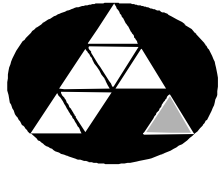


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Jukka Vepsäläinen

ILMANVUOTOLUVUN MITTAUS MINNEAPOLIS BLOWERDOOR
MODEL 4.1 - JÄRJESTELMÄLLÄ

Opinnäytetyö
Toukokuu 2011



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2011
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)
Jukka Vepsäläinen

Nimeke
Ilmanvuotoluvun mittaus Minneapolis Blowerdoor model 4.1 – järjestelmällä

Toimeksiantaja
Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorio

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tilaajana toimi Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorio. Rakennuslaboratorio suorittaa erilaisia rakennusmateriaali testauksia ja kuntotutkimuksia rakennuksille. Rakennuslaboratorio halusi ohjekirjan Minneapolis Blowerdoor laitteelle, jotta pääsevät toteuttamaan n_{50} -lukumittauksia.

Opinnäytetyönä toteutettiin Minneapolis Blowerdoor laitteen ja Tectite-hallintaohjelman käyttöohjeet. Opinnäytetyön aikana toteutettiin käyttöohjeiden ja Blowerdoor laitteen testaus pientalossa. Ilmatiiveys mitattiin standardin SFS-EN 13829 mukaan.

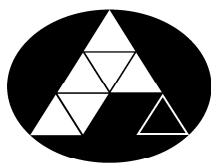
Ilmavuodot ovat haitallisia rakenteille ja ihmiselle. Ilmavuotojen takia talon energiankulutus voi olla yli 20 % suurempi, kuin hyvin ilmanpitävässä talossa. Ihmiselle haitallisia epäpuhtauksia kulkeutuu vuotoilman mukana rakenteista sisään, jos rakennuksen ilmatiiveyttä ei ole tehty huolellisesti.

Tutkimuskohteelle suoritettun n_{50} -mittauksen tulokseksi saatiin 1.36 1/h. Tulos on alle vuoden 2010 rakentamismääräysten vertailuarvon 2.0 1/h. Ilmatiiveys on monen tekijän summa rakenteissa. Hyvän ilmatiiveyden saanti ei vaadi suuria kustannuslisiä, vaan huolellista ja harkittua työtä.

Kieli
suomi

Sivuja 36

Asiasanat
 n_{50} -luku, Blowerdoor, Tectite



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
May 2011
Degree Programme in Construction
engineerin
Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358-13-260 6800

Author(s)
Jukka Vepsäläinen

Title
Airflow n50 Measurement with a Minneapolis Blowerdoor model 4.1 -system

Commissioned by
North Karelia University of Applied Sciences Construction Laboratory

Abstract

This thesis was commissioned by the Construction Laboratory of the North Karelia University of Applied Sciences. The construction laboratory performs different types of construction material tests and condition inspections for the buildings. The construction laboratory also wanted a user manual for the Minneapolis Blowerdoor machine, so that they may execute n₅₀-number measurements.

In the thesis software manuals were made for the Minneapolis Blowerdoor machine and the Teclite controller software manuals. During the thesis there was made a testing for the Blowerdoor machine and the user manual at a detached house. The air tight measurement was executed as the standard SFS-EN 13829 states.

Air leaks are harmful for the structures and the people. Due to air leaks the energy consumption of the house may rise up to 20% higher than in a house with good air tightness. If the air tightness is not properly made, contaminants that are harmful to man may get in with the leaking air from the structures.

The n₅₀ measurement result was 1.36 1/h. The result is under the year 2010 construction orders reference value 2.0 1/h. Air tightness is a sum of various variables when it comes to structures. It does not demand massive expenses to achieve a good air tightness, but careful and considerable work.

Language
Finnish

Pages 36

Keywords

Blowerdoor, Tectite, n₅₀-number

Sisältö

1	JOHDANTO.....	5
2	ILMANVUOTOLUKU.....	6
	2.1 Ulkovaipan ilmapitävyyden mittaus.....	6
	2.2 Ilmapitävyys.....	8
	2.3 Ilmanvuotoluku säästää energiaa	8
3	ILMANSULKU JA ILMANVUOTO ERI RAKENTEISSA	9
	3.1 Tyypilliset ilmapuodot rakennuksessa	10
	3.2 Ilmanvuotopaikkojen määrittystapoja	11
4	ILMANVUOTOLUVUN LASKENTAA	12
5	MITTAUKSESSA KÄYTETTÄVÄT LAITTEET, OHJELMAT JA NIIDEN ASENNUS JA KÄYTTÖ	14
	5.1 Tarvittavat laitteet	14
	5.2 Talon tiivistäminen mittausta varten	15
	5.3 Laitteen asentaminen.....	17
	5.4 Tectite-hallintaohjelman käyttö	25
	5.5 Tiiviysmittausraportti	33
6	POHDINTA.....	34
	LÄHTEET	36

1 JOHDANTO

Opinnäytetyönä tein Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriolle Blowerdoor model 4.1:n (kuva 1) käyttöohjeet siitä, miten suoritetaan rakennuksen ilmanvuotoluvun mittausta. Opinnäytetyöhön oli, myös tarkoituksena kirjoittaa ilmanvuotoluvusta ja ilmatiiveydestä. Aihe tuli koululta, että rakennuslaboratorio saisi Blowerdoor laitteen käyttöön ja pääsisi sitä kautta tekemään mittauksia asiakkaille.



Kuva 1. Blowerdoor model 4.1

Tavoitteena on tehdä yksinkertainen selostus ilmanvuotoluvun mittauksen suorittamisesta Blowerdoor model 4.1. Toisena tavoitteena on yrittää kertoa, mitä vaikutusta ilmanvuotoluvulla ja ilmatiiveydellä on ja mihin sitä tarvitaan. Kol-

manneksi mitattiin ilmanvuotoluku vuonna 2007 valmistuneeseen rakennukseen. Mittaustulokset ovat asiakkaan pyynnöstä salaiset. Minneapolis blower-door laitteen käytöstä ja asennuksista löytyy Minneapolis BlowerDoor™ Operation manual for model 3 and model 4 systems ja Operating instructions for the DG-700 pressure and flow gauge. [3;4]

2 ILMANVUOTOLUKU

Ilmanvuotoluku n_{50} kuvaa rakennuksen vaipan ilmapitävyyttä. Ilmanvuotoluku kertoo sen, kuinka monta kertaa tunnissa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu, kun sisä- ja ulkoilman paine-ero on 50 Pascalia. Ilmanvuotoluvun yksikkönä käytetään 1/h [8]. Ilmanvuotoluvun ollessa pieni on rakennuksen ilmapitävyys silloin hyvä. Asumisen, rakennuksen rakenteiden, sisäilman, ilmastointi- ja lämmityslaitteiden kannalta ilmanvuotoluku n_{50} tulisi olla noin 1 1/h. [9]

