

Ossi Kivimäki

PUURAKENNUKSEN ILMANPITÄVYYDEN VARMISTUS
VUODEN 2012 ENERGIAMÄÄRÄYSTEN MUKAAN

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2012

PUURAKENNUKSEN ILMANPITÄVYYDEN VARMISTUS VUODEN 2012 ENERGIAMÄÄRÄYSTEN MUKAAN

Kivimäki, Ossi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
toukokuu 2012
Ohjaaja: Tapiola, Mikko
Sivumäärä: 33
Liitteitä: 1

Asiasanat: ilmanpitävyys, energia, puurakentaminen

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Lemminkäinen Talo Oy. Työssä tutkittiin puurakentamisen ilmanpitävyyttä, 2012 heinäkuussa voimaan tulevien energiamääräyksien kannalta. Työn tarkoituksena on tuoda esiin ilmanpitävyyttä parantavia ratkaisuja laadukkaana rakentamisen näkökulmasta, koska tulevaisuudessa ilmanpitävyys täytyy ottaa paremmin huomioon ja toinen tarkoitus on tuottaa Lemminkäinen Talo Oy:lle uusien määräysten mukaista tietoa puurakentamisesta. Opinnäytetyössä annetaan esimerkkejä ilmanpitävämpään ja energiatehokkaampaan rakentamiseen. Uusien energiamääräyksien myötä rakennusten ilmanpitävyydellä on enemmän merkitystä ja tulevaisuudessa merkitys tulee vain kasvamaan.

Teoriaosuudessa perehdytään D3 määräyksiin, voimassa oleviin standardeihin sekä ilmanpitävyyden merkitykseen rakentamisessa. Työssä mitattiin Vaasan Asemakadulle valmistuvan puurakenteisen pientalon ilmanpitävyyttä. Vuotopaikkojen paikallistamiseen käytetään lämpökameraa ja savua.

Opinnäytetyön teon aikana keskeisimmiksi ilmanpitävyyteen vaikuttaviksi tekijöiksi todettiin työnlaatu, rakenneratkaisut ja suunnittelun laajuus. Työn aikana huomattiin, että suunnittelulla on suuri merkitys tiiviin rakentamisen kannalta, koska huonot suunnitteluratkaisut vaikeuttivat huomattavasti tiiviin rakenteen tekemistä. Huomiolla erityisesti näitä asioita, voidaan ilmanpitävyyteen vaikuttaa merkittävästi. Lemminkäinen Talo Oy:llä ilmanpitävyys ja energiatehokkuus on otettu hyvin huomioon.

DETERMINATION OF AIR PERMEABILITY OF TIMBER BUILDINGS IN TERMS OF ENERGY REGULATIONS 2012

Kivimäki, Ossi
Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in construction engineering
May 2012
Supervisor: Tapiola, Mikko
Number of pages: 33
Appendices: 1

Keywords: air permeability, energy, timber construction

This thesis was commissioned by Lemminkäinen Talo Oy. Thesis observes air permeability of timber construction in terms of new energy regulations that are taking effect in July 2012. The purpose of the study is to highlight solutions that improve air permeability from a high-quality construction's perspective, because in the future air has to be better taking into account and another purpose is to produce information of the timber construction according new energy regulations for Lemminkäinen Talo Oy. The thesis provides proposals how to construct more air permeably and energy efficiently. Along with the new energy regulations the air permeability of the building has more relevance and in the future and the relevance will just grow.

The theoretical part focuses on D3 regulations, operative standards and the air permeability meaning in a construction. The study measures air permeability of timber constructed smallhouse located at Asemakatu Vaasa. Thermo graphic camera and smoke are used for identifying the leakage.

While making the thesis the quality of the work, structural solutions and the amplitude of the planning were found as the key factors that are affecting the air permeability. There were also noticed that planning has a huge relevance for air permeabil construction, because bad planning solutions make the building of a airpermeabil construction much more difficult. By acting on these factors air permeability can be significantly improved. At Lemminkäinen Talo Oy. the air permeability and energy efficiency are well catered for.

SISÄLLYS

SANASTO/MÄÄRITELMÄT.....	5
1 JOHDANTO.....	7
2 LÄHTÖTIEDOT JA MÄÄRÄYKSET.....	8
2.1 Rakennus- ja energiamääräykset	8
2.2 Rakennusvaipan ilmavuotoluku.....	9
2.3 Energiatehokkuus ja energiatodistus	10
3 ILMANPITÄVYYDEN VAIKUTUKSET.....	11
3.1 Sisäilman laatu	11
3.2 Lämpöviihtyvyys	12
3.3 Kosteus	14
3.4 Lämmityskustannukset	14
4 ILMANPITÄVYYDEN OSOITTAMINEN.....	15
4.1 Pientalo	18
4.2 Koko kerrostalo tai porras.....	18
4.3 Kerrostalo yksi huoneisto	19
5 VUOTOKOHTIEN PAIKANNUS	19
6 YLEISET VUOTOKOHDAT JA PARANNUS EHDOTUKSET	21
6.1 Läpiviennit	21
6.2 Rakenteissa	22
6.3 Ikkunat ja ovet	24
7 MITTAUSKOHTIEN TIEDOT.....	25
7.1 Mittauksen suorittaminen	26
7.2 Mittausohjelmisto	26
7.3 Mittauksen tulokset.....	28
8 ESIMERKKI DETALEJA ILMANPITÄVÄÄN RAKENTAMISEEN.....	28
8.1 Ilmansulkukalvonjatkokset	28
8.2 Välipohjan ja ulkoseinän liitos	29
8.3 Alapohja ja ulkoseinänliitos.....	30
8.4 Yläpohjan ja ulkoseinänliitos.....	31
9 LOPPUPÄÄTELMÄT	32
LÄHTEET.....	33
LIITTEET	

SANASTO/MÄÄRITELMÄT

Pientalo	Yksi tai useampikerroksinen asuinrakennus, joka koostuu yhdestä huoneistosta tai useammasta vierekkäin toisissaan kiinni olevasta huoneistosta. Pientaloja ovat mm. omakotitalot, kytketyt omakotitalot, paritalot, rivitalot ja loma-asunnot, jotka kuuluvat lämpöhäviöiden tasauslaskennan piiriin. (RT 80–10974 2009, 2.)
Puurakenteinen talo	Asuinrakennus, jonka ulkoseinät on tehty pääosin puurunkorakenteisena (esimerkiksi sahatavarasta, kertosuusta, liimapuusta, levyuumapalkeista tai ristikoista). Ulkoseinät voi olla tehty yksittäisistä runkopuista tai -rakenteista tai niistä tehdyistä elementeistä. (RT 80–10974 2009, 2.)
Rakennuksen vaippa	Tarkoittaa niitä rakennusosia, jotka erottavat lämpimän, puolilämpimän, erityisen lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan ulkoilmasta, maaperästä tai lämmitettävästä tilasta. Vaippaan eivät kuulu rakennuksen sisäiset erilaisia tiloja toisistaan erottavat rakennusosat. (Suomen RakMK D3 2011, 6.)
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 ilmanettä höyrynsulkuna. (RT 80–10974 2009, 2.)
Ilmavuotoluku q_{50} (m^3/hm^2)	Kertoo rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukoituksineen sekä ylä- ja alapohja. (Suomen RakMK D3 2011, 4.)
Ilmavuotoluku, n_{50} (1/h)	Kertoo montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa (pascal) ali- tai ylipaine. (RT 80–10974 2009, 2.)
Ilmanvuotoluvun suunnittelu-arvo n_{50suun} (1/h)	Ilmavuotoluvun arvo, jota käytetään rakennuslupavaiheessa rakennuksen energiaselvitystä ja -todistusta laadittaessa. (RT 80–10974 2009, 2.)

**Ilmavuotoluvun
vertailuarvo
 $n_{50,vert}$ (1/h)**

Rakentamismääräyskokoelmassa annettu ilmavuotoluvun arvo, jota käytetään rakennuksen vertailulämpöhäviön laskennassa. Vuoden 2012 rakentamismääräyksissä ilmavuotoluvun vertailuarvo on 2,0 (1/h).
(RT 80–10974 2009, 2.)

Lämpökuvaus

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

1 JOHDANTO

Energiamääräyksiä uudistettaessa 1. heinäkuuta 2012 rakennusten energiatehokkuutta tarkastellaan taas kriittisemmin. Käyttöön tulee myös uusi Euroopassa jo käytössä ollut kokonaisenergia-ajattelu. Suomessa uusien määräysten, kasvavan ympäristöajattelun ja yleisen tietoisuuden myötä myös puurakentaminen saa uusia mahdollisuuksia. Näistä johtuen puu tulee olemaan tulevaisuudessa hyvin paljon esillä rakentamisessa.

Oppinäytetyön tilaajana toimii Lemminkäinen Talo Oy, joka on johtava rakennusalan konserni. Uudet energiamääräykset ja ihmisten tietoisuus rakennusten energiaratkaisuista lisäävät Lemminkäinen Talo Oy:n halua kehittää itseään.

Puurakenteiden ilmanpitävyys on haastava osa-alue rakentamisessa. Uusien energiamääräyksiä astuttua voimaan myös ilmanpitävyydellä on entistä enemmän merkitystä. Kokoajan kehittyvät uudet ilmanpitävyyttä parantavat tarvikkeet sekä erilaiset liitosratkaisut tulee miettiä tarkasti kustannustehokkuuden ja laadukkaan rakentamisen kannalta.

Oppinäytetyö on rajattu puurakentamiseen, jossa ilmanpitävyyden saavuttaminen on haastavampaa ja sillä on suurempi merkitys rakennuksen toimintaan kuin massiirakennuksissa. Puurakentamisessa huonosti toteutetulla ilmanpitävyydellä mahdolliset vauriot, ongelmat ja kustannukset voivat olla erittäin suuria.

Työn pääasialliset lähteet olivat Tampereen teknillisen yliopiston tutkimusjulkaisut rakennusten ilmanpitävyydestä ja energiatehokkuudesta, RT-kortisto sekä rakentamismääräyskokoelma. Tietoa oli paljon saatavilla ja se oli ajantasaista sekä luotettavaa.

2 LÄHTÖTIEDOT JA MÄÄRÄYKSET

Rakennusten ilmanpitävyydestä ja energiatehokkuudesta on määrätty ja ohjeistettu RT-kortistossa, rakennusmääräyskokoelmassa sekä standardeissa.

