q_{50}</math>-luvuksi saatiin <math>1,4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}</math>. Tulos jäi selkeästi alle vuoden 2012 rakentamismääräysten vertailuarvon <math>2,0 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}</math>.</p>					
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Tiiviysmittaus, $q_{50}$ -luku, $n_{50}$ -luku, ilmanvuotoluku, energiatehokkuus					
<b>Sivumäärä</b> 44	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 33%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b>	<b>URN</b>	Suomi	
<b>Kieli</b>	<b>URN</b>				
Suomi					
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>  					
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Heikki Salomaa	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Insinööri-toimisto Jormakka Oy				

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis
Author(s)		Degree programme and option
Tommi Leppänen		Building services
Name of the bachelor's thesis		
Building air-tightness measurement		
Abstract		
<p>The aim of this thesis was to solve how the building air-tightness measurement is measured with a separate building air-tightness testing system and with the building own ventilation system. This thesis was ordered by engineering office Jormakka Ltd. Jormakka Ltd is founded in 1964 and the company is located in Joensuu. The company is specialized in the HVAC, electrical, building automation and energy technical designing.</p> <p>I made one air tightness measurement with a separate building air-tightness testing system and I find out a bit the measuring equipment costs. In this thesis I measured air-tightness in one single-family house. It took about 3 hours to measure the building air-tightness including preparation. In the measurement we used a Minneapolis Blowerdoor machine which was connected to a computer. By the measurement we found the house air leakage rates <math>q_{50}</math> and <math>n_{50}</math>. The air tightness measurement was made by standard SFS-EN 13829 with method B and RT 80-10974 2009-card accordingly.</p> <p>The <math>q_{50}</math>-rate was <math>1.4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}</math>. The result is under the year 2012 construction regulations value <math>2.0 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}</math>.</p>		
Subject headings, (keywords)		
Air-tightness measurement, $q_{50}$ -rate, $n_{50}$ -rate, air leakage rate, energy efficiency		
Pages	Language	URN
44	Finnish	
Remarks, notes on appendices		
Tutor		Bachelor's thesis assigned by
Heikki Salomaa		Insinööritoimisto Jormakka Oy

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	RAKENNUKSEN ILMANPITÄVYYS .....	2
2.1	Vaipan ilmanpitävyys .....	2
2.2	Painekoe.....	3
3	ILMANVUOTOLUVUT .....	4
3.1	q <sub>50</sub> -luku .....	4
3.2	n <sub>50</sub> -luku .....	4
3.3	Ilmanvuotoluvun mittaaminen.....	6
3.4	Ilmanvuotoluvun käyttökohteet .....	6
3.4.1	Tiiveyden vaikutus rakennuksen energiankulutukseen .....	6
3.5	Tiiviysmittaukseen kuuluvat tilat .....	8
3.5.1	Rakennuksen vaipan alan laskenta.....	8
3.5.2	Rakennuksen sisätilavuuden laskenta .....	9
4	TIIVIYSMITTAUS.....	9
4.1	Tiiviysmittaus rakennuksen omilla ilmanvaihtokoneilla.....	9
4.1.1	Mittauksen valmistelut.....	10
4.1.2	Ilmamäärän mittaus ilmanvaihtokoneilta.....	13
4.1.3	Mittauksen virhelähteet ja ongelmat.....	14
4.2	Tiiviysmittaus erillisellä puhaltimella .....	15
4.2.1	Mittauslaitteisto.....	15
4.2.2	Puhaltimen valinta mittauksessa .....	15
4.2.3	Mittauksen valmistelut.....	17
4.2.4	Mittauksen virhelähteet ja ongelmat.....	18
4.3	Mittausten esittäminen.....	19
5	SUURIEN RAKENNUSTEN TIIVIYSMITTAUS.....	20
5.1	Kerrostalon tiiviysmittaus.....	20
5.1.1	Yksittäisen huoneiston mittaus .....	20
5.1.2	Koko rakennuksen tai useamman portaan mittaus.....	21
6	KOEKOHDE.....	22
6.1	Kohteen lähtötiedot.....	22
6.2	Mittausmenetelmä.....	23

6.3	Valmistelut mittausta varten .....	23
6.4	Mittaus .....	29
6.4.1	Sääolosuhteet mittaushetkellä .....	30
6.5	Tectite-tietokoneohjelma .....	31
6.5.1	Ilmanvuotokäyrän johtaminen .....	33
6.6	Mittaustulokset .....	35
7	MITTAUKSIIN LIITTYVÄT KUSTANNUKSET JA KOULUTUS .....	38
7.1	Mittauskalustoa .....	38
7.2	Mittaajan koulutus .....	39
7.2.1	Sertifikaatin voimassaolo .....	39
8	YHTEENVETO .....	41
	LÄHTEET .....	43

## KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

### **Ilmansulku**

Ainekerros, joka estää haitallisen ilmavirtauksen rakennusosan läpi puolelta toiselle. Kerroksellisissa vaipparakenteissa tarvitaan rakenteen lämpimällä puolella ilmansulun lisäksi aina riittävän vesihöyrytiivis höyrynsulku. Sama ainekerros voi toimia sekä ilman- että höyrynsulkuna. [1.]

### **Ilmanvuotoluku, $q_{50}$ [ $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ]**

On rakennusvaipan ilmanvuotoluku 50 Pa paine-erossa suhteessa mitta-alueen rakennusvaipan pinta-alaan. Arvolla kuvataan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. [1.]

### **Ilmanvuotoluku, $n_{50}$ [1/h]**

Kertoo montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa (pascal) ali- tai ylipaine. [1.]

### **Ilmanvuotoluvun suunnitteluarvo, $n_{50,\text{suun}}$ [1/h]**

Ilmanvuotoluvun arvo, jota käytetään rakennuslupavaiheessa rakennuksen energiaselvitystä ja -todistusta laadittaessa. [1.]

### **Ilmavuotoluvun vertailuarvo, $n_{50,vert}$ [1/h]**

Rakentamismääräyskokoelmassa annettu ilmavuotoluvun arvo, jota käytetään rakennuksen vertailulämpöhäviön laskennassa. Vuoden 2007 rakentamismääräyksissä ilmavuotoluvun vertailuarvo on 4,0 1/h ja vuoden 2010 rakentamismääräyksissä 2,0 1/h. [1.]

### **Ilmavuotoluvun raja-arvo, $n_{50,raja}$ [1/h]**

Rakentamismääräyskokoelmassa annettu ilmavuotoluvun arvo, jota pienemmän ilmavuotoluvun käyttö edellyttää ilmavuotoluvun mittausta rakennuksessa tai ilmoitusmenettelyn käyttöä. Mittausta edellyttävää ilmavuotoluvun raja-arvoa käytetään suunnittelu arvona rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuutta osoittaessa sekä energiankulutusta ja energiatehokkuuslukua määritettäessä, jos rakennuksen ilmavuotolukua ei ole mitattu painekokeella tai rakennus ei kuulu talotoimittajan ilmoitusmenettelyn piiriin. Mittausta edellyttävän ilmavuotoluvun raja-arvo on sekä vuoden 2007 että vuoden 2010 rakentamismääräyksissä 4,0 1/h. [1.]

### **Kerrostalo**

Kaksi- tai useampikerroksinen asuinrakennus, jossa on erilliset huoneistot jokaisessa kerroksessa. Kerrostaloihin kuuluvat mm. porrashuoneelliset kerrostalot ja luhtitalot. [1.]

### **Kerrostalon porras**

Kerrostalossa oleva porras käsittää porrashuoneen lisäksi kaikki huoneistot ja tilat, joihin kulku tapahtuu porrashuoneen kautta. Kerrostalon portaaseen voi kuulua myös yhteisiä tiloja muiden kerrostalon portaiden kanssa. Jos portaalla on yhteisiä tiloja muiden portaiden kanssa, portaaseen kuuluva tila määritetään siten, että se noudattaa pääsääntöisesti palo-osastoinnin mukaisia rajoja. [1.]

## **Pientalo**

Yksi tai useampikerroksinen asuinrakennus, joka koostuu yhdestä huoneistosta tai useammasta vierekkäin toisissaan kiinni olevasta huoneistosta. Pientaloja ovat mm. omakotitalot, kytketyt omakotitalot, paritalot, rivitalot ja loma-asunnot, jotka kuuluvat lämpöhäviöiden tasauslaskennan piiriin. [1.]

## **Tiiviysmittaus**

Tiiviysmittauksessa selvitetään rakennuksen ilmanpitävyys. Suositeltavin tapa on mitata ilmanpitävyys ali- ja ylipaine tilanteissa. Mittaus voidaan kuitenkin tehdä myös vain alipainetilanteessa. Tiiviysmittauksessa tulokseksi saadaan rakennusvaipan ilmanvuotoluku 50 Pa paine-erolla, kun mittaus suoritetaan standardin SFS-EN 13829 mukaisesti.



## 1 JOHDANTO

Rakennuksen vaipan hyvä ilmanpitävyys vaikuttaa suoraan rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen ja sitä kautta rakennuksen energiatehokkuusluokkaan energiatodistuksessa [1]. 2000-luvulla on Suomessa ruvettu kiinnittämään erityistä huomiota energiatehokkuuteen. Yksi osa energiatehokkuutta on vaipan ilmatiiviys ja sen toteaminen. [2.]

Vuoden 2008 alusta tuli voimaan laki, joka vaatii kaikilta uusilta rakennuksilta energiatodistusta. Kiinteistöiltä, jotka ovat valmistuneet ennen vuonna 2008 voimaan tullutta lakia, vaaditaan energiatodistus, kun tiloja myydään tai vuokrataan. Laki ei koske ennen lain voimaantuloa valmistuneita omakotitaloja, enintään kuuden asunnon asuinrakennuksia, teollisuusrakennuksia ja vapaa-ajan asuntoja, joita käytetään enintään 4 kuukautta vuodessa. Energiatodistus kertoo rakennuksen vuosittaisesta energian kulutuksesta, eli rakennuksen energiatehokkuuden. Energiatodistuksen tavoitteena on mahdollistaa rakennusten energiankulutuksen vertaileminen riippumatta lämmitysmuodosta sekä samankaltaisten rakennusten keskinäinen vertailu. [3.] Uusien energiamääräysten tultua voimaan ovat rakentajat alkaneet mitata uusien rakennusten tiiviyttä. [4.]

Rakennuksen vaipan ilmanpitävyys on kuulunut lämpöhäviöiden tasauslaskennan piiriin vuoden 2008 alussa voimaan tulleiden rakentamismääräysten myötä. [1.] Rakennuksen ilmanpitävyydellä eli tiiviydellä tarkoitetaan rakennuksen vaipan kykyä estää ilmavirtausten pääsy ulkoa rakennusvaipan lävitse sisätiloihin. Tiiviysmittauksen yksikkönä käytettiin aikaisemmin ilmanvuotolukuja  $n_{50}$  (1/h) ja  $q_{50}$  ( $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ), mutta 1.7.2012 eteenpäin käytetään ainoastaan  $q_{50}$ -lukua.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selvittää, kuinka rakennuksen tiiviysmittaus tehdään ja mitä mittauksia suorittavalta henkilöltä vaaditaan. Lisäksi selvitetään mittaukseen liittyviä kustannuksia. Opinnäytetyöhön sisältyy yhden omakotitalon tiiviysmittaus.

## 2 RAKENNUKSEN ILMANPITÄVYYS

Rakennuksen vaipan ilmanpitävyys on kuulunut lämpöhäviöiden tasauslaskennan piiriin vuoden 2008 alussa voimaan tulleiden rakentamismääräysten myötä. Vuoden 2008 määräyksissä rakennuksen vertailulämpöhäviöiden laskennassa käytettiin ilmanvuotoluvun vertailuarvona ( $n_{50\text{vert}}$ ) 4 1/h, mutta vuoden 2010 rakentamismääräyksissä  $n_{50\text{vert}}$  arvo muutettiin 2 1/h. [1.] Uusien 1.7.2012 voimaan tulleiden määräysten myötä ( $n_{50\text{vert}}$ ) muuttuu  $q_{50\text{vert}}$ -luvuksi ja vertailuarvo on 2 ( $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ). [5, s. 14.]

Vuoden 2012 rakentamismääräyksissä ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona ( $q_{50,\text{suun}}$ ) käytetään 4 ( $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ). Jos lämpöhäviöiden tasauslaskennassa käytetään ilmanvuotoluvun suunnitteluarvoa ( $q_{50,\text{suun}}$ ) 4 ( $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ), ei rakennuksen ilmanvuotolukua tarvitse mitata. Jos rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskennassa käytetään alle 4 ( $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ) olevaa  $q_{50,\text{suun}}$ -arvoa, täytyy käytetty arvo osoittaa mittaamalla tai muulla menetelmällä. [5, s. 14.]

### 2.1 Vaipan ilmanpitävyys

Rakennukseen ulkoa vaipan läpi tulevalla vuotoilmalla on suuri merkitys rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Pientaloissa  $n_{50}$ -luvun kokonaisyksikön lisäys suurentaa keskimäärin 4 % (vaihteluväli 2-7 %) rakennuksen kokonaisenergiankulutusta. Tästä johtuen normaalissa pientalossa ( $n_{50} = 4,0$  1/h) kokonaisenergiankulutus on 6-20 % suurempi kuin pientalossa, joissa ilmanvuotoluku on alle 1/h. [1, s. 4.]

Rakennuksen tiiviyn vaikutus kokonaisenergiankulutukseen voi vaihdella edellä mainittuja arvoja enemmänkin, sillä todellisuudessa asukkaiden asumistottumukset ja ilmanvaihdon toiminta vaikuttaa huomattavasti kokonaisenergiankulutukseen. [1, s. 4.]

