

Jesse Hartikainen

RAKENNUSTEN
ILMATIIVIYSMITTAUS
Hyödyt rakentamisessa

Opinnäytetyö
Talotekniikan koulutusohjelma


Maaliskuu 2013




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU <small>Mikkeli University of Applied Sciences</small>	Opinnäytetyön päivämäärä 24.3.2013				
Tekijä Jesse Hartikainen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma				
Nimeke Rakennusten ilmatiiviyssmittaus - Hyödyt rakentamisessa					
Tiivistelmä Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä ilmatiiviyssmittaus omakotitalokohteeseen ja perehtyä mittauksesta saataviin hyötyihin. Tiiviyssmittauksella selvitettiin talon ulkovaipan ilmanpitävyys. Alkuun tutkittiin teoreettista viitekehystä alan kirjallisuudesta ja muista tietolähteistä. Opinnäytetyö tehtiin tapaustutkimuksena. Mittauskohteena oli 2000-luvulla rakennettu omakotitalo. Varsinaisen mittaus suoritettiin nykyaikaisella ilmatiiviyssmittauslaitteella, jota ohjattiin siihen liitettyllä tietokoneella. Omakotitalon vuotoilmamittaus tehtiin laitevalmistajan ohjelmiston avulla ja tietokone prosessoi mittauksen viidellä eri painealueella. Mittauksessa aikaansaadaan paine-ero sisä- ja ulkotilojen välille ja laitteistolla saadaan tulokseksi ilmatiiviyssluku, eli n50-luku. Ilmanvuotoluku kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa vaipan vuotoreittien kautta 50 pascalin ali- tai ylipaineessa. Ilmatiiviyssmittauksen lopputuloksena saatiin omakotitalon n50-ilmanvuotoluvuksi 2,918 l/h, joka oli keskiarvo saaduista tuloksista. Uuden tiiviyssmittausluokituksen mukaan omakotitalo kuuluisi E-luokkaan. Ali- ylipainemittauksen tulokset olivat hyvin yhtenevät, joten tulosta voidaan pitää luotettavana. Testin suoritus kokonaisuudessaan onnistui hyvin ja ilmanvuotoluku oli 2000-luvun alkupuolen omakotitalolle hyvä, sillä kyseisen kohteen vaipan muoveja ei ole teipattu. Kohteen omakotitalo on L-muotoinen, johon muodostuu 6 ulko- ja 2 sisänurkkaa. L-muoto omakotitalossa vaatii huolellisempaa rakentamista, jotta lopputuloksena saataisiin ilmatiivis kokonaisuus.					
Asiasanat (avainsanat) Ilmatiiviyys, energiatalous, lämpöhäviö, vuotokohta, lämpökuvaus					
Sivumäärä 26	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Kieli</td> <td style="width: 50%;">URN</td> </tr> <tr> <td>suomi</td> <td></td> </tr> </table>	Kieli	URN	suomi	
Kieli	URN				
suomi					
Huomautus (huomautukset liitteistä)					
Ohjaavan opettajan nimi Jukka Räisä	Opinnäytetyön toimeksiantaja				

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 24.3.2013	
Author(s) Jesse Hartikainen		Degree programme and option Degree Programme in Technology Competence Management Bachelor of Engineering	
Name of the bachelor's thesis Airtightness in buildings. The benefits to construction			
Abstract Aim of this thesis was to measure air-tightness of a house and learn about the benefits resulted by the measurement. The house envelope's air -tightness was examined by air-leakage measurement. First step was to study the theoretical framework through literature and other informational sources. This thesis was a case study. The subject of measurement was a house build in the 2000s. The actual measurement was performed with a modern air-leakage measuring device, which was controlled with a computer linked to it. The house's air-tightness measurement was carried out using the manufacturer's software which was then processed by the computer in five different pressure levels. The measurement provides a pressure difference between the inner and outer spaces and the devices provide air-leakage value, that is, n50. The air-leakage value tells how many times the volume of air changes per hour through the house envelope's leakage in 50 Pa under or excess pressure. Air tightness measurements provided results that the house's n50 air-leakage value was 2,918 liters per hour, which was the average of the results obtained from multiple measurements. According to the new air tightness classification the house would be included in Class E. Under and excess pressure measurements were very similar, concluding that the results can be considered reliable. The test as a whole was successful and the air-leakage value was good for a house built in the 2000s, because the house envelopes were not taped. The subject was a house built in L-shape, which has 6 exterior and 2 internal corners. The L-shape requires more thorough construction so that it would result to an air-tight body.			
Subject headings, (keywords) Airtightness, energy economy, thermal loss, thermal leak, thermal imaging			
Pages 26	Language Finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Jukka Räisä		Bachelor's thesis assigned by	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	OPINNÄYTETYÖN TAVOITE	1
3	RAKENNUSTEN ILMANTIIVIYDEN MITTAUS RAKENNUSTEN LAADUNVALVONTAMITTAUKSESSA	2
3.1	Rakennuksen vaipparakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistaminen	3
3.2	Hyvän asumisviihtyvyyden saavuttaminen	4
3.3	Energiakulutuksen pienentäminen.....	4
4	ILMATIIVIYSMITTAUS	5
4.1	Rakennuksen ilmanpitävyys	6
4.2	Ilmanvuotoluvun mittaustavat ja -menetelmät	7
4.3	Painekokeen toteutus ja ilmanvuotolukujen laskenta	8
4.4	Vaipan-alan ja tilavuuden määrittäminen	8
4.5	Mittaus	9
4.6	Mittausvirheet	9
4.7	Ilmavuotojen paikannus.....	10
4.7.1	Lämpökuvaus	10
4.7.2	Merkkisavu	11
4.8	Ilmanpitävyysraportin sisältö.....	12
5	MITTAUS	13
5.1	Laitteiston valmistelu.....	15
5.2	Muu valmistelu	16
5.3	Mittaustyön aloittaminen	18
5.4	Vuotokohtien etsiminen.....	19
5.5	Tulokset mittauksista	20
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	22
7	POHDINTA	23
	LÄHTEET	25
	LIITTEET	
	1 Tiiviysmittausraportti	
	2 Pohjakuva	

KÄSITTEET

Emissiivisyys, emissiokerroin

Emissiivisyysluku, emissiviteetti, kertoo kuinka suuri osa kappaleen lähettämästä energiasta on pinnasta lähtevää omaa energiaa. Lämpökuvauksessa käytetty materiaalien emissiivisyysluku vaihtelee arvon 0–1 välissä ja se ilmoitetaan desimaalilukuna. Käytetty emissiivisyys on esitettävä mittausraportissa. (RT 14–10850 2005, 2.)

Huoneilman lämpötila

Ilman lämpötila mitattuna mistä tahansa oleskeluvyöhykkeeltä 1,1 metrin korkeudelta. Huoneilman lämpötila mitataan standardin SFS 5511 kohdan 4 mukaisesti. (RT 14–10850 2005, 2.)

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. (RT 80–10974 2009, 2.)

Ilmavuotoluku, n_{50} [1/h]

Tiiveysmittauksella selvitetään talon ulkovaipan ilmanpitävyys. Tuloksena saadaan rakennuksen ilmavuotoluku, jota käytetään rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennassa.

Ilmavuotoluku n_{50} kertoo montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa (pascal) alitai ylipaine. Ilmavuotoluku kuvaa rakennusvaipan ilmanpitävyyttä ja se mitataan luvussa 4 esitetyllä tavalla. Rakennuksen ilmavuotoluku n_{50} tarvitaan lähtötietona rakennuksen lämmöntarpeen laskennassa. Pientalossa erinomainen arvo on $\leq 1,0$ 1/h,

normaali noin 3,0 1/h ja heikko $\geq 8,0$ 1/h. Vastaavasti kerrostalossa erinomainen arvo on $\leq 0,5$ 1/h, normaali noin 1,5 1/h ja heikko $\geq 4,0$ 1/h. Suuremmissa rakennuksissa n_{50} -arvot ovat yleensä parempia eli pienempiä. (RT 80–10974 2009, 2- 3.)

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

Ilmanvuotoluvulla q_{50} ($\text{m}^3/(\text{h m}^2)$) tarkoittaa rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja. (RakMK D3 2012, 4.)

Ilmanvuotoluvun suunnittelu-arvo, q_{50} [$\text{m}^3/\text{h m}^2$]

Rakennusvaipan ilmanvuotolukuna q_{50} voidaan käyttää lämmitysenergian tarpeen laskennassa arvoa $4 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, ellei ilmanpitävyyttä tunneta. (RakMK D5 2012, 22.)

Ilmanvuotoluvun vertailuarvo, q_{50} [$\text{m}^3/\text{h m}^2$]

Rakennusvaipan ilmanvuotolukuna q_{50} voidaan käyttää lämmitysenergian tarpeen laskennassa arvoa $4 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, ellei ilmanpitävyyttä tunneta. (RakMK D5 2012, 22.)

Ilmoitettu ilmavuotoluku, q_{50} [$\text{m}^3/\text{h m}^2$]

Talotoimittajan antama ilmavuotoluku tietyille talotyypille. Ilmoitettu ilmavuotoluku lasketaan rakennuksista mitattujen ilmavuotolukujen avulla luvussa 2 sekä liitteissä 1 ja 2 esitetyillä tavoilla. Ilmoitetussa ilmavuotoluvussa otetaan huomioon mittaustulosten lukumäärän ja hajonnan vaikutus. Ilmoitettua ilmavuotolukua voidaan käyttää rakennuksen ilmanvuotoluvun suunnittelu-arvona ilman erillisiä selvityksiä tai mittauksia. (RT 80–10974 2009, 2.)

Ilmanpitävyys

Ilmanpitävyys määritellään rakennusvaipan pinta-alaa kohden (q_{50} – luku), ei rakennuksen tilavuutta kohden kuten aikaisemmin (n_{50} – luku). q_{50} – ilmanvuotoluku ilmoit-

taa vuotoilmavirran m³/h tarkasteltavan rakenteen pinta-alayksikköä kohden 50 Pa:n paine-erolla. (Kurnitski 2012, 15–16.)

Konvektio

Konvektiolla tarkoitetaan lämpövirtausta liikkuvassa nesteessä tai kaasussa ja erityisesti nesteestä kiinteään pintaan tai päinvastoin. Vaikka lämmönsiirto yksittäisten partikkelien välillä tapahtuu johtumalla, hallitsee aineen mukana siirtyvä energia lämmönsiirtoa. Konvektion kuvaamiseksi matemaattisesti täytyy siis yhdistää aineensiirtoa ja lämmönjohtumista kuvaavat peruslait. (Lappeenrannan teknillisen yliopiston opiskelu- ja opetusportaali Noppa 2012.)

Lämpökamera

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin. Se mittaa kuvauskohteen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn, infrapunasäteilyn, voimakkuutta. Lämpökamera muuttaa kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta lämpökuva muodostetaan digitaalisesti. (RT 14–10850 2005, 2.)

Lämpökuvaus

Lämpökuvauksella tarkoitetaan pinnan lämpötilajakauman määrittämistä ja kuvaamista mittaamalla pinnan infrapunasäteily ja tulkitsemalla lämpökuva. (RT 14–10850 2005, 2.)