Ilmavuodolla tarkoitetaan ilmavirtausta rakennuksen vaipan läpi. Ilmavirtauksen aiheuttaa paine-ero ulkovaipan molemmilla puolilla. Ilmavirtaus rakenteiden läpi ei ole hyvä asia tapahtui se ulkoa sisään tai sisältä ulos. Ilmavirran kulkiessa sisältä ulospäin vie ilmavirta kosteutta rakenteisiin, joka aiheuttaa kosteusvaurioriskin. Ulkoilman virratessa sisäänpäin aiheuttaa se epäviihtyvyyttä ja tuo rakenteiden läpi epäpuhtauksia. Kumpikin vuoto muoto kasvattaa energian kuluusta rakennuksessa.[7]

2.1 Ulkovaipan ilmapitävyyden mittaus

Rakennuksen kaikki aukot tukitaan (hormit, ilmanvaihtoventtiilit). Tukkimisen jälkeen sisälle aiheutetaan 50 Pascalin ylipaine ulkoilmaan nähden ja suoritetaan mittaus. Tulos otetaan ylös ja suoritetaan sama mittaus niin, että sisälle aiheutetaan 50 Pascalin alipaine ulkoilmaan nähden. Saaduista tuloksista lasketaan keskiarvo, joka on rakennuksen ulkovaipan todellinen ilmanvuotoluku. [8]

Mittauksessa tulee ottaa huomioon kaikki rakennuksen lämpimät ja pääkäyttö-tarkoitukseen tarkoitettut tilat. Myös kaikki tilat, jotka ovat ulkovaipan sisäpuolella tai samassa ilmanvaihtoteknisessä osastossa tulee ottaa mukaan mittaukseen. [8]

Mittaus edellyttää, että tuulen nopeus on alle 6 m/s. Tuulen nopeuden ollessa yli 6 m/s tulee nolla-paine-erojen keskimääräinen arvo nousemaan yli 5 Pascalin. Eurooppalainen standardi SFS-EN 13829 (2000) sanoo, että kokeen tulosta ei tulisi hyväksyä, jos nolla-paine-erojen keskimääräinen arvo on yli 5 Pascalia. Mittausta ei tulisi myöskään tehdä, jos sisä- ja ulkolämpötilojen erotus kerrottuna rakennuksen korkeudella (savupiipun harjaan mitattuna) ylittää arvon 500 m°C (esimerkki 1). Tässä tapauksessa saattaa terminen paine-ero muodostaa alipaineen alempaan kerrokseen ja ylipaineen ylempiin kerroksiin, jolla voi olla vaikutusta mittaustulokseen. [8;2]

Esimerkki 1. Ulkolämpötila on -20 °C, sisälämpötila on 20 °C ja talon korkeus 20 m.

$$(-20^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) * 20\text{m} = 800 \text{ m}^{\circ}\text{C}$$

Tapauksessa terminen paine-ero on muodostunut liian suureksi, eikä mittausta tulisi suorittaa.

Uudisrakennus kohteissa ilmatiiveysmittaus olisi hyvä suorittaa, kun ilmansulku ja kaikki mahdolliset läpiviennit ovat asennettuina. Tämä sen takia, että ilmanvuoto kohdat on helppo korjata, kun pintamateriaaleja ei ole vielä asennettu. Ilmanvuotoluvun mittaaminen ennen pintamateriaalien asentamista on myös taloudellisesti edullisempaa, kuin vasta silloin kun talo on jo valmiina.

Tiiveysmittauksen tulosten perusteella voidaan tarkastella myös työnjälkeä. Tuloksista voidaan päätellä onko työ tehty huolellisesti, hyvin suunnitellusti ja ovatko työhön käytetyt materiaalityratkaisut olleet järkeviä.

2.2 Ilmapitävyys

Haluttaessa rakennukseen hyvä ilmapitävyys, tulisi sitä ruveta miettimään jo ensimmäisiä suunnitelmia tehtäessä. Suunnitteluvaiheessa on hyvä miettiä läpivientejä ja niiden paikkoja. Tulisi myös välttää suunnittelemasta ilmansulullisesti vaikeasti toteutettavia rakenteita. Ilmapitävyys on silloin hyvä, kun rakennusvaipan kaikki osat ja liitokset ovat tiiviit ja huolellisesti tehty.

2.3 Ilmanvuotoluku säästää energiaa

Hyvin ilmapitävä talo säästää, myös energiaa. Ilmanvuoto luvun ollessa yksi syntyy huomattava energian säästö, kun ilmanvuotoluvun ollessa neljä. Tämä selviää Oulun rakennusvalvonnan tekemästä taulukosta 1.

Taulukko 1. Ilmanvuotoluvun vaikutus lämmitysenergiatarpeeseen. [5]

Ilmanvuotoluku	Sanallinen arvio	Energian säästö
<0,6	Passiivi talo	>10 %
<1,0	erittäin hyvä	7-10 %
1-2	hyvä	0-7 %
2	rakennus määräysten vertailutaso	0 %
2-3	tydyttävä	-0-7 %
3-4	huono	-7-14 %
>4	erittäin huono	>-14 %

Hyvän ilmanvuotoluvun saaminen ei vaadi suuria investointilisäyksiä. Hyvän ilmanvuotoluvun saaminen vaatii tarkkaa ja huolellista työtä siinä vaiheessa, kun asennetaan ilmansulkua.

3 ILMANSULKU JA ILMANVUOTO ERI RAKENTEISSA

Erilaisissa rakenteissa ilmansulkuna toimivat eri rakenteet ja rakennusaineet. Eristekevytsoraharkkorakenteissa ilmansulkuna toimivat useimmiten tasoitteet ja pintarappaus. Puurankarakenteissa ilmansulku on myös usein höyrynsulku ja se toteutetaan yleensä muovikalvoilla. Betonirakenne on itsessään jo tarpeeksi hyvin ilmapitävä rakenne, eikä tarvitse mitään lisäsuojaa.

Yleisesti pientalot ovat puurankarakenteisia tai eristekevytsoraharkkorakenteisia. Suuremmat rakennukset, kuten kerrostalot ja toimistorakennukset ovat yleensä betoni taikka teräsrakenteisia. Taulukko 2 on ”Tyypillisiä vaipan ilmanvuotolukuja erilaisille rakennuksille riippuen rakentamis- ja toteutustavasta”. [10]

Taulukko 2. Tyypillisiä vaipan ilmanvuotolukuja. [10]

Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n_{50} -luvut, 1/h	
		Pientalo	Kerrostalo ja toimistorakennus
Hyvä ilmanpitävyys.	Saumoihin ja liitoksiin on kiinnitetty erityistä huomiota, sekä suunnitteluun, rakennustyön toteutukseen ja valvontaan.	1-3	0,5-1,5
Keskimääräinen ilmanpitävyys.	Ilmapitävyys on huomioitu tavanomaisesti suunnittelussa, rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa.	3-5	1,5-3,0
Heikko ilmanpitävyys.	Ilmapitävyyttä ei ole juurikaan huomioitu suunnittelussa, rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa.	5-10	3-7