2.1.1 Rakennus- ja energiamääräykset

Ympäristöministeriö on antanut uudet määräykset rakennusten energiatehokkuudesta. Rakentamismääräyskokoelman uusi osa D3 astuu voimaan 1. heinäkuuta 2012. D3:ssa käsitellään rakennusten energiatehokkuutta kokonaisenergiankulutuksen kannalta ja sen yhtenä alueena on rakennuksen ilmanpitävyyttä. Energiatehokkuusmääräykset kiristyvät noin 20 % aikaisemmista vuoden 2010 vaatimuksista. Rakennusten ilmanpitävyydestä on ohjeistettu seuraavasti:

Sekä rakennusvaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. (Suomen RakMK D3 2011, 10.)

Rakentamismääräyskokoelmassa on ohjeistettu rakennusten ilmanpitävyydestä niin että se on helposti ymmärrettävissä. Siinä korostetaan työn huolellisuutta ja suunnittelun tärkeyttä. Näillä asioilla on myös tutkimuksissa todettu olevan eniten vaikutusta rakennusten ilmanpitävyydelle.

2.2 Rakennusvaipan ilmavuotoluku

Tulevissa määräyksissä siirrytään n_{50} -luvusta ($1/h$) ilmatilavuuden vaihtuminen tunnissa vuotokohtien kautta, q_{50} -lukuun eli rakennusvaipan ilmavuotolukuun (m^3/hm^2). Rakennusvaipan ilmavuotoluku q_{50} (m^3/hm^2) kertoo rakennuksenvai-
pan ilmanpitävyyden eikä rakennuksen sisätilavuus vaikuta siihen vääristävästi, kuten n_{50} lukuun. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja. Rakennusvaipan ilmavuotoluku q_{50} saa olla enintään $4,0$ (m^3/hm^2). Ilmavuotoluku voi ylittää luvun $4,0$ (m^3/hm^2), jos rakennuksen välttämättömät tarkoituksen vaatimat rakenteelliset ratkaisut heikentävät ilmanpitävyyttä. (Suomen RakMK D3 2011, 4-10.)

Ilmantilavuusvirta pitää määrittää mittaamalla. Tuloksesta pystytään laskemaan ilmavuotoluku n_{50} (kaavalla 1). Ilmavuotoluku n_{50} ($1/h$) mitataan aikaansaamalla rakennukseen portaittain eri paine-eroilla vähintään 50 Pa ali- tai ylipaine. Tulokseksi saadaan, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvai-
pan vuotoreittien kautta. (RT 80–10974 2009, 2.)

Ilmavuotoluku, n_{50} -luku ($1/h$), voidaan laskea kaavalla 1.

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

jossa V_i on ilmantilavuusvirta, joka tarvitaan 50 Pa:n paine-eron aiheuttamiseksi rakennuksen vaipan yli [m^3/h] ja V on rakennuksen sisätilavuus [m^3]

Rakennuksen ilmavuotoluku tulee määrittää vaipan pinta-ala kohti q_{50} -lukuna (m^3/hm^2). q_{50} -luku voidaan laskea n_{50} -luvusta kaavalla 2.

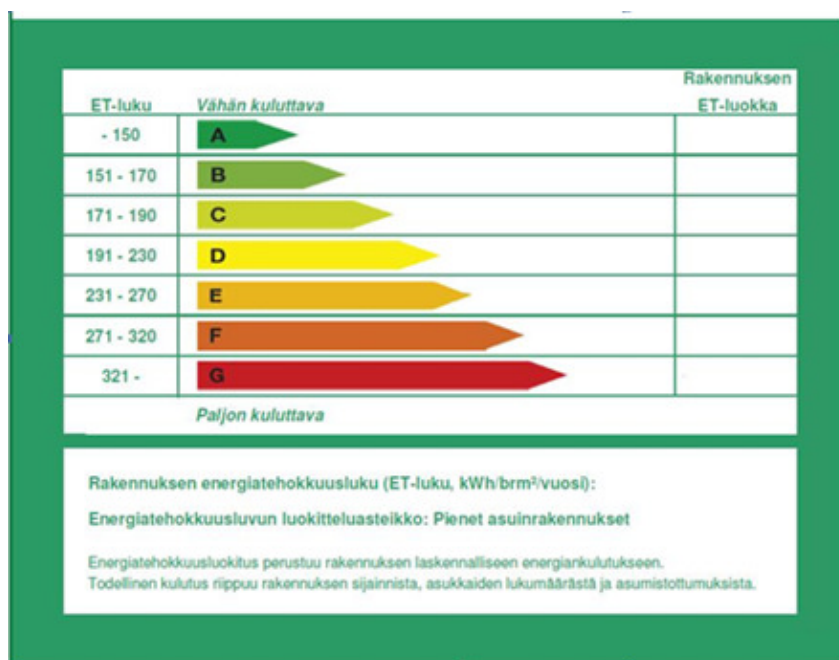
$$q_{50} = n_{50} \cdot \frac{V}{A_E} \quad (2)$$

jossa A_E on rakennuksen vaipan pinta-ala sisämittojen mukaan laskettuna [m^2]

2.3 Energiatohokkuus ja energiatodistus

Heinäkuussa 2012 voimaan astuvien määräyksien myötä otetaan käyttöön kokonaisenergiankulutus. Kokonaisenergiankulutuksenlaskenta on laadittava osassa D3 asetettujen laskentaohjeiden mukaisesti säävyöhykkeellä 1. Rakennuksen ilmanpitävyys tulee olemaan yhä suuremmassa roolissa tasauslaskentaa tehtäessä, sillä vertailulukuna käytetään 2,0 (1/h), joka on sallittua arvoa, 4,0 (1/h), pienempi. Tämä kannustaa myös ilmanpitävyyden todentamiseen. (Kalliomäki, 2011, 13.)

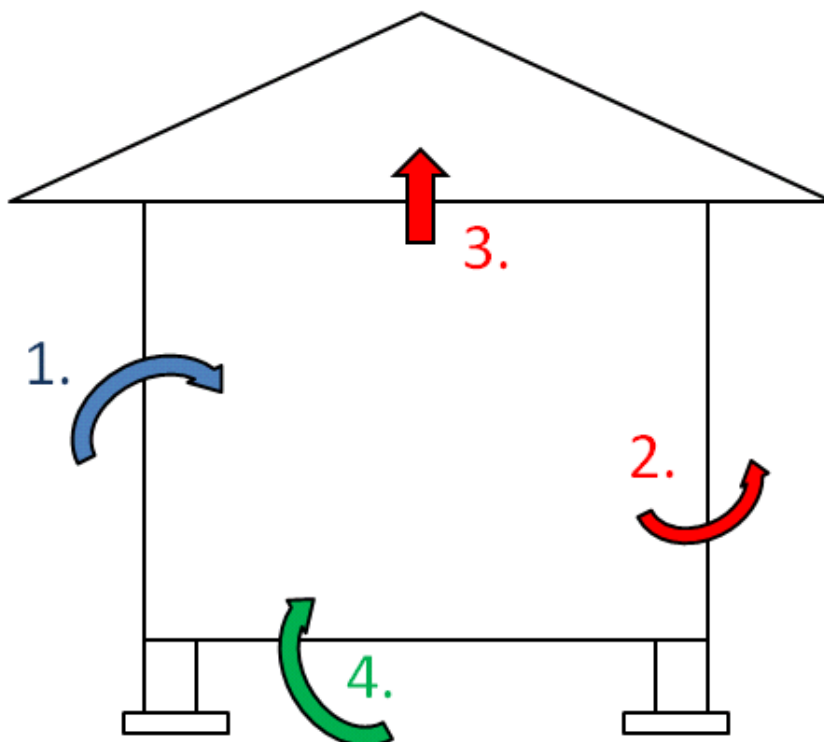
Energiatodistuksen tasauslaskennassa käytetään 4,0 (1/h) asetusarvoa, ellei mittamalla ole toisin osoitettu. Kiristyneiden energiamääräysten myötä tiiviysmittauksella on entistä suurempi vaikutus rakennuksen energiatodistukseen. Energiatodistuksessa näkyy rakennuksen energialuokitus A–G. (Kuva 1.) Ilmanpitävyyteen investoimalla saadaan pienin kustannuksin erittäin suuri hyöty ajatellen energiankulutusta, rakennuksen käyttöikä, asumisviihtyisyyttä ja sisäilmanlaatua. (Motivan www-sivut, 2012).



Kuva 1. Pientalon energiatodistus. (Motivan www-sivut, 2012)

Energiatodistus on pakollinen uudisrakennuksissa ja sekä vanhoissa yli kuuden asunon kiinteistöissä. Energiatodistus tulisi olla nähtävillä kiinteistöä myytäessä.

3 ILMANPITÄVYYDEN VAIKUTUKSET



Kuva 2. Ilmanpitävyyden vaikutukset

Ilmanpitävyys vaikuttaa (kuva 2) rakennuksen rakennustekniseen toimivuuteen, sisäilman laatuun ja energiakustannuksiin. Huono ilmanpitävyys mahdollistaa (1.) ulkoilman epäpuhtauksien ja kylmien ilmassojen pääsyn sisäilmaan, (2.) kostean ja lämpimän sisäilman pääsyn rakenteisiin. Paine-erojen vaikutuksesta lämmin ja kostea sisäilma pyrkii yläpohjaan (3.). Huono ilmanpitävyys mahdollistaa sen pääsyn yläpohjaan, jolloin se saattaa kondensoitua aluskatteeseen aiheuttaen yläpohjan lämmöneristeen kostumisen. Tällöin syntyy riski kosteus-, home-, ja mikrobivaurioista. Maaperästä (4.) kulkeutuu epäpuhtauksia, kuten radonia, huoneilmaan.

3.1 Sisäilman laatu

Hyvällä sisäilman laadulla kohennetaan asumisviihtyvyyttä. Tiiviillä rakentamisella saadaan sisäilmanlaatu pysymään halutunlaisena. Sillä ilmanvaihto järjestelmän säätö ja käyttö pystytään toteuttamaan huomattavasti tarkemmin eivätkä ulkoiset tekijät kuten tuuli ja lämpötilaerot vaikuta sen toimintaan merkittävästi. (Vinha, Korpi & Kalamees 2009, 31.)

Rakennuksen hyvä ilmanpitävyys estää epäpuhtauksien ja haitallisten aineiden pääsyn sisäilmaan ilmapuotokohojien kautta. Pienhiukkasia sekä katu- ja siitepölyä kulkeutuu sisäilmaan teollisuudesta, liikenteestä ja energiantuotannoista. Ne saattavat aiheuttaa oireita erityisesti allergikoille. Ikkunoiden aukipitäminen päästää pienhiukkasia huoneilmaan. Tuuletusta tulisi välttää, jotta ilmastoimintu toimisi paremmin ja suodattaisi tulevan ilman. Jos on välttämätöntä tuulettaa, tulisi haitallisten epäpuhtauksien pääsemistä huoneilmaan vähentää tuulettamalla vain lyhytkestoisella ristivedolla. Tuuletusikkunoihin asennettavat suodatinkankaat ovat harkinnan arvoisen asia, erityisesti allergiakodeissa. (Tavallisia sisäilmaongelmia 2012.)