Rakennuksen vaipan ilmanpitävyydellä on vaikutusta sisäilman laatuun ja rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Tiiviissä rakennuksessa ulkoa sisään virtaavan kylmän ilman määrä on pieni, joten vedontunne vähenee ja homeiden, haitallisten aineiden ja epäpuhtauksien kulkeutuminen rakenteista sisäilmaan vähenee, jonka ansiosta sisäil-

ma paranee. Rakennuksen tiivis vaippa ei päästä kosteaa sisäilmaa rakenteisiin, eikä kylmä ulkoilma pääse jäädyttämään rakenteita, minkä johdosta homeen kasvulle otollisia olosuhteita ei pääse muodostumaan rakenteisiin. [1, s. 4.]

Tiiviissä rakennuksessa ilmanvaihdon toimivuus on erittäin tärkeää, koska rakennukseen tulee vuotojen kautta vain todella vähän ilmaa. Jos rakennuksen ilmanvuotoluku on alle 0,4 1/h tulee ilmanvaihdon säätöön kiinnittää erityistä huomiota, jotta hallitsemattomia paine-eroja ulkovaipan yli ei pääse syntymään. Hyvän ilmanpitävyyden omaavassa rakennuksessa lähes kaikki ilma rakennukseen virtaa ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kautta, joten siitä saadaan suurin mahdollinen hyöty. [1, s. 4.]

## 2.2 Paine-ero

Paine-erokokeessa tuotetaan puhaltimella tai rakennuksen omilla ilmanvaihtokoneilla portaittain vähintään 50 pascaliin saakka paine-eroa rakennusvaipan yli. [6.] Mittauksessa ei suositella yli 90 Pascalin paine-eroa, koska se voi johtaa rakenteiden liitosten ym. repeämiseen. [2, s. 8.] Ylimmän ja alimman paineen välillä tulee ilmamäärä mitata vähintään viidessä eri paineessa. [6.] Mittaussarjasta lasketaan vuotoilmakäyrä, jonka avulla lasketaan 50 Pa:n paine-eroa vastaava ilmamäärä. Ilmamäärä [ $g_v$ ], joka tarvitaan 50 Pa:n paine-eron ylläpitämiseksi tunnin aikana jaettuna tutkittavan tilan vaipan alalla [ $A_E$ ] antaa tulokseksi ilmanvuotoluvun  $g_{50}$ . Ilmamäärä [ $g_v$ ] jaettuna tutkittavan tilan ilmatilavuudella [ $V$ ] antaa tulokseksi ilmanvuotoluvun  $n_{50}$ . [2, s. 29.]

Aina painekokeessa ei välttämättä saavuteta 50 pascalin paine-eroa. Sillä edellytyksellä, että mittauksessa päästään 30 pascalin paine-eroon ja mittaukset on tehty portaittain tasaisin välein vähintään kolmella eri paine-erolla, voidaan ilmavirta 50 pascalille määrittää logaritmisella asteikolla lineaarisesti ekstrapoloimalla. Kesäaikana voidaan ilmavirta 50 pascalille määrittää jopa 20 pascalin paine-erolla, jos ulkoilman lämpötila on yli 15 °C ja tuulen nopeus alle 1 m/s. [1, s. 11.]

Paine-ero olisi hyvä mitata tuulelta suojassa olevan julkisivun puolelta. Usein mittaus suoritetaan kuitenkin pääovesta, jolloin oven sijainti määrää mittaustaikaa. Paine-ero on suositeltavaa tehdä sekä ali- että ylipaineisena, koska ilmansulussa voi tapahtua muutoksia ilman virtaussuunnan muuttuessa ja se voi vaikuttaa merkittävästi ilman-

vuotolukuun. Viralliseksi ilmanvuotoluvuksi otetaan näistä suurempi, mutta jos yli- ja alipaineessa mitatut ilmanvuotoluvut poikkeavat toisistaan yli 0,5 1/h, niin käytetään näiden mittausten keskiarvoa ilmanvuotolukuna. [1, s. 11.]

### 3 ILMANVUOTOLUVUT

Ilmanvuotoluku,  $q_{50}$ , kertoo, montako kuutiota tunnissa ilmaa vuotaa vuotoreittien kautta rakennukseen vaipan pinta-ala neliötä kohden, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa ali- tai ylipaine. Ilmanvuotoluku,  $n_{50}$ , kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa ali- tai ylipaine. [1.]

#### 3.1 $q_{50}$ -luku

$$g_{50} = g_v / A_E \quad (1)$$

Missä  $g_v$  = ilman tilavuusvirta, jolla rakennuksen ja ulkovaipan yli saadaan 50 Pa:n paine-ero [ $m^3/h$ ]

$A_E$  = Rakennuksen sisämittojen mukaan laskettu vaipan pinta-ala [ $m^2$ ].

$q_{50}$ -luku saadaan jakamalla 50 Pa:n paine-eroa vastaava ilmamäärä ( $m^3/h$ ) rakennuksen sisämittojen mukaan lasketulla vaipan alalla ( $m^2$ ). [6, s. 14.]

#### 3.2 $n_{50}$ -luku

$$n_{50} = g_v / V \quad (2)$$

Missä  $g_v$  = ilman tilavuusvirta, jolla rakennuksen ja ulkovaipan yli saadaan 50 Pa:n paine-ero [ $m^3/h$ ]

$V$  = rakennuksen sisätilavuus [ $m^3$ ].

$n_{50}$ -luku saadaan jakamalla 50 Pa:n paine-eroa vastaava ilmamäärä ( $m^3/h$ ) tutkittavan tilan ilmatilavuudella ( $m^3$ ). [6, s. 14.]

Kaavoilla 3 ja 4 voi muuttaa ilmanvuotolukuja, jos tietää joko  $n_{50}$ - tai  $q_{50}$ -luvun sekä rakennuksen vaipan alan ( $m^2$ ) sisämittojen mukaan laskettuna ja rakennuksen sisätalavuuden ( $m^3$ ).

$$n_{50} = q_{50} * (A_E / V) \quad (3)$$

$$q_{50} = n_{50} / (A_E / V) \quad (4)$$

$A_E$  = rakennuksen vaipan ala sisämittojen mukaan laskettuna ( $m^2$ )

$V$  =  $n_{50}$ -luvun laskennassa käytettävä rakennuksen sisätalavuus ( $m^3$ ). [2, s. 14.]

Alla olevasta kuvasta selviää tyypilliset ilmanvuotoluvut rakennuksissa. [7.]

Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset $n_{50}$ -luvut, 1/h	Tyypilliset $q_{50}$ -luvut, $m^3/(h m^2)$
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1,0 – 3,0	Pientalot 1,0 ... 3,0
		Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 - 1,5	Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,0 ... 4,0
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3,0 – 5,0	Pientalot 3,0 ... 5,0
		Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 ... 3,0	Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 4,0 ... 8,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5,0 ... 10,0	Pientalot 5,0 ... 10
		Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3,0 ... 7,0	Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 8,0 ... 20,0

**KUVA 1. Tyypillisiä ilmanvuotolukuja [7]**

### 3.3 Ilmanvuotoluvun mittaaminen

Rakennuksen ilmanvuotoluvun mittaus 50 Pa paine-erolla määritellään standardissa SFS-EN 13829. Mittaus voidaan suorittaa kahdella eri mittausmenetelmällä: A:lla (käytössä olevan rakennuksen testaus) tai B:llä (rakennusvaipan testaus). [6.]

Suomessa ja muualla Euroopassa käytetään yleensä standardissa esitettyä mittausmenetelmää B[2, s. 30].

Ilmanvuotoluvun mittaus tapahtuu sitä varten tehdyllä painekoelaitteistolla tai vaihtoehtoisesti rakennuksen omilla ilmanvaihtolaitteilla. Rakennuksen omia ilmanvaihtolaitteita käytettäessä mittausmenetelmää B noudatetaan soveltuvin osin. [1, s. 10.]

### 3.4 Ilmanvuotoluvun käyttökohteet

Rakennuksen lämmöntarpeen laskennassa tarvitaan lähtötietona ilmanvuotolukua. Uudisrakennuksien osalta lämpöhäviöiden tasauslaskelmassa sekä energiaselvitystä ja energiatodistusta tehtäessä tarkastellaan lämmöntarvetta, joten tarvitaan  $q_{50}$ -lukua. Lisäksi tiiviysmittauksen avulla voidaan paikantaa rakennuksen vaipan ilmavuodot, joten uudisrakennuksen laadunvalvontamittauksessa esiin tulleet ilmavuotoreitit voidaan paikata. Käytössä olevien rakennusten osalta ilmanvuotolukua tarvitaan energia-katselmusta tai energiatodistusta tehtäessä. [2, s. 16.]

#### 3.4.1 Tiiveyden vaikutus rakennuksen energiankulutukseen

Laskettaessa rakennuksen vuotoilman lämmitykseen tarvittava energia määrä tarvitaan lähtötietoina  $q_{50}$ -luku, vaipan ala, paikkakunnan lämmöntarveluku ja tarkastelujakson pituus. [2, s. 18.]

$$Q_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} * (T_s - T_u) * \Delta t / 1000 \quad (5)$$

$Q_{\text{vuotoilma}}$  = vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh

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

$T_s$  = sisäilman lämpötila °C

$T_u$  = ulkoilman lämpötila °C  
 $\Delta t$  = ajanjakson pituus, h  
 1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuutos kilowattitunneiksi

$$H_{\text{vuotoilma}} = \rho_i * c_{pi} * q_{v, \text{vuotoilma}} \quad (6)$$

$H_{\text{vuotoilma}}$  = vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K  
 $\rho_i$  = ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>  
 $c_{pi}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kg\*K)  
 $q_v$ , = vuotoilman vuotoilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = q_{50} * A_{\text{vaippa}} / 3600 * x \quad (7)$$

$q_{50}$  rakennusvaipan ilmanvuotoluku (m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>))  
 $A_{\text{vaippa}}$  rakennusvaipan pinta-ala m<sup>2</sup>  
 $x$  kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja neli-kerroksisille 20 ja viisikerroksisille korkeimmille rakennuksille 15  
 3600 kerroin, joka muuttaa ilmavirran m<sup>3</sup>/h yksiköstä m<sup>3</sup>/s yksikköön.

Esimerkki:

Joensuussa sijaitsevan sähkölämmitteisen teollisuushallin tarvitsema vuotoilman lämmitysenergiantarpeen laskeminen seuraavilla lähtötiedoilla:

$$q_{50} = 4 \text{ (m}^3\text{/(h} \cdot \text{m}^2\text{))}$$

$$A_{\text{vaippa}} = 4000 \text{ m}^2$$

Energian hinta = 0,10 euroa/kWh

Hallin korkeus vastaa 3-4 kerroksista rakennusta.

$$q_{v, \text{vuotoilma}} \text{ (m}^3\text{/s)} = (4 * 4000 / 3600 * 20) = 0,22 \text{ m}^3\text{/s}$$

$$H_{\text{vuotoilma}} = 1,2 * 1000 * 0,22 \text{ m}^3\text{/s} = 266,7 \text{ W/K}$$

$$Q_{\text{vuotoilma}} = 266,7 \text{ W/K} * 5117 \text{ vrkC} * 24/1000 = 32753 \text{ kWh/v}$$

$$\text{Kulutus: } 32753 \text{ kWh/v} * 0,10 \text{ euroa/kWh} = 3275,3 \text{ euroa.}$$

Jos  $q_{50}$ -luku olisi  $1 \text{ (m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2))$  kyseisessä hallissa:

$$q_v, \text{ vuotoilma (m}^3/\text{s)} = (1 * 4000 / 3600 * 20) = 0,056 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{\text{vuotoilma}} = 1,2 * 1000 * 0,056 \text{ m}^3/\text{s} = 67,2 \text{ W/K}$$

$$Q_{\text{vuotoilma}} = 67,2 \text{ W/K} * 5117 \text{ vrkC} * 24/1000 = 8252,70 \text{ kWh/v}$$

$$\text{Kulutus: } 8252,70 \text{ kWh/v} * 0,10 \text{ euroa/kWh} = 825,30 \text{ euroa.}$$

Energiankulutus tippuisi neljäsosaan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  ollessa  $1 \text{ (m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2))$

Lopulta rakennuksen energiankulutuksen määräävät rakennuksen vaipan, taloteknisten järjestelmien, sääolosuhteiden ja käytön yhteisvaikutus [2, s. 20].

### 3.5 Tiiviysmittaukseen kuuluvat tilat

Yleensä rakennuksen kaikki lämmitettävät ja jäähdytettävät tilat, joita palvelee koneellinen ilmanvaihto, otetaan mukaan mitattavaan tilaan. Jos rakennuksesta vain osa mitataan, niin pääsääntöisesti paine-eromittaukseen otetaan mukaan kaikki samassa palo-osastossa olevat tilat. [1, s. 12.]

Erikseen lämmitettyä tai jäähdytettyä tilaa, jonka ulkovaippa on lämmöneristetty, mutta jonka vaipparakenteessa ei ole tiivistä ilmansulkua ja tila selvästi kuuluu ilmanpitävän vaipan ulkopuolelle, ei oteta mukaan mitattavaan tilaan. Tällaisessa tapauksessa tilojen väliset ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot tiivistetään ja tilojen väliset kulkuaukot suljetaan [1, s. 12.]

#### 3.5.1 Rakennuksen vaipan alan laskenta

Rakennuksen tai sen mitattavan osan vaipan alaan ( $A_E$ ) lasketaan lattioiden, kattojen ja seinien yhteenlaskettu ala. Laskennassa käytetään alojen kokonaissisämittoja. Rakenteiden liitoskohtia ei vähennetä alasta. [6, s. 10.]