Lämpötilaindeksi

Lämpötilaindeksillä voidaan arvioida rakennuksen vaipan lämpöteknistä toimivuutta. Seinän ja lattian pintalämpötiloja voidaan arvioida lämpötilaindeksiä käyttämällä silloin, kun lämpötilojen mittauksia ei voida tehdä $-5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$:n ulkolämpötilassa, ts. jos ulkolämpötila on alle -5 °C tai yli -5 °C (maks. $+5\text{ °C}$) mittaustoleranssi huomioon ottaen.

Lämpötilaindeksi määritellään seuraavasti:

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100 [\%]$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila, °C

T_i = sisäilman lämpötila, °C

T_o = ulkoilman lämpötila, °C

Lämpötilaindeksin laskemiseksi on määritettävä huoneilman lämpötila, ulkoilman lämpötila ja sisäpinnan (seinä tai lattia) lämpötila. (Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö 2003, 11.)

Lämpötilojen, lämpötilaindeksien ja ilman virtausnopeuden ohjeellisia arvoja:

TAULUKKO (Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö 2003)

Asunto ja muu oleskelutila	välttävä taso	TI	hyvä taso	TI
Huoneilman lämpötila (°C) 1)	18 1) 2)		21	
Operatiivinen lämpötila (°C)	18 2)		20	
Seinän lämpötila (°C)3)	16 6)	81	18 6)	87
Lattian lämpötila (°C)3)	18 2) 6)	87	20 6)	97
istämäinen pintalämpötila (°C)	11 4) 6)	61	12 6)	65
Ilman virtausnopeus 5)	vetokäyrä 3		vetokäyrä 2	

1) Huoneilman lämpötila ei saa kohota yli 26 °C, ellei lämpötilan kohoaminen johdu ulkoilman lämpimyydestä. Lämmityskaudella huoneilman lämpötilan ei tulisi ylittää 23 – 24 °C.

2) Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa huoneilman lämpötilan ja operatiivisen lämpötilan välttävä taso on 20 °C sekä lattian pintalämpötilan välttävä taso 19 °C.

3) Keskiarvo standardin SFS 5511 mukaan määriteltynä, kun ulkoilman lämpötila on – 5 °C ja sisäilman lämpötila + 21 °C. Jos mittausolosuhteet poikkeavat vertailuolosuhteista, käytetään lämpötilaindeksiä.

4) Lämpötilaindeksiä 61 % vastaava pistemäinen pintalämpötila. Lämpötilaindeksi on laskettu lämpötilaindeksin laskentakaavan mukaan vastaamaan 9 °C pintalämpötilaa (huoneilman lämpötilaa 21 °C ja suhteellista kosteutta 45 % vastaava kastepistelämpö-

tila) kun ulkoilman lämpötila on $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisäilman lämpötila $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ikkunan, seinännurkkien ja putkien läpiviennin alin hyväksyttävä pistemäinen pintalämpötila.

5) Ilman virtausnopeuden enimmäisarvo, joka määräytyy standardin SFS 5511 kuvan 7 vetokäyrästä.

6) Jos huoneilman lämpötila on $< 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ pintalämpötiloja mitattaessa, seinän ja lattian sekä pistemäisen pintalämpötilan arvioina käytetään mittaustuloksista laskettua lämpötilaindeksiä, jota verrataan taulukon 1 arvoihin. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003.)

Lämpöviihtyvyys

Lämpöviihtyvyyden kokeminen ja lämpöviihtyvyyden puutteiden aiheuttamat terveydelliset vaikutukset ovat yksilöllisiä ja riippuvat monesta tekijästä, kuten sisäilmaolosuhteista, ihmisen terveydentilasta, iästä, herkistymisestä, altistusajasta sekä psykologisista tekijöistä. Sisäilmaolosuhteisiin vaikuttavat ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän lisäksi mm. vaipan ilmavuodot ja pintojen lämpötilat. (RT 14–10850 2005, 2.)

Oleskeluvyöhyke

Huonetilan osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista. (RT 14–10850 2005, 2.)

Rakennuksen vaippa

Rakennuksen vaippa koostuu niistä rakennuksen osista, jotka erottavat rakennuksen ulkoilmasta, maasta tai lämmittämättömästä tilasta. Vaipan osia ovat siis yläpohja, alapohja, ulkoseinät, ikkunat ja ovet. (Rane 2012.)

Tiiviysmittaus

Rakennuksen ulkovaipan ilmavuotoluvun n_{50} määrittäminen 50 Pa alipaineessa (tai ilmavuotokohtien etsiminen muussa, käyttötilannetta suuremmassa alipaineessa).

Suomessa ei tällä hetkellä ole lukuarvollisia viranomaismääräyksiä rakennusten ilmanpitävyydestä. Ilmatiiviysmittauksen tuloksena saadaan rakennukselle ilmavuotoluku. (RT 14–10850 2005, 2.)

Veto

Lämpötilaviihtyvyyteen vaikuttava tekijä, joka aiheutuu ympäristöään kylmemmistä pinnoista ja mahdollisista ilmavuodoista rakenteiden läpi. Vedontunteeseen vaikuttavat ilman liikenopeus ja lämpötila. Veto mitataan tavallisimmin oleskeluvyöhykkeen rajalta 0,6 m ulkoseinästä 0,1 m:n ja 1,1 m:n korkeudelta. Vetomittauksessa mitataan ilman liikenopeus suuntavapaalla mittalaitteella sekä virtaavan ilman lämpötila. (Palmi 2012, 10.)

1 JOHDANTO

Uudisrakentamisessa siirryttiin 1.7.2012 alkaen kokonaisenergiatarkasteluun. Määräykset koskevat vain uudisrakentamista, ja niiden tuoma keskeinen muutos on siirtyminen kokonaisenergiatarkasteluun. Käytännössä tämä tarkoittaa, että rakennuksen kokonaisenergiankulutukselle määrätään rakennustyyppikohtainen yläraja, joka ilmaistaan niin sanotulla E-luvulla. E-luvun laskennassa huomioidaan rakennuksen käyttämän energian tuotantomuoto. Pientalojen E-luvun yläraja riippuu lisäksi pinta-alasta: vaatimukset ovat lievemmat pienille pientaloille. (Ympäristöministeriö 2011.)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään ilmatiivysmittausta ja sen hyötyjä rakentamisessa sekä uusien 1.7.2012 voimaan astuneiden energiamääräysten näkökulmasta. Opinnäytetyössä suoritetaan ilmatiivysmittaus omakotitalolle ja mittauksen tuloksena saadaan rakennukselle ilmapuotoluku. Ilmatiivysmittaukseen kuuluu olennaisesti myös se, kuinka paikannetaan rakenteiden ongelmia (kosteus, vuotokohdat) sekä miten parannetaan energiataloutta, ilmanlaatua ja asumisen laatua. Teoriaosio käsittelee aiemmin tehtyjä tutkimuksia aiheesta ja alan kirjallisuutta.

2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE

Rakentaminen on muuttunut materiaalien osalta 40 vuoden aikana niin paljon, että vanhojen talojen ”tyyppiviat” tiedetään ja uusia taloja rakennetaan ja parannetaan energiatehokkaimmiksi. Uudet säännökset ja määräykset käsittelevät energiatalouden parantamista. Energiatodistukset ovat pakollisia uudisrakentamisessa ja myös myytävissä vanhoissa rakennuksissa 1.6.2013 lähtien.

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä ilmatiivysmittaus omakotitalokohteeseen sekä laatia raportti, jonka pohjalta voidaan tehdä korjausehdotukset mahdollisiin ongelma-kohtiin asumisviihtyvyyden parantamiseksi sekä energian käytön minimoimiseksi.

Opinnäytetyöhön haetaan teoreettista tietoa oppikirjoista, alan lehdistä, internet julkaisuista ja lähiopetuskursseilta käymällä lämpökamera- ja ilmatiivysmittauskoulutus. Opinnäytetyön tavoitteena on oppia rakennuksen energiatalouden kokonaisuuden hal-

lintaa. Rakennuksen ilmatiiviys on yksi tärkein osa energiatalouden kannalta rakennuksessa. Opinnäytetyö lisää tietämystä energiataloudellisesta rakentamisesta.

Opinnäytetyön teoreettisessa viitekehyksessä käsitellään, kuinka lämmöneristys, seinärakenteet ja muut materiaalit vaikuttavat rakennusten ilmatiiviyteen. Tutkimusmenetelminä käytetään ilmatiiviydmittausta sekä vuotojen paikantamisen apuna lämpökuvausta ja savutinta. Suurimmat vuotokohdat voidaan tuntea vedontunteena sekä koettamalla kädellä vuotokohdan läheisyydestä. Teoreettinen osio käsittelee rakennusten ilmatiiviydmittausta rakentamisen laadun parantamiseksi ja tiiviydmittauslaitteiston käyttöä omakotitalokohteessa. Opinnäytetyö rajataan käsittelemään vain omakotitaloa.

3 RAKENNUSTEN ILMANTIIVYDEN MITTAUS RAKENNUSTEN LAADUNVALVONTAMITTAUKSESSA

Vuoden 2012 energiamääräysten RakMK D3 kokonaisenergiatarkastelu muutti rakentamisen energiatehokkuuden suunnittelua merkittävästi. Uudisrakentamisen energiamääräykset tulivat voimaan 1.7.2012. Kokonaisenergiakulutus esitetään E-luvulla, joka lasketaan rakennukseen ostettavien energiamuotojen kertoimien tulona ja ilmaistaan kWh/m² vuodessa -yksiköllä. Rakennusten kokonaisenergian kulutus koostuu lämmitysenergian kulutuksen lisäksi veden lämmittämisen energiasta ja sähkönkulutuksesta (valaistus ja kotitaloussähkö). Vuoden 2012 muutos on lähinnä menetelmämuutos. Muutoksen pitäisi lisätä suunnittelun vapautta, mutta todennäköisesti se asettaa uusia haasteita suunnitteluryhmän yhteistyölle. Kaikki arkkitehtisuunnittelun, rakennesuunnittelun ja lvi- sekä sähkösuunnittelun ratkaisut vaikuttavat lopputulokseen, kokonaisenergian kulutuksen määrään. Kokonaisenergiatarkastelu koskee kaikkea rakennuksessa tapahtuvaa energiankulutusta. (RT 21522 2011, 1.)

Riittävän pieneen E-lukuun on mahdollista päästä useilla erilaisilla tavoilla. E-luvun laskemiseksi pitää laskea ostoenergian kulutus eli kuinka paljon sähköä, kaukolämpöä tai polttoainetta tarvitaan vuodessa lämmitettyä nettoalaa kohden. Lämmitetty nettoala on myös uusi käsite, ja se saadaan, kun lämmitetystä bruttoalasta vähennetään ulkoseinien rakennusosa-ala. Ostoenergiat kerrotaan energiamuotojen kertoimilla ja

tulot lasketaan yhteen E-luvuksi. Kertoimet heijastelevat eri energiamuotojen primäärienergian kulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Kerroin on sähkölle 1,7, kaukolämmölle 0,7, fossiilisille polttoaineille 1,0 ja rakennuksessa käytettäville uusiutuville polttoaineille 0,5. (RT 21522 2011, 1.)