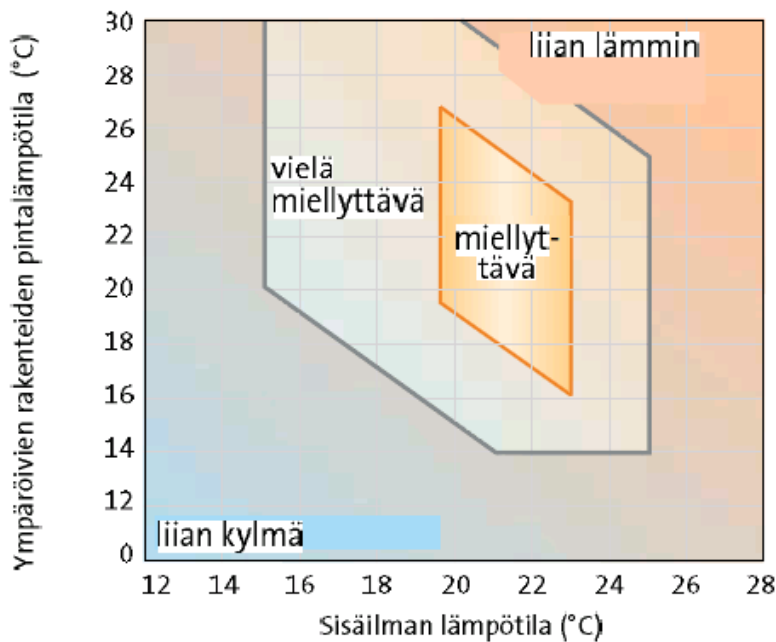
3.2 Lämpöviihtyvyys

Ihmiset viettävät nykyään enemmän aikaa sisätiloissa, jolloin sisäilmalta vaaditaan enemmän. Miellyttävä asuinympäristö ja raitis sisäilma ovat ensiarvoisen tärkeitä ympäri vuoden. Lämmöneristyksen lisäksi ilmantiiviydellä on suuri merkitys asuinvihtyvyyteen, jottei kylmä ja epäpuhdas ulkoilma pääse hallitsemattomasti virtaamaan sisälle. Huono ilmanpitävyys saattaa aiheuttaa ei toivottua ilman liikettä, mikä mielletään epämiellyttäväksi vedon tunteeksi. Huoneessa oleilun miellyttävyyteen vaikuttavat myös lämpötilaerot, kuten sisäilmanlämpötilan ja rakenteiden pintalämpötilojen erot sekä tuloilman- ja sisäilmanlämpötilan ero. Lämpötilojen erot eivät saa olla liian korkeat, ettei asumisvihtyvyys kärsi.

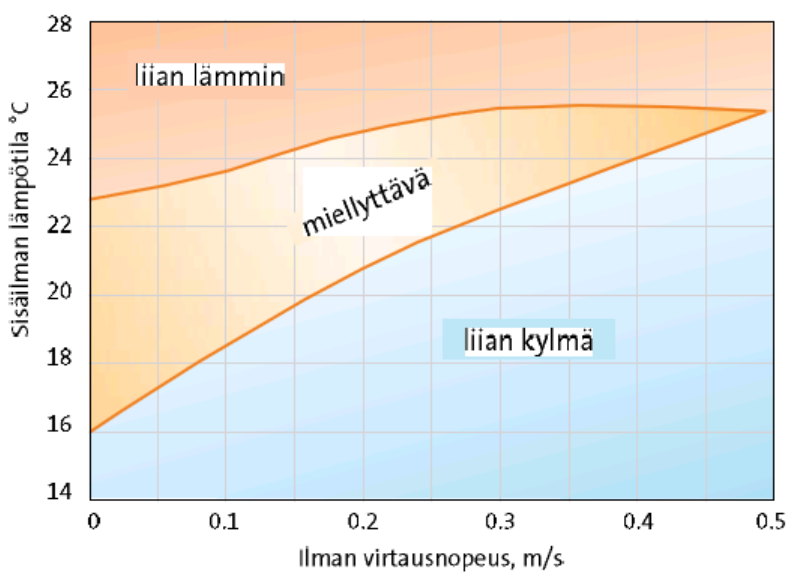
Lämpöviihtyvyyteen vaikuttavista tekijöistä tärkeimpiä ovat:

- sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila
- ympäröivien rakenteiden (lattia, seinät, ikkunat, katto) pintalämpötilat
- ilman nopeus ja liike
- sisä- ja ulkolämpötilojen erot.

(Isoverin www-sivut 2012.)



Kuva 3. Lämpöviihtyvyys suhteessa sisäilman lämpötilaan ja ympäröivien rakenteiden kuten lattian, seinien, ikkunoiden ja katon pintalämpötiloihin. (Isoverin www-sivut 2012.)



Kuva 4. Ilmavirran nopeuden ja sisäilman lämpötilan vaikutus viihtyvyyteen. (Isoverin www-sivut 2012.)

Kuvassa 3 ja 4 esitettyjen kaavioiden mukaan huoneen ympäröivät rakenteet noin 20-24°C, sisäilman tulee olla noin 20-22°C ja ilmanvaihdon virtausnopeuden noin 0,1-0,2 m/s, jotta miellyttävä sisäilma saavutetaan.

3.3 Kosteus

Paikalliset ilmavuodot vaikuttavat olennaisesti myös ulkovaipan kosteustekniseen toimintaan. Kosteutta alkaa kerääntyä rakenteisiin tai pinnoille, kun pinnan lämpötila alittaa ympäröivän ilman kyllästyskosteuspitoisuuden. Tällöin pinnan suhteellinen kosteus on 100 % RH. Lämpimät ilmavirrat pääsevät esimerkiksi huonosti tiivistetyn ilmansulun kautta rakenteeseen synnyttäen sinne kosteutta. Tämä on erityisen ongelmallista puurakenteissa, jotka alkavat home- ja mikrobikasvuston vaikutuksesta lahota. (Vinha, Korpi & Kalamees 2009, 31.)

Kosteus vaikuttaa eniten siihen alkaako mikrobikasvu. Sisäilman suhteellisen kosteuden ollessa alle 30 % mikrobit eivät kasva. Suhteellisen kosteuden ollessa yli 70 % mikrobikasvu on todennäköistä. Rakennus- ja pintamateriaalien paikallisella kosteudella on huomattavasti suurempi vaikutus mikrobikasvuun, kuin huoneilman suhteellisella kosteudella. Paikallista kosteutta kerääntyy rakennus- ja pintamateriaaleihin vain, jos rakenteen rakennusfysikaaliset ominaisuudet eivät ole tarkoituksenmukaiset. (Sisäilmayhdistyksen www-sivut 2012.)

3.4 Lämmityskustannukset

Yksi tärkeimmistä hyvän ilmanpitävyyden vaikutuksista on rakennuksen energiankulutuksen pieneneminen. Ilmanpitävässä rakennuksessa lämpö ei karkaa ilmavirtausten mukana ulos eikä kylmää ilmaa tule sisälle. Vuotoilma aiheuttaa 15-30 % lämmitysenergian tarpeesta niin sanotussa tavallisessa pientalossa, jonka n_{50} -luku on 4,0 (1/h). Jokaista n_{50} -luvun kokonaisuksikön muutosta kohti lämmitysenergiankulutus kasvaa noin 7 %. Nykyisillä lämmöneristepaksuuksilla ilmanpitävyyden parantaminen on merkittävimpiä ja ennen kaikkea edullisimpia keinoja parantaa energiatalouttaan jo hyviä rakennuksia. (Aho & Korpi 2009, 10.)

4 ILMANPITÄVYYDEN OSOITTAMINEN

Nykyään on suositeltavaa mitata kaikki uudiskohteet, ellei tiiviyttä ole muulla tapaa todistettu. Mittaaminen vaikuttaa positiivisesti energiatodistukseen ja on myös osa työmaan laadunvalvontaa. Tiiviysmittauksesta on määrätty ja ohjeistettu standardissa SFS-EN- 13829 Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method.

Rakennuksen ilmanpitävyys voidaan mitata tiiviysmittauslaitteistolla tai rakennuksen omilla ilmanvaihtojärjestelmillä. Suositeltavaa on kuitenkin käyttää tiiviysmittausta varten valmistettuja ja kalibroituja laitteistoja, tällöin mittaustulos on huomattavasti tarkempi ja luotettavampi, kuin jos mittaus tehdään rakennuksen omilla ilmanvaihtojärjestelmillä. (Paloniitty)

Painekokeessa määritetään ilman tilavuusvirta, joka tarvitaan ulkovaipan yli haluttavan paine-eron muodostamiseksi. Paineekoe suoritetaan, joko ylipaineekoe tai alipaineekoeena. Ilman tilavuusvirrat määritetään vähintään 50 Pa paine-eroon asti portaittain eri paine-eroilla. Luotettavan tuloksen saavuttamiseksi esimerkiksi 30–70 Pa välisellä alueella ja 10 Pa:n välein. Suositeltavaa on tehdä mittaus sekä ali- että ylipainetilanteessa. Sillä vaipan ilmavuotoluku voi muuttua huomattavasti paine-eron muuttuessa alipaineesta ylipaineeseen tai toisin päin. Esimerkiksi jotkut ilmanvuotokohdista voivat avautua tai sulkeutua ilmanvirtaussuunnan mukaan. Kun mittaus suoritetaan sekä ali- että ylipainetilanteessa ja ilmavuotoluvut eroavat maksimissaan 0,5 (1/h), ilmoitetaan rakennuksen ilmavuotolukuna saatujen tuloksien keskiarvo. Muutoin ilmavuotoluvuksi ilmoitetaan huonompi mittaustulos. Vuotoluvun mittaustulokset ilmoitetaan 0,1 (m^3/hm^2) ja 0,1 (1/h) tarkkuudella ja pyöristetään yleisesti käytössä olevien pyöristyssääntöjen mukaisesti. (RT 80–10974 2009, 10,11.)

Ennen varsinaista mittausta suljetaan tai tiivistetään asunnon ikkunat, ovet, sekä muut aukot, jotka vaikuttavat lopputulokseen, kuten ilmanvaihtokanavat, hormit, liesituulettimet ja tulisijat.