### 3.5.2 Rakennuksen sisätilavuuden laskenta

Sisätilavuus,  $V$ , on rakennuksen tai sen mitattavan osan sisäilman tilavuus. Rakennuksen ilmatilavuus saadaan kertomalla keskimääräinen huonekorkeus huoneistoalan pinta-alalla. [6.] Rakennuksen ilmatilavuuteen ei lasketa välipohjia, mutta väliseinät otetaan mukaan ilmatilavuuteen. Sisätilavuuden laskenta poikkeaa Suomessa hieman standardista SFS-EN 13829. 2000, koska meillä myös alle 160 cm korkeiden tilojen tilavuus otetaan mukaan sisätilavuuteen. Rakentamismääräyskokoelmassa D5 on esitetty kuinka ilmanvuotoluvun laskennassa käytettävä rakennuksen sisätilavuus lasketaan. [1, s. 12.]

## 4 TIIVIYSMITTAUS

Tiiviysmittaus tehdään sitä varten tehdyllä painekoelaitteistolla tai vaihtoehtoisesti rakennuksen omilla ilmanvaihtolaitteilla. Rakennuksen omia ilmanvaihtolaitteita käytettäessä mittausmenetelmää B noudatetaan soveltuvin osin. [1, s. 10.]

### 4.1 Tiiviysmittaus rakennuksen omilla ilmanvaihtokoneilla

Rakennuksessa täytyy olla keskitetty poistoilmanvaihto tai keskitetty tulo- ja poistoilmanvaihto, jotta ilmanvuotoluku voidaan mitata rakennuksen omalla ilmanvaihtolaitteistolla. Alipaineen saavuttamiseksi rakennuksessa, joka on varustettu keskitetyllä poistoilmanvaihtolaitteella, täytyy huoneiston tai huoneistojen korvausilmakanavat sulkea ja ilman tilavuusvirta tulee mitata puhaltimen tai IV-koneen poistoilmakanavasta. Rakennuksessa, joka on varustettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä, voidaan suorittaa sekä ali- että ylipainekoe. Alipainekoetta tehtäessä suljetaan IV-koneen tuloilmakanava ja taas vastaavasti ylipainekoetta tehtäessä suljetaan IV-koneen poistoilmakanava ja mittausta tehtäessä tilavuusvirtaa mitataan avoimista olevasta kanavasta. Tätä mittaustapaa käytettäessä on tärkeää varmistaa, että IV-kone palvelee koko mitattavaa tilaa [1, s. 10.]

Jotta edellä mainituilla menetelmillä voidaan tiiviysmittaus suorittaa, täytyy ilmanvaihtokoneen tai koneiden olla portaattomasti säädettäviä ja koneen tai koneiden ilmavirtaa täytyy voida mitata. Mittaus tapahtuu esim. mittaamalla paine-ero puhaltimen yli ja muuttamalla mitattu paine-ero virtaukseksi puhaltimen virtaus/paine-erominaiskäyrän avulla. [2, s. 68.]

Mitattaessa isoja kohteita rakennuksen omilla ilmanvaihtolaitteilla suoritetaan mittaus yleensä ainoastaan alipaineisena. Mittaus onnistuu sitä paremmin, mitä tehokkaampi ilmanvaihto rakennukseen on suunniteltu. Yleensä toimisto ja liikerakennuksissa ilmanvaihtokoneiden tehot riittävät tiiviysmittaukseen, mutta varastorakennuksissa voi olla vaikea saavuttaa riittävää alipainetta rakennukseen. [2, s. 67.]

#### **4.1.1 Mittauksen valmistelut**

Mittauskohteessa on suoritettava monia toimenpiteitä ennen varsinaista tiiviysmittausta. Ilmanvaihtokone kytketään niin, että vain joko poistopuhallin on päällä tai pelkätään tulopuhallin riippuen, halutaanko talo alipaineistaa vai ylipaineistaa. Ilmanvaihto piirustuksia käytetään apuna mittauksista suunniteltaessa (kuva 2) [1, s. 10]

Ennen mittauksia on suljettava kaikki tarkoituksettomat vuotoreitit ja ilmanvaihtohormit. Voi olla, että kaikkia hormoneja ei pystytä tukkimaan, tällöin joudutaan mittaamaan vuotoreitin ohivirtaus. Ohivirtaus syntyy tyypillisimmin ilmanvaihtokoneen tuloilmakanavaan, jos ilmanvaihtokoneessa ei ole kumitiivisteisiä sulkupeltejä. Erilliset poistoilmakanavat voidaan sulkea katolta jätesäkeillä tai sulkemalla palopellit. Jos ilmanvaihtokanavisto toimii paineen jakajana rakennuksen kaikkiin osiin, ei rakennuksen välivoivia ja/tai portaikon ovia välttämättä tarvitse avata. Kuitenkin jos jättää ovet kiinni, on syytä mitata paine-eroja eri tiloissa pistokokein. Ovet olisi kuitenkin hyvä avata, jotta tilojen kesken ali-/ ylipaine olisi mahdollisimman tasainen. [2, s. 68.]

Usein ainakin suuremmissa rakennuksissa on tulo- ja poistoilmakoneet useassa konehuoneessa ja eri koneet palvelevat eri tiloja, joten on tärkeää miettiä, mitä koneita käyttää mittauksessa, jotta koko rakennus saadaan alipaineiseksi. Koneet, joita ei mittauksessa käytetä, tulee tulpata. [2, s. 68.]

Ennen mittausta on hyvä sopia aikatauluista ja toimenpiteistä tilaajan kanssa ja ilmoittaa rakennuksen käyttäjiä tulevasta mittauksesta hyvissä ajoin. Yleensä varsinainen mittaus kestää noin tunnin, mutta valmistelut ja mittauksen jälkeiset purkutytöt vievät usein aikaa 3-4 tuntia riippuen tekijöiden määrästä ja kohteen koosta. Mittaus vaatii 2 henkilöä ja lisäksi ilmanvaihdon automatiikasta vastaavan henkilön. Taulukossa 1 on mainittu asioita, joita on hyvä huomioida mittauksessa.

Sääolosuhteet vaikuttavat paljon mittauksen luotettavuuteen ja onnistumiseen. Mittaushetkellä sisä- ja ulkolämpötilan erotuksen ja rakennusvaipan korkeuden tulo ei saa olla suurempi kuin 500 m·K. Korkeus lasketaan metreinä ja lämpötilat kelvineinä. Mittauksessa on myös huomioitava, että tuulen nopeus ei saa ylittää mittaushetkellä 6 m/s. [6, s. 7.] Jos sisä- ja ulkolämpötilan erotuksen ja rakennusvaipan korkeuden tulo on suurempi kuin 500 m·K, on savupiippuilmiöllä liian suuri vaikutus mittaustuloksiin. [2, s. 38.] Savupiippuilmiöksi kutsutaan ilmiötä, jossa lämmennyt huoneilma nousee ylöspäin ja aiheuttaa huoneen yläosaan ylipainetta. Tämä aiheuttaa tilanteen, jossa rakennuksen alaosaan virtaa kylmää ilmaa sisään ja lämmin ilma virtaa ulos rakennuksen yläosista. Ilmiö korostuu sen mukaan, mitä suurempia ovat ulko- ja sisäilman väliset lämpötilaerot ja mitä korkeampi on rakennus. [2, s. 9]

Alla esitetty esimerkki sääolosuhteiden tarkastelusta samoissa talviolosuhteissa omakotitalon ja kerrostalon osalta.

Esimerkki:

Omakotitalon sääolosuhteiden tarkastelu talvella.

Sisälämpötila (21 °C)	= 273,15 + 21 = 294,15 K
Ulkolämpötila (-20 °C)	= 273,15 + (-20) = 253,15 K
Lämpötilojen ero	= 294,15 – 253,15 = 41 K
Rakennusvaipan korkeus	= 4,8 m
Tulo (≤ 500 m·K)	= 41 K x 4,8 m = 196,8 m·K

Päätelmä: Näillä sääolosuhteilla voisi suorittaa omakotitalon tiiviysmittauksen, koska sisä- ja ulkolämpötilan erotuksen ja rakennusvaipan korkeuden tulo on pienempi kuin 500 m·K.

Esimerkki:

Kerrostalon sääolosuhteiden tarkastelu talvella.

$$\text{Sisälämpötila (21 °C)} = 273,15 + 21 = 294,15 \text{ K}$$

$$\text{Ulkolämpötila (-20 °C)} = 273,15 + (-20) = 253,15 \text{ K}$$

$$\text{Lämpötilojen ero} = 294,15 - 253,15 = 41 \text{ K}$$

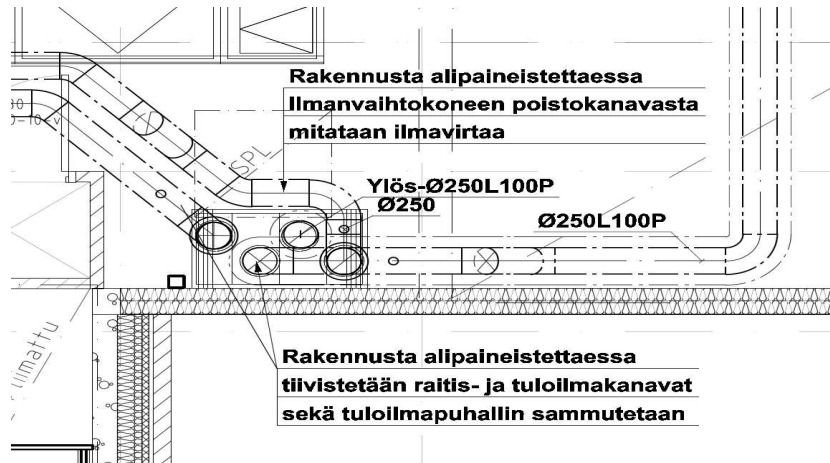
$$\text{Rakennusvaipan korkeus} = 15 \text{ m}$$

$$\text{Tulo } (\leq 500 \text{ m} \cdot \text{K}) = 41 \text{ K} \times 15 \text{ m} = 615 \text{ m} \cdot \text{K}$$

Mittausta ei voida suorittaa kerrostalolle samoissa olosuhteissa talvella, koska sisä- ja ulkolämpötilan erotuksen ja rakennusvaipan korkeuden tulo on suurempi kuin 500 m·K.

**TAULUKKO 1. Omilla ilmanvaihtojärjestelmillä mitattaessa huomioitavat asiat [2, s. 70]**

1. Varmista, että saatavilla on ilmastointi-automaatiosta perillä oleva henkilö.
2. Suunnittele etukäteen, mitä iv-konetta tiiviysmittauksessa käytetään.
3. Arvio rakennuksen koon ja oletetun vuodon mukaan tarvittava ilmamäärä.
4. Tarkista kaikkien tulppausten ja sulkupeltien tiiviys.
5. Suunnittele mistä/miten mitataan kanavan ilmavirtaus.
6. Tarkista paine-ero ulkoilmaan iv-koneita käynnistettäessä.
7. Säädä iv-koneen ilmavirtaa niin, että rakennukseen saadaan haluttu paine-ero. esim. 10, 20, 30, 40 ja 50 Pa.
8. Tarkista ilmanvuotokohdat lämpökameralla tai merkkisavulla.
9. Suorita jokaisessa paine-erossa ilmamäärämittaukset.
10. Mittauksen jälkeen tarkista, että asetukset ja säädöt on palautettu ennalleen.



**KUVA 2. Ilmanvaihtopiirustuksia apuna käyttäen suunnitellaan ilmanvaihtokoneen ja kanavien käyttö tiiviysmittauksessa**

#### 4.1.2 Ilmamäärän mittaus ilmanvaihtokoneilta

Ilmamääränmittaus voidaan mitata usealla eri tavalla:

1. Mittaamalla paine-ero puhaltimen yli iv-koneen paine-eromittausyhteistä.
2. Mittaamalla ilmavirta kanavasta pitot-putkella tai kuumalangalla.
3. Mittaamalla paine-ero säätöpellin yli.
4. Ilmamäärän saa myös siihen tarkoitukseen rakennetulla mittauslaitteella

Iv-koneiden omiin paine-eromittareihin ei varsinkaan vanhoissa rakennuksissa kannata luottaa täysin. Paine-eromittareiden anturit/letkut ovat voineet irrota tai vioittua, jonka seurauksena mittarit eivät näytä oikeaa lukemaa. Tämän takia on tärkeää aina tarkastaa mittaamalla omalla kalibroidulla paine-eromittarilla ilmanvaihtokoneen paine-eromittausyhteistä lukemat ja hyvä olisi myös katsoa virtaus kanavasta pitot-putkella. [2, s. 69.]

Yksi mittausmenetelmistä on pitot-putkimittaus. Pitot-putkella mitattaessa kanavaan porataan 10 mm reikiä vähintään kahdesta suunnasta. Isoissa kanavissa täytyy tehdä vähintään 6 mittausta molemmista suunnista, jotta saadaan luotettava tulos. Mittauksessa tulee olla tarkka, että mittaussyvytydet ovat tarkkoja, koska ilmavirtauksen no-

peudet kanavan eri kohdissa vaihtelevat. Kuumalangalla on hieman pitot-mittausta helpompi mitata ilmamäärät kanavasta. [2, s. 70.]

Säätöpelleistä mitattaessa tulee varmistaa, että ne ovat asennettu oikein, eikä lähellä ole virtausta haittaavia käyriä, haaroja tai äänenvaimentimia. Muutoin mittaustulos voi olla vääristynyt. Säätöpelleistä täytyy saada mitattua paine-ero pellin yli ja ilmamäärä voidaan sitten laskea alla olevalla kaavalla, käyttämällä säätöpellin valmistajan antamia k-kertoimia.

$$q_v = k * \sqrt{\Delta p} \quad (8)$$

$q_v$	laskettu ilmavirta, l/s
$k$	k-kerroin
$\Delta p$	mitattu paine-ero, Pa

Ilmamäärän tarkistamiseen on olemassa ihan omia kiinteitä kanavaan asennettavia laitteita, jotka mittaavat ilman tilavuusvirran mittaussiivillä paine-eron perusteella. Haltonilla on esim. MSD- ilmavirran mittauslaite.