Esimerkiksi jos kerrostalossa kuluu $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ kaukolämpöä ja $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ sähköä, niin E-luku = $60 \cdot 0,7 + 40 \cdot 1,7 = 110 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ täyttäen RakMKD3 2012 vaatimuksen, joka on kerrostaloille E-luku = 130. Energiamuotojen kertoimet tarvitaan, jotta sähköt, lämmöt ja polttoaineet voidaan laskea yhteismitallisella tavalla yhteen. Kertoimet tarkoittavat, että E-luvun laskennassa sähkö on 2,4 kertaa arvokkaampaa kuin kaukolämpö ja 3,4 kertaa arvokkaampaa kuin puu tai pelletti. Kertoimet ovat samansuuntaisia energian hintojen kanssa, mutta niiden määrittämisen peruste on ollut primäärienergia, erityisesti uusiutumattomien luonnonvarojen käyttäminen. (Kurnitski 2012, 9.)

Rakennusten ilmanpitävyyden mittaaminen rakennusten laadunvalvontamittauksena on yleistynyt merkittävästi muutaman vuoden sisällä. Vaipparakenteiden ilmatiiviyydestä on puhuttu kymmeniä vuosia, mutta vasta energiatodistuksen myötä tiiviiden todentaminen on yleistynyt. Aikaisemmin on käytetty termiä pullotalo, kun on tarkoitettu tiiviiksi tehtyä taloa, jossa ei välttämättä ole huolehdittu ilmanvaihdosta. Pullotalo-termi elää yhä vahvana ja negatiivisena ajatuksena suomalaisessa rakentamisessa. Sen taustat ovat tosin todelliset ajoilta, jolloin ilmanvaihdosta ei huolehdittu. Energiatehokkuus on lyönyt 2000-luvulla itsensä läpi myös suomalaisessa rakentamisessa. Vaipan ilmatiiviyys ja sen todentaminen on yksi osa rakennuksen energiatehokkuutta. Tulevaisuudessa voidaan puhua termospullotaloista, joissa energiatehokas koneellinen ilmanvaihto takaa hyvän sisäilman laadun ja tiivis vaippa rakenteiden toimivuuden. (Paloniitty 2012, 7.)

3.1 Rakennuksen vaipparakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistaminen

Hyvän ilmatiiviyyden saavuttaminen rakennuksen vaipparakenteissa on tärkeää esimerkiksi rakennuksen vaipparakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi. Siirryttäessä entistä paremmin eristäviin vaipparakenteisiin tulee hallitsemattoman vuotoilman kulkeutuminen rakenteen sisään estää, jotta välttyään rakenteiden kosteus-

ja homevaurioriskeiltä. Nykyisten asumistottumusten seurauksena sisäilman kosteusli-
sä voi olla talviaikana jopa $4-7\text{g/m}^3$ sisäilmassa, jolloin kosteuskonvektion riski kas-
vaa. Jos vaipparakenteissa on ilmapuotoreittejä, voi sisäilman kosteus kulkeutua ilma-
virtausten mukana kylmiin rakenteiden osiin ja aiheuttaa kosteusvaurioriskin. (Pa-
loniitty 2012, 7.)

3.2 Hyvän asumisviihtyvyyden saavuttaminen

Merkittävä syy hyvään ilmanpitävyyteen on hyvän asumisviihtyvyyden saavuttami-
nen. Kylmän ulkoilman virtaaminen sisätiloihin aiheuttaa vedon tunnetta ja pahimmil-
laan lisää terveyshaittariskejä. Vaipan hyvä ilmanpitävyys parantaa sisäilman laatua,
koska vedontunne vähenee ja mahdollisten homeiden, epäpuhtauksien ja haitallisten
aineiden kulkeutuminen talon rakenteista, maaperästä ja ulkoilmasta sisäilmaan vähe-
nee. Lisäksi hyvä ilmanpitävyys parantaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa, koska
kosteaa sisäilma ei pääse virtaamaan rakenteisiin. Myöskään kylmä ulkoilma ei pääse
jäähdyttämään rakennetta ja aiheuttamaan materiaalikerrosten välisiin rajapintoihin
homeen kasvulle otollisia olosuhteita tai kosteuden tiivistymisriskiä. (Paloniitty 2012,
7.)

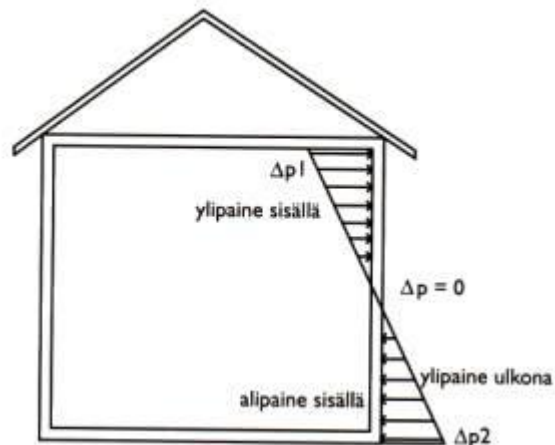
3.3 Energiakulutuksen pienentäminen

Kolmas merkittävä tekijä hyvään ilmatiivyyteen pyrkimisessä on energiakulutuksen
pienentäminen. Hallitsemattomalla vuotoilmalla on suuri vaikutus rakennuksen koko-
naisenergiakulutukseen. Esimerkiksi pientaloissa laskennallinen kokonaisenergiakulu-
tuksen lisäys on keskimäärin 4 % jokaista n_{50} -luvun kokonaisyksikön lisäystä kohti.
Vuotoilman tarvitseman energian osuus suhteessa kasvaa siirryttäessä matalaener-
giarakentamisen suuntaan. Koska uudistuotantoa on vain 1-2 % rakennuskannasta,
todellinen ongelma on olemassa olevassa rakennuksissa, joiden tiiveyden parantami-
seksi tuleekin kiinnittää erityistä huomiota. (Kaartinen & Laajoki 2012.)

4 ILMATIIVIYSMITTAUS

Ilmatiiviyssmittauksessa on huomioitava maapallon ympärillä olevan ilnamassan vaikutus ilmakehän paineeseen. Paine-ero rakennukseen muodostuu savupiippuvaikutuksesta, tuulesta ja ilmanvaihtojärjestelmästä. Vallitsevan paine-eron mittaus on yksi tärkeimmistä mittauksista sisäilman laadun ja rakenteiden toiminnan tutkimisessa. Se tulee tehdä, kun arvioidaan rakenteiden toimivuutta, sisäilmaa ja ilmanvaihtoa. Paine-ero mitataan aina rakennuksen ilmanpitävyyden mittauksen ja lämpökuvauksen yhteydessä. (Paloniitty 2012, 8.)

Kauppisen ja Paloniityn mukaan rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavat ensisijaisesti ilmanvaihtojärjestelmä, savupiippu- eli hormivaikutus ja tuuli. Ilmavuotoihin vaikuttaa höyrynsulun tai ilmansulun tiiveys. Myös tuulensuojalevyn vuotokohdat jäähdyttävät eristekerrosta, vaikka höyrynsulku olisikin kunnossa. Kylmänä vuodenaikana ulko- ja sisätilojen välisestä lämpötilaerosta aiheutuu luonnollisesti savupiippuvaikutuksesta rakennuksen yläosaan ylipainetta ja alaosiin alipainetta. Savupiippuvaikutuksesta aiheutuvaan paine-eroon vaikuttavat rakennuksen korkeus sekä ulkoilman ja sisäilman lämpötilaero. Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä perustuu hormivaikutukseen ja tuulen ejektorivaikutukseen. Painovoimaisessa rakennuksessa on siten aina nollataso, jonka yläpuolella on ylipaine ulkoilmaan nähden ja alapuolella alipaine ulkoilmaan verrattuna (kuva 1). Nollatason yläpuolella sisäilma pyrkii tunkeutumaan rakenteiden läpi ulos, alapuolella ulkoilma pyrkii tunkeutumaan mahdollisia vuotoreittejä pitkin sisälle. Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä ulkoilma otetaan ulkoilmaventtiilien kautta. Poistoilma johdetaan koneellisesti poistoventtiilien ja poistokanavien kautta ulos. Rakennus on kauttaaltaan alipaineinen ulkoilmaan nähden. Koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä, joka on joko varustettu lämmöntalteenotolla tai ilman sitä, tulo- ja poistoilma johdetaan sisään koneellisesti. Rakennuksen tulisi olla tasapainossa lievästi alipaineinen ulkoilmaan verrattuna. Korkeissa tiloissa voi rakennuksen yläosa olla silti ylipaineinen. (Paloniitty & Kauppinen 2011, 26–27.)



KUVA 1. Lämpötilaeroista aiheutuva tasatiiviiseen rakennukseen kohdistuva painejakauma, paine-ero, Δp_1 on yleensä eri suuri kuin paine-ero, Δp_2 (Sisäilmäyhdistys 2008)

4.1 Rakennuksen ilmanpitävyys

Rakennuksen ilmatiiveyttä voidaan mitata erityislaitteistolla. Mittauksessa aikaansaadetaan 50Pa:n paine-ero sisä- ja ulkotilojen välille ja laitteistolla ja ohjelmistolla saadaan tulokseksi ilmatiiviyysluku, eli n_{50} -luku. Se kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuuden verran ilmaa vuotaa rakenteiden läpi. Ilmatiiviyysluvun yksikkö on 1/h (”kertaa tunnissa”). Energiatehokkaalle talolle ilmatiiviyystavoitteen tulisi olla 1,0 1/h tai alempi. Tällä saavutetaan noin 20 %:n energiansäästö verrattuna ilmatiivyyden arvoon 4,0 1/h. Passiivitalojen ilmatiiviyysvaatimus on, että n_{50} -luku on enintään 0,6 1/h. (Energiatehokas koti 2012.)

Rakenteiden ilmapuodoilla on suuri vaikutus niiden kosteustekniselle toimivuudelle. Hyvä ilmatiiviyys luonnollisesti parantaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Ilmatiiviissä rakennuksessa kostea sisäilma ei pääse virtaamaan rakenteisiin ja kylmä ulkoilma ei pääse jäädyttämään rakennetta. Hallitsemattomalla vuotoilmalla on suuri vaikutus rakennuksen sisäilmastoon, vedontunteeseen ja kokonaisenergiankulutukseen. (Talotiikeri 2013.)

4.2 Ilmanvuotoluvun mittaustavat ja -menetelmät

Mittausvaihtoehtoina voidaan käyttää erillistä painekoelaitteistoa, rakennuksen omaa poistoilmalaitteistoa sekä näiden yhdistelmää.

Ilmanpitävyyden mittaaminen tapahtuu standardissa SFS-EN 13829 esitettyä menetelmää käyttäen. Mittaus tehdään siten, että rakennukseen tarkoituksellisesti ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot (ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmakanavat, korvausilmaventtiilit), tulisijat ja hormit suljetaan tiiviisti teippaamalla tai muulla luotettavalla tavalla. Myös ovien ja ikkunoiden tulee olla kiinni mittauksen aikana. Ilmanvuotolukua laskettaessa käytetään rakennuksen tilavuutena sen ilmatilavuutta. Suoritetusta mittauksesta laaditaan SFS-EN 13829:n mukainen ilmanpitävyysraportti. (RT 80–10974 2009, 10.)