Kuva 5. Teippaamalla tiivistetty viemäriputki



Kuva 6. Kumipallolla tiivistetty ilmastointikanava

Ilmastointi- ja viemäriputket voidaan tukkia teippaamalla (kuva 5) tai tarkoitukseen tehdyillä pumpattavilla kumipalloilla (kuva 6). Viemäriputkia ei tarvitse tiivistää erikseen, jos vesikalusteet ovat asennettu. Tällöin riittää tarkistus että vesilukoissa on vettä.

Mitattavan alueen sisällä väliovent avataan, jotta ilmanpaine saadaan samalle tasolle kaikkialla mitattavalla alueella, on myös hyvä varmistaa ovien auki pysyminen koko mittauksen ajan. Mitattavan alueen sisätilavuus sekä vaipanala tulee tietää tuloksen saamiseksi. Nämä mitat kannattaa tarkastaa paikan päällä esimerkiksi laseretäisyysmittaria (kuva 7) apuna käyttäen.



Kuva 7. Laseretäisyysmittari

Vaipan ala ja tilavuus lasketaan höyrynsulusta tai siinä kiinni olevasta pintamateriaalista. Kohteissa, joissa on alaslaskettu katto, tilavuus ja pinta-ala lasketan höyrynsulusta.



Kuva 8. Mittauslaitteisto asennettu huoneiston ulko-oveen.

Painekoe voidaan suorittaa huoneiston ikkunasta tai ovesta (kuva 8), kunhan kalusto saadaan tiiviisti asennettua. Jos mittaus suoritetaan lasitetun parvekkeen oven kautta, tulee varmistua, että parvekelasit ovat auki. Lisäksi parvekkeen muoto ja koko tulee olla sellainen, että puhallin pystyy puhaltamaan esteettömästi ulkoilmaan alipainekokeen aikana.

4.1 Pientalo

Jos pientalossa on enemmän kuin yksi huoneisto, riittää silti ilmavuotoluvun määrittämiseen vähintään yhden huoneiston mittaaminen. Kuitenkin niin, että jos pientalossa on enemmän huoneistoja, tulee mitattavan huoneiston olla päätyhuoneisto, esimerkiksi rivitalossa, jotta mitattavassa tilassa olisi mahdollisimman paljon ulkovaippaa. Myös niissä tapauksissa, missä esimerkiksi rivitalosta mitataan useampia huoneistoja, vähintään yhden huoneiston pitää olla päätyhuoneisto. Mitattaessa useita huoneistoja pientalossa, ilmavuotoluku on mittaustulosten keskiarvo. Jos halutaan selvittää useampia huoneistoja sisältävän pientalon pelkän ulkovaipan ilmavuotoluku, pitää kaikki huoneistot paineistaa yhtä aikaa samaan paineeseen, jotta ilmaa ei vuotaisi viereisistä huoneistoista. (RT 80–10974 2009, 13.)

4.2 Koko kerrostalo tai porraskerros

Kerrostaloissa, joissa on porrashuone, voidaan ilmavuotoluvun määrittäminen tehdä myös koko rakennuksesta tai koko portaasta. Huoneistojen ulko-ovet täytyy pitää avoinna porrashuoneeseen mittauksen aikana. Paineekoe tulee tehdä ensiarvoisesti siten, että mittauslaitteisto asennetaan talon keskikerrokseen, lähelle rakennuksen sisäkorkeuden puoliväliä (esimerkiksi tuuletusparvekkeelta). Sisä- ja ulkoilman välinen paineero pystytään tällöin mittaamaan yhdellä laitteistoon kytketyllä paine-eromittarilla. On suositeltavaa tarkkailla paine-eroa rakennuksen ylimmässä ja alimmassa kerroksessa mittauksen aikana. (RT 80–10974 2009, 15.)

4.3 Kerrostalo yksi huoneisto

Yksittäisten huoneistojen ilmanpitävyys on helpoin mitata tiiviysmittauslaitteistolla. Kerrostalon ulkovaipan ilmanpitävyydestä saa paremman kuvan, kun mitataan koko porras tai koko rakennus, koska yksittäisten huoneistojen tuloksissa ei ole huomioitu huoneistojen välisiä ilmavuotoja. Yleisesti on kuitenkin todettu, että molemmissa tapauksissa saadaan tarpeeksi lähellä todellisuutta olevat tulokset rakennuksen ilmanpitävyydestä. Asuinkerrostaloissa yksittäisiä huoneistoja täytyy mitata vähintään 20 %, jotta voidaan osoittaa koko rakennuksen ilmanpitävyys. Mitattavat huoneistot valitaan niin, että ne sijaitsevat eri kerroksissa. Mahdollisimman totuudenmukaisen tuloksen saavuttamiseksi on hyvä mitata yksi huoneisto alimmasta ja yksi ylimmästä kerroksesta ja tämän lisäksi tarvittava määrä huoneistoja keskikerroksista. Huoneistot on myös hyvä mitata eri puolilta rakennusta. Asuinkerrostalon ilmavuotoluku on huoneistoista saatujen mittaustulosten keskiarvo.

Tiiviysmittauslaitteistolla tehtävässä mittauksessa laitteisto asennetaan kerrostalo-huoneiston ulko-oveen. Paine-ero tulee kuitenkin määrittää ulkovaipan yli. Paine-ero voidaan mitata yhdellä paine-eromittarilla ja on suositeltavinta mitata läheltä huoneiston sisäkorkeuden puoliväliä. (RT 80–10974 2009, 14; Suomen RakMK D3 2011, 10.)

5 VUOTOKOHTIEN PAIKANNUS

Tiiviysmittauksessa voidaan käyttää apuna lämpökameraa tai savukaasua vuotokoh-tien paikallistamiseen. Lämpökamera on huomattavasti tarkempi ja luotettavampi. Lämpökameralla on joissain tapauksissa mahdollista tunnistaa ja eritellä kylmäsillat ja vuotokohdat. Rakennus alipaineistetaan esimerkiksi 50 Pa 20 minuutin ajaksi, jol-loin vuodot on helpommin havaittavissa. Lämpökameran (kuva 9) käyttö edellyttää sopivia lämpötila olosuhteita.



Kuva 9. Asemakadulla lämpökamerakuvaus suoritettiin Fluke T1rx lämpökameralla, joka on tarkoitettu kiinteistökuvauksiin.



Kuva 10. Vuotokohtien paikannus akkukäyttöisellä Tiny-savukoneella.

Lämpötila erojen ollessa liian alhaiset pystytään vuotokohtia paikallistamaan savulla. Mutta tällöin on rakennus pidettävä alipaineisena koko vuotopaikkojen etsinnän ajan.

6 YLEISET VUOTOKOHDAT JA PARANNUS EHDOTUKSET

6.1 Läpiviennit

Huolellisella työllä ja ammattitaidolla on suurin merkitys läpivientien ilmanpitävyyteen. Puurakenteissa, joissa ilmanpitävyys on saavutettu erillisellä kalvolla, yksittäisten putkien ja johtojen tiivistyksessä kannattaa käyttää niihin tarkoitettuja tiivistyslaippoja (kuva 12), jolloin pystytään minimoimaan vuodon riskit ja näin ollen rakenteiden laatu paranee. Usean putken läpiviennissä kannattaa apuna käyttää uretaanilevystä tehtyä kaulusta, johon putket on helppo tiivistää vaahdottamalla. Läpivientien ilmanpitävyydellä ei ole koko rakennuksen ilmapuotolukuun isoa vaikutusta, mutta ne aiheuttavat kuitenkin rakenteeseen ilmanvuotokohtan, joka vähentää rakenteen rakennusfysikaalisia ominaisuuksia, näin mahdollistaen kosteus-, home- ja sisäilmaongelmat. (Vinha, Korpi & Kalamees 2009, 131.)



Kuva 11. Ilmastointiputki on tiivistetty teippaamalla.



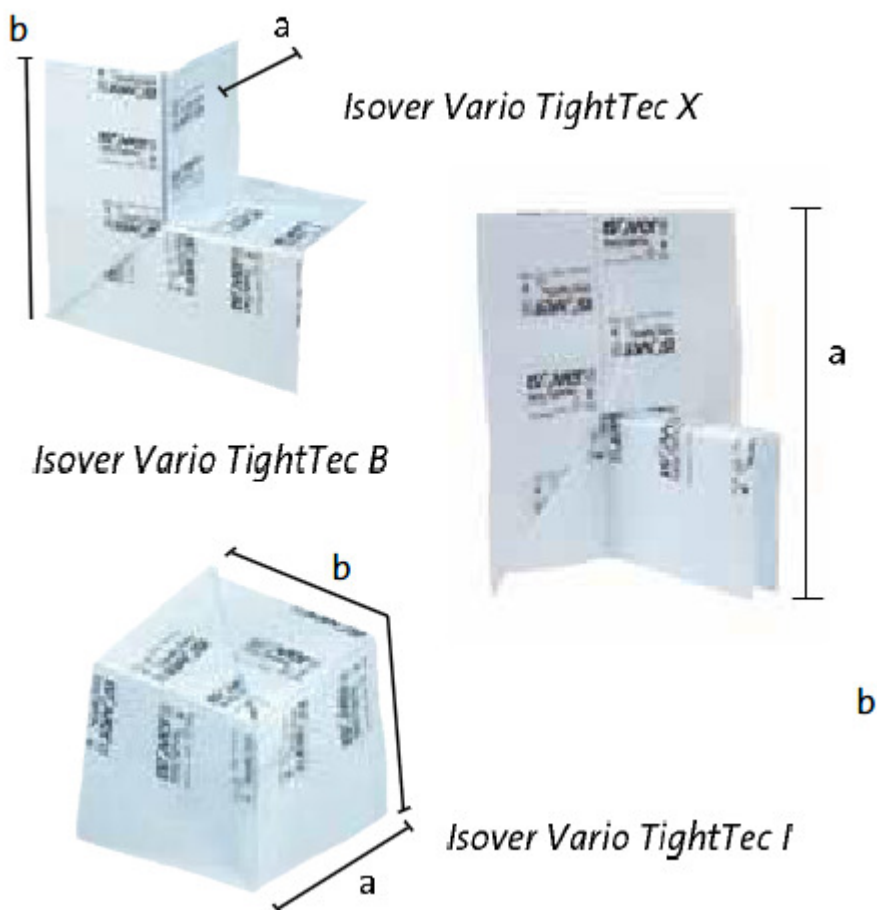
Kuva 12. Ilmastointiputki on tiivistetty teollisesti valmistetulla läpivientikauluksella.