#### 4.1.3 Mittauksen virhelähteet ja ongelmat

Mittauksiin sisältyy aina mittausvirheitä. Mittauksia tekevän on syytä tuntea käyttämiensä laitteiden toimintaperiaatteet. Mittaustuloksen arveluttaessa on syytä tehdä mittaus uudelleen. Mittausvirheitä syntyy ilmamäärän mittausvirheestä, rakennuksen koon mittausvirheistä, tiivistämisestä tulleista virheistä ja ulko-olosuhteista. Tehtäessä tiivysmittaus käyttämällä rakennuksen omia ilmanvaihtojärjestelmiä tulee huomioida, että mittaustuloksen virhemarginaali on alimmillaan  $\pm 10\%$ . [2, s. 65.]

Käytännössä ongelmia saattaa aiheuttaa myös huoneistojen ja rappukäytävän ilmatilavuuden tarkka arviointi sekä alas laskettujen kattojen yläpuoleisten tilojen huomioiminen ilmatilavuuden arvioinnissa. Lisäksi saattaa olla vaikea selvittää kaikki rappukäytävän teipattavat kohdat. [4.]

## **4.2 Tiiviysmittaus erillisellä puhaltimella**

Tiiviysmittaus tulisi tehdä aina ensisijaisesti erillisillä kaupallisilla kalibroiduilla tiiviysmittauslaitteilla. Mitattaessa rakennuksen omalla ilmanvaihtolaitteistolla mittauksen virhe on huomattavasti suurempi kuin kaupallisilla laitteistoilla tehtäessä. [2, s. 65.]

### **4.2.1 Mittauslaitteisto**

Mittauskalusto, jota käytetään painekokeessa, täytyy kalibroida säännöllisesti. Jos valmistaja ei ole ilmoittanut mittareiden kalibrointivälejä, olisi painekoelaitteisto sekä virtaus- ja paine-eromittarit hyvä kalibroida 2 vuoden välein ja lämpötila-anturit 4 vuoden välein. Laitteiden vaurioituessa on ne korjauksen jälkeen aina kalibroitava. [1, s. 13.]

### **4.2.2 Puhaltimen valinta mittauksessa**

Mittausta suunniteltaessa on hyvä arvioida, millainen puhallin/puhaltimet mittaukseen tarvitaan. Mittaukseen tarvittava ilmamäärä ratkaisee, millainen puhallin mittaukseen tarvitaan ja riittääkö yksi puhallin, vai tarvitaanko useampia. Rakennuksen ollessa pieni ja tiivis tarvittava ilmamäärä on pieni, kun taas rakennuksen ollessa suuri ja hatarata tarvitaan suuri ilmamäärä mittauksen tekemiseen. Puhaltimen tyyppin ja lukumäärän valintaan tarvitsee tietää kohteen vaipan pinta-ala sekä arvio kohteen suurimmasta sallitusta ilmanvuotoluvusta. [2, s. 35.]

Esimerkki:

Puhaltimen valinnasta tiiviysmittausta varten.

5-kerroksisen kerrostalon vaipan pinta-ala on  $1800 \text{ m}^2$  ja arvioitu suurin ilmanvuotoluku  $q_{50}$  on  $2 \text{ (m}^3/(\text{h m}^2))$ .

$$Q = q_{50, \text{ arvioitu}} \times A$$

$$Q = \text{tarvittava ilmamäärä m}^3/\text{h}$$

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

$$A = \text{vaipan pinta-ala m}^2$$

$$Q = 2 \text{ (m}^3/(\text{h m}^2)) \times 1800 \text{ m}^2$$

$$Q = 3600 \text{ m}^3/\text{h}$$

Kohteessa käytettävän puhaltimen täytyy pystyä puhaltamaan ilmaa vähintään  $3600 \text{ m}^3/\text{h}$  ja saada tuotettua  $50 \text{ Pa}$  paine-ero rakennusvaipan yli.

Tiiviysmittauksessa tarvittavia apuvälineitä on lueteltu taulukossa 2.

## TAULUKKO 2. Tiiviysmittauksessa tarvittavat apuvälineet [2]

VÄLINE	KÄYTTÖTARKOITUS
Etäisyysmittari	Vaipan-alan ja tilavuuden laskenta
Lämpömittari	Ulko- ja sisälämpötilojen mittaus
Teippiä ja muovia	Aukkojen sulkeminen
Ilmalla täytettäviä palloja	Iv-koneen kanavien tukkiminen
Tietokone ja painekoeohjelma	Tuloksia varten
Työskentelyportaat	venttiilien yms. Sulkeminen



### 4.2.3 Mittauksen valmistelut

Rakennuksen vaipan-alan ja tilavuuden määrittäminen tapahtuu kohdassa 3.3 mainitulla tavalla.

Sääolosuhteiden huomioiminen kohdan 4.1.1 mukaan.

Luotettavien tulosten saamiseksi on ennen painekokeen suorittamista tehtävä esivalmisteluja. Mittauksen alussa tulee mitata ulkoilman lämpötila, tuulen suunta ja voimakkuus sekä sisäilman lämpötila puhaltimen läheisyydessä. Myös lähimmän sääaseman antama ulkoilman paine mittauspäivänä tulee kirjata. Vuotoilman kulkeminen ilmanvaihtokanavien, viemäreiden, liesituulettimen, tulisijan ja vesi- ja viemäri liittymien asennusluukkujen yms. aukkojen kautta on estettävä. [2, s. 44.]

Ilmanvaihtuventtiilit ja hormit voidaan tiivistää usealla menetelmällä. Paras olisi tiivistää raitis- ja jäteilmakanavat rakennuksen ulkopuolelta. Jos kanavat on ulkona hankalasti suljettavissa, voidaan ne sulkea sisäpuolelta esim. tukkimalla kumipallolla raitis- ja jäteilmakanavat ilmanvaihtokoneelta. Viemäreiden osalta on syytä muistaa tarkastaa, että vesilukoissa on vettä. Takan luukut tulee muistaa teipata esim. jätessäkillä ja liesikupu täytyy myös tiivistää pallolla tai jätessäkillä. [2, s. 39 - 47.)

Mittausohjelmaan syötetään ennen mittausta ulko- ja sisäilman lämpötilat sekä ulkoilman paine. Ennen varsinaista mittausta peitetään puhallinaukko, jotta saadaan mitattua tuulen ja savupiippuvaikutuksen aiheuttama paine-ero, eli alkupaine. Alkupaine mitataan 5-10 kertaa muutaman sekunnin ajan ja siitä otetaan keskiarvo jonka tulisi olla alle 5 Pa alipainetta. Alkupaineen ollessa yli 5 Pa täytyy tehdä myös ylipainemittaus ja käyttää ali- ja ylipainemittauksen keskiarvoa ilmanvuotoluvun määrittämiseksi. Tämän jälkeen voidaan siirtyä varsinaiseen mittaukseen, jolloin luodaan puhaltimella valittu paine-ero. Ilmavirtaus täytyy mitata vähintään 5 tasaisin välein olevalla paine-erolla niin, että suurin paine-ero on vähintään 50 Pa. Suositeltavaa on lähteä 30 Pa paine-erosta ja nostaa 10 Pa välein aina 70 Pa paine-eroon saakka. [2, s. 51.]

Mittausten jälkeen tulee vielä tehdä niin sanottu loppupaineen mittaus, jolloin puhallinlaukko on jälleen peitetty. Loppupaine mitataan samalla tavalla kuin alkupaine, ja niiden ero ei saa olla yli 5 Pa tai koe hylätään. Jos koe on hyväksytty, ohjelma mallintaa rakennuksen ilmanvuotokäyrän. [2.]

#### **4.2.4 Mittauksen virhelähteet ja ongelmat**

Tehtäessä tiiviysmittaus käyttämällä tehdasvalmisteisia tiiviysmittauslaitteistoja mitaustuloksen virhemarginaali on alimmillaan  $\pm 3$  % ja korkeimmillaan  $\pm 10$  %. [2, s. 57.]

Mittausvirheitä syntyy ilmamäärän mittausvirheestä, rakennuksen suureiden mittausvirheistä, tiivistämisestä tulleista virheistä ja ulko-olosuhteista. [2, s. 56.] Mittaajan ilmoittaessa puhaltimen väärän sulkurenkaan tiedot mittausohjelmaan on yksi suurimmista virheistä, mitä mittaja voi tehdä [2].

Mitattaessa kerrostalon ilmanpitävyyttä esim. kolmesta eri kerroksessa sijaitsevasta huoneistosta vääristää tulosta muualta rakennuksen sisältä tulevat ilmapuodot. Tämän takia täytyisi myös mitattavaa huoneistoa ympäröivät tilat, kuten naapurihuoneistot ja porrashuone, paineistaa samanaikaisesti, jotta paine-ero näiden tilojen välillä olisi mahdollisimman pieni. Käytännössä tällainen mittausmenettely menisi liian hankalaksi, joten mittauksen ajaksi teipataan rappukäytävän ovi ja postiluukku. [4.]

Ongelmia saattaa aiheuttaa myös huoneistojen ja rappukäytävän ilmatilavuuden tarkka arviointi katso kohta 4.1.3.

### 4.3 Mittausten esittäminen

Tiiviysmittauksesta tulee aina laatia ilmanpitävyysraportti, jossa tulee ilmi kohteen tietojen lisäksi vähintään taulukossa 3 olevat tiedot. [2, s. 63.]

#### TAULUKKO 3. Ilmanpitävyysraporttiin vaadittavat tiedot [1, s. 13]

• rakennuksen tunniste- ja laajuustiedot
• rakennuksen tai sen mitatun osan ilmatilavuus
• mittaajan nimi ja mittauspäivämäärä
• säätiedot - ulkolämpötila - tuulen nopeus - tuulen suunta - ilmanpaine
• tiiviysmittausten kattavuus - koko rakennus/ osarakennus
• tiedot mittauksissa käytetyistä laitteista ja koejärjestelyistä - kalibrointitiedot - paine-eron tuottamistapa
• apupuhallin
• oma ilmanvaihtojärjestelmä - mittauspisteiden sijainti - mittauksen ajaksi suljetut aukot - mahdolliset poikkeamat standardista SFS-EN 13829 /14/
• mittaustulokset - mittauspaine-erot - mitatut vuotoilmavirrat eri paine-eroilla - sisälämpötila - ulkolämpötila - ilmanpaine
• mittaustuloksista määritetty vuotoilmavirta 50 Pa:n paine-erolla
• vaipan ilmanvuotoluku $q_{50}$

$q_{50}$ -luvun mittaustulokset ilmoitetaan  $0,1 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  tarkkuudella ja pyöristykset tehdään normaalien pyöristyssääntöjen mukaisesti. [2, s. 63.]

## 5 SUURIEN RAKENNUSTEN TIIVIYSMITTAUS

Suurilla rakennuksilla tarkoitetaan esim. asuinkerrostaloja, liikekiinteistöjä, toimistorakennuksia, varastoja yms. rakennuksia. Standardi SFS-EN 13829 määrittää yli 4000 m<sup>3</sup> suuriset rakennukset suuriksi kohteiksi. Suurien kohteiden mittaus voidaan tehdä erillisillä tiiviysmittauslaitteistolla tai rakennuksen omalla ilmanvaihtojärjestelmällä. [2, s. 65.]

### 5.1 Kerrostalon tiiviysmittaus

Kerrostalon ilmanpitävyys voidaan mitata talon omalla ilmanvaihtokoneella tai painekoelaitteistolla. Kaikkein tarkin tulos saadaan mittaamalla koko rakennus kerralla. [1, s. 14.] Jos kerrostalossa on huonekohtaiset ilmanvaihtokoneet, ei rakennuksen omilla ilmanvaihtolaitteilla tiiviyttä pystytä mittaamaan. [2, s. 67.] Asuinkerrostalon ilmanpitävyys saadaan myös mittaamalla vähintään 20 % huoneistoista painekoelaitteistolla. Mitattaessa rakennuksen ilmanpitävyys omilla ilmanvaihtokoneilla voi enintään 25 % rakennuksen tilojen lämmitetystä netto-alasta jättää pois mittauksesta. [5, s. 10.] Jos mitataan yksittäisiä huoneistoja tai useita portaita, täytyy mittaustulokseksi ottaa saatujen tulosten keskiarvo. Yksittäisistä huoneistoista saatu mittaustulos ei ole niin tarkka kuin koko rakennuksen mittaustulos, koska siinä ei eritellä ulkovaipan ja huoneistojen välisiä ilmanvuotoja. Yleensä kerrostalon ilmanpitävyydestä saadaan kuitenkin riittävän tarkka tulos, mitattiin sitten yksittäisiä huoneistoja, useampia portaita tai koko rakennus kerralla. [1, s. 14.]

Tiiviysmittausta varten valmistetuilla mittauslaitteilla saadaan huomattavasti tarkempia mittaustuloksia kuin mittaamalla talon omalla ilmanvaihtojärjestelmällä. Tämän takia mittaukset tulisi aina ensisijaisesti toteuttaa tehdasvalmisteisilla laitteilla. [2, s. 30)

#### 5.1.1 Yksittäisen huoneiston mittaus

Tehtäessä mittaus yksittäisiin huoneistoihin täytyy ilmanvuotoluvun saamiseksi mitata vähintään 20 % huoneistoista. [5, s. 10.] Mitattavat huoneistot eivät saa olla samassa

kerroksessa keskenään, ja yhden on oltava alimmassa kerroksessa sekä yhden ylimmässä kerroksessa ja lisäksi on mitattava huoneisto joka toisesta välikerroksesta. Huoneistokohtaisessa mittauksessa painekoelaitteisto asennetaan ulko-oveen, mutta paine-eroa mitataan ulkovaipan yli. Hyvä korkeus paine-eron mittaamiselle on huoneen sisäkorkeuden puoliväli ja riittää, kun painetta mitataan yhdestä paikasta. [1, s. 14.] Paineen mittaaminen ulkovaipan yli onnistuu esim. TSI Airflow-mikromanometrillä, johon on liitetty kapillaariputki, joka mahtuu ikkunan tai oven välistä ulos.