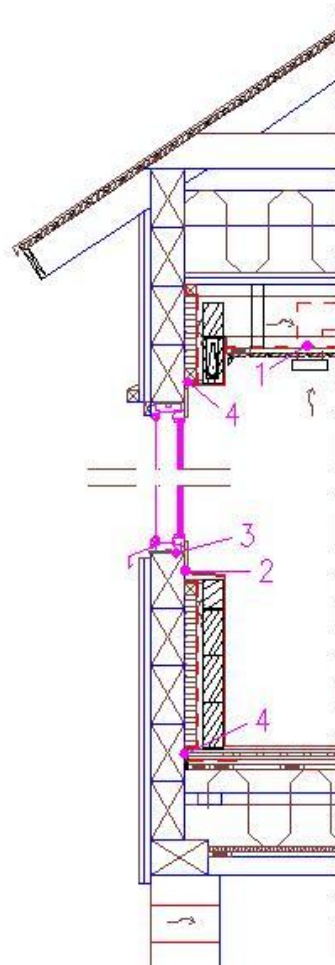
3.1 Tyypilliset ilmavuodot rakennuksessa

Yleensä vuotoja esiintyy ilmansulun liitoksissa ja läpivienneissä (kuvassa 2 kohdassa 1). Tämä voitaisiin estää asentamalla ilmansulku rakenteen sisään noin 50 mm syvyyteen. Tällöin estettäisiin se, etteivät rasiat eivätkä levyjen kiinnitysruuvit puhkoisi ilmansulkua. Jos kuitenkin ilmansulkuun tulee reikiä esimerkiksi hormeista tai läpivienneistä, tulee ne teipata huolellisesti. Liitokset tulisi limittää ainakin 500 mm matkalta ja saumat teipata huolellisesti. [6]

Elementtien saumat aiheuttavat myös ilmavuotoja, jollei niitä tehdä huolella. Saumat tulisi tehdä elastisella materiaalilla esimerkiksi silikonilla (kuvassa 2 kohdassa 2). Myös juotosvalulla saadaan tiivis ja hyvä sauma. [6]

Ikkunoiden ja ovien pielissä tapahtuva ilmavuoto (kuvassa 2 kohdassa 3) johtuu yleensä huonosta työn laadusta. Eriste tulisi asentaa huolella, jottei pieliin jää eristämättömiä kohtia. Eristys olisi hyvä tarkistaa vielä seuraavana päivänä, kun eristeet ovat asettuneet paikoilleen ja lisätä eristettä tarvittaviin kohtiin. [6]

Seinien liitoksissa ylä- ja alapohjaan esiintyy ilmavuotoja (kuvassa 2 kohdassa 4), jollei liitoskohtia ole tehty asianmukaisesti asentaen. Ilmansulun tulee kiertää mielellään lattian alta aina kattoon asti ehjänä. Ilmansulun liitoskohdat tulee teipata huolellisesti asiaan tarkoitettulla teipillä. [6]



Kuva 2. Yleisempiä ilmanvuotokohtia.

3.2 Ilmanvuotopaikkojen määrittystapoja

Ilmanvuotoluvun mittauksen jälkeen vuotopaikat voidaan määrittää useammalla tavalla. Yleisimmin vuotopaikkojen määrittämiseen käytetään lämpökuvausta tai savuja. [1]

Lämpökuvaus on hyvä, nopea ja selkeä tapa määrittää ilmanvuotopaikat. Lämpökamerakuvausraportin pohjalta on helppo selvittää tarvittavat korjaustoimenpiteet ja kohdat. Lämpökuvaus on hyvä suorittaa tiiviysmittauksen jälkeen, siten että ensimmäisessä kerroksessa tulee olla vähintään alipainetta 10 Pascalia/asuinkerros. Esimerkiksi jos talossa on kaksi kerrosta, tulee alipainetta olla 20 Pascalia.[7]

Merkkisavulla kartoittaessa ilmanvuotokohtia on ensimmäisen kerroksen hyvä olla alipaineistettu 10 Pascalia/asuinkerros. Merkkisavulla voidaan paikallistaa vuotokohtat: lattian ja seinän vierustat, katon ja seinän vierustat, ulkoseinien rasiat sekä ikkunat ja ovet. [7]

4 ILMANVUOTOLUVUN LASKENTAA

Vaikka ilmanvuotoluku voidaan laskea, tarvitaan siihen koneellisia mittauksia. Ilman tilavuusvirtaus tulee määrittää joko tiiveysmittauskoneella tai ilmanvaihtojärjestelmällä. Ilmanvuotoluku n_{50} (1/h) voidaan laskea kaavalla 1.

Kaava 1. [7]kaava 4

$$n_{50} = \frac{R_{50}}{V}$$

jossa:

- R_{50} = Ilman tilavuusvirta, joka tarvitaan aiheuttamaan 50 Pascalin paine-ero [m^3/h]
- V = rakennuksen ilmatilavuus [m^3]

Rakennuksen ilmatilavuuteen lasketaan asuinpinta-ala * huonealan korkeus. Ilmanvuotoluku voidaan myös määrittää rakennuksen vaipan pinta-alaa kohti q_{50} -lukuna. Vaipan pinta-alaan lasketaan katon, lattian ja seinien pinta-alat. q_{50} -luku [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$] saadaan laskettua n_{50} -luvun avulla kaavalla 2.

Kaava 2. [7] kaava 5

$$q_{50} = n_{50} * \frac{V}{A_E}$$

jossa:

- n_{50} = Ilmanvuotoluku 50 Pascalin paine-erolla [1/h]
- V = rakennuksen ilmatilavuus [m^3]
- A_E = Rakennuksen vaipan pinta-ala sisämittojen mukaan [m^2]

Mittaustuloksissa olisi hyvä ilmoittaa n_{50} - sekä q_{50} -luku. Pelkän n_{50} -luvun ilmoittaminen vääristää tulosta, koska tilavuuden kasvaessa n_{50} -luku pienenee, vaikka ilmanpitävyys ei välttämättä parane.

Esimerkki 2: Ilman tilavuusvirta $100 \text{ m}^3/\text{h}$ ja tilavuus 50 m^3 .

$$n_{50} = \frac{100 \text{ m}^3/\text{h}}{50 \text{ m}^3} = 2 \text{ 1/h}$$

Esimerkki 3: Ilman tilavuusvirta $100 \text{ m}^3/\text{h}$ ja tilavuus 100 m^3 .

$$n_{50} = \frac{100 \text{ m}^3/\text{h}}{100 \text{ m}^3} = 1 \text{ 1/h}$$

Tästä syystä q_{50} -luku kuvaa paremmin vaipan tiiveyttä, koska tilavuuden kasvaessa myös rakennuksen vaipan sisäpinta-ala kasvaa. Varsinkin suuremmissa rakennuksissa q_{50} -luku on tarkempi.