Kun ilmansulkukalvon lävitse täytyy tuoda kiinteistötekniikka esimerkiksi ilmastointikanavia tai sähköputkia, kannattaa näiden ilman pitävyydestä huolehtia siihen tarkoitetuilla läpivientikauluksella. Jälki on huomattavasti siistimpää ja luotettavampaa mitä teippaamalla. Kuvassa 11 näkyvä teippaamalla tiivistetty läpivienti on alttiimpi ilmavuodoille.

6.2 Rakenteissa

Tutkimuksissa on todistettu että suurin osa rakennuksen ilmavuotokohdista on rakenteiden liitoksissa, kuten alapohja-ulkoseinä, ulkoseinä-välipohja, ulkoseinä-yläpohja ja rakennuksen nurkat, ovet sekä ikkunat. Rakenteet itsessään saadaan huolellisella työllä tiiviiksi. Rakenteiden ilmanpitävyyden kannalta onkin suotavaa ilmansulkukalvojen liitokset limittää vähintään 150 mm, sijoittaa limityspuristus liitoksen kohdalle ja teipata vielä saumat tiiviisti. Läpivientikaulusten käyttö on myös ensiarvoisen tärkeää. Ilmansulkukalvon jatkuminen katkeamattomana koko rakennuksen vaipan alalla on erittäin hankalaa. Eri rakenneosien liitoksiin tulee kiinnittää huomiota

ja suurta huolellisuutta työn aikana. Monet tahot ovat kehittäneet ratkaisuja ilmanpitävämpään rakentamiseen. Esimerkiksi Isoverilla on Vario-järjestelmässä erilaisia ratkaisuja, jotka vähentävät ilmavuotojen riskiä ja helpottavat liitosten ilmanpitävää asennusta. Rakenteiden suunnittelulla ja tarkkoilla detaljikuvilla pystytään kustannustehokkaimmin ja laadukkaimmin vähentämään ilmavuotoja. Suunnittelijan tulisi ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa mahdolliset riskirakenteet ja liitokset.



Kuva 13. Esimerkkinä kolme Isoverin tuotetta ilmanpitävään rakentamiseen.

- TightTec X ulkokulmiin, kuten ikkuna- ja oviaukkojen nurkkatiivistykseen
- TightTec I sisänurkkiin, kuten seinän ja yläpohjanliitokset sekä seinän ja alapohjanliitokset.
- TightTec B palkkienläpivientien tiivistys.

(Isover Oy 2011.)

6.3 Ikkunat ja ovet

Tutkimuksien mukaan pientalon vuotokohdista 31 % sijaitsee ikkunoissa, ovissa ja niiden liitoksissa. Kerrostaloissa suurimmat vuotokohdat olivat ikkunoissa ja ovissa sekä niiden liitoksissa 72 %.

Ilmansulkukalvon ja ikkunan liitos tulee tehdä tiiviiksi. Haluttu lopputulos saavutetaan luotettavimmin polyuretaanivaahdolla ja elastisella kittauksella. Elastinen kittaus on laadunvarmistusta, sillä pelkällä polyuretaanivaahdolla saadaan ilmanpitävälli-
tos aikaiseksi, jos se puristaa kalvon ikkunan ja rungon väliin tiiviisti. Vaahdon pin-
nan tulee myös pysyä ehjänä ja leikkaamattomana, jolloin se muodostaa ilmanpitä-
vänpinnan. Ilmanpitävänkalvon sijaitessa välittömästi sisäverhouksen alla voidaan
ilmanpitävyys toteuttaa teippaamalla ilmansulkukalvo ikkunan runkoon tiiviisti ja
varmistamalla se puristusliitoksella listan alle. Ikkunoiden ja ovien tiivistystyössä
huolellisuus on erityisen tärkeä. Karmien ja tiivisteiden kunto ja toiminto tulee tar-
kastaa niiden asentamisen yhteydessä. (Aho & Korpi 2009, 84)

7 MITTAUSKOHTEEN TIEDOT



Kuva 14. Asemakadun paritalo

Opinnäytetyössä mitattiin Lemminkäinen Talo Oy:n Vaasassa Asemakadulla sijaitseva puurakenteinen paritalo (kuva14). Paritalo on kaksikerroksinen ja molemmat asunnot ovat 2h+k+s. Huoneistojen pinta-alat ovat $61,5\text{m}^2$ ja $63,5\text{m}^2$. Molemmat huoneistot mitattiin erikseen huoneistojen ulko-ovien kautta. Rakennuksessa on maanvarainen betonilaatta, puurakenteinen välipohja sekä ulkoseinien rakenteena on uudenaikainen tuplapuurankaseinä, jolloin ilmansulkukalvo on sijoitettu 63 mm sisäpinnasta. Tämä on mahdollistanut sähkökaapeloinnin ja -rasioinnin ilmansulun sisäpuolelle, jolloin kalvo pysyy paremmin ehjänä ja yhtenäisenä. Tällöin myös pienennetään riskiä kalvon rikkoutumisesta rakennus- ja käyttöaikana.

Rakennuksen mittauksessa kiinnitettiin erityistä huomiota alapohjan ja ulkoseinän liitokseen, koska maanvaraisen betonilaatan painuessa ei ilmansulkukalvo välttämättä pysy ehjänä. Puurakenteinen välipohja saattaa aiheuttaa myös ilmavuotoja sillä, puun kuivussa välipohjan ja ulkoseinän liitoksen ilmansulku voi irrota. Sillä välipohjapalkit lävistivät ilmansulkukalvon.

7.1 Mittauksen suorittaminen

Kohteen molemmat huoneistot mitattiin saman päivän aikana, jolloin olosuhdemuutokset eivät vaikuttaneet. Kohteen ilmastointi- ja viemäriputket tiivistettiin teipillä, ilmapalloilla sekä vesilukot tarkastettiin ja täytettiin tarvittaessa. Myös talotekniikan syöttöputkien ja lämpölinjojen tiivistys suoritettiin. Sisälämpötila, ulkolämpötila, tuuli, ilmanpaine ja auringonpaiste otettiin huomioon ennen mittauksen suorittamista. Tiiviysmittauslaitteisto asennettiin asuntojen ulko-oven paikalle. Puhallin peitettiin ennen mittausta ja mittauksen jälkeen, jolloin mittari mittasi vallitsevan paine-eron. Mittaus suoritettiin 30-70 pascalin paine-erolla 10 pascalin välein ensin alipaineessa, jonka jälkeen ylipaineessa. Mittauksen jälkeen huoneistoon aiheutettiin noin 50 Pascalin alipaine vuotokohtien löytämistä varten. Lämpökameralla havaittiin muutamia ilmanpitävyydeltään heikompia liitoksia, mutta ei kuitenkaan mitään kriittisiä ongelmakohtia.

7.2 Mittausohjelmisto

Mittauslaitteistona käytettiin Retrotec 1000-sarjan mittauslaitteistoa, joka oli kytketty kannettavaan tietokoneeseen. Retrotecin FanTestic 5.2.116 ohjelma (kuva 15) on erittäin kehittynyt. Ohjelmaan syötettiin lähtötiedot, olosuhteet ja valittiin sopiva kuritusrenkas asetus. Ohjelmaan määritetään halutut paine-erot ja kuinka kauan puhallin ylläpitää niitä. Erittäin isoja kohteita mitattaessa on hyvä ylläpitää haluttua painetta jonkin aikaa, että varmistutaan halutun paine-eron vallitsemisesta koko mitattavalla alueella. Ohjelma pyytää myös tarvittaessa muuttamaan kuristuksia, kuten kuvassa 15. Mittauksessa tarvittavat kuristukset olivat C1 30 Pa, C2 40-60 Pa ja C4 70 Pa. Tämän jälkeen ohjelma ajaa automaatti testin läpi ja ilmoittaa tilavuusvirrat. Molempien ali- ja ylipainekokeen suorittamisen jälkeen ohjelma antaa lopputuloksen n_{50} -lukuna sekä q_{50} -lukuna.

Start date **2012-02-22** Start time **10:17** Get Time **Depressurization set**

Barometric pressure **101,325** kPa from **Direct measurement** Wind speed (Beaufort) **3: Gentle breeze** Temperature, initial **Indoors 20,2 °C** outdoors **-3,9 °C** Operator location **Inside**

Begin Automatic Test **Begin Semi-Automatic Test**

	Bias pressure, initial [Pa]	-1,77	-1,72	-1,86	-1,80	-1,56		
Average baseline, initial	DP 01	-1,74	DP 01	-1,74	DP 01	0,0		
Induced pressure [Pa]		-31,1	-40,2	-50	-59,6	-70,2		
Test Fan 1	C1	[Pa]	207,8					
Test Fan 1	C2	[Pa]	99,7	141,7	183			
Test Fan 1	C4	[Pa]			68,6			
Bias pressure, final [Pa]		-0,22	-0,60	-1,77	-1,48	-1,30		
Average baseline, final	DP 01	-1,07	DP 01	-1,07	DP 01	0,0	Temperature, final	Indoors 20,2 °C outdoors -3,9 °C
Total flow, V _T [m ³ /h]		350,7	397,5	477,9	545,8	608,5		
Corrected flow rate [m ³ /h]		321,7	364,7	438,4	500,7	558,2		
Error (%)		2,2%	-3,3%	-0,2%	0,9%	0,5%		

	Correlation, r (%)	99,57	Confidence Limit 95%
Intercept, G _{air} [m ³ /h·Pa]		31,90	20,41
Intercept, C _i [m ³ /h·Pa]		32,803	21,00
Slope, n		0,6753	0,5596
			0,7911

Calculate

Show Graphs

Clear data

Delete set

New set

	Results	95% Confidence Interval	Uncertainty
Air flow at 50 Pa, V ₅₀ [m ³ /h]	460,5	444,5	477,0
Air changes at 50 Pa, q ₅₀ [1/h]	2,645	2,485	2,810
Permeability at 50 Pa, q ₅₀ [m ³ /h·m ²]	2,808	2,637	2,980
Specific leakage at 50 Pa, w ₅₀ [m ³ /h·m ³]	7,489	7,031	7,947