### **5.1.2 Koko rakennuksen tai useamman portaan mittaaminen**

Mitattaessa ilmanvuotolukua koko rakennuksesta tai koko portaasta tulee huoneistojen ulko-ovien olla avoimia porrashuoneeseen ja huoneistoihin ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot, tulisijat ja hormit sulkeaa tiiviisti. Koko rakennusta tai koko porrasta koskevassa painekokeessa tulee mittaustilasto asentaa kerrostalon keskikerrokseen. Hyvä paikka painekoelaitteistolle on esim. keskikerroksen parvekeovi, joka on lähellä portaan sisäkorkeuden puoliväliä. Asennettaessa painekoelaitteisto parvekeoven paikalle tulee huomioda, että parvekelasien tulee olla täysin auki. Alipainekoetta tehtäessä tulee puhaltimesta tulevan ilmavirran päästä virtaamaan esteettömästi ulkoilmaan. [1, s. 15.]

Mittauksen aikana riittää, että paine-eroa ulkovaipan yli mitataan vain keskikerroksesta mittaustilaston yhteydessä olevalla paine-eromittarilla, jos puhallin on asennettu parvekeoven karmiin, joka on lähellä portaan sisäkorkeuden puoliväliä. Mittauksen aikana olisi kuitenkin suositeltavaa mitata paine-eroa vaipan yli myös ylimmässä ja alimmassa kerroksessa. Jos paine-eroa mitataan ylimmästä ja alimmasta kerroksesta, tulee mittaustulosta tallentaa pidemmän aikaa ja tulokseksi ottaa ylimmän ja alimman kerroksen mittausten keskiarvo. Tällä menettelyllä mitattaessa tulee olla varma, että saadut tulokset eri mittareista ovat samalta ajan hetkeltä. Jotta varmistutaan, että paine-ero muodostuu joka paikkaan rakennusta ennen mittausta, olisi hyvä ainakin suuremmissa rakennuksissa pitää paine-eroa yllä jonkin aikaa ennen varsinaista mittausta. [1, s. 15.]

Varsinkin talviaikaan voi paine-ero talon alaosassa olla huomattavasti suurempi kuin portaan keskimääräinen paine-ero. Jos tällaisessa tilanteessa joudutaan tekemään mit-

taus alakerran ulko-oven paikalta, olisi hyvä alipainekokeessa mitata ilman tilavuusvirrat yli 50 Pa paine-eroilla, jotta saadaan luotettava tulos. [1, s. 15.]

## 6 KOEKOEHDE

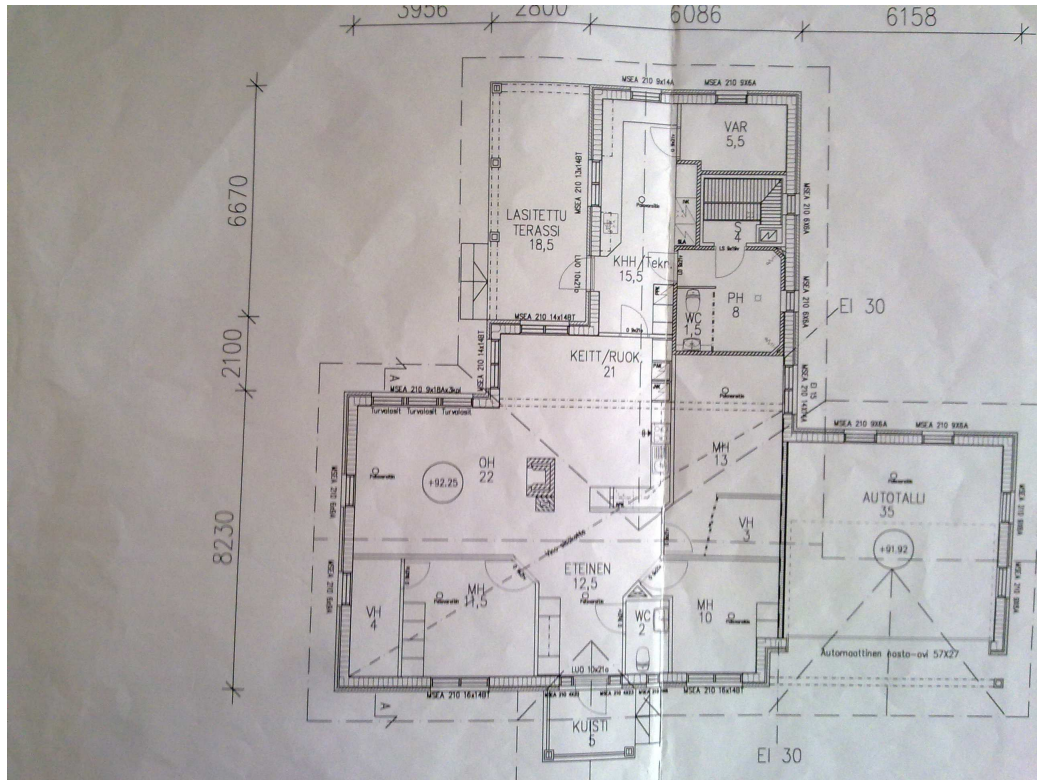
Mitattu kohde oli valmistunut keväällä 2012 Joensuun Karhumäkeen ja asukkaat olivat jo muuttaneet taloon, kun mittausta tehtiin. Talo on puurunkoinen tiiliverhouksella päällystetty 134,7 m<sup>2</sup> yksikerroksinen omakotitalo varustettuna koneellisella lämmöntalteenotolla. Talon oli rakentanut paikallinen rakennusliike, eikä rakennukselle laitettu aloitusvaiheessa mitään tavoitearvoa ilmanvuotoluvun suhteen. Taulukossa 4 on esitetty koekohteen lähtötiedot.

### 6.1 Kohteen lähtötiedot

**TAULUKKO 4. Koekohteen lähtötiedot**

Rakennus:	Omakotitalo	
Osoite:	Isokarhentie 19	80230 JOENSUU
Ulkoseinä:	puurunko, tiiliverhous	
Yläpohja:	puu	
Alapohja:	maanvarainen	
Ilmanvaihto:	koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtolto:lla	

Mittauskohde oli hyvin tavallinen omakotitalo, jossa oli kolme makuuhuonetta, keittiö, olohuone, kodinhoituhuone, kaksi wc:tä, sauna ja varasto/tekninen tila (kuva 3).



**KUVA 3. Mittauskohteen pohjapiirustus**

## 6.2 Mittausmenetelmä

Mittaus tehtiin kohteessa 7.5.2012, joten se suoritettiin ennen 1.7.2012 voimaan tulleita määräyksiä. Tästä johtuen tulos täytyi saada  $n_{50}$ -lukuna, mutta mittauksessa käytetty ohjelma laskee automaattisesti myös  $q_{50}$ -luvun. Rakennuksen ilmanvuotoluku mitattiin standardissa SFS-EN 13829 esitetyn mittausmenetelmä B:n mukaan.

## 6.3 Valmistelut mittauksia varten

Kohteessa laitettiin aluksi lämpötilamittarit ulos sekä sisälle mittaamaan lämpötiloja. Tämän jälkeen suljettiin ilmanvaihtokone ja valmisteltiin mittauskalustoa mittauksia varten. Ensiksi piti aukaista ilmanvaihtokone (Enervent pingvin eco) ja ottaa suodatin pois sekä irrottaa puhallin, jotta raitis- ja jäteilmakanaviin pääsee käsiksi. Kun puhallin oli irrotettu, suljettiin iv-koneen raitis- ja jäteilmakanavat koneelta käsin ilmalla täytettävillä palloilla (kuva 4). Pallojen täyttö sujui vaivattomasti pienellä kompressorilla. Pelkillä palloilla ei aukkoja saanut aivan tiiviiksi, siksi tarvitsi myös hieman teippailla pallojen ja kanavien reunoja. Toimenpide oli hyvä, sillä ei tarvinnut enää erikseen lähteä sulkemaan ulkoa raitis- ja jäteilmasäleikköjä.



**KUVA 4. Ilmanvaihtokoneen raitisilmakanava tiivistettynä lentopallon sisusku-  
milla**

Ilmanvaihtokoneen raitis- ja jäteilmakanavien tiivistyksen jälkeen tiivistettiin teipillä keskuspölynimurin läpivienti (kuva 5), liesikupu sekä tulisijan luukut. Myös teknisessä tilassa sijainnut sähkökeskus täytyi tiivistää, koska sen johdot menivät autotalliin ja autotalli ei kuulunut mitattavaan alueeseen.



**KUVA 5. Keskuspölynimurin reikä tiivistetty teipillä**



Liesikupua tiivistäessä on aluksi hyvä tarkastaa, pääseekö liesikuvun kanavaan helposti käsiksi, jotta selviää, voiko sen tiivistää esim. lentopallon sisuskumilla. Kohteessa liesikupu täytyi tiivistää koko alueelta teippaamalla jätessäkki sen aukon päälle, koska kanavaan ei päässyt helposti käsiksi (kuva 6).



**KUVA 6. Liesikupu tiivistetty muovilla**

Tulisijan luukkujen tiivistys sujuu hyvin teippaamalla jätessäkkejä luukkujen päälle (kuva 7). Tulisijan pelti on hyvä sulkea ja pellin luukku myös tiivistää samalla tavalla kuin muut tulisijan luukut. Kohteessa oli sähkökiuas, joten sen suhteen ei tarvinnut tiivistyksiä tehdä.



**KUVA 7. Tulisijan luukut tiivistettynä jätessäkillä**

Kun kaikki tarvittavat luukut yms. oli tiivistetty, mitattiin mitattavan alueen sisätilavuus ja vaipan pinta-ala lasermittarilla.

Rakennuksen asuintilojen laajuustiedot (taulukko 5).

**TAULUKKO 5. Kohteen laajuustiedot**

Huoneistoala:	134,7 m <sup>2</sup>
Vaipan pinta-ala:	410,7 m <sup>2</sup>
Ilmatilavuus:	392,3 m <sup>3</sup>

Kun kohteen ilmatilavuus on selvillä, kootaan puhaltimen kehikko ja kiinnittää siihen nylonkangas. Kehikkoa kannattaa kokeilla oven karmeihin ensin ilman kangasta. Nylonkangas kiinnitetään kehikkoon kankaassa olevilla tarroilla. Ennen kehikon asentamista kodinhoituhuoneen oven karmeihin täytyy ulos viedä t-haarainen letku, jolla mitataan ulkoilman painetta (kuva 8). Putken laitossa tulee katsoa, että se on vähintään kahden metrin päässä ovesta ja sinne pääsee virtaamaan ilmaa vapaasti. Putken toinen pää on hyvä tuoda lähelle ovea, jotta se on helppo kiinnittää kankaassa olevaan vihreään nuppiin myöhemmässä vaiheessa. Tämän jälkeen kehikko asennetaan oven karmeihin kehikon kiinnitys mekanismilla, joka on hyvin yksinkertainen (kuva 9). Tässä vaiheessa, ennen puhaltimen asennusta, on syytä kiinnittää ulkona olevan paineenmittausletkun pää kehikon vihreään nuppiin (kuva 10).



**KUVA 8. Ulos laitettu paineenmittausletku**



**KUVA 9. Puhaltimen kehikko asennettuna ulko-oven karmeihin**



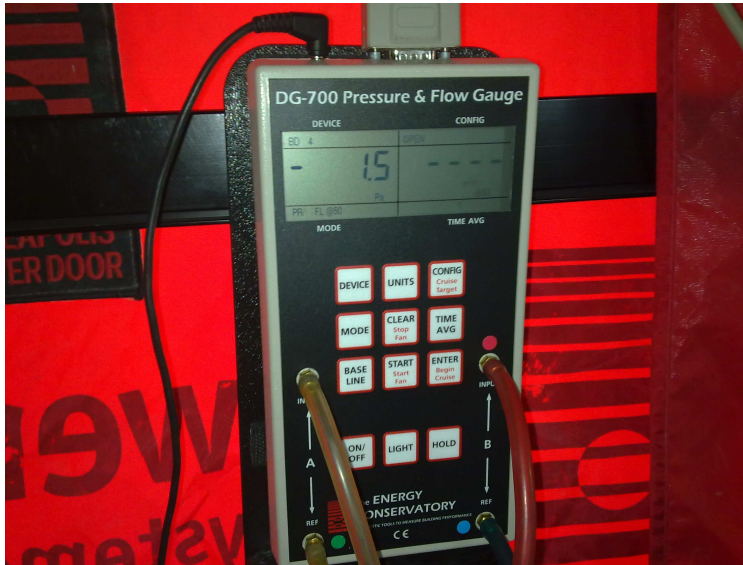
**KUVA 10. Ulkopuolinen letku kiinnitettynä kankaassa olevaan nuppiin**

Puhallinta asennettaessa täytyy huomioida, tehdäänkö ali- vai ylipaineekoe. Alipainetta mitattaessa puhalletaan ilmaa talosta ulos, jolloin puhallin tulee asentaa niin, että puhaltimen sulkurenkaat ovat sisälle päin (kuva 11), kun taas taloa ylipaineistettaessa tulee sulkurenkaiden olla ulospäin näkyvillä.