Vuotoilman ($n_{\text{vuotoilma}}$)kertoimena käytetään arvoa $0,16 \text{ 1/h}$, joka vastaa ilmanvuotolukua 4 1/h , kun lasketaan rakennuksen lämpöhäviötä. Lämpöhäviö pitää laskea esimerkiksi energiatodistusta varten. Tämä silloin kun ilmanvuotolukua ei ole mitattu. Ilmanvuotoluku mitattuna $n_{\text{vuotoilma}}$ saadaan laskemalla kaava 3 mukaan. [9]

Kaava 3. [9] yhtälö 4

$$n_{\text{vuotoilma}} = \frac{n_{50}}{25}$$

jossa:

- n_{50} = Ilmanvuotoluku 50 Pascalin paine-erolla [1/h]
- $n_{\text{vuotoilma}}$ = vuotoilmankerroin [1/h]

5 MITTAUKSESSA KÄYTETTÄVÄT LAITTEET, OHJELMAT JA NIIDEN ASENNUS JA KÄYTTÖ

Laitteet, joita käytetään mitattaessa ilmanvuotolukua, ovat helppokäyttöisiä ja yksinkertaisia asentaa käyttövalmiuteen, kun vain tietää mitä tekee. Laitteen asennus on hyvin johdonmukainen suurimmilta osilta. Laitteen asennus muuttuu hieman erilaiseksi mitattaessa ylipainetta kuin alipainetta.

5.1 Tarvittavat laitteet

Ilmanvuotolukukokeen suorittamiseen tarvitaan seuraavat laitteet: Blowerdoor puhallinyksikkö, nailonkangas, ovikehys, viisi kuristusrengasta (A,B,C,D ja E), neljä letkua (läpinäkyvä, vihreä, sininen ja punainen), DG-700 4-kanavinen paineyksikkö, tietokone johon on asennettu Tectite-hallintaohjelma, Fan control-kaapeli ja puhallinyksikön suoja. Lisäksi tarvitaan erilaisia sulkumateriaaleja, kuten teippiä ja ilmapalloja, joilla voidaan tukkia talon venttiilit ja muut ilmanvuotokohdat muualta kuin rakenteiden liitoksista.

5.2 Talon tiivistäminen mittauksia varten

Ennen Blowerdoor laitteen asentamista on talosta tukittava kaikki tulo- ja poistoventtiilit. Venttiilit voidaan tukkia suoraan ilmanvaihtokoneesta (kuva 3) tai ulkoa katoilta ja seinältä. Tukkimisen voi suorittaa myös teipillä, jos venttiilit ovat liian suuret ilmapalloille. Liesituulettimenputki pitää myös teipata tai kiivetä katonleikkaukselta ja tukkia sieltä.



Kuva 3. Tulo- ja poistoventtiilit tukkiminen ilmanvaihtokoneesta.

Talon tulisijat pitää myös saada ilmatiiviiksi. Tukkimisen voi suorittaa esimerkiksi teippaamalla muovit tulisijan luukkujen ympärille (kuva 4). Jos saunassa on puu kiuas, tulee se myös tiivistää. Parhaiten tämä onnistuu irrottamalla kiuas piipusta ja tukkimalla piipun reikä ilmapallolla. Voidaan myös yrittää teippailla kiukaan luukut ja vuotokohtat kiinni mahdollisimman hyvin. Peltien aukot tulee myös tiivistää teippaamalla (kuva 5).



Kuva 4. Tulisijan luukut tiivistetty.



Kuva 5. Pellin aukko teipattu tiiviiksi.

5.3 Laitteen asentaminen

Blowerdoor-laitteiston asentaminen alkaa ovikehyksen kasaamisesta. Ovikehys kannattaa koota vähän pienemmäksi kuin oviaukko, johon Blowerdoor laitteisto asennetaan. Kehikko asennetaan nailonkankaan päälle ja nailonkangas laite-
taan tarroilla kiinni kehikkoon (kuva 6).



Kuva 6. Kehikko asennettuna nailonkankaaseen ja tarrat ovat vielä auki.

Ennen kehikon laittamista oveen tulee ulos viedä läpinäkyvä ilmanottoputki, joka mittaa ulkoilman painetta ja asettaa se niin, että putken päät saavat hyvin ilmaa (kuva 7) ja toinen pää tuodaan lähelle ovea. Kun kehikko on asennettu, putken pää laitetaan kiinni ulkopuolelle nailonkankaassa alhaalla olevaan vihreään tappiin. (kuva 8). Ulos tuleva putki tulee asentaa sivuun, niin ettei se ole ilmavirtauksen kohdalla ja vähintään noin kahden metrin päähän ovesta.



Kuva 7. Ulos asennettu putken pää.



Kuva 8. Oviaukon lähellä oleva pää kiinnitettynä.

Tämän jälkeen kehikko siirretään oviaukkoon, johon laite asennetaan ja lisätään välituet (kuva 9). Kehikko kiristetään oviaukkoon sopivaksi kiristimillä ja lisäkiris- tys tehdään pikakiristimellä (kuva 10).



Kuva 9. Kehikko asennettu oveen ja välituet on laitettu kiinni.



Kuva 10. Lisäkirstys on laitettu kiinni.

Puhallinta asentaessa pitää ottaa huomioon mittaako yli- vai alipainetta. Alipainetta mitattaessa kuristusrenkaiden puoli tulee olla sisäänpäin (kuva 11). Puhallin tulee kiinnittää tarrakiinnikkeellä, joka on puhaltimen kantokahvassa kiinni, alempaan välitukeen (kuva 11). Puhaltimen tulee olla irti maasta ja päästä liikkumaan kankaan mukana. Mitattaessa ylipainetta puhallin tulee asentaa toisin päin (kuva 12).



Kuva 11. Kuristusrenkaat sisäänpäin asennettu (alipaine).



Kuva 12. Kuristusrenkaat ulospäin asennettuna (ylipaine).

Puhaltimen asennuksen jälkeen asennetaan muu laitteisto mittausta varten. DG-700 paineyksikkö asennetaan ylävälitukeen kiinni (kuva 13) ja tietokone lähelle puhallinta tietokonejalustimelle.



Kuva 13. DG-700 paineyksikkö ja letkujen paikat.