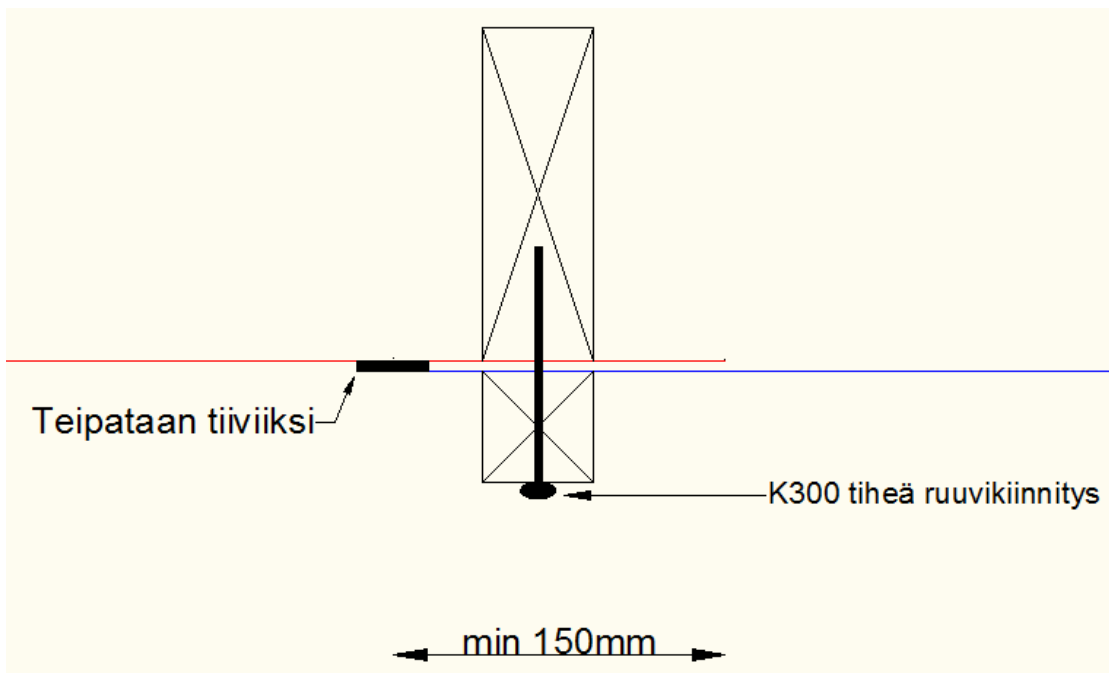
Kuva 15. Retrotec FanTestic (5.2.116) ohjelmasta otettu kuvakaappaus. Ohjelmassa näkyy annetut arvot ja saadut mittaus tulokset.

7.3 Mittauksen tulokset

Pientalon tiiveysmittauksen q_{50} arvoksi saatiin 2,9. Saatu arvo on nykyrakentamisen tasoon nähden tyydyttävä. Mittaustulosta voidaan pitää luotettavana, sillä molempien huoneistojen ilmanpitävyys oli samalla tasolla. Molempiin huoneistoihin suoritettiin kuitenkin varmistusmittaus, saatu tulos oli yhtenevä aikaisempiin. Tulokseen eniten vaikuttavat rakenneratkaisut. Kohteessa ei ollut suunnitteluvaiheessa kiinnitetty erityistä huomiota ilmanpitävyyteen mikä näkyy ilmanvuotoluvussa. Työnlaatu oli huolellista, mutta uusimpia ilmanpitävyyttä parantavia ratkaisuja ei kohteessa ollut sovellettu.

8 ESIMERKKI DETALEJA ILMANPITÄVÄÄN RAKENTAMISEEN

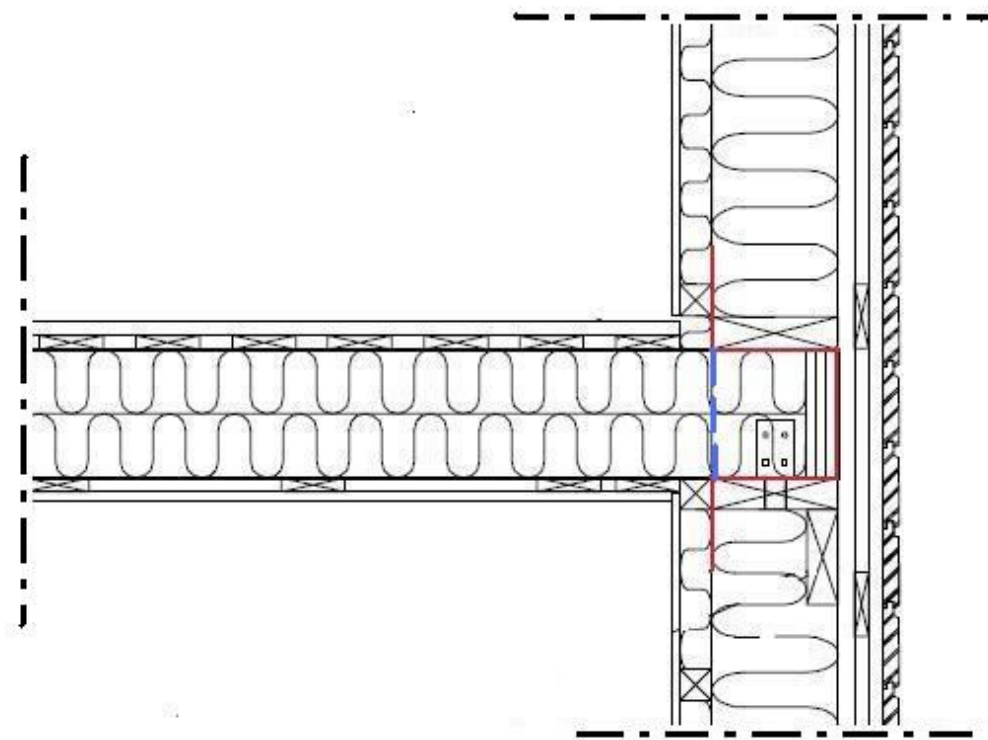
8.1 Ilmansulkukalvonjatkokset



Kuva 16. Ilmansulkukalvon liitos

Ilmansulkukalvon jatkokset tulee tehdä tiiviisti ja tähän lopputulokseen päästään varmimmin tekemällä jatkokseen mahdollisimman monta ilmanpitävyyttä parantavaa rakennetta (kuva 16.) On suositeltavaa limittää kalvot vähintään 150 mm, teipata jatkokset ja tehdä vielä puristusliitos. Vierekkäiset kalvot limitetään ja puristetaan pystykoolauksen ja runkotolpan väliin tiiviisti. Riittävä puristus saadaan aikaiseksi k300 tiheällä ruuvi kiinnityksellä. Naula kiinnityksellä ei kalvoa saada riittävään puristukseen ja liitos saattaa löystyä puun kuivuessa. (Aho & Korpi 2009, 15.)

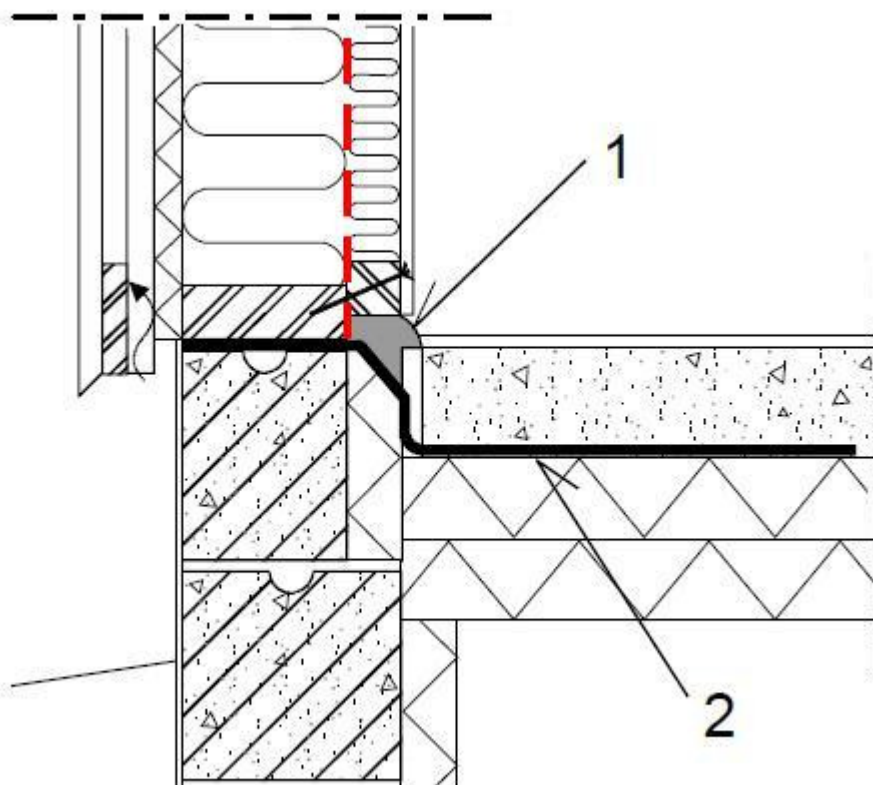
8.2 Välipohjan ja ulkoseinän liitos



Kuva 17. Puurakenteisen välipohjan ja ulkoseinän liitos.³

Sininen katkoviiva osoittaa minne ilmansulku kalvo yleensä sijoitetaan. Tällöin välipohjapalkit lävistävät ilmansulkukalvon ja syntyy riskirakenne. Punainen viiva taas havainnollistaa minne ilmansulkukalvo kannattaa sijoittaa, jotta kalvo pysyy yhtenäisenä ja rikkoutumattomana (kuva 17). Tällöin nopeutetaan työtä, koska kalvoa ei tarvitse tiivistää jokaisen välipohjapalkin kohdalta. Myös materiaalikustannuksia on hieman vähemmän. Ilmansulkukalvonjatkokset ulkoseinällä on hyvä tehdä välipohjan molemmin puolin limittämällä, teippaamalla ja puristusliitoksella.