**KUVA 11. Alipaineistettaessa sulkurenkaat talon sisälle päin**

Kehikko ei tiivistänyt aivan kokonaan oviaukon nurkkia, joten teippiä täytyi hieman käyttää nurkkien tiivistyksessä. Kun kehikko on hyvin paikallaan ja puhallin asennettu, laitetaan DG-700 -painemittauslaite kehikon välitukeen kiinni (kuva 12). DG-700 -laitteessa ja puhaltimessa sekä nylonkankaassa on värikoodit letkuja varten olevissa nuppeissa. Tämän ansiosta letkut on helppo liittää oikein. DG-700 -mittauslaitteessa on paikat punaiselle, siniselle ja vihreälle letkulle. Vihreä letku vie laitteelta kankaassa olevaan nuppiin, joka on samalla kohdalla kuin ulkopuoleinen nuppi. Tämän letkun avulla saadaan ulkoilman paine. Sininen letku vie laitteelta sisälle muutaman metrin päähän ja ylipaineekoetta tehtäessä sininen letku liitetään puhaltimen päällä olevaan siniseen nuppiin. Punainen letku kiinnitetään laitteelta puhaltimen päällä olevaan punaiseen nuppiin (kuva 13). Punaisen letkun avulla saadaan paine-ero puhaltimen yli, josta paineenmittauslaite muuttaa sen puhaltimen läpi virtaavaksi ilmamääräksi, kunhan mittauslaite on syöttänyt tietokoneohjelmalle oikean sulkurenkaan tiedot. Kun letkut on kiinnitetty oikein, liitetään painemittauslaite kannettavaan tietokoneeseen. Tietokoneella oli Tectite-ohjelma, joka ohjaa puhallinta ja antaa syötettyjen lähtötietojen pohjalta automaattisesti tulokset.



**KUVA 12. DG-700 -paineenmittauslaite**



**KUVA 13. Letkuyhteet puhaltimen päällä**

## 6.4 Mittaus

Ennen varsinaista mittausta on hyvä alipaineistaa talo ja käydä kokeilemassa sormilla, onko tiivistetyt paikat oikeasti tiiviitä sekä varmistaa, että käytössä olevalla puhaltimen sulkurengaalla saadaan tehtyä tarpeeksi suuri alipaine taloon. Kohteessa täytyi lisätä keskuspölynimurin läpivientiin teippiä, koska siitä selkeästi vuoti ilmaa taloon. Kohteessa riitti tarvittavan ilmamäärään puhaltamiseen sulkurengas B. Puhaltimessa on 5 eri sulkurengasta ja niillä voidaan pienentää puhaltimen otsapintaa, jonka ansios-

ta puhallin sopii myös pienien ja melko tiiviiden rakennusten mittaamiseen. Kun läpiviennit oli tarkastettu ja tarpeelliset korjaukset tehty oli aika syöttää Tectite-tietokoneohjelmaan lähtötiedot. Ohjelmalle syötetään ulkoilman lämpötila, ilmanpaine, tuulen nopeus, sisäilman lämpötila sekä käytettävissä oleva sulkurengas. Ohjelma ilmoittaa, jos käytettävissä olevalla sulkurenkaalla ei pysty saavuttamaan haluttua paine-eroa.

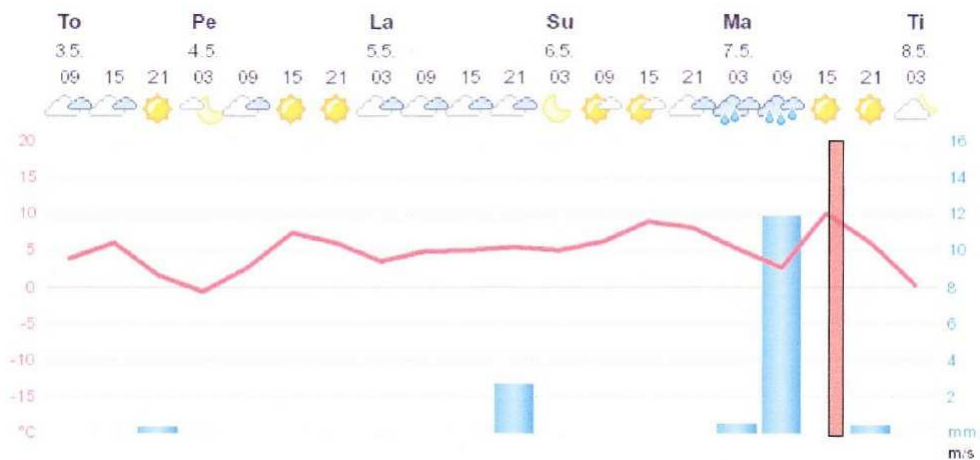
#### 6.4.1 Sääolosuhteet mittaushetkellä

Mittauspaikalla mitattiin lämpötila Ebro EB120-TH -mittarilla ja tuulisuus Skywatch Xplorer 1 -mittarilla. Mittauksessa ilmanpaineen oletettiin olevan 101,3 kilopascalia. Mittaustulokset taulukossa 6.

**TAULUKKO 6. Sää tiedot mittaushetkellä**

Ulkolämpötila	10,8 °C
Sisälämpötila	22,5 °C
Tuuli	0 m/s
Paine-ero	-1,9 Pa
Ilman paine	101,3 kPa

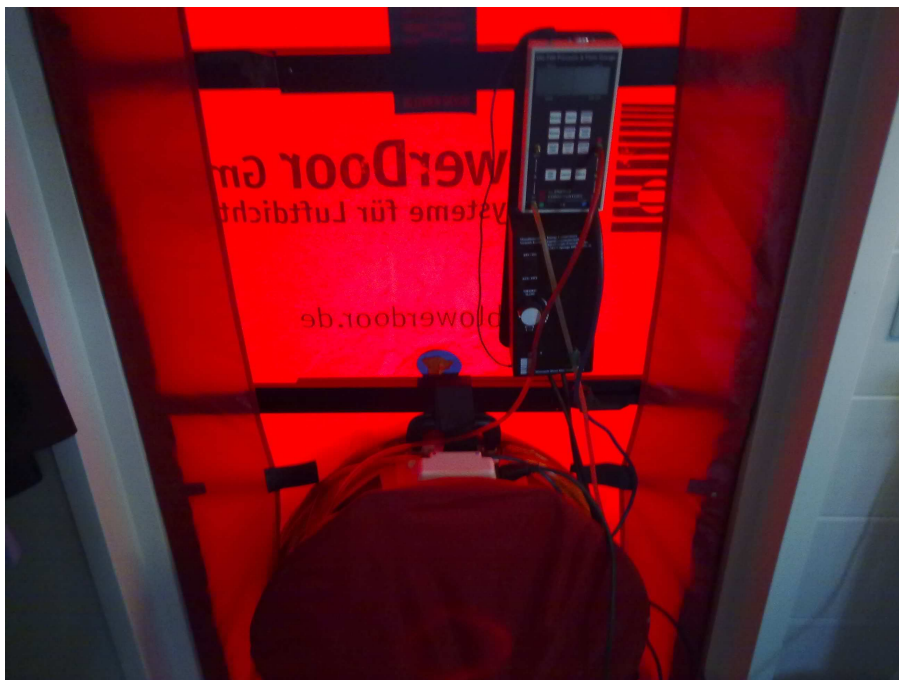
Kuvassa 14 punainen pystypalkki kuvaa mittaushetkeä.



**KUVA 14. Joensuussa toteutunut säätila ajanjaksolla 3.5-8.5.2012**

Tectite-tietokoneohjelma, joka ohjaa puhallinta, toimii automaattisesti, kunhan vaan lähtöarvot on syötetty ohjelmalle. Aluksi ohjelma mittaa aloituspaineen sisällä, joka oli kohteessa n. -2 Pa. Alkupainetta mitattaessa tulee puhaltimen olla peitettynä (kuva 15). Tämän jälkeen kone aloitti alipaineistamaan taloa puhaltamalla ilmaa talosta ulos. Koneelle asetettiin lähtöarvoissa pisteet, joissa kone mittaa ilmavirran ulos. Lähtöarvoiksi oli asetettu 55 Pa ja siitä aina 5 Pa välein 30 Pa saakka kone mittasi ilmamäärän ( $m^3/h$ ), joka talosta virtasi ulos.

Mitattujen pisteiden arvojen pohjalta ohjelma laskee ilmanvuotokäyrän, ja siitä saadaan ilmanvuotoluku  $q_{50}$ , kun katsotaan, millä ilmamäärällä käyrä leikkaa 50 Pa paine-eron. Lopussa puhallin mittaa vielä loppupaineen, joka ei saa heittää alkupaineesta yli 5 Pa, tai muutoin mittaus täytyy uusua.

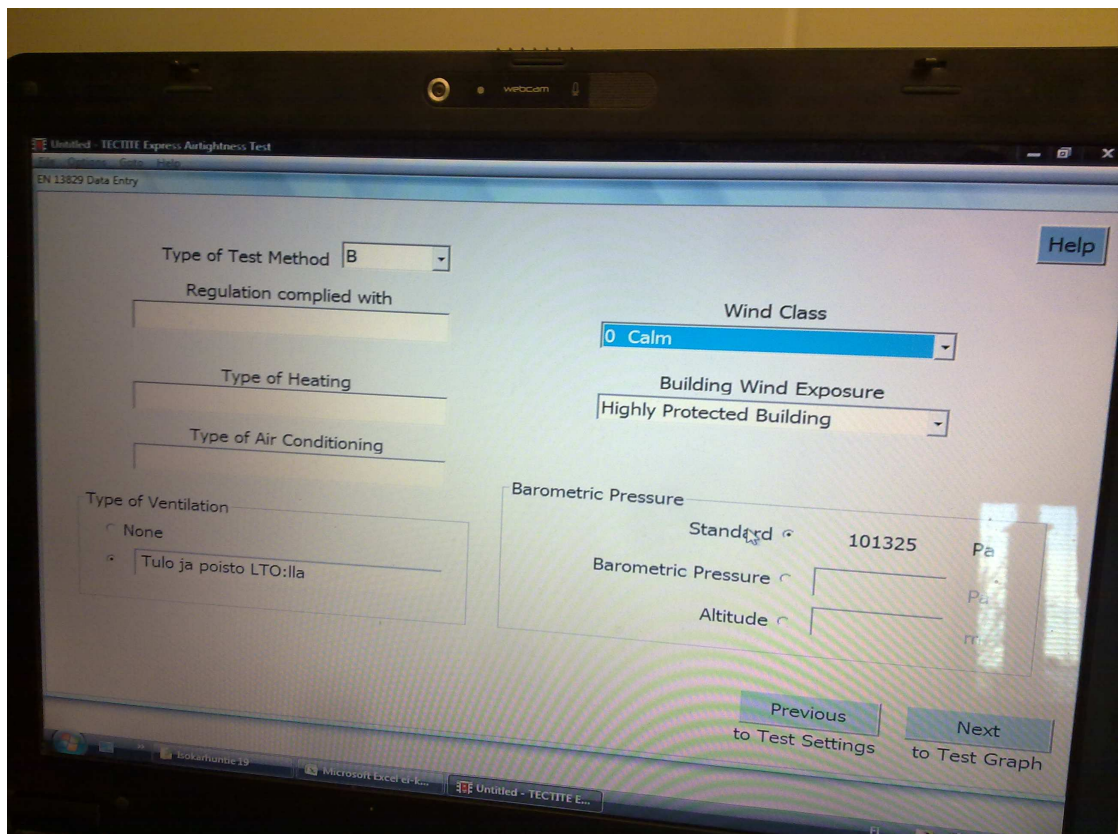


**KUVA 15. Alkupaineen mittauksessa puhallin on peitettynä**

### 6.5 Tectite-tietokoneohjelma

Minneapolis BlowerDoor -mittauslaitteiston kanssa käytettävä Tectite-ohjelma on hyvin yksinkertainen käyttää. Kun tietokone on päällä ja DG-700 -painemittauslaite on kytkettynä tietokoneeseen, avataan Tectite-ohjelma. Ohjelma on englanninkielinen, mutta se ei vaadi käyttäjältä kummoisia englannin kielen taitoja, koska ohjelma on pyritty tekemään hyvin yksinkertaiseksi. Alussa valitaan uusi testi. Ensimmäisessä

valikossa tulee antaa ohjelmalle tiedot puhaltimen tyypistä. Seuraavaan valikkoon syötetään mittauksen tekijän ja tilaajan tiedot sekä ulko- ja sisälämpötilat. Lisäksi tässä valikossa annetaan ohjelmalle talon tilavuus, lattian pinta-ala ja vaipan pinta-ala tiedot. Kolmas valikko ei vaikuta mittaukseen, mutta siihen voi laittaa kommentteja rakennuksesta yms. Neljänteen valikkoon laitetaan standardi, minkä mukaan mittaus tehdään ja mitataanko ali- vai ylipainetta. Suomessa mittaus tehdään standardin EN-13829 mukaan. Lisäksi tässä valikossa valitaan painepisteet, joissa ohjelma mittaa ilmamäärät ilmanvuotokäyrälle. Viidennessä valikossa valitaan mittausmenetelmä (A tai B). Suomessa on käytössä pääasiassa menetelmä B. Lisäksi tässä valikossa annetaan tiedot talon lämmitysjärjestelmästä, ilmanvaihtojärjestelmästä ja rakennuksen tuulelle altistumisesta. Rakennuksen tuulelle altistuminen on mittaajan itse arvioitava ja mahdollista on valita 3 eri vaihtoehtoa. Lisäksi mittaajan tulee mitatun tuulen nopeuden perusteella valita tässä valikossa tuulen nopeus valikosta, jossa on 0-8 mahdollista tuuliolosuhdetta (kuva 16). Kuudennessa valikossa tulee näkyviin kuvan 18 mukainen valikko, jossa aloitetaan testin tekeminen ja ohjelma piirtää ilmanvuotokäyrän kohteesta. Tässä valikossa alkupaineen ottamisen jälkeen valitaan sulkurengas, jolla mittaus suoritetaan. Testin jälkeen tulokset ovat heti tulostettavissa ohjelmasta.