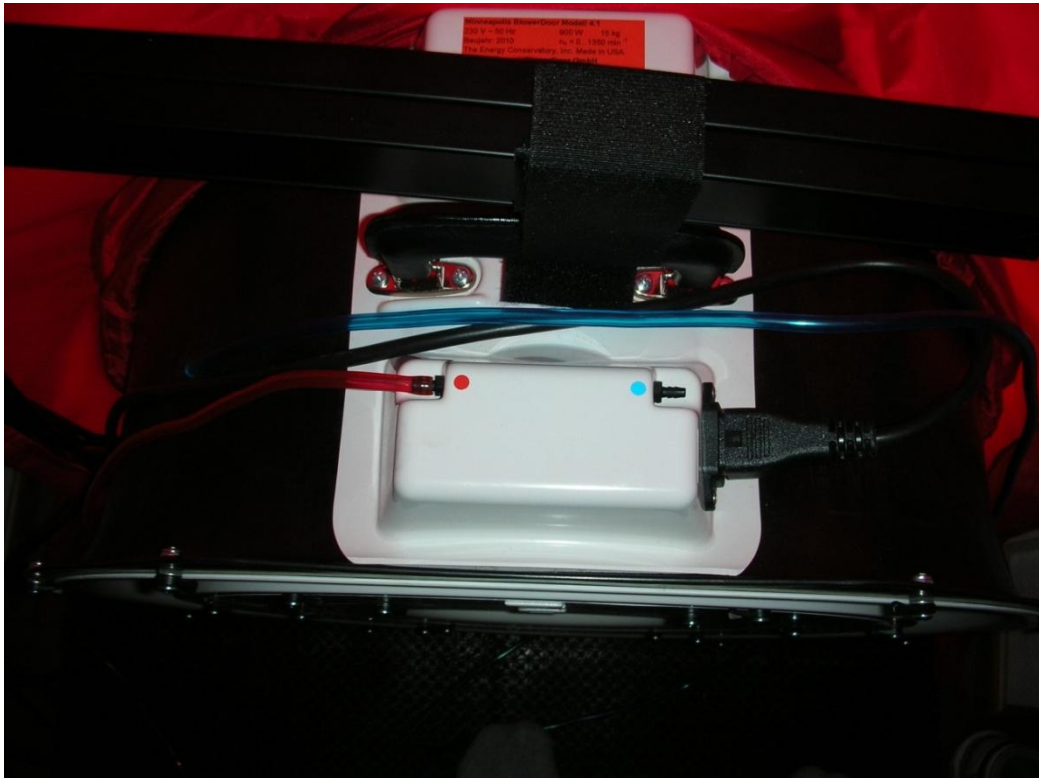
Letkut tulevat DG-700 paineyksikköön värit omille paikoilleen, sininen letku B ref paikkaan, punainen letku B input paikkaan ja vihreä letku A ref paikkaan (kuva 13).

Fan control kaapeli tulee kytkeä toinen pää pisteeseen A ja toinen pää pisteeseen B kuvan 14 mukaan. Tietokoneeseen menevän USB-johdon toinen pää tulee DG-700 paineyksikön päälle pisteeseen C. (kuva 14)



Kuva 14. Fan control-johdon ja USB-johdon kytKentä DG-700 paineyksikköön.

Sinisen väriletkun toisen pään kytkentä riippuu siitä mitataanko yli- vai alipainetta. Alipainetta mitattaessa sinisen letkun toinen pää tulee laittaa vain puhaltimen päälle (kuva 15). Ylipainetta mitattaessa sinisen letkun pää tulee laittaa siniseen tappiin, joka sijaitsee keskellä nailonkangasta. Punaisen letkun toinen pää tulee kytkeä puhaltimen päällä olevaan sille määrättyyn paikkaan (kuva 15). Vihreän letkun toinen pää laitetaan nailonkankaan alareunassa sijaitsevaan tappiin (kuva 16). Vihreän ja punaisen letkun liitännät eivät muutu mitattiin sitten yli- tai alipainetta.



Kuva 15. Puhaltimen liitäntäyksikkö. Kuvassa on alipainemittausjärjestelyt.



Kuva 16. Vihreän letkun liitäntä sisäpuolella.

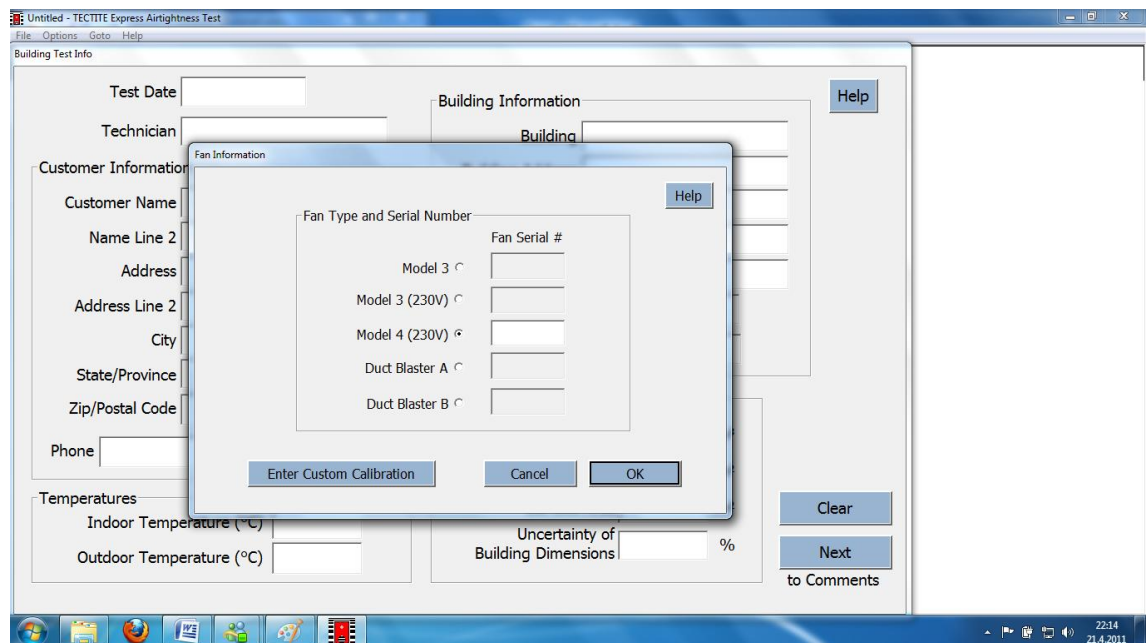
Blowerdoor laite on nyt asennettu valmiiksi käyttämistä varten (kuva 17). Itse mittaus ja laitteen käyttö toteutetaan tietokoneella olevalla Tectite-hallintaohjelmalla.



Kuva 17. Blowerdoor laite asennettuna alipainemittausta varten.

5.4 Tectite-hallintaohjelman käyttö

Tectite-hallintaohjelmaa käytetään ilmanvuotoluvun mittaamiseen blowerdoor laitteen kanssa. Tietokoneen ollessa kytkettynä DG-700 paineyksikköön avataan Tectite-ohjelma ja valitaan valikosta file ja new test. Tämän jälkeen tulee täyttö- ja valintaruudukoita, joita täydennetään laiteiden, kohteen ja ilmaston mukaan. Kaikissa kuvissa on malli kuinka ne tulee täyttää. Ensimmäisessä taulukossa (kuva 18) kysytään laitteen tyyppiä. Käytettävä laite on Model 4 (230V), joka valitaan ikkunasta.



Kuva 18. Puhallintyyppin valinta.

Toisena taulukkona on building test info (kuva 19). Tähän taulukkoon tulee täyttää tilaajan tiedot, tutkittavan kohteen tiedot, mittauksen tekijän tiedot ja sääolosuhteet. Rakennuksen rakenteellisista tiedoista tulee tietää lattian pinta-ala (floor area), vaipan pinta-ala (surface area), sekä mitattavan tilan tilavuus (volume). Vaipan pinta-alaan tulee laskea katon, lattian ja kaikkien ulkoseinien pinta-ala. Mitattaessa rakennusta, jossa on kellari, tulee kellari ottaa huomioon tilavuutta määrittäessä, jos kellarin lämpötila on lähempänä muun asunnon lämpötilaa kuin ulkoilmaa. Uncertainty of building dimensions-kohtaan tulee laittaa arvio, kuinka paljon tilavuus ja pinta-ala voivat olla väärässä todellisesta. Kun on syötetty kaikki tiedot mitä halutaan laittaa, niin sen jälkeen painetaan "next" ja päästään seuraavaan taulukkoon.