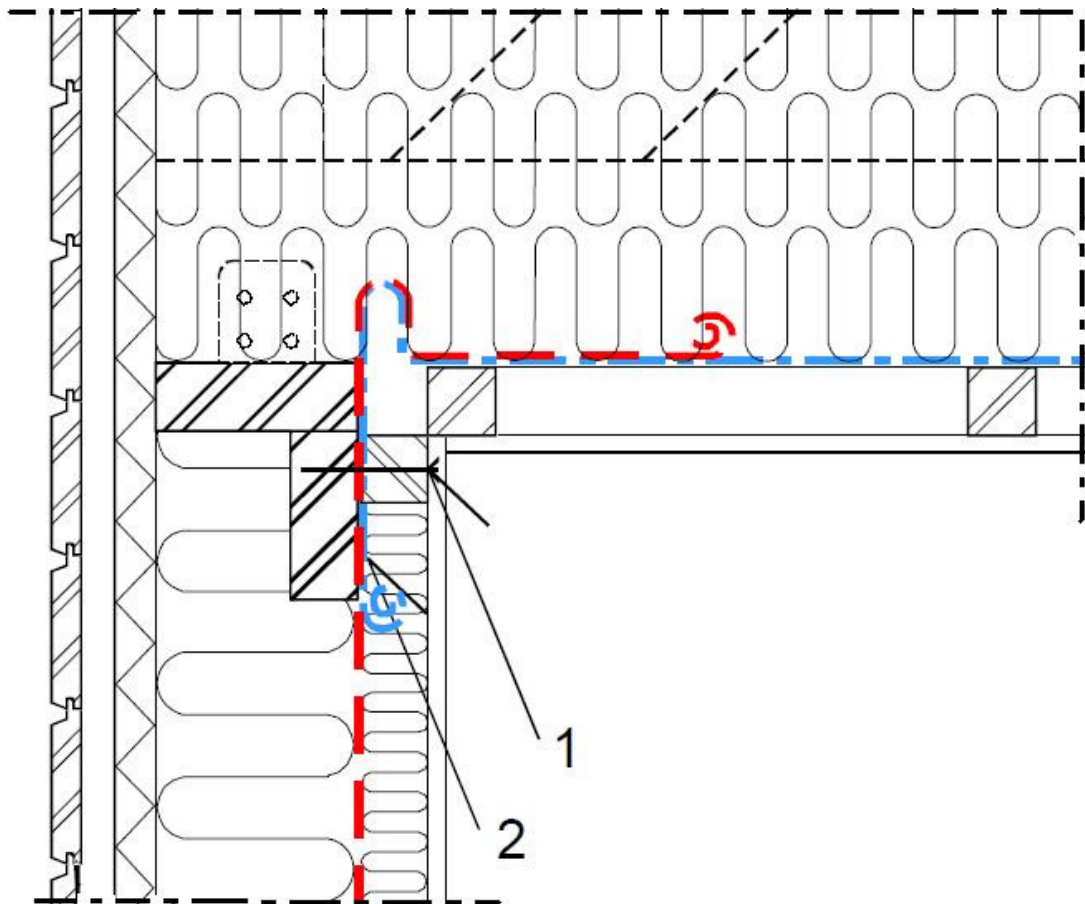
8.3 Alapohja ja ulkoseinänliitos



Kuva 18. Maanvaraisen betonilaatan ja tuplapuurankaseinän välinen liitos. Betonilaatta on valettu ennen seinän pystytystä. (Aho & Korpi 2009, 30)

Kumibitumikermikaista (2) asennetaan seinän alajuoksun alta betonilaatan alle. Perusmuurin sisäpuolinen eriste on viistetty päästä, jotta kermi ei rikkoudu. Ilmansulku kalvo tuodaan alimman koolaustuun alapuolella, mutta sen voi viedä myös betonilaatan alle. Tärkeintä on täyttää kermin, sisäpuolisen rakennuslevyn ja betonilaatan väliin jäävä tyhjätila polyuretaanivaahdolla (1). (kuva 18) Vaahdotus estää kermikaistan ja alajuoksun väliset ilmavuodot. Laatan painumisesta ei ole haittaa rakenteen ilmapitävyydelle, koska kumibitumikermikaista joustaa.

8.4 Yläpohjan ja ulkoseinänliitos



Kuva 19. Puurakenteisin yläpohjan ja ulkoseinänliitos.(Aho & Korpi 2009, 50)

Seinän ja yläpohjan höyrynsulut (kuva 19) limitetään tarpeeksi siten, että saadaan ruuvattava puristusliitos (1) seinälle. Tämän lisäksi varmistukseksi on suositeltavaa teipata jatkos (2). Yläpohjan ja ulkoseinän liitoksessa ilmasulkukalvoja ei saa kiristää liian tiukalle, jotta sähköputket saadaan kulkemaan esteettömästi asennusvälissä. Rakennuksen nurkissa ilmasulkukalvo limitetään, laskostetaan ja teipataan tiiviiksi. Sisäkattopinan on mahdollista olla myös kalteva.

(Aho & Korpi 2009, 51)

9 LOPPUPÄÄTELMÄT

Rakennusmääräyksillä pystytään varmistamaan uusien rakennusten rakennustekninen toimivuus sekä energiatehokkuus. Vaatimukset kiristyvät 1. heinäkuuta 2012. Laadukas ja energiatehokas rakentaminen on nykypäivää ja tulevaisuutta. Yhtenä tulevaisuuden osa-alueena on ilmanpitävyys. Ilmanpitävyys vaikuttaa näkyvimmin lämmityskustannuksiin sekä sisäilmanlaatuun. Ilmanpitävyydellä on kuitenkin kattavampi vaikutus rakennustekniseen toimintaan, asumisviihtyvyyteen, rakennuksenkäyttöikään ja ympäristöön. Ilmanpitävyyteen kannustetaan kiinnittämään yhä enemmän huomiota. On suositeltavaa suorittaa tiiviysmittaus jo pelkästään laadunvalvonnallisista syistä. Puurakentamisessa hyvän ilmanpitävyyden saavuttamisen tärkeimmät edellytykset ovat tarpeeksi kattavat ja perusteelliset suunnitelmat sekä huolellinen työ.

Työssä saatuja tuloksia pystytään hyödyntämään ja rakennuskohteesta riippuen työssä käsiteltyjä asioita pystytään soveltamaan ilmanpitävämpään ja energiatehokkaampaan rakentamiseen.

LÄHTEET

Aho, H & Korpi, M. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos.

Isover Oy. 2011. Isover-järjestelmä ilmatiiviiseen ja kosteusturvalliseen rakentamiseen.

Isoverin www-sivut. Viitattu 13.3.2012. <http://www.isover.fi>

Motivan energiatodistus Internet-sivut. Viitattu 8.3.2012. energiatodistus.motiva.fi

Paloniitty, S. Rakennusten tiiviysmittaus: mittalaitteet

Romppainen, I. 2010 Lämmin puutalo: ohjeet ilmanpitävään ja energiaa säästävään rakentamiseen. Helsinki: Rakennustieto.

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

RT 14-10850. Rakennuksen lämpökuvaus. 2005. Helsinki: Rakennustieto.

SFS-EN 13829. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified). 2001. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS

sisäilmayhdistyksen www-sivut. Viitattu 13.3.2012. <http://www.sisailmayhdistys.fi>

Suomen RakMK D3. 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto. <http://www.ymparisto.fi>.

Tavallisia sisäilmaongelmia. 2012. Asunto & Kiinteistö Omakoti Sastamalan seutu 1/2012.

Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K. & Keto, M. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos.

Ympäristöministeriö, Yli-insinööri Pekka Kalliomäki. 2011. Tekninen liite muistioon: Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta, Tekninen liite 28.3.2011

TIIVIYSMITTAUSRAPORTTI

*Asemakatu 43
Talo B
Vaasa*



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	2,9	2,8
3,1-4,0	F		
Yli 4,1	G		

Tutkija	
<i>Ossi Kivimäki</i>	Rakennustekniikan opiskelija

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO TIIVIYSMITTAUKSEEN	3
1.1	YLEISTÄ.....	3
1.2	KÄSITTEITÄ	4
1.3	RAKENNUSVAIPAN ILMANVUOTOLUVUN MITTAUS.....	5
1.4	ILMANVUOTOLUVUN VERTAILUARVOJA.....	6
2	KOHTTEEN YLEISTIEDOT	7
2.1	RAKENNUKSEN TUNNISTE- JA LAAJUUSTIEDOT	7
2.2	TUTKIMUKSEN TILAAJA.....	7
2.3	TUTKIMUKSEN TAVOITE.....	7
2.4	TUTKIMUKSEN TEKIJÄ.....	7
3	LÄHTÖARVOT	8
3.1	ULKOILMAN JA SISÄILMAN OLOSUHTEET	8
3.2	TIIVIYSMITTAUKSEN KATTAVUUS	8
3.3	KÄYTETYT MITTALAITTEET JA KOEJÄRJESTELYT	8
4	TULOKSET.....	9
4.1	MITTAUSTULOKSET	9
4.2	TULOS JA SEN ARVIOINTI.....	9

LIITTEET

Tiiveysmittaus pöytäkirjat
Lämpökuvausraportti
Pohjapiirustukset

1 JOHDANTO TIIVIYSMITTAUKSEEN

1.1 Yleistä

Energiatehokkaassa rakentamisessa vaipan ilmatiiviys on tärkeä rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta, sisäilmaston viihtyvyyden kannalta sekä energiakulutuksen vähentämisen kannalta.

Rakennusten ilmanpitävyyden mittaaminen rakennusten laadunvalvontamittauksena on yleistynyt merkittävästi muutaman vuoden sisällä. Vaipparakenteiden ilmatiivyydestä on puhuttu kymmeniä vuosia, mutta vasta energiatodistuksen myötä tiiviyden todentaminen on yleistynyt ja se on tullut jäädäkseen yhtenä rakennuksen vaipan kunnon tutkimisen muotona lämpökuvauksen rinnalle.

Hyvän ilmatiiviyden saavuttaminen rakennuksen vaipparakenteissa on tärkeä monestakin syystä.

Ehkä tärkeimpänä yksittäisenä tekijänä voidaan pitää rakennuksen vaipparakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistamista. Siirryttäessä entistä paremmin eristäviin vaipparakenteisiin tulee hallitsemattoman vuotoilman kulkeutuminen rakenteen sisään estää, jotta vältytään rakenteiden kosteus, ja homevaurioriskeiltä. Nykyisten asumistottomusten seurauksena sisäilman kosteuslisä voi olla talviaikana jopa 4-5 g/m³ sisäilmassa, jolloin kosteuskonvektion riski kasvaa. Jos vaipparakenteissa on ilmapuoreittejä, voi sisäilman kosteus kulkeutua ilmapuoreitteen mukana kylmiin rakenteiden osiin ja aiheuttaa kosteusvaurioriskin.

Toinen merkittävä syy hyvään ilmanpitävyyteen on hyvän asumisviihtyvyyden saavuttaminen. Kylmän ulkoilman virtaaminen sisätiloihin aiheuttaa vedon tunnetta ja pahimmilleen 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 vähenee. Lisäksi hyvä ilmanpitävyys parantaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa, koska kostea sisäilma ei pääse virtaamaan rakenteisiin ja toisaalta siksi, että kylmä ulkoilma ei pääse jäähdyttämään rakennetta ja aiheuttamaan materiaalikerrosten välisiin rajapintoihin homeen kasvulle otollisia olosuhteita tai kosteuden tiivistymisriskiä.