Asuinrakennusten ilmanpitävyys mitataan ohjeessa RT 80–10974 esitettyjä menetelmiä käyttäen. Useamman huoneiston pientaloissa paritaloista valitaan mitattavaksi toinen asunto ja rivitaloista satunnaisesti valittu päätyhuoneisto. Asuinkerrostalossa mitattavaksi valitaan satunnaisesti yksi ylin sekä yksi alin huoneisto sekä yksi huoneisto välikerroksista, jolloin kerrostalon ilmanpitävyys on saatujen mittaustulosten keskiarvo. Asuinkerrostalojen ilmanpitävyys voidaan määrittellä myös mittaamalla yksi tai useampi kokonainen porras tai koko rakennus. (RT 80–10974 2009, 10.)

Ilmanvuotoluvun mittaus pien- tai kerrostalon omalla ilmanvaihtolaitteistolla edellyttää, että rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmänä on keskitetty poistoilmanvaihto tai keskitetty tulo- ja poistoilmanvaihto. Keskitetyllä poistoilmanvaihtojärjestelmällä varustetussa rakennuksessa voidaan tehdä alipainekoe, kun huoneiston tai huoneistojen korvausilmakanavat suljetaan ja ilman tilavuusvirta mitataan puhaltimen tai IV-koneen poistoilmakanavasta. Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustetussa rakennuksessa voidaan tehdä sekä ali- että ylipainekoe sulkemalla joko IV-koneen tulo- tai poistoilmakanava mittauksen ajaksi ja mittaamalla ilman tilavuusvirta avoimna olevasta kanavasta. IV-koneen avulla tehtävissä painekokeissa on tärkeä varmistaa, että mitattava tila sisältää kaikki tilat, joiden ilmanvaihdosta IV-kone huolehtii. (RT 80–10974 2009, 10.)

4.3 Painekokeen toteutus ja ilmanvuotolukujen laskenta

Paineekokeessa määritetään ilman tilavuusvirta, joka täytyy puhaltaa rakennukseen (ylipainekoe) tai sieltä pois (alipainekoe), jotta rakennuksen ulkovaipan yli saadaan haluttu paine-ero. Ilman tilavuusvirrat määritetään portaittain eri paine-eroilla vähintään 50 Pa paine-eroon asti. Ilmavuotoluku, n_{50} -luku [1/h], voidaan laskea kaavalla

$$n_{50} = \frac{qv}{V} \quad (1)$$

missä

qv = ilman tilavuusvirta, joka tarvitaan 50 Pa:n paine-eron aiheuttamiseksi rakennuksen vaipan yli [m^3/h]

V = rakennuksen sisätilavuus [m^3]

Rakennuksen ilmavuotoluku voidaan määrittää myös vaipan pinta-alaa kohti q_{50} -lukuna [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]. q_{50} -luku voidaan laskea n_{50} -luvusta kaavalla

$$q_{50} = n_{50} \left(\frac{V}{A_E} \right) \quad (2)$$

missä

q_{50} = rakennusvaipan ilmavuotoluku, ($\text{m}^3/(\text{h} \times \text{m}^2)$)

n_{50} = rakennuksen ilmavuotoluku, (1/h)

V = rakennuksen ilmatilavuus, (m^3)

A_E = rakennuksen vaipan pinta-ala sisämittojen mukaan laskettuna, (m^2)

4.4 Vaipan-alan ja tilavuuden määrittäminen

Vaipanalaan lasketaan mukaan pinta-alat alapohjasta, yläpohjasta ja ulkoseinien pinta-alat aukkoineen. Rakennuksen mitattavaan tilaan otetaan mukaan kaikki tilat, jotka ovat selvästi ilmanpitävän vaipan sisäpuolella. Yleensä mitattavaan tilaan kuuluvat kaikki lämmitetyt ja jäädytetyt tilat sekä tilat, joissa on koneellinen ilmanvaihto. Ilmavuotoluvun laskennassa käytettävä rakennuksen sisätilavuus lasketaan Rakentamismääräyskokoelmassa D5 määritetyn rakennuksen ilmatilavuuden mukaan. Rakennuksen ilmatilavuus on huonekorkeuden ja kokonaissisämittojen mukaan lasketun pinta-alan tulo. Välipohjia ei lasketa rakennuksen ilmatilavuuteen. Huoneiston ilmatilavuus lasketaan vastaavalla tavalla kuin rakennuksen ilmatilavuus. (RT 80–10974

2009.) Näin ollen huoneiston tilavuuden laskenta poikkeaa Rakentamismääräyskoelmassa D5 /16/ määritetystä huoneiston ilmatilavuudesta siltä osin, että väliseinät otetaan mukaan ilmatilavuuteen. (RT 80–10974 2009, 12.)

4.5 Mittaus

Rivitaloissa mittaus suoritetaan mittaamalla kaikkien yksittäisten asuntojen tiiviys samoin menetelmin kuin pientaloissakin. Mittaustuloksista saadaan ilmavuotoluku (RT kortti 80–10974). Voidaan myös valita kohteesta vähintään kaksi kappaletta asuntoja (sellaiset asunnot, joissa on eniten ulkovaippaa) ja mitataan asuntojen tiiviys samoin menetelmin kuin pientaloissakin ja saatujen tuloksien keskiarvo on käytettävä ilmavuotoluku (RT- kortti 80–10974). Asuinkerrostaloissa mitataan rakennuksen tiiviys ns. porraskohtaisesti ja lasketaan tuloksista keskiarvo. Se soveltuu pääasiassa kohteisiin, jossa on asuntokohtainen tulo-poistoilmanvaihtokone. Voidaan myös mitata koko rakennus yhtenä kokonaisuutena. Se soveltuu pääasiassa kohteisiin, jossa on yhteiskanava-ilmanvaihtokone. Muissa kohteissa mitataan rakennuksen tiiviys osissa ja lasketaan tuloksista keskiarvo tai mitataan koko rakennus yhtenä kokonaisuutena. (Hamk 2010.)

4.6 Mittausvirheet

Mikäli tiiviyskoelaitteiston puhaltimen kapasiteetti on mitattuun ilmavirtaan verrattuna suuri, on mahdollisuus suuriinkin mittausvirheisiin. Myös ilmavirran mittaustavalla on merkitystä. Pienillä virtauksilla on mahdollisuus epävakaaseen mittaustulokseen sekä virtauksen kanavoitumiseen. Käytännössä tätä esiintyy pienissä ja tiiviissä asunnoissa. Mittausvirhe koostuu ilmamäärän mittausvirheestä sekä rakennuksen suureiden mittausvirheistä. Lopullinen virheprosentti valmiilla tiiviysmittauslaitteistolla on tyypillisesti 3–10 prosenttia ja rakennuksen omilla ilmanvaihtojärjestelmillä tehtävässä mittauksessa 10–20 prosenttia. (Paloniitty 2012, 57.)

4.7 Ilmavuotojen paikannus

Vuotokohtien paikantaminen rakennuksissa on olennainen osa ilmanpitävyyden mitausta. Tiiviysmittaajan tulee paikantaa aina suurimmat ja merkittävimmät ilmavuodot, jotta tulppauksen onnistuminen voidaan todentaa. Vuotojen paikannuksen periaate on, että rakennuksen sisälle luodaan alipaine 10–90 Pa. Alipainetta suositellaan oltavan vähintään 10 Pa / asuinkerros, jolloin savupiippuvaikutuksen aiheuttama ylipaine saadaan kumottua. Alipaineen aikana ulkoilma ja maan huokosilma pyrkivät ilmavuotopaikoista sisään, jolloin ilmavuodot voidaan paikantaa. Ilmanvuotopaikat paikannetaan lämpökuvauksella tai merkkisavuilla. (Paloniitty 2012, 58.)

4.7.1 Lämpökuvaus

Lämpökuvauksen tarkoituksena on määrittää rakennuksen kunnon- tai laadunvalvonassa ulkovaipan lämpötekniinen kunto, lämmöneristyskerroksen toimivuus ja rakenteellinen tiiviys (ilmanpitävyys). Lämpökameran avulla voidaan samalla selvittää muita rakennuksen ja rakenteiden toimivuuteen sekä olosuhteisiin ja asumisviihtyvyyteen liittyviä tekijöitä, kuten ilman virtausreittejä, rakenteiden fysikaalista toimintaa, tietyin edellytyksin kosteusvaurioita ja LVIS-laitteiden toimintaa. (RT 14–10850 2005, 2.)

Lämpökuvaus tehdään pääsääntöisesti rakennuksen sisäpuolelta. Lisäksi rakennus voidaan kuvata tarvittaessa ulkopuolelta sekä lämmöneristyskerroksen kylmältä puolelta niiltä osin kuin se on mahdollista, esim. ullakolta. Ulkopuolisessa kuvauksessa on erityisesti huomattava edeltäneiden sääolosuhteiden sekä ulkoverhouksentuuletusraon vaikutukset. (RT 14–10850 2005, 4.)

Lämpökuvauksen mittatarkkuuteen vaikuttavat kamera-asetukset ja kuvauskulma. Pentti Urho on Hämeen ammattikorkeakoululle vuonna 2003 tekemässään opinnäytetyössään tutkinut kamera-asetusten merkitystä tuloksiin. Tutkimuksen mukaan kuvauskulman ollessa alle 30° kohtisuorasta kuvauskulmaan nähden mittatarkkuus on alle 1 °C. Kuvauskulman ollessa jyrkempi mittausvirhe voi olla jopa yli 2 °C. Kuvauskulman ollessa kuvattavan pinnan kanssa kohtisuorasta yli 45° alkavat taustan heijastukset vaikuttaa oleellisesti mittaustuloksiin. Tämä sääntö toimii hyvin sisätiloissa. Rakennusta ulkoapäin kuvattaessa on kuvauskulma hyvä pitää alle 30 °:ssa, koska ava-

ruudesta ja mahdollisesti muista taustan tekijöistä aiheutuva heijastus muuttaa mittaustulosta. Kamera-asetuksien, kuten kuvattavan pinnan emissiokertoimen, kuvausetäisyyden, ympäristön lämpötilan, ilman lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden vaikutusta mittaustulokseen tutkittiin pääasiassa ohjelmallisesti muutamista lämpökuvista, jotka oli otettu tyypillisimmistä rakennusmateriaaleista. Näistä todettiin, että valitun pinnan emissiokerroin ja taustan lämpötila vaikuttavat oleellisesti mittaustulokseen. (Paloniitty & Kauppinen 2011, 20.)

Tarvittaessa lämpökuvauksen yhteydessä voidaan tehdä oheismittauksia, kuten:

- tiiviysmittauksia (50 Pa alipaine)
 - lämpövirtamittauksia
 - ilmamäärämittauksia
 - pintalämpötilamittauksia koskettavalla pintalämpötila-anturilla
 - suhteellisen kosteuden mittauksia sisätiloista
 - merkkisavukokeita
 - ilmanvirtausmittauksia, joilla selvitetään ilmamääriä ja ilman virtausnopeuksia (varsinaiset vetomittaukset tulisi tehdä suuntariippumattomalla termoanemometrillä).
- (RT 14–10850 2005, 4.)