The screenshot shows the 'Building Test Info' window with the following data entered:

Section	Field	Value
General	Test Date	21.4.2011
	Technician	Matti Meikäläinen
Customer Information	Customer Name	Ritva Tuononen
	Name Line 2	
	Address	Tuonosentie 2c
	Address Line 2	
	City	Joensuu
	State/Province	
	Zip/Postal Code	80100
	Phone	0400-12312345
Temperatures	Indoor Temperature (°C)	21
	Outdoor Temperature (°C)	10
Building Information	Building	Kerrostalo
	Building Address	Timosentie 2 C19
	Address Line 2	
	City	Joensuu
	State/Province	
	Zip/Postal Code	80100
Building Dimensions	Year of Construction	2008
	Volume	150 m ³
Building Dimensions	Floor Area	120 m ²
	Surface Area	137 m ²
	Uncertainty of Building Dimensions	3 %
	Buttons	Clear, Next to Comments

Kuva 19. Rakennuksen testauksen tiedot.

Kolmas taulukko on sitä varten, että halutaan kirjoittaa jotain kommentteja rakennuksesta, mittausoloista tai muusta vastaavasta. Mittauksen tekoon sillä ei ole vaikutusta, vaikka jättäisi sen tyhjäksi.

Neljäntenä taulukkona on test settings (kuva 20). Tähän taulukkoon tulee laittaa mittauksen asetukset, minkä standardin mukaan mitataan, EN-13829 (euronormi) vai CGSB (Canadian General Standards Board). Suomessa käytetään standardia EN-13829. Lisäksi taulukossa määritetään mitataanko ylipainetta (pressurize) vai alipainetta (depressurize). Edit pressures-kohdassa voidaan määrittää kymmenen paineen ottokohtaa, joissa mittaus otetaan. Laitteen perusasetuksena ja hyvänä arvona on 70 Pascalista 25 Pascalin arvoon viiden Pascalin välein.

Test Settings

Standard
 CGSB EN 13829

Test Mode
 Pressurize
 Depressurize

Method
 Manual
 Auto

Test Pressures
 Default
 EN 13829
Edit Pressures

Zonal Pressures
 Active
Settings

Auto Test Parameters
Samples per Station 100
Fan Adjust Rate 1.0
Target Tolerance (Pa) 2.0
Building High Pressure Limit (Pa) 90
Fan Start (%) 0.0
Restore Factory Settings

Help

Previous to Comments Next to EN Data Entry

Kuva 20. Mittaus asetukset.

Viides taulukko on EN-13829 data entry (kuva 21). Tähän taulukkoon tulee syöttää tietoja tuulesta, ja mitataanko valmista vai keskeneräistä rakennusta. Type of test method-kohdasta valitaan A, jos rakennus on käytössä tai B, jos rakennus on keskeneräinen. Merkitään lämmitys järjestelmä (type of heating) ja minkälainen ilmanvaihto järjestely (type of air conditioning) rakennuksessa on. Rakennuksen tuulelle altistuminen (building wind exposure)(taulukko 3) tulee laittaa oman arvion mukaan. Tuulen nopeus tulee ottaa huomioon (wind class) (taulukko 4) ja siinä on yhdeksän vaihtoehtoa mistä valita. Jos todellista tuulen nopeutta ei voi saada mistään, tulee sitä yrittää arvioida puista ja muista liikkuvista havaintokohteista.

Kuva 21. EN-13829 vaadittavat tiedot.

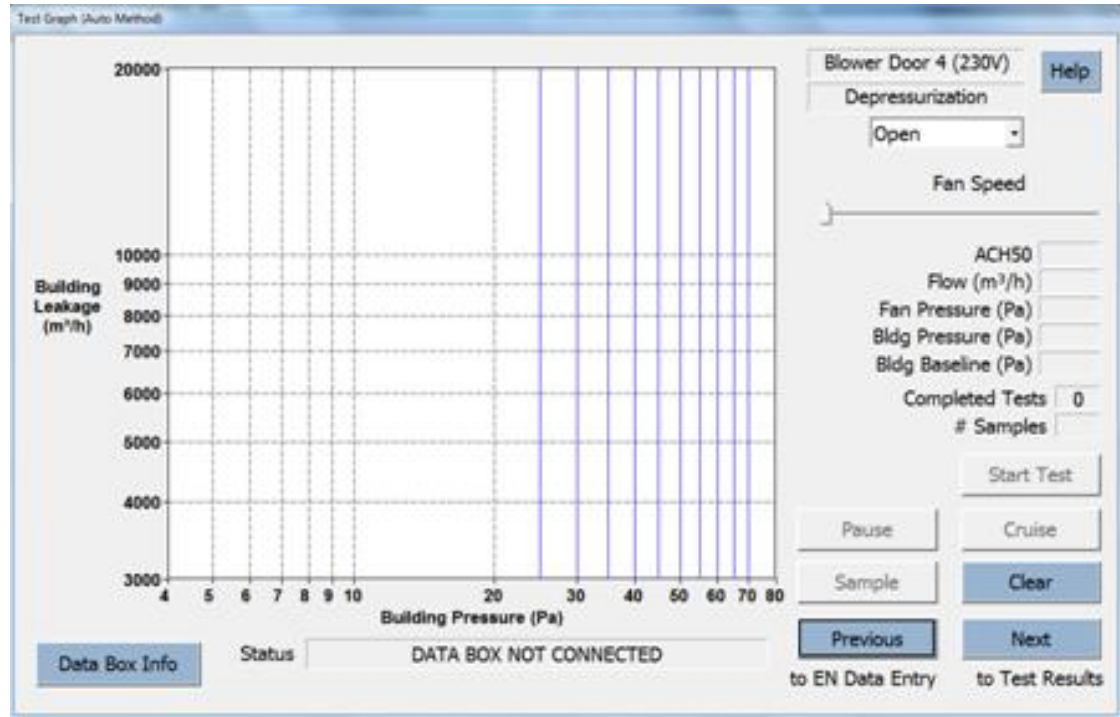
Taulukko 3. Rakennuksen altistuminen tuulelle.

Englanti	Suomi
Highly Protected	Hyvin suojassa
Partly Exposed	Osittain altistuu
Highly Exposed	Paljon altistuu

Taulukko 4. Tuulen nopeus ja sen kuvaus.

Wind class	Tuulen nopeus	Tuulen kuvaus
0 Calm	<0.45 m/s	Savu nousee pystysuoraan
1 Light Air	0.45-1.34 m/s	Tuulen suunnan osoittaa savu eikä tuuliviiri
2 Light Breeze	1.8-3.1 m/s	Tuuli tuntuu kasvoissa; Lehdet rapisee; Tavanomainen tuuliviiri liikkuu tuulessa.
3 Gentle Breeze	3.6-5.4 m/s	Lehdet ja pienet oksat liikkuvat; Tuuli laajentaa kevyttä lippua.
4 Moderate Breeze	5.8-8 m/s	Nostaa pölyä ja irtonaisia papereita; Pienet oksat liikkuvat.
5 Fresh Breeze	8.5-10.7 m/s	Piennet puut alkavat heilua; Sisäveisiin muodostuu harjapäisiä aaltoja.
6 Strong Breeze	11.2-13.9 m/s	Isot oksat liikkuvat; Sateenvarjon käytössä ongelmia.
7 Moderate Gale	14.3-17 m/s	Kaikki puut liikkuvat; Hankaloittaa liikkumista vastatuuleen.
8 Fresh Gale	17.4-20.6 m/s	Rikkoo puun oksia; Yleisesti estää liikkumista.