**KUVA 16. Tectite-tietokoneohjelman valikko 5**



### 6.5.1 Ilmanvuotokäyrän johtaminen

Tectite-tietokoneohjelmalle syötettiin alussa (valikko 4) 6 pistettä 5 Pa välein, (lähtöarvot 55 Pa-30 Pa) joissa se mittasi ilmamäärän, jonka puhallin puhalsi tietyssä paine-erossa. Näiden pisteiden avulla ohjelma tekee automaattisesti ilmanvuotokäyrän, jonka avulla se sitten saa vuotoilmavirran 50 Pa:n paine-erossa (kuva 18). Puhaltimeen asennettavan sulkurenkaan tiedoista ja puhaltimen paine-erosta ohjelma laskee ilmamäärän puhaltimen läpi. Ohjelman täytyy ennen ilmanvuotokäyrän laskemista tehdä lämpötilakorjaus mitatulle ilmamäärälle. Ilman lämpötila vaikuttaa ilman tiheyteen, joka vaikuttaa ilman määrään, joten on tärkeää, että mittaja ilmoittaa tarkasti sisä- ja ulkolämpötilat sekä syöttää ohjelmaan tiedon, tehdäänkö mittaus ulkoa vai sisältä käsin. Ilmavirta korjataan yleensä vastaamaan 20 °C lämpötilaa. Jos käytössä on ohjelma, mikä ei tee lämpötilakorjausta voi sen tehdä käsin laskemalla kaavan 9 avulla. [2, s. 54.]

$$Q_{vuoto} = Q_{lukema} \sqrt{\frac{t_m + 273}{t_k + 273}} \times \left( \frac{20 + 273}{t_m + 273} \right) \quad (9)$$

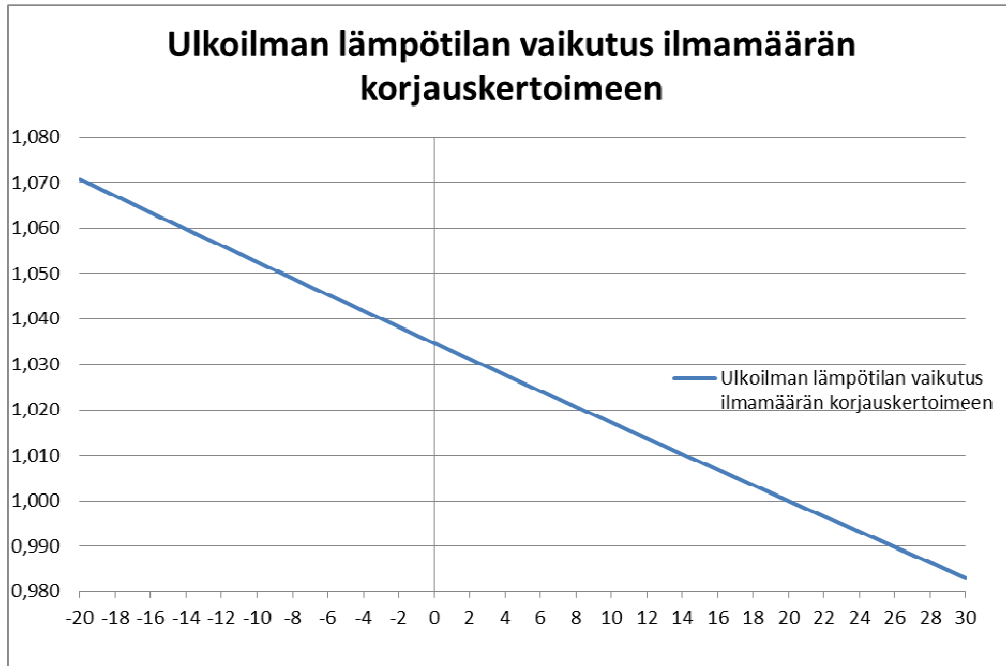
$Q_{vuoto}$  = korjattu ilmavirtaus [ $m^3/h$ ]

$Q_{lukema}$  = luettu ilmavirtaus [ $m^3/h$ ]

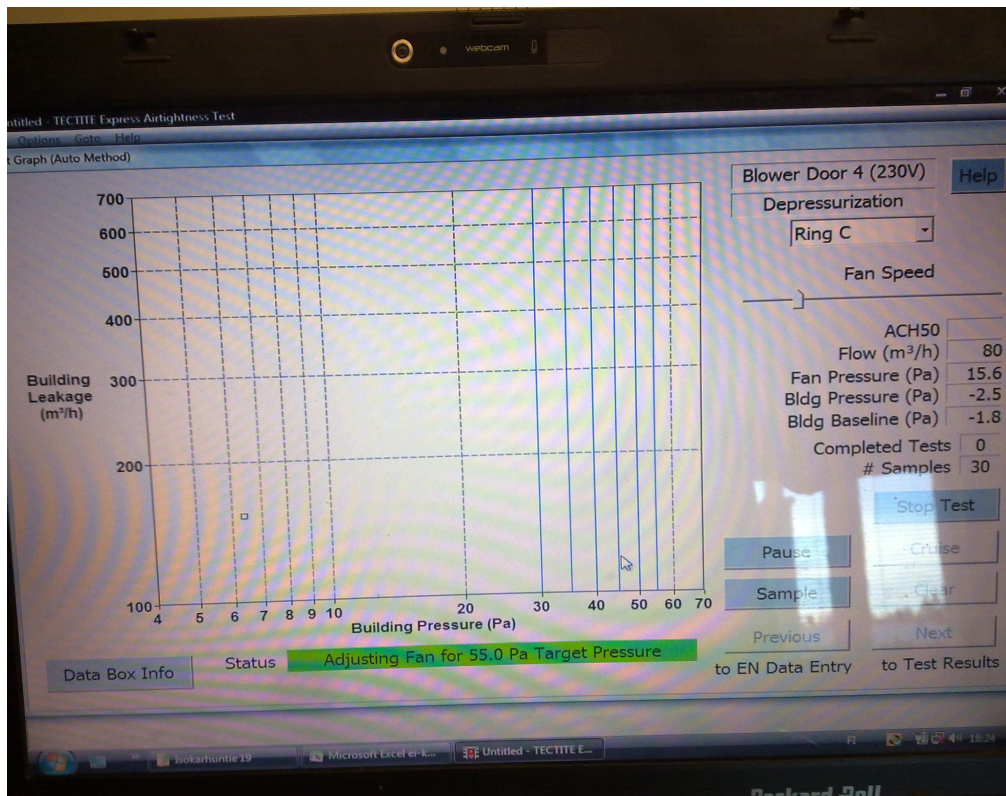
$t_m$  = mittauslaitteiston läpi virtaavan ilman lämpötila [ $^{\circ}C$ ]

$t_k$  = mittauslaitteiston kalibrointilämpötila [ $^{\circ}C$ ] (yleensä 20 °C)

Kuvassa 17 on esitetty ulkoilman lämpötilan vaikutus ilmamäärän korjauskertoimeen, kun kalibrointilämpötila on 20 °C.



**KUVA 17. Ulkoilman lämpötilan vaikutus ilmamäärän korjauskertoimeen, kun kalibrointilämpötila on 20 °C. Jos esimerkiksi rakennuksessa tehdään yli-painemittaus ja ulkoilman lämpötila on -20 °C, täytyy mitattu ilmamäärä kertoa 1,071, jotta saadaan todellinen ilmavirta.**



**KUVA 18. Tectite-tiiviysmittausohjelma tekee ilmanvuotokäyrää**

## 6.6 Mittaustulokset

Koekohteen vuotoilman määrä rakennusvaipan läpi 50 Pa:n paine-erolla oli n. 570 (m<sup>3</sup>/h). Kun vuotoilman määrä 50 Pa:n paine-erossa jaetaan rakennuksen vaipan pinta-alalla, saadaan rakennuksen ilmanvuotoluku q<sub>50</sub> (m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)). Kohteen vaipan pinta-ala on 411 m<sup>2</sup>. Kaavan 1 avulla saadaan laskettua kohteen ilmanvuotoluku q<sub>50</sub>.

$$g_{50} = g_v / A_E$$

$$q_{50} = 570 \text{ (m}^3\text{/h)} / 411 \text{ m}^2 = 1,386 = 1,4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$$

Kohteen ilmatilavuus on 392 m<sup>3</sup>, joten kohteen ilmanvuotoluku n<sub>50</sub> saadaan kaavan 2 avulla.

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

$$n_{50} = 570 \text{ (m}^3\text{/h)} / 392 \text{ m}^3 = 1,45 = 1,5 \text{ 1/h}$$

Tectite-tietokoneohjelman tekemät tulosteet mittauksesta näkyvät kuvissa 19, 20 ja 21. Kuvassa 19 näkyvät ohjelman antamat tiedot mittauksesta. Ohjelma kertoo mm. suoraan kohteen n<sub>50</sub>- ja q<sub>50</sub>-luvut. Lisäksi tuloksissa näkyvät ilmamäärä V50 (m<sup>3</sup>/h), joka tarkoittaa ilmamäärää, mikä talosta piti puhaltaa ulos, jotta saatiin 50 Pa paine-ero ulkovaipan yli. Tärkeimpiä tietoja tuloksissa edellä mainittujen lisäksi ovat mittausmenetelmä, mittaushetken säätiedot, mittauksen tarkkuustiedot, mittausvälineet sekä rakennuksen laajuustiedot.

**Test Results at 50 Pascals:**

V50: Airflow (m <sup>3</sup> /h)	570 (+/- 0.7 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.45
w50: m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> Floor Area)	4.24
q50: m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> Surface Area)	1.39

**Leakage Areas:**

201.1 cm<sup>2</sup> (+/- 4.3 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.49 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> Surface Area  
 100.7 cm<sup>2</sup> (+/- 7.0 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.25 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> Surface Area

**Building Leakage Curve:**

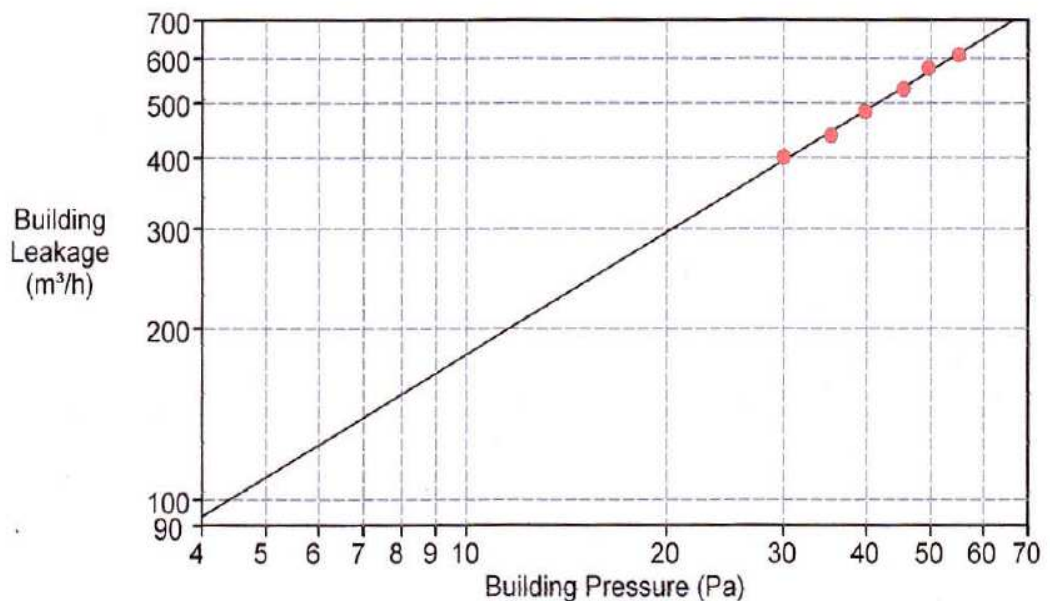
Air Flow Coefficient (C<sub>env</sub>) = 34.3 (+/- 11.0 %)  
 Air Leakage Coefficient (CL) = 34.7 (+/- 11.0 %)  
 Exponent (n) = 0.716 (+/- 0.029)  
 Correlation Coefficient = 0.99673

Test Standard:	EN 13829	Test Mode:	Depressurization
Type of Test Method:	B	Regulation complied with:	
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door, S/N 15642-106		

Inside Temperature:	23 °C	Volume:	392 m <sup>3</sup>
Outside Temperature:	11 °C	Surface Area:	411 m <sup>2</sup>
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	135 m <sup>2</sup>
Wind Class:	0 Calm	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Protected Building	Building Dimensions:	5 %
Type of Heating:		Year of Construction:	2012
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	Tulo ja poisto LTO:lla		

**KUVA 19. Tectite-tiiviysmittausohjelman antamat tulokset**

Tectite ohjelmasta pystyy tulostamaan suoraan ilmanvuotokäyrän, jossa näkyy lähtöarvoissa annetut pisteet. (Kuva 20)

**KUVA 20. Tectite-ohjelman laskema ilmanvuotokäyrä**

Ohjelma antaa kaksisivuisen raportin mittauksesta. Toisella sivulla näkyy mittausajankohta, kommentit sekä 6 eri mittauspisteessä puhallettu ilmamäärä sekä alku- ja loppupaineet. Lisäksi siitä näkee, mikä sulkurengasta on käytetty ja miten suuri mittausvirhe on kussakin pisteessä. (Kuva 21.)

#### BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 7.5.2012 Test File: mittaustuloste\_isokarhantie19

#### Comments

tarkoituksen mukaiset aukot tiivistety palloilla, kesкупölyn imuri, liesituuletin, takka/leivinuuni

#### Data Points: Depressurization

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m <sup>3</sup> /h)	Temperature Adjusted Flow (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-1.8	n/a				
-56.6	60.0	625	608	-0.5	Ring B
-51.1	53.9	592	576	1.7	Ring B
-47.1	45.4	543	529	-0.8	Ring B
-41.3	37.7	496	483	-0.3	Ring B
-36.9	31.1	451	439	-1.5	Ring B
-31.6	26.0	412	401	1.4	Ring B
-1.4	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.8 p01+ = 0.0 p02- = -1.4 p02+ = 0.0

#### KUVA 21. Tectite-tiiviysmittausohjelman laskemat tulokset eri pisteissä

Kohteen ilmanvuotoluvuksi  $q_{50}$  saatiin 1,4 (m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)) ja  $n_{50}$ -luvuksi tuli 1,5 1/h. Kyseisellä ilmanvuotoluvulla kohde pääsee tiiviysmittausluokkaan C (kuva 22). Talon tilaaja ei asettanut mitään erityisiä tiiviysvaatimuksia talolle, joten C-luokkaan pääsy on hyvä suoritus.