4.7.2 Merkkisavu

Merkkisavut ovat menetelmänä yksinkertainen tapa tutkia rakennuksessa tapahtuvia ilmavirtauksia. Savulähteestä päästetään tilanteeseen sopiva määrä savua, jonka kulureitistä/reiteistä tehdään silmin havaintoja. Savulähteenä on tyypillisesti ampulli/pullo josta päästetään pieni määrä savua tutkittavaan kohtaan. Savu pitää päästää kohtisuoraan oletettua ilmavirtaussuuntaa nähden, jottei savupäästön liike sotke havaintoja. Tutkimuksia voidaan tehdä myös käyttäen suurempia merkkisavuja, jolloin voidaan havainnoida samanaikaisesti suurempaa kokonaisuutta esim. rakennusten osien välillä. Tällöin rakennus tulee tyhjentää käyttäjistä ja tarvittaessa informoida palokuntaa mahdollisista ulospäin näkyvistä savupäästöistä. Käytettävän savun tulee olla sellaista, että se ei jätä mitään jälkiä rakennuksen materiaaleihin tai huonekaluihin. Suurempien savujen käyttö vaatii rakennuksen virtausteknisen toiminnan ymmärtämistä, jotta koe osataan suunnitella tarkoituksenmukaiseksi. (Sisäilmayhdistys 2012.)

4.8 Ilmanpitävyysraportin sisältö

Ilmanpitävyysmittauksesta laaditaan raportti, jossa esitetään vähintään seuraavat tiedot:

rakennuksen tunniste- ja laajuustiedot

rakennuksen tai sen mitatun osan ilmatilavuus

mittaajan nimi ja mittauspäivämäärä

säättiedot

– ulkolämpötila

– tuulen nopeus

– tuulen suunta

– ilmanpaine

tiiviyysmittausten 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

mittaustulokset

– mittauspaine-erot

– mitatut vuotoilmavirrat eri paine-eroilla

– sisälämpötila

– ulkolämpötila

– ilmanpaine

mittaustuloksista määritetty vuotoilmavirta 50 Pa:n paine-erolla

vaipan ilmavuotoluku n_{50} . (RT 14–10850 2005, 13.)

5 MITTAUS

Mittaussuoritus omakotitalokohteella (kuva 2) 27.10.2012 klo 13.50

Tilaajana omakotitalon omistaja

Kohde: Omakotitalo, rakennettu 2001, Outokumpu



KUVA 2. Omakotitalo sijaitsee lounas-koillinen -suunnassa

Huoneistoala 97 m ²	Lattian pinta-ala 97m ²	Alapohja U= 0,25 W/m ² ,K
Vaipan pinta-ala 317m ²	Ilmatilavuus 252m ³	Ulkoseinä U= 0,16 W/m ² ,K
Kerrosala 106m ²	Rakennustilavuus 320m ³	Yläpohja U= 0,08 W/m ² ,K

Muut lähtöarvot:

Ulkolämpötila 0 astetta	Sisälämpötila +21 astetta
Tuuli: Tyyni	Tuulensuunta ei ollut havaittavissa
Paine-ero < 1,0Pa	Ilmanpaine 999,7 hPa

Ilmanvuotoluvun laskennassa käytettävä rakennuksen sisätilavuus lasketaan rakentamismääräyskokoelmassa D5 määritetyn rakennuksen ilmatilavuuden mukaan. Rakennuksen ilmatilavuus on huonekorkeuden ja kokonaissisämittojen mukaan lasketun pinta-alan tulo. Välipohjia ei lasketa rakennuksen ilmatilavuuteen. Huoneiston ilmatilavuus lasketaan vastaavasti rakentamismääräyskokoelmassa D5 määritetyn huoneis-

ton ilmatilavuuden mukaan. Huoneiston ilmatilavuus on sen sisäpintojen rajoittaman tilakappaleen tilavuus. Väliseiniä ja välipohjia ei lasketa huoneiston ilmatilavuuteen. Vaipan alaan lasketaan ulkoseinien pinta-ala sisämittojen mukaan laskettuna sekä yläpohjan ja alapohjan ala. Aukkoja ei vähennetä vaipan alasta. Asunnon vaipan alaan lasketaan asuntoa rajaavat seinät aukotuksineen sekä lattia ja katto. Mittaus kannattaa tehdä sekä piirustuksista että kohteessa laser-etäisyysmittarin avulla. (RakMK D5. 2012.)

Omakotitalokohteella oli pääpiirustukset käytettävissä. Piirustuksista saatiin kohteen huoneistoala ja tilavuus. Lisäksi piirustuksien avulla laskettiin mittauksessa tarvittavat tiedot, kuten vaipan ala ja ilmatilavuus.

Mittauslaitteisto (kuva 3 ja 4) otettiin esille. Mittauslaitteistona käytettiin Retrotec 1000 -puhallinyksikköä, ovikehystä puhaltimelle, tiivistyspalloja, laseretäisyysmittaria, yms. tarvikkeet. Lisäksi käytettiin Retrotec DM-2A -digitaalista painemittaria, kannettavaa tietokonetta, jossa on FanTestic- ohjelmisto. Mittauksessa oli tarvittavat letkut ja johdot, joilla laitteet yhdistetään toimivaksi mittauslaitteistoksi.



KUVA 3. Mittauslaitteisto



KUVA 4. Mittauslaitteisto

5.1 Laitteiston valmistelu

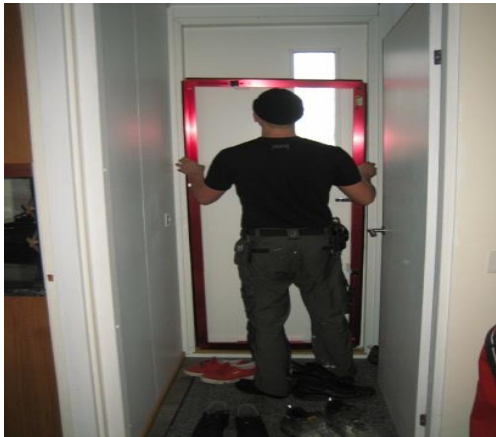
Mittauksessa tarvittava kalusto siirrettiin huoneiston sisäpuolelle. Alumiininen ovikehys kasattiin valmiiksi puhallinyksikköä varten (kuva 5 ja 6). Kehyksen ympärille tulee ilmatiivis kangas, jossa on valmis aukko puhallinyksikölle. Ovikehysten hienosäätö, kiristys ja tiivistys tehtiin siinä vaiheessa, kun kehys asennettiin ulko-oven aukkoon (kuva 7). Asunnon ulko-ovi tuettiin auki asentoon. Seuraavaksi asennettiin puhallinyksikkö ovikehysten aukkoon, johon se tiivistyy itsestään. Kytettiin painemittarin letkut puhallinyksikköön ja tietokone kytkettiin ohjaamaan puhallinyksikköä (kuva 8).



KUVA 5. Alumiininen ovikehys



KUVA 6. Asennusraudat



KUVA 7. Asennus ovi-aukkoon



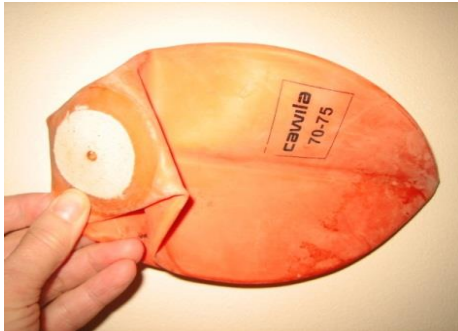
KUVA 8. Tietokoneyksikkö

5.2 Muu valmistelu

Kohteessa on lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihto ja keittiössä erillinen liesituuletin. Huoneiston ilmanvaihtoventtiilit (kuva 9) irrotettiin ja venttiilien tilalle asennettiin tulppauspallot (kuva 10). Liesituulettimesta poistettiin suodatin, jonka jälkeen tiivistyspallo (kuva 11) asennettiin poistoputkeen. Kaikki ilmastointiputket saatiin tukittua huoneiston sisältä. Ilmastointiputket voi myös tukkia nousemalla katolle ja tulppauspallot asennetaan putkiin ilmastointikontilla. Muita tiivistettäviä kohtia oli ikkunan karmissa yläreunassa olevat korvausilmaventtiilit. Kaikki väliovet avattiin, jotta huoneisto olisi yhtä suurta tilaa.



KUVA 9. Venttiilien kiinnilaitto



KUVA 10. Tulppauspallo



KUVA 11. Tiivistyspallo paikalleen asennettuna

Suoritettiin laitteistojen asennukset ja muut alkuvalmistelut. Tietokoneelle syötettiin ilmatiiviysmittausohjelman tarvitsemat alkutiedot. Mittauslaitteisto oli kokonaisuudessaan valmis mittaussuoritukseen (kuva 12) ja tarkastusten jälkeen käynnistettiin ilmatiiviystesti alipaineisena. Testi sujui ongelmitta ja puhallin käännettiin puhaltamaan taloon sisälle päin. Aloitettiin ylipainetestin suoritus. Molemmat testit onnistuivat ilman ongelmia.



KUVA 12. Alkutiivistykset on tehty ja laitteisto on valmiina tiiviysmittaukseen

5.3 Mittaustyön aloittaminen

Virrat laitettiin päälle laitteisiin ja avattiin FanTestic- ohjelmisto. Mitattiin peruspaine ja odotettiin, kunnes peruspaine tasaantui (vaihtelu $< 1\text{Pa}$). Ohjelmistoon syötettiin huoneiston tiedot. FanTestic-ohjelmisto tekee alkuasetusten mukaan viisi erillistä mittausta tasavälein alkaen 20 Pascalista ja päättyen 60 Pascalin alipaineeseen. Onnistuneen mittauksen jälkeen mittaukset tehdään vastaavilla ylipaineilla. Mittaukset tehdään 20Pa, 30 Pa, 40 Pa, 50 Pa, 60 Pa paineilla. Virtausalueen valitsemisen ”nyrkki-sääntö”: Valitse ”A” vanhoille vuotaville taloille, ”B” on hyvä pientaloille ja kokeile ”C8” uusille tiiveille taloille. Puhaltimessa on mahdollisuus säätää monipuolisesti ilmanvirtausta joka menee puhaltimen läpi.