Kuudes taulukko on test graph (kuva 22). Test graph taulukossa suoritetaan testi. "Status" ikkunan alareunassa kertoo onko tietokone kytkettynä DG-700 paineyksikköön ja kaikki vaadittavat ohjelmat koneelle asennettuna.

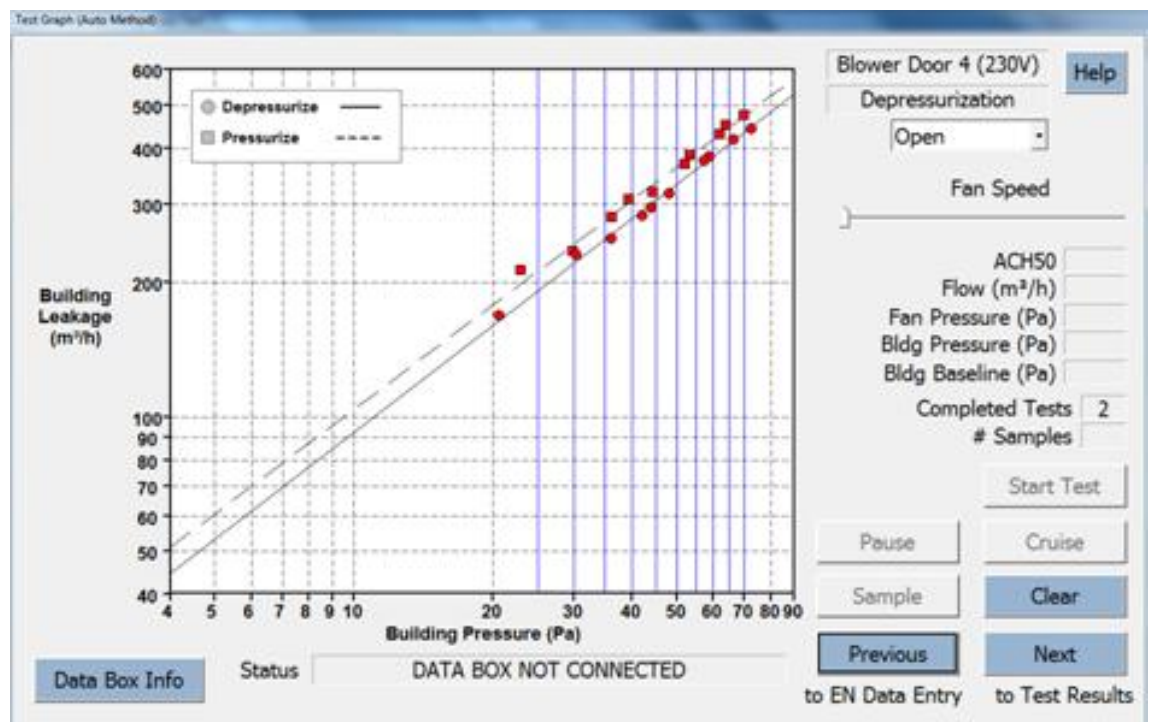


Kuva 22. Test graph taulukko ennen mittauksen suorittamista.

”Start test”-painikkeella aloitetaan testi. Laite pyytää asettamaan puhallinyksikön suojan baseline (nolla-paine-ero) mittauksen ajaksi. Baseline mittauksen suorittamisen jälkeen tulee tuulettimen suoja poistaa. Suojuksen poistamisen jälkeen valitaan talon tilavuuteen sopiva kuristusrenkas (Taulukko 5) ja aloitetaan mittaus. Mittauksen aikana, jos tulee tarve vaihtaa kuristusrengasta, ohjelma ilmoittaa siitä. Vaihtamisen tarve on silloin todennäköistä, kun mitattavan tilan tilavuus osuu kahden raja-arvon lähelle. Mittauksen lopussa ohjelma mittaa uudestaan baseline-tason ja pyytää asentamaan tuulettimen suojan ennen baseline mittauksen aloittamista. Baseline-mittauksen jälkeen on testi valmis (kuva 23).

Taulukko 5. Kuristusrengasta vastaava tilavuusvirta.

Kuristusrenkas	Tilavuusvirta (m ³ /h)
Auki	8155-3551
Kehä A	4247-1342
Kehä B	1529-365
Kehä C	442-76
Kehä D	212-51
Kehä E	85-19



Kuva 23. Test graph taulukko, kun yli- ja alipaine mittaus on suoritettu.

Aluksi, jos on mitattu alipaine, palataan test setting taulukkoon ja valitaan sieltä ylipaine ja suoritetaan mittaus uudestaan. Saman kohteen molemmat mittaukset tulee suorittaa samaan testiin, koska Tectite-ohjelma laskee lopuksi molempien mittausten perusteella keskiarvot.

Seitsemäs taulukko "test results" (kuva 24) kertoo suoritettujen testien tulokset. Tärkein tieto, mitä taulukosta tarvitaan, on n_{50} -luvun keskiarvo eli talon ilmanvuotoluku.

Airflow at 50 Pascals	Depressurization	Pressurization	Average
V50: m ³ /h	334 (+/- 0.6 %)	364 (+/- 0.8 %)	349
n50: ACH (1/h)	1.28	1.40	1.34
w50: m ³ /(h ² m ² Floor Area)	3.47	3.79	3.63
q50: m ³ /(h ² m ² Surface Area)	1.11	1.21	1.16
Leakage Areas			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	103.6 (+/- 3.5 %)	116.2 (+/- 4.6 %)	109.9
cm ² /m ² Surface Area	0.35	0.39	0.37
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	48.2 (+/- 5.3 %)	55.0 (+/- 7.0 %)	51.6
cm ² /m ² Surface Area	0.16	0.18	0.17
Building Leakage Curve			
Flow Coefficient (CL)	14.9 (+/- 8.2 %)	17.4 (+/- 10.8 %)	
Exponent (n)	0.795 (+/- 0.021)	0.778 (+/- 0.027)	
Correlation Coefficient	0.99735	0.99513	

Kuva 24. Suoritettujen testien tulokset.

Testin suorituksen jälkeen tulostetaan testin tiedot tiiviysmittausraporttia varten. Tulosteesta löytyvät kaikki aikaisempiin taulukkoihin laitettut tiedot ja tulokset suoritettujen kokeista.

Tectite-hallintaohjelman käyttöohjeet on kirjoitettu ohjelman help-toimintoa käyttäen ja suoritettujen mittauskokeiden perusteella. Lisätietoja Tectite-hallintaohjelman käytöstä löytyy jokaisen välilehden help-painikkeen alta.