TIIVIYSMITTAUSLUOKITUS		$q_{50}$ -luku
Alle 0,6	<b>A</b>	
0,7-1,0	<b>B</b>	
1,1-1,5	<b>C</b>	1,4
1,6-2,0	<b>D</b>	
2,1-3,0	<b>E</b>	
3,1-4,0	<b>F</b>	
Yli 4,1	<b>G</b>	

#### KUVA 22. Kohde menee tiiviysluokkaan C

## 7 MITTAUKSIIN LIITTYVÄT KUSTANNUKSET JA KOULUTUS

Etsin tietoa yleisimmin tiiviysmittauksessa käytettävistä puhaltimista ja laitteista sekä lisäksi kysyin tietoa tiiviyn mittaajien koulutuksesta Juha Krankkalta. Krankka toimii koulutuspäällikkönä RATEKOLLA, joka kouluttaa tiiviynmittaajia.

### 7.1 Mittauskalustoa

Löysin viisi erilaista kaupallista puhallinmallia, jotka on esitelty taulukossa 7.

**TAULUKKO 7. Tyypillisimmät Suomessa käytössä olevat tiiviysmittauslaitteistot [2, s. 30]**

MERKKI	VALMISTUSMAA	KÄYTTÖALUE		MITTAUS TARKKUUS
		(m <sup>3</sup> /h) (50 Pa) MIN	(m <sup>3</sup> /h) (50 Pa) MAX	+/- %
Retrotec malli 1000	USA/KANADA	8	9514	3
Retrotec malli Q4E	USA/KANADA	65	13592	3-5
Minneapolis	USA	19	7200	3
Wöhler	SAKSA	?	3000	?
Swema	RUOTSI	?	1120	?

Suurin kustannus mittauksiin ryhtyvälle on alkuinvestointi mittausvälineisiin. Varsin yleinen tiiviysmittauksissa käytettävä puhallin on Minneapolis BlowerDoor. Suomessa kyseistä laitetta myy ainakin Suunnittelutoimisto Dimensio Oy, ja heillä vakiopakettin hinta on 4790 euroa ja se sisältää puhaltimen, sulkurenkaat A-E, asennuskehiksen, nylon-kankaan, DG-700 4-kanavinen paineyksikkö, puhaltimen säätimen, letkut, Tec-tite-tietokoneohjelmiston, tietokoneen telineen, tiivistyspakin, kalibrointitodistuksen ja ohjekirjan. [8.]

Mittauksen suorittaminen rakennuksen omalla ilmanvaihtokoneella ei vaadi erillistä puhallinta, mutta mittaus vaatii ilmavirtauksen nopeusmittarin sekä paine-eromittarin. Esimerkiksi Airflow TA465- mittari soveltuu hyvin molempiin tehtäviin, mutta täytyy muistaa, että mittauksen aikana tarvitsee mitata samanaikaisesti paine-eroa vaipan yli sekä puhaltimen ilmavirtaa, joten mittareita tarvitaan ainakin 2 kappaletta. Kyseistä mittaria myy Suomessa esim. Kimrok Oy, ja sen hinta on n. 1900 euroa (alv 0%). [9.]

## 7.2 Mittaajan koulutus

Sertifioituja rakennusten tiiviiden mittaajia on koulutettu vuodesta 2009 lähtien [10]. VTT hyväksyy Suomessa henkilösertifioidut tiiviidenmittaajat. Henkilösertifioiduksi tiiviidenmittaajaksi pääsy edellyttää osallistumisen VTT Expert Services Oy:n hyväksymän koulutusorganisaation järjestämään koulutukseen, jossa on suoritettava tentti ja näyttökoe. Saadaksean sertifikaatin on hakijan lähetettävä hakemuslomake, jonka liitteenä todistus hyväksytysti suoritetusta tentistä ja näyttökokeesta sekä kasvokuva itsestään VTT:lle. [11.]

Tiiviiden mittaajan henkilösertifiointikoulutukseen pyrkivältä edellytetään rakenteiden, niiden toiminnan ja rakennusmateriaalien hyvää tuntemusta. Lisäksi hakijan on hallittava lämpökameroiden käyttö rakennusten lämpökuvauksessa. Suositeltavaa on, että hakijalla on lämpökuvaajan henkilösertifikaatti tai kansainvälinen Level 1-tason koulutus lämpökuvauksesta tai muuta aikaisempaa koulutusta tai työkokemusta. [12.]

Rateko on VTT:n hyväksymä koulutusorganisaatio, joka kouluttaa Suomessa tiiviiden mittaajia. Vuonna 2012 rakennusfysiikan ja tiiviiden mittaus-henkilösertifiointi-ohjelman veroton hinta on 1850 euroa. Jos henkilöllä on jo rakennusfysiikan osuus suoritettu esim. lämpökuvaajakoulutuksen yhteydessä, on pelkän tiiviidenmittaajakoulutuksen veroton hinta 1150 euroa. Kaikkien kolmen koulutuksen (rakennusfysiikka, tiiviidenmittaus ja lämpökuvaus) yhteishinta on 3000 euroa. [12.]

Rateko on yleensä kouluttanut tiiviidenmittaajia kaksi kertaa vuodessa. Se on järjestänyt koulutuksia kysynnän mukaan, mutta yleensä ainakin yksi kurssi keväisin ja yksi syksyisin. Koulutus kestää 3 päivää ja kurssit järjestetään Hämeenlinnassa. [12.]

### 7.2.1 Sertifikaatin voimassaolo

Henkilösertifiointi toiminta on EN-standardilla säädeltyä toimintaa, joten sertifikaatin voimassa oloaikana on haltija velvoitettu osallistumaan vähintään kerran hyväksytyyn oppilaitoksen järjestämään täydenniskoulutukseen. Tiiviiden mittaajille järjestetään täydenniskoulutuksena suurien kohteiden tiiviiden mittaus, joka kestää kaksi päivää

ja maksaa 850 euroa. Lämpökuvaajille täydenniskoulutuksena hyväksytään tiiviyden mittaaja-koulutus. [12.]

Aluksi VTT-henkilösertifikaatti myönnetään kahdeksi vuodeksi, ja tämän jälkeen sertifikaatti uusitaan kahdeksi tai viideksi vuodeksi kerrallaan. Edellytyksenä henkilösertifikaatin uusimiselle on sertifiointivaatimusten täyttyminen. Mikäli sertifikaatin haltija ei maksa vuosimaksua tai toimita koulutus- ja työkohdetietoja säännöllisesti, sertifikaatti vanhenee ja sen voimassaolo lakkaa. Sertifikaatin voimassa olo vaatii taulukossa 8 esitettyjä asioita. [11.]

#### **TAULUKKO 8. Sertifikaatin voimassaolon vaatimuksia [11]**

Luettelo työkohteista
Raportti 1-2 kertaa vuodessa tehdyistä töistä VTT:lle
Ilmoitus muutamasta mahdollisesta tarkastus kohteesta VTT:lle
Osallistuminen täydenniskoulutukseen
Käytyjen täydenniskoulutusten ilmoittaminen VTT:lle
Ajankohtaisten yhteystietojen lähettäminen VTT:lle
Sertifikaatin vuosimaksun maksaminen joka vuosi



## 8 YHTEENVETO

Selvitin opinnäytetyössäni, kuinka rakennuksen tiivyyttä mitataan ja minkä hintaisia laitteita mittaamiseen tarvitsee hankkia. Tutkimukseni noudatteli pääpiirteissään standardin SFS-EN 13829 ja RT 80-10974. 2009-kortin mukaisia menetelmiä.

Tiiveyden mittauksissa alkuinvestointi laitteisiin ja koulutukseen on melko suuri, mutta kun laitteet kerran hankkii ja käy koulutuksen, sen jälkeen ei kustannuksia juurikaan tule. Mittauslaitteisto ja koulutus ovat sen verran kalliita, jotta mielestäni mittauksiin ryhtyvän on tehtävä mittauksia kokopäivätyönä, jotta mittauksista saa kannattavia.

Mielestäni on erittäin hyvä, että  $n_{50}$ -luku jätettiin kokonaan pois 1.7.2012 ja siitä eteenpäin käytetään ainoastaan  $q_{50}$ -lukua. Muutos voi alussa tuoda hieman epäselvyyksiä joissain tilanteissa vanhoille mittajille, mutta uusien tiivyydenmittaajien ei tarvitse enää miettiä, miksi on kaksi ilmanvuotolukua, koska jatkossa on vain yksi. Lisäksi nykyään voidaan vertailla paremmin suuria ja pieniä kohteita keskenään, koska aikaisemmin, kun käytettiin  $n_{50}$ -lukua, saivat suuret kohteet todellista parempia ilmanvuotolukuja. Tämä johtui siitä, että yleensä kun rakennuksen sisätilavuus kasvaa, niin kasvaa myös sisätilavuuden suhde rakennuksen vaipan pinta-alaan, joten  $n_{50}$ -luku pienenee.

Opin opinnäytetyötä tehdessäni, kuinka rakennuksen tiiviyys mitataan teoriassa ja käytännössä. Lisäksi sain huomattavasti lisää tietoa ilmanpitävyyden tärkeydestä ja sen merkityksestä lämmitysenergian säästöissä. Myös käsitykseni ilmanvaihdon oikeanlaisesta ja tarkasta säätämisestä tiiviissä talossa tarkentui. Työni aikana heräsi myös kysymyksiä mm. nykyisten puutalojen höyrynsulun teippauksien kestävydestä. Uudet talot ovat varmasti tiiviitä vielä uutena, mutta miten kauan höyrynsulun teippaukset kestävät? Sen takia puutaloissa olisi mielestäni hyvä tehdä tiiviysmittauksia seuranta mielessä esim. 5 vuoden välein, jotta saisimme lisää tietoa höyrynsulun toiminnasta ja voisimme tulevaisuudessa kehitellä parempia menetelmiä tehdä tiiviitä puutaloja.

Mielestäni koekohteen mittaus meni kaikin puolin mallikkaasti ja tulokset olivat luotettavia. Omakotitalon tiiviydenmittausta lukuun ottamatta työ oli lähinnä tiedon keruuta ja olennaisten asioiden kirjoittamista. Mielestäni saavutin melko hyvin tärkeimmät tavoitteet, joita työlle asetettiin. Mittauksia olisi voinut olla useampia, mutta ajan puutteen vuoksi ei ollut mahdollista tehdä useampaa mittausta. Haastavinta työssäni oli löytää käytännön tietoa mittauksista, mutta helmikuussa 2012 Sauli Paloniitty julkaisi aiheesta kirjan, josta oli suuri apu etsiessäni tietoa mittauksesta ja mittauksissa käytettävästä kalustosta.

Kiitän Insinööritoimisto Jormakka Oy:ta mahdollisuudesta tämän opinnäytetyön tekemiselle. Lisäksi haluan kiittää Mari Hälistä mahdollisuudesta osallistua hänen kanssaan tiiviysmittaukseen sekä Heikki Salomaata työni ohjauksesta ja Juha Krankkaa konsultaatioavusta.

**LÄHTEET**

- 1 RT 80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmapiitävyyden laadunvarmistusohje. Rakennustieto Oy.
- 2 Paloniitty, Sauli. Rakennusten tiiviysmittaus Tampere: Suomen Rakennusmedia Oy. 2012
- 3 Ympäristöministeriö2009.[Verkkodokumentti].2010.Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=368022&lan=FI>.  
Päivitetty 14.10.2010. Luettu 15.2.2012.
- 4 Kauppinen, Ojanen, Kovanen, Laamanen &Vähäsöyrinki 2009. Rakennustenilmanpitävyys:[Verkkodokumentti].2009. Saatavissa:  
[http://www.sisailmayhdistys.fi/attachments/sem2009/kauppinen\\_timo.pdf](http://www.sisailmayhdistys.fi/attachments/sem2009/kauppinen_timo.pdf)  
f Päivitetty 27.5.2009. Luettu 6.1.2012.
- 5 Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, Helsinki. 2012
- 6 SFS-EN 13829 Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified). European standard, CEN 2000.
- 7 Roto, J . 2012. Energia-asiaa (D5) 2012 PowerPoint-esitys . Suomen LVI-liitto.
- 8 DimensioOy 2012.[Verkkodokumentti].2010.Saatavissa:  
<http://www.dimensio.org/Dimensio-BlowerDoor-hinnasto.pdf> Päivitetty  
1/2010. Luettu 15.2.2012.

- 9 KimrokOy 2012.[Verkkodokumentti].2012.Saatavissa:  
<http://www.kimrok.fi/sivut/ilmavirtaus-ilmamaeaeraemittarit/airflow-ta460-monitoimimittari> Päivitetty 14.4.2012 . Luettu 14.4.2012.
- 10 Paloniitty, Sauli. Energiatehokkaan rakentamisen laadunvalvonta 2010.[Verkkodokumentti].Saatavissa:  
<http://www.ara.fi/download.asp?contentid=23592&lan=fi> Päivitetty 6.4.2010. Luettu 2.4.2012.
- 11 VTT Expert Services Oy, 2012. [Verkkodokumentti].Saatavissa:  
<http://www.vttexpertservices.fi/certifications/>.  
Päivitetty 6.1.2012. Luettu 6.1.2012.
- 12 Krankka, Juha 2012. Re: Rakennusten tiiviiden mittaja- henkilösertifiointikoulutus. Sähköpostiviesti. 25.4.201