A= täysin avoin, kaikki kuristusrenkaat on poistettu

A+B= vain isoin kuristusrenkas on paikoillaan

A+B+C=> C8= 8 reikää on auki

C6= 6 reikää on auki

C4= 4 reikää on auki

C2= 2 reikää on auki

C1= 1 reikä on auki

L4= 4 pikku reikää on auki

L2= 2 pikku reikää on auki

L1= 1 pikku reikä on auki

Koska kyseessä oli 10 vuotta vanha omakotitalo, puhaltimeen jätettiin kuristimet C4-säädön mukaisesti. Virtausta kuristettiin siten, että ilmaa pääsi vain puhaltimen neljän reiän läpi. Valittiin FanTestic- ohjelmasta myös virtausalueeksi C4. Huoneiston ovet ja ilmanvaihtoventtiilit tarkistettiin vielä kerran ja tarkistettiin myös tietokoneelta FanTestic - ohjelmaan syötetyt tiedot. Kaikki oli kunnossa mittauksen aloittamista varten ja automaattinen testiohjelma käynnistettiin tietokoneelta. Ohjelmisto käynnisti muutaman minuutin kuluttua puhaltimen, joka pyrki aluksi saamaan 20 Pascalin alipaineen huoneistoon, ja viides mittaus suoritettiin 60 Pascalin alipaineessa.

Alipainemittaus onnistui hyvin ja puhallin pysähtyi automaattisesti testin päätyttyä. Huoneistosta tehdään vielä ylipainemittaus. Ylipainemittausta varten puhallin irrotettiin ja käännettiin puhaltamaan huoneistoon päin. Puhaltimen kääntämisen jälkeen ohjelmisto käynnistettiin uudelleen ja testaus alkoi samoilla alkuarvoilla kuin alipainemittauksessa. Ylipainemittauksella voidaan saada erilaiset tulokset kuin alipainemittauksessa. Rakenteessa voi olla esim. muovituksessa jokin ”läppä”, joka pysyy kiinni alipaineessa, mutta aukeaa ylipaineistuksen aikana. Mittaus ylipaineella onnistui hyvin, ja testin valmistuttua puhallinyksikkö pysähtyi ja tietokone alkoi laskea tuloksia suoritetuista mittauksista.

5.4 Vuotokohtien etsiminen

Mikäli halutaan etsiä vuotokohdat huoneistosta, käännetään puhallin siten, että tuotetaan huoneistoon alipainetta. Puhallinyksikkö voidaan asettaa manuaalisesti puhaltamaan 50 Pascalin alipaineen huoneistoon. Puhallinyksikkö pitää 50 Pascalin alipaineen tarvittavan ajan, jotta vuotokohdat voidaan etsiä koko huoneistosta. Vuotokohtien tarkastelua voi tehdä lämpökameran ja savuttimen avulla. Kohteella tehtiin ulkoseinien tarkastus lämpökameran avulla, mutta mitään suurempaa lämpötilaeroa ei havaittu. Lämpökamerakuvauksessa saadaan sitä paremmat tulokset, mitä suurempi on sisä- ja ulkoilman lämpötilaero. Lämpökamera näytti kuitenkin vain yli 5 asteen eron minimi ja maksimi lämpötilojen osalle. Seuraavaksi otettiin käyttöön merkkaussavulaitteet (kuva 13). Savun avulla löytyi keittiöstä ulkoseinällä olevasta valokatkaisijan rasiasta vuotokohta. Ikkunoiden tiivistyksissä oli myös pieniä vuotoja. Kyseiset vuodot tunsu, kun kokeiltiin kädellä lähellä vuotokohtaa.



KUVA 13. Vuotokohtien etsintä merkkauusavulaitteella

Omakotitalon ilmatiiviysmittauksen tuloksena saatiin ilmavuotoluvuksi $q_{50} = 2,918 \text{ m}^3/\text{hm}^2$.

5.5 Tulokset mittauksista

Keskiarvo tuloksista oli 2,918. Tulos on kohtuullisen hyvä taloon, joka on rakennettu vuonna 2000–2001. Rakentamisessa on käytetty muovia, mutta saumoja ei ole teipattu. Ilmastoputkien ja sähkörasioiden läpivienneissä ei ole myöskään käytetty teippausta.

Ilmatiiviiden testin raportti

Testin suoritus kokonaisuudessaan onnistui hyvin, ja tulokset ovat mielestäni luotettavat. Lopputulokseksi tuli ilmanvuotoluku, $q_{50} = 2,918 \text{ [m}^3/\text{h m}^2]$.

Yhdistetyissä tuloksissa testauksessa epävarmuustekijät olivat vain 2-3 %:n luokkaa. Ilmavirtaus V_{50} vaihteli välillä 908,5–941,5 $[\text{m}^3/\text{h}]$ ja keskiarvoksi tuli 925 $[\text{m}^3/\text{h}]$. Ilmanvuotoluku n_{50} vaihteli 3,575—3,770 $[\text{1/h}]$ välillä ja keskiarvoksi tuli 3,671 $[\text{1/h}]$. Ilmanvuotoluku q_{50} vaihteli 2,840—2,996 $[\text{m}^3/\text{h m}^2]$ välillä ja keskiarvoksi tuli 2,918 $[\text{m}^3/\text{h m}^2]$. Ilmanvuotoluku saatiin paremmaksi uudella q_{50} -luvulla verrattuna entiseen n_{50} -lukuun.

Alipaineistettu mittaustapa

Olosuhteet: Ilmanpaine 99,9 kPa

Lämpötilat: Alussa: sisällä 20 °C, ulkona -3 °C. Lopussa: sisällä 20 °C, ulkona -3 °C.

Vallitsevan paineen keskiarvot erot olivat pieniä. Testipaine asettui hyvin haluttuihin arvoihin.

Testi suoritettiin viidellä alipaineella, jotka olivat -20Pa, -30Pa, -40Pa, -50Pa ja -60Pa. Testipaineet asettuivat vastaavasti -21,0Pa, -29,1Pa, -39,7Pa, -50,6Pa ja -60,0Pa. Virtaus lisääntyi puhallinpaineen kasvaessa tasaisesti ja korjatun virtauksen jälkeen virheprosentti oli välillä 0,4-1,2 %. Virheet alipainemittauksessa olivat varsin pieniä. Alipainetestin graafisesta kuvaajasta näkyi, kuinka tasaisesti vuotoilmavirta lisääntyy paineen muuttuessa suuremmaksi.

Alipaineistuksen tulokset

Alipaineistuksen tuloksissa testauksessa epävarmuustekijät olivat 1,7–2,6 %:ia. Ilmavirtaus v_{50} vaihteli välillä 907,0—937,5 [m^3/h] ja keskiarvoksi tuli 922 [m^3/h]. Ilmanvuotoluku n_{50} vaihteli 3,565—3,755 [1/h] välillä ja keskiarvoksi tuli 3,650[1/h]. Ilmanvuotoluku q_{50} vaihteli 2,833—2,985[$\text{m}^3/\text{h m}^2$] välillä ja keskiarvoksi tuli 2,909 [$\text{m}^3/\text{h m}^2$]. Ominaisvuoto w_{50} [$\text{m}^3/\text{h m}^2$] sai keskiarvokseen lukeman 9,507.

Ylipaineistettu mittaustapa

Olosuhteet: Ilmanpaine 99,9 kPa, Tuulen nopeus vähäinen. Lämpötilat: Alussa: sisällä 20 °C, ulkona -3 °C. Lopussa: sisällä 20 °C, ulkona -3 °C.

Vallitsevan paineen keskiarvot erot olivat pieniä. Testipaine asettui hyvin haluttuihin arvoihin. Testi suoritettiin viidellä alipaineella, jotka olivat -20Pa, -30Pa, -40Pa, -50Pa ja -60Pa. Testipaineet asettuivat vastaavasti 19,1,0Pa, 30,2Pa, 40,4Pa, 49,6Pa ja 60,1Pa. Virtaus lisääntyi puhallinpaineen kasvaessa tasaisesti ja korjatun virtauksen jälkeen virheprosentti oli välillä 0,3-1,1 %. Virheet ylipainemittauksessa olivat pieniä. Ylipainetestin graafisesta kuvaajasta näkyi, kuinka tasaisesti vuotoilmavirta lisääntyy paineen muuttuessa suuremmaksi.

Ylipaineistuksen tulokset

Alipaineistuksen tuloksissa testauksessa epävarmuustekijät olivat 1,9–2,8 %:ia. Ilmavirtaus v_{50} vaihteli välillä 929,5—965,5 [m³/h] ja keskiarvoksi tuli 947,5 [m³/h]. Ilmanvuotoluku n_{50} vaihteli 3,655–3,860[1/h] välillä ja keskiarvoksi tuli 3,760[1/h]. Ilmanvuotoluku q_{50} vaihteli 2,906–3070[m³/h m²] välillä ja keskiarvoksi tuli 2,988 [m³/h m²]. Ominaisvuoto w_{50} [m³/h m²] sai keskiarvokseen lukeman 9,766

Tarkemmat tulokset ja ilmatiiviysraportti kohteesta ovat liitteessä 1.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Uudisrakentamisessa siirryttiin 1.7.2012 alkaen kokonaisenergiatarkasteluun. Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen taustalla on Eurooppa 2020 - älykkään, kestävän ja osallistavan kasvun strategia, jossa ilmastonmuutoksen ja energian toimenpiteet ovat yksi viidestä EU:n yleistavoitteesta. Tämä 20–20–20 -tavoite tarkoittaa samanaikaisesti 20 %:n kasvihuonekaasupäästöjen leikkausta vuoden 1990 tasosta, 20 %:n energiatehokkuuden parantamista (primäärienergian kulutuksen leikkaus 20 % verrattuna kulutukseen 2020 ilman energiatehostustoimenpiteitä) ja uusiutuvien energialähteiden osuuden nostamista 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä. EU:n tavoitteet ja ohjauskeinot on määritetty useilla direktiiveillä, joista osa koskee energiatuotantoa, osa rakennusten energiankulutusta ja osa uusiutuvien energialähteiden käyttämisestä. Uudis- ja korjausrakentamisella on keskeinen rooli energiatehokkuuden parantamisessa, koska rakennuskannan energiankulutus vastaa Suomessa ja koko EU:ssakin noin 40 % kokonaisenergiankulutuksesta. Näin rakennusten energiatehokkuuden parantaminen muodostaa yksittäisen suurimman energiasäästöpotentiaalin. (Kurnitski 2012, 95–96.)

Opinnäytetyöni tavoitteena oli saada tietoa siitä, kuinka ilmatiiviysmittausta voidaan käyttää rakenteiden ongelmien (kosteus, vuotokohdat) paikantamisessa ja sitä kautta parantaa energiataloutta, ilmanlaatua ja asumisen laatua. Tiiviysmittauksista ei löydy vielä kovin paljon alan kirjallisuutta, koska aihealue on vielä uusi. Lisäksi ongelmana

oli oppia tunnistamaan ja löytämään kaikki mittausta varten suljettavat ja teipattavat aukot.

Pohjatietona käytin RT-korttia (RT80-10974/ LVI 01-10450) Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. Opiskelin opinnäytetyön ohella tiiviysmittauskoulutusta ja hankin tarvittavat laitteet käyttööni. Tekemäksäni opinnäytetyössä halusin kartoittaa mahdollisimman hyvin rakennusten mittaustavat ja saatujen tulosten oikeaoppisen tulkinnan.