5.5 Tiiviysmittausraportti

Tiiviysmittausraportista tulee löytyä kohteen yleistiedot, lähtöarvot mittaukselle ja mittausten tulokset. Lähes kaikki tarvittava tieto raporttia varten tulostuu, kun tulostaa Tectite-hallintaohjelman raportin, joka tulee laittaa yhdeksi liitteeksi raporttiin. Jos rakennukseen tehdään lämpökuvaus samalla, tulee lämpökuvausmittauspöytäkirja liittää raporttiin yhdeksi liitteeksi.

Yleistiedoissa on hyvä tulla ilmi rakennuksen tunniste- ja laajuustiedot, tutkimuksen tilaaja ja suorittaja, sekä tutkimuksen tavoitteet. Tutkimuksen rajaus on syytä mainita, jos tutkimuksessa ei mitata koko rakennusta.

Lähtöarvoissa tulee mainita vähintään ulko- ja sisäilman olosuhteet. Tuulen voimakkuus ja lämpötilat tulee kirjata. Rakennuksen tilavuus ja pinta-alat tulee merkitä raporttiin (vaipan pinta-ala ja lattian pinta-ala). Myös mittauksessa käytetyt laitteet tulee kirjata raporttiin.

Mittausten tulokset ja niiden arviointi ovat tärkein kohta raporttia. Tulosten arviointi olisi suotuisaa tehdä niin, että tilaaja, joka ei tiedä rakentamisesta mitään, pystyisi ymmärtämään tulokset sekä niiden mahdolliset haitat ja hyödyt.

Esimerkki mahdollisesta tiiviysmittausraportista:

1. Yleistiedot kohteesta
 - 1.1. Rakennuksen tunniste- ja laajuustiedot
 - 1.2. Tilaajan tiedot
 - 1.3. Tekijän tiedot
 - 1.4. Tutkimuksen tavoitteet
 - 1.5. Tutkimuksen rajaus
2. Lähtöarvot
 - 2.1. Ulko- ja sisäilman olosuhteet
 - 2.2. Rakennuksen tiedot
 - 2.3. Mittauslaitteet
3. Tulokset
 - 3.1. Mittaustulokset
 - 3.2. Tulokset ja niiden arviointi

6 POHDINTA

Alkuvaikeuksien jälkeen työ lähti edistymään hyvää vauhtia. Alussa hankaluuksia tuotti erityisesti luotettavan tiedon löytäminen ilmanvuotolukuun liittyvistä asioista. Tämä voi johtua siitä, että ilmanvuotoluku on vielä melko uusi asia rakentamisessa ja sen tärkeyteen on alettu panostaa enemmän vasta viime vuosina

Minneapolis blowerdoor laitteen oikein asentaminen oli aluksi hankalaa, koska käyttöohjekirjat olivat hankalalukuisia ja asiat etenivät epäkäytännöllisessä järjestyksessä. Jälkeenpäin ajateltuna olisin opetellut oikean asennustavan ammattilaista seuraamalla yhden mittauksen ajan.

Tectite-hallintaohjelman kanssa ei ollut suurempia ongelmia. Joidenkin täyttökenttien sisällön kanssa oli aluksi epäselvyyksiä, mutta help-painikkeesta löytyy selkeä ohjeistus kaikkiin pakollisiin kenttiin. Tectite-hallintaohjelma vaatii USB-ajurit asennettavaksi tietokoneelle, jotta Tectite-hallintaohjelma toimii DG-700 paineyksikön kanssa.

Ohjeiden käytön testasin suorittamalla ilmanvuotolukumittauksen yhdessä rivitalokohteessa. Mittaus sujui ongelmitta. Ajankäytöllisesti eniten aikaa kului ilmanvuotokohtien tukkimiseen. Ilmanvuotokohtia olivat leivinuunin luukut, savupiipussa olevat pellit, poisto- ja tuloilmaventtiilit, liesituuletin ja keskuspölynimurin ilmanottoputki.

Kohteena oli eristekevytsoraharkkorakennus, jossa on pintarappaus. Kohteen lattian pinta-ala oli 96 m² ja tilavuus 260 m³. Kohteen valmistumisvuosi on 2007. Suoritin kohteelle ilmanvuotoluku mittauksen yli- ja alipaineessa. Ilmanvuotoluvuksi mittauksen suorittamisen perusteella sain 1,34 1/h, joka on alle vuoden 2010 rakennusmääräysten vertailutasoa 2,0 1/h. Tuloksesta voidaan päätellä, että rakennusta tehtäessä on mietitty rakennuksen ilmapitävyyttä.

Opinnäytetyötä tehdessäni opin hyvin ilmanvuotoluvun mittauksen suorittamisen pientalokohteessa. Ymmärrys ilmapitävyyden tärkeyteen ja siihen panos-

tamisen kasvoi, koska hyvällä ilmapitävyydellä voidaan suorittaa suuria säästöjä lämmitysenergiantarpeessa.

Mielestäni saavutin työlle asetetut tavoitteet kohtalaisissa määrissä. Joihinkin asioihin olisi voinut syventyä huomattavasti tarkemmin, esimerkiksi ilmapitävyyteen. Minneapolis Blowerdoor-laitteen asennusohjeet onnistuivat mielestäni hyvin. Tectite-hallintaohjelman käyttöohjeesta tuli kuvien ansiosta helppokäyttöinen, koska kuvista näkyy täytettävät kohdat selkeästi.

LÄHTEET

1. Blowerdoor GmbH, [Viitattu 21.4.2011]. Saatavissa: <http://www.blowerdoor.de/en/blowerdoor/blowerdoor-movie.html>
2. Dimenssio Oy, Energiatehokas koti.7.4.2011 [Viitattu 18.4.2011]. Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/files/306/Rakennuksen_ilmanpitavyys_ja_mittaukset.pdf
3. Minneapolis Blowerdoor™ Operation manual for model 3 and model 4 systems. 2008, The Energy Conservatory.
4. Operating unstructions for the DG-700 pressure and flow gauge. 2009, The Energy Conservatory
5. Oulun rakennusvalvonta. Pientalojen ilmanpitävyys, 2010. [Viitattu 21.4.2011] Saatavissa: http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/pdf/laatukortit/Pientalojen_ilmanpitavyys_100x230cm.pdf
6. Oulun rakennusvalvonta. Tiiveyskortti 2010. [Viitattu 21.4.2011] Saatavissa: http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/pdf/laatukortit/Tiiveyskortti_A4-11_05_2010.FH11.pdf
7. RT-80-10973. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy. Lokakuu 2009.
8. SFS-EN 13289, Rakennusten lämpötekniiset ominaisuudet. Ilmanpitävyyden määrittäminen. Paine-ko. Suomen standardoimisliitto. Helsinki. 2001.
9. Ympäristöministeriö. Asetus rakennusten energiatehokkuudesta. 2010. [Viitattu 20.4.2011] Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/34165-D3-2010_suomi_22-12-2008.pdf
10. Ympäristöministeriö. Asetus rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta. 2007. [Viitattu 20.4.2011] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>