Opinnäytetyössä suoritettiin empiirinen koe omakotitalossa. Ilmatiiviysmittauksen suoritus onnistui hyvin ja tulokset ali- ja ylipaineella olivat samansuuntaiset. Mittauksen avulla todettiin, että vuonna 2001 rakennetun omakotitalon ilmatiiviysluku oli $2,918 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. Saatu tulos kertoo, että paikalla rakennetun omakotitalon saa ilmatiiviiksi tekemällä laadukasta ja huolellista työtä rakentamisen eri vaiheissa. 2000-luvun vaihteessa ei ilmatiiviys kuulunut kaikkein tärkeimpien asioiden joukkoon omakotitalorakentamisessa. Kohteessa tehtiin myös vuotokohtien paikannus erikseen 50 Pascalin alipaineessa. 50 Pascalin alipaine korostaa vuotokohtia, ja niiden havaitseminen helpottuu.

Valmiin talon kohdalla löydettyjen vuotokohtien korjaaminen voi olla suuritöistä ja vaatisi mittavan peruskorjauksen. Mitatussa kohteessa suosittelin ikkunatiivisteiden vaihtamista ja sähkörasian ympäristön tiivistämistä. Nykyisin todennettu hyvä ilmatiiviys kertoo rakentamisen hyvästä laadusta ja oikeanlaisesta asenteesta rakentamista kohtaan. Tulevaisuudessa luultavasti kiinteistöjen verotus voi perustua rakennuksen energiatodistukseen ja rakennuksen kuluttamaan energiaan.

7 POHDINTA

Ilmatiiviys tulee olemaan yksi tärkeimmistä tekijöistä siirryttäessä kohti nollaenergiataloja. 2020-luvulla kaikki uudet rakennettavat talot ovat luultavasti nollaenergiataloja, jotka tuottavat itse asukkaiden tarvitseman energian. Talon sisällä olevat ihmiset tuottavat myös itse lämpöä esimerkiksi ruokaa valmistaessaan. Nollaenergiataloissa hyödynnetään myös auringosta saatavaa energiaa. Energiaa otetaan myös maasta, ve-

destä ja ilmasta. Rakennuksen lämmin sisäilma hyödynnetään ottamalla talteen ilman sisältämä lämpö. Lämpö johdetaan takaisin sisätiloihin raittiin ulkoilman mukana.

Uuden omakotitalon rakennuslupaa haettaessa tarvitaan nykyisin E-luku-todistus ja tasauslaskelma. Rakennuslupaa haettaessa ilmavuotolukuna käytetään $q_{50} = 4,0 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. Luvan saannin ongelmaksi muodostuu joskus se, että E-luku ei täytä rakennukselle asetettua vaatimusta. Rakennustarkastajat voivat antaa ehdollisen rakennusluvan. Ehdoksi kirjataan, että rakennuksessa on tehtävä ilmatiiviysmittaus, jolla todennetaan parempi $q_{50} = < 4,0 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. Kun rakennus tehdään tiiviiksi ja noudatetaan huolellista rakennustapaa, voidaan ilmavuotoluku saada jopa alle $1,0 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. Ilmatiiviydellä on merkittävä energiakulutuksen kannalta. Ilmatiivis talo antaa asumismukavuutta ja hyvin toteutetulla ilmanvaihdolla saadaan hyvä ilmanlaatu rakennukseen.

Ilmatiiviysmittauslaitteistoja tullaan tulevaisuudessa hyödyntämään entistä enemmän. Uudet lämmöneristämistä ja energiankulutusta koskevat määräykset korostavat rakennuksen vaipan ilmatiiviyden merkitystä. Hyvä tiiviys saavutetaan hyvällä suunnittelulla, oikeilla rakenneratkaisuilla ja etenkin työmaalla tehdyllä laadukkaalla toteutuksella.

1.7.2012 siirryttiin uudisrakentamisessa alkaen kokonaisenergiatarkasteluun. Asuntokaupan sektorilla ostaja on kiinnostunut asunnon energiatehokkuudesta. Tulevaisuudessa tullaan mahdollisesti vaatimaan asuntokaupan yhteydessä ilmatiiviysmittaus ja E-luku ostettavasta kohteesta. Samoin mahdollisesti taloyhtiöiden osalta päädytään samanlaiseen laskennalliseen E-luku -menettelyyn. Energiatehokkaat rakennukset kiinnostavat ihmisiä kovasti jo tällä hetkellä, koska tiiviiden ja hyvin lämpöeristettyjen talojen käyttökustannukset ovat hyvin alhaiset. Tulevaisuudessa ilmatiiviysmittaajalla on luullakseni töitä sekä olemassa olevien rakennusten, taloyhtiöiden ja uudisrakentajien parissa. Aion olla mukana tekemässä yhteistyötä kaikkien energiatehokkaasta rakentamisesta kiinnostuneiden ihmisten kanssa.

LÄHTEET

Energiatehokas koti. 2012. Ilmanpitävyys.

http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/ilmanpitavyys. Päivitetty 16.10.2012. Viitattu 16.10.2012.

HAMK. 2010. Rakennuksen vaipan ilmatiiviys ja tiiviysmittaus.

http://www.sisailmayhdistys.fi/files/attachments/seminaari2010/sauli_paloniitty-2_170310.pdf. Päivitetty 17.3.2010. Viitattu 19.10.2012.

Infradex Oy. 2012. Lämpökameran toiminta. <http://www.infradex.com/kuinka.html>. Päivitetty 16.12.2011. Viitattu 13.10.2012.

Kurnitski, J. 2012. Energiämääräykset 2012. Opas uudisrakennusten energiämääräysten soveltamiseen. Suomen Rakennusmedia Oy. Helsinki. Vammalan Kirjapaino Oy, Sastamala.

Kaartinen, H., Laajoki, T. 2012. Fysikaalisten mittalaitteiden käyttö rakennusten kunnon arvioinnissa. Opinnäytetyöt, Rakennusterveys. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio. https://www.uef.fi/c/document_library/get_file?uuid=847462d6-08c2-47ca-8034-09b95f9a2d58&groupId=143970&p_1_id=2300378. Päivitetty 7.9.2012. Viitattu 12.1.2013.

Lappeenrannan teknillisen yliopiston opiskelu- ja opetusportaali Noppa. 2012. Konvektio. https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0100/.../luento_2.pdf. Päivitetty 29.08.2012. Viitattu 13.10.2012.

Paloniitty, S., Kauppinen, T. 2011. Rakennusten lämpökuvaus. Porvoo. Bookwell Oy.

1 Alkuperäinen lähde: Urho, Pentti. 2003. Lämpökameran tulosten luotettavuus kiinteistökuvauksessa. AMK insinööriyö, opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma.

Paloniitty, S. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Tampere. Tammerprint Oy.

RakMK D3 2012, Rakennusten energiatehokkuus.

http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Viitattu 22.2.2013.

RakMK D5 2012, Rakennusten energiatehokkuus.

http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D5-2012_Suomi.pdf. Viitattu 22.2.2013.

Rane. 2012. Rakentamisen + asumisen energianeuvonta. Rakenteiden energiatehokkuus. <http://www.neuvoo.fi/tabid/3542/Article/42370/Default.aspx>. Viitattu 13.10.2012

RT. Elokuu 2005. Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus RT 14–10850.

RT. Lokakuu 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. RT 80–10974. LVI 01-10450.

RT.2011. Rakentamismääräysten muistilista energiamääräysten aiheuttamista muutoksista pääsuunnittelijoille ja rakennuttajille. RT 21522.

Sisäilmayhdistys. 2012. Ilmavirtaus ja paine-ero. Merkkisavut.
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/rakennustekniset_tutkimukset/ilmavirtaus_ja_paine_ero/. Viitattu 16.10.2012.

Sisäilmayhdistys. 2008. Ilmavirtaukset rakennuksessa.
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteustekninen_toiminta/ilmavirtaukset_rakennuksessa. Viitattu 17.2.2012.

Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita. 2003. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät.
http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf. Päivitetty 27.2.2003. Viitattu 13.10.2012.

Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita. 2003:I. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät.
http://www.valvira.fi/files/tiedostot/a/s/asumisterveysohje_STM_2003.pdf Päivitetty 12.6.2003.. Viitattu 10.1.2013.

Talotiikeri. 2013. Tiiviysmittaus. <http://www.talotiikeri.fi/tiiveysmittaus.html>. Päivitetty 22.12.2012. Viitattu 8.1.2013.

Ympäristöministeriö. RakMK D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmityshontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma,
http://www.rakennustieto.fi/channels/public/www/rane/attachments/5fIPeDhrH/5vnyGsDU/Files/CurrentFile/rt-lausunto08_03_tekstiehdotus.pdf. Päivitetty 19.6.2007. Viitattu 6.1.2013.

Ympäristöministeriö. Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu. 2011.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=380479&lan=fi>. 8.10.2012. Päivitetty 8.10.2012. Viitattu 13.10.2012.

TIIVIYSMITTAUSRAPORTTI

Kohteen tiedot:

Rakennuksen osoite:	Rakennuksen korkeus: 6 m
Omakotitalo 2001 Lietukka	Rakennuksen tilavuus: 252 m ³
83500Outokumpu	Vaipan kokonaispinta-ala: 317 m ²
Testaaja:	Rakennuksen tuulialttius: pieni
Jesse Hartikainen	Rakennuksen mittojen virhe: 2 %
Yritys: Talotiikeri Oy	

TIIVIYSMITTAUSLUOKITUS

		Q ₅₀	n ₅₀
Alle 0,6	A		
0,7-1,0	B		
1,1-1,5	C		
1,6-2,0	D		
2,1-3,0	E		
3,1-4,0	F	2,918	3,671
Yli 4,1	G		

Tutkija	□	
Nimi ja koulutus	Jesse Hartikainen	LVI-insinööriopiskelija

ILMATHIIVIYDEN TESTIN RAPORTTI

Noudattaa standardia SFS-EN 13829

Laitteisto: Puhallin: Retrotec 1000, SN: - Painemittari: DM-2, SN: 205968Tulos: N50 = 3,671 l/h, q50= 2,918 m³/hm²

Yhdistetyt tulokset	Arvo	Vaihteluväli		Epävarmuus
Ilmavirtaus 50 Pa, V ₅₀ [m ³ /h]	925,0	908,5	941,5	+/-1,8 %
Ilmanvuotoluku N50 [l/h]	3,671	3,575	3,770	+/-2,7 %
Ilmanvuotoluku q50 [m ³ /hm ²]	2,918	2,840	2,996	+/-3,0 %
Lisätiedot:				
-				

Alipaineistettu mittaustapa

Päiväys: 2012-10-27 mittaus alkoi: 13:54, mittaus loppui: 14:01

Olosuhteet: Ilmanpaine: 99,9 KPa, ilmanpaineen lähde: Ilmatieteen laitos. Tuulen nopeus: 1: vähäinen tuuli

Lämpötilat: Alussa: sisällä 20 °C, ulkona -3 °C. Lopussa: sisällä 20 °C, ulkona -3 °C.

Testidata: 5 vallitsevaa painetta mitattuna 10 sekuntia, 5 testipainetta mitattuna 20 sekuntia.

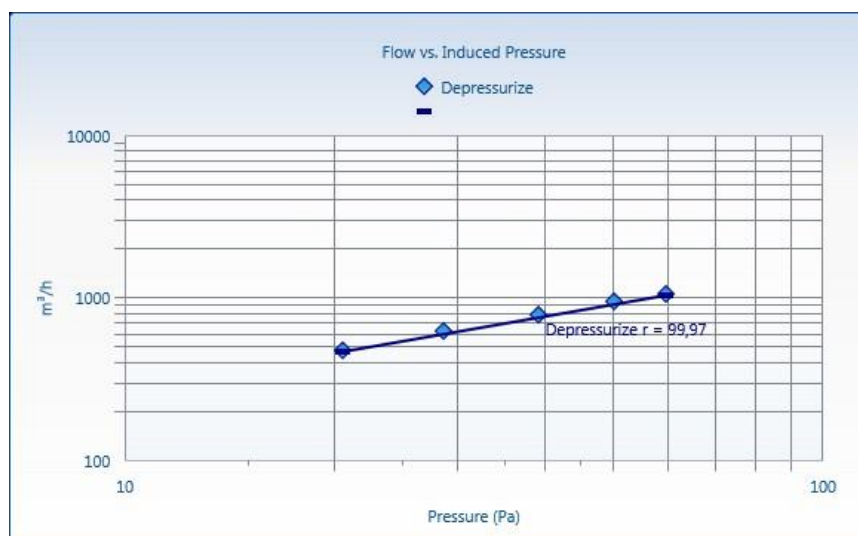
Vallitseva paine alus-	- 0,47	- 0,34	- 0,35	0,11	- 0,64
Testipaine [Pa]	- 21,0	- 29,1	- 39,7	- 50,6	- 60,0
Vallitseva paine lopussa	- 0,52	0,02	- 1,62	- 0,45	- 0,58
Puhallinpaine[Pa]	22	37,2	56,6	82,1	103,6
Virtaus, V _r [m ³ /h]	482,8	632,2	786,4	951,9	1074,1
Korjattu virtaus, V _{env}	466,8	611,2	760,4	920,4	1039
Virhe [%]	- 0,7	1,2 %	- 0,4	0,4 %	- 0,5 %

Vallitsevan paineen keskiarvot: Alussa [Pa] ΔP01 -0,34, ΔP01- -0,45, ΔP01+ 0,11, lopussa [Pa] ΔP01 -0,63, ΔP01- -0,79, ΔP01+ 0,02

Tiiviysmittausraportti

Alipaineistuksen tulokset				
	tulokset	95 % varmuus		epävarmuus
Ilmavirtaus 50 Pa, V50 [m ³ /h]	922,0	907,0	937,5	+/-1,7 %
Ilmanvuotoluku 50 Pa, n50 [1/h]	3,650	3,565	3,755	+/-2,6 %
Ilmanvuotoluku 50 Pa, q50 [m ³ /h.m ²]	2,909	2,833	2,985	+/-2,6 %
Ominaisvuoto 50 Pa, w50 [m ³ /h.m ²]	9,507	9,259	9,755	+/-2,6 %

Mitattu paine ja virtaus



Ylipaineistettu mittaustapa

Päiväys: 2012-10-27 mittaus alkoi: 14:04, mittaus loppui: 14:10

Ilmasto-olosuhteet: Barometrinen paine: 99,9 KPa lähde: Ilmatieteen laitos. Tuulen nopeus: 1: tuuli vähäinen

Lämpötilat: Alussa: sisällä 20 °C ulkona -3 °C. Lopussa: sisällä 20 °C ulkona -3 °C.

Testidata: 5 vallitsevaa painetta mitattuna 10 sekuntia, 5 mittauspainetta mitattuna 20 sekuntia.

Vallitseva paine alussa [Pa]	-0,33	0,32	0,88	-0,35	0,38
------------------------------	-------	------	------	-------	------

Tiiviysmittausraportti

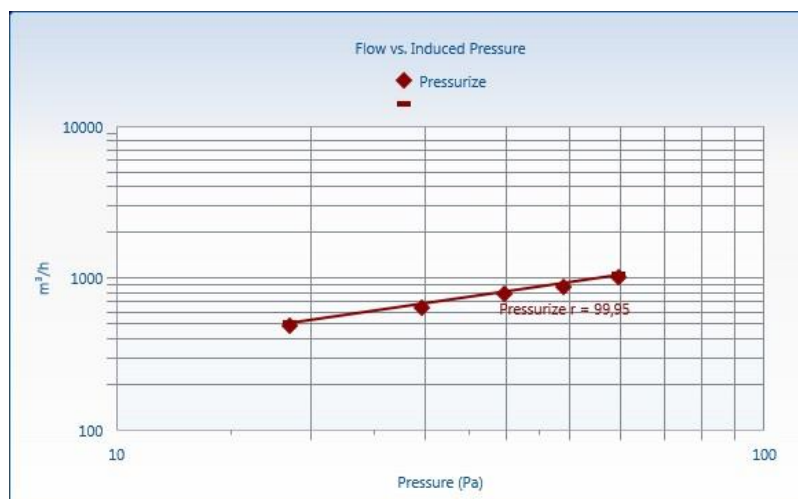
Testipaine[Pa]	19,1	30,2	40,4	49,6	60,1
Vallitseva paine lopussa[Pa]	1,16	1,19	0,74	0,93	0,96
Puhallinpaine[Pa]	41,7	69	97,6	121,7	154,2
Virtaus, Vr [m ³ /h]	492,3	647,6	790,1	889,6	1021,1
Korjattu virtaus, Venv m ³ /h]	515,8	678,4	827,7	932,0	1070
Virhe [%]	0,7 %	- 1,1 %	0,3 %	- 0,8 %	0,9 %

Ylipaineistuksen tulokset

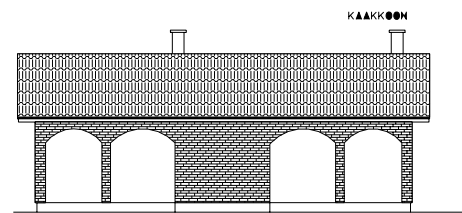
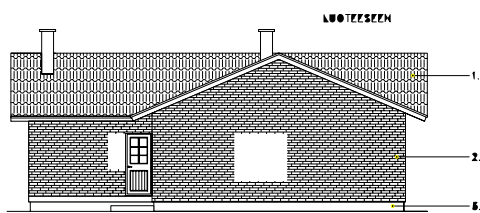
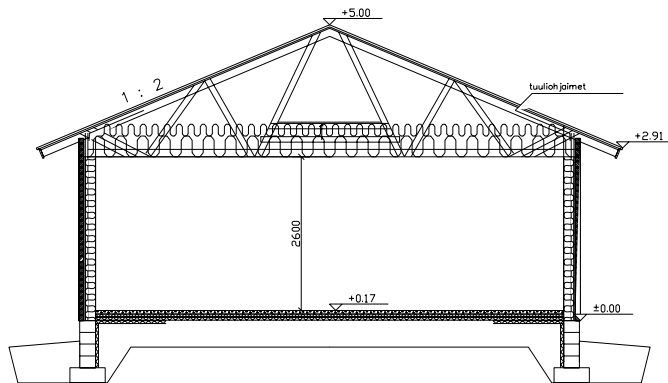
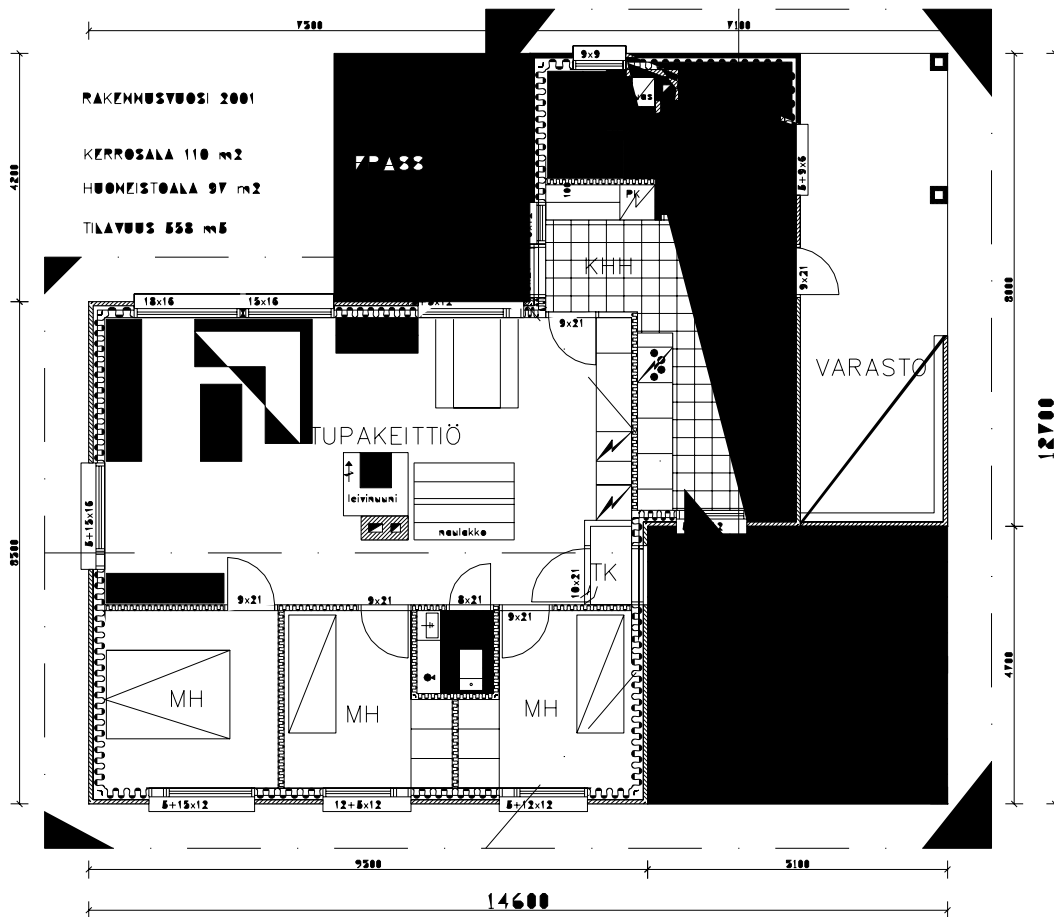
	tulokset	95 % varmuus		epävarmuus
Ilmavirtaus 50 Pa, V50 [m ³ /h]	947,5	929,5	965,5	+/-1,9 %
Ilmanvuotoluku 50 Pa, n50 [1/h]	3,760	3,655	3,860	+/-2,7 %
Ilmanvuotoluku 50 Pa, q50 [m ³ /h.m ²]	2,988	2,906	3,070	+/-2,8 %
Ominaisvuoto 50 Pa, w50 [m ³ /h.m ²]	9,766	9,497	10,034	+/-2,8 %

Vallitsevan paineen keskiarvot: alussa [Pa] ΔP_{01} 0,18, ΔP_{01-} -0,34, ΔP_{01+} 0,53, lopussa [Pa] ΔP_{01} 0,99, ΔP_{01-} 0,00, ΔP_{01+} 0,99

Mitattu paine ja virtaus



Omakotitalon pohjakuva



- 1. PELIT, MUSTA
- 2. MODERNITILAT, VALKOINEN
- 3. HARKKO, KORISTEPINTAUS MUSTA-VALKOINEN