Kolmas merkittävä tekijä hyvään ilmatiivyyteen pyrkimisessä on energiakulutuksen pienentäminen. Hallitsemattomalla vuotoilmalla on suuri vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Esimerkiksi pientaloissa laskennallinen kokonaisenergiankulutuksen lisäys on keskimäärin 4 % jokaista n⁵⁰-luvun kokonaisuusyksikön lisäystä kohti. Vuotoilman tarvitseman energian osuus suhteessa kasvaa siirryttäessä matalaenergiarakentamisen suuntaan.

1.2 Käsitteitä

Painekoe

Rakennuksen ilmanpitävyyteen kehitetty koe, jossa rakennus ali- tai ylipaineistetaan, jotta vaipan ilmanpitävyyttä voidaan tutkia.

Tiiviysmittaus kts. painekoe

Rakennuksen ulkovaipan ilmapuotoluvun n_{50} ja q_{50} määrittäminen 50 Pa alipaineessa (tai ilmapuotokohtien etsiminen muussa, käyttötilannetta suuremmassa alipaineessa).

Ilmanvuotoluku, n_{50} [1/h]

Ilmanvuotoluku n_{50} kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa (pascal) ali- tai ylipaine. Rakennuksen sisätilavuus mitataan ulkovaipan sisäpintojen mukaan, välipohjia ei lasketa ilmatilavuuteen.

Ilmanvuotoluku, q_{50} [$m^3/(h m^2)$]

Ilmanvuotoluvulla q_{50} kuvataan rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden ($m^3/(h m^2)$). Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja;

Ilmanpitävyys, ilmatiiveys

Ilmanpitävyydellä tarkoitetaan rakenteen kykyä estää haitallinen ilmanvaihtuvuus rakenteen eri kerrosten läpi.

Neutraaliakseli

Tasolinja rakennuksen poikki jossakin korkeudessa, missä sisä- ja ulkoilman paine-ero on nolla.

Ulkovaippa

Ulkovaipalla tai vaipalla tarkoitetaan rakennuksen sisätilojen erottavia rakennekerroksia kylmästä ulkoilmasta.

$n_{50, ilm}$ ilmoitettu ilmapuotoluku

Ilmoitettu ilmapuotoluku on talotoimittajan tietylle talotyypille/tyypeille mittauksista laskettu ilmapuotoluku. Ilmoitettua ilmapuotolukua voidaan käyttää rakennuksen ilmapuotoluvun suunnitteluarvona ilman erillistä selvitystä tai mittausta. Ilmoitettu ilmapuotoluku lasketaan RT 80-10974 mukaisesti. Ilmoitettu ilmapuotoluvun laskennassa otetaan huomioon mittaustulosten lukumäärä ja hajonta.

Talotyyppi

Talotyyppi on talotoimittajan rakennus, jonka rakenteet ovat määrätynlaiset esim. puurakenteinen, kivirakenteinen tai sekarakenteinen. Eri talotyyppiä voivat olla erilaisilla toteutusratkaisuilla tehdyt rakennukset, jotka vaikuttavat ilmatiivyyteen. Talotoimittajalla voi siis olla useita talotyyppiä.

1.3 Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun mittaus

Rakennuksen tai sen osien tiiviyyttä mitataan Suomessa ns. alipainemenetelmällä, jossa tutkittavaan tilaan aiheutetaan 50 Pa:n alipaine ulkoilmaan nähden. Alipaine saadaan aikaan puhaltimella. Puhallin asennetaan ulko-oven tai ikkunan tuuletusluukun paikalle. Puhallin voi olla myös rakennuksen oma ilmanvaihtolaitteisto.

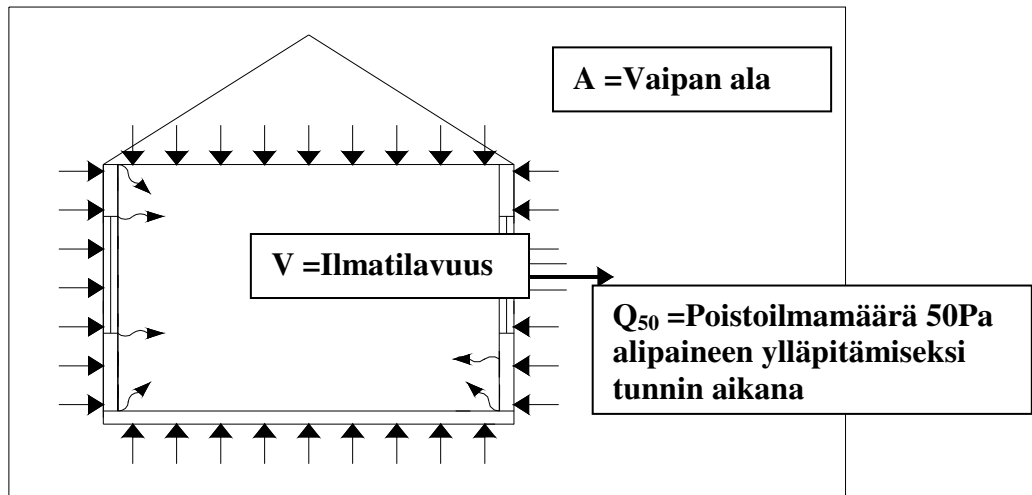
Alipaineen ylläpitämiseksi tarvittava ilmamäärä mitataan. Tämä ilmamäärä jaettuna tutkittavan tilan ilmatilavuudella antaa tulokseksi ns. ilmavuotoluvun n_{50} , tai ilmamäärä jaetaan vaipan alalla jolloin tulokseksi saadaan ilmavuotoluku q_{50} . Ilmavuotoluku n_{50} esitetään yksikössä 1/h, vaihtoa tunnissa. Ilmavuotoluku q_{50} esitetään yksikössä $[m^3/(h m^2)]$.

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

missä n_{50} = rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla [1/h]
 Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla [m^3/h]
 V = rakennuksen/mitattavan osan sisättilavuus [m^3]

$$q_{50} = Q_{50}/A$$

missä q_{50} = rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla [$m^3/(h m^2)$]
 Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla [m^3/h]
 A = rakennuksen/mitattavan osan ulkovaipan ala [m^2]



Kuva 2. Vaipan tiiviysmittauksen periaate

Rakennuksen ilmanpitävyyden mittaaminen painekoemenetelmällä on esitetty standardissa SFS EN 13829. Standardissa käytetään mittaamenetelmää B (rakennuksen vaipan testaus) siten, että rakennukseen tarkoituksellisesti ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot (ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistokanavat, korvausilmaventtiilit), tulisijat ja hormit suljetaan tiiviisti tarvittaessa teippaamalla.

Rakennuksen mitattavaan alueeseen otetaan mukaan kaikki lämmitetyt ja jäähdytetyt tilat tai tilat, joissa on koneellinen ilmanvaihto ja sellaiset tilat, jotka selkeästi ovat ilmanpitävän vaipan sisäpuolella.

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. Vaipan alaan lasketaan ulkoseinien pinta-ala sisämittojen mukaan laskettuna sekä yläpohjan ja alapohjan ala. Aukkoja ei vähennetä vaipan alasta.

1.4 Ilmanvuotoluvun vertailuarvoja

Rakennuksen ilmavuotoluku tarvitaan lähtötietona lämmöntarpeen laskennassa. Erinomainen arvo pientalossa on alle 1,0 1/h, normaali n. 4,0 1/h ja heikko n. 10,0 1/h. Ilmanvuotolukua ei pidä sekoittaa LVI- suunnittelussa käytettyyn termiin ilmanvaihtokerroin, joka kertoo rakennuksen ilmanvaihdon suunnittelijalle kuinka monta kertaa sisäilman tilavuus halutaan vaihtuvat aikayksikössä. Ilmanvaihtoa suunniteltaessa on otettava siis huomioon koneellisen ja luonnollisen ilmanvaihdon suhteet.

Vuoden 2003 alussa voimaan tulleissa rakentamismääräyksissä ilmanpitävyys otetaan huomioon lämmönläpäisykertoimien ja lämmön talteenoton ohella ns. lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 kohdassa esitetään rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennan ohjeet

Tiivysmittaus rakennuksen laadunvalvontamittauksena Tiivysmittaus (vuoden 2010 alun jälkeen) on tehtävä silloin kun uudisrakennuksen energiatodistuslaskelmissa halutaan käyttää parempaa ilmavuotolukua kuin 4 1/h vaihtoa tunnissa, ellei rakennus kuulu ns. talotoimittajan ilmoitusmenettelyn piiriin. Ilmoitusmenettely vaatii jokaisesta talotyypistä tiivysmittauksien sarjan, tulosten laskennan sekä tulosten seurannan.

Tällä hetkellä suomessa käytetään tiivysmittauksen yksikkönä n_{50} -lukua. Joka kertoo, montako kertaa rakennuksen ilma vaihtuu tunnin aikana 50Pa paine-erolla vaipan vuotokohtien kautta. 2010 määräyksissä vertailuarvo n_{50} -luvulle on 2,0 1/h. Jos suunnitelmissa käytetään parempaa kuin 4,0 1/h tulee tiivys osoittaa.

Tiivysmittauksen yksikkönä 1.7.2012 eteenpäin käytetään q_{50} -lukua. Joka kertoo kuinka paljon ulkovaippa neliötä kohden vuotaa tunnin aikana 50Pa paine-erolla vaipan vuotokohtien kautta. 2012 määräyksissä vaatimus on q_{50} -luvulle 4,0 [$m^3/(h m^2)$]. Vertailuarvona käytetään 2 [$m^3/(h m^2)$] ja suositus on alle 1,0 [$m^3/(h m^2)$].

2 KOHTEEN YLEISTIEDOT

2.1 Rakennuksen tunniste- ja laajuustiedot

Kohde oli Vaasan Asemakatu 43:ssa sijaitseva paritalo, se on 2012 valmistuva kaksikerroksinen puutalo. Tiiviyksmittaus suoritettiin molemmissa huoneistoissa.

Kohdetiedot:

	Huoneisto 1	Huoneisto 2
Sisätilavuus	174 m ³	176 m ³
Vaipanala	164 m ²	167 m ²
Huoneistoala	61,5 m ²	63,5 m ²

Tilavuus ja vaipan pinta-ala tiedot on mitattu laser-etäisyysmittarilla. Niiden virheen arvioidaan olevan enintään 5 %.

Lämmitysjärjestelmä: Vesikiertoinen lattialämmitys

Ilmavaihto: Koneellinen tulo- ja poisto LTO:lla

Alapohja: Maanvarainen betonilaatta

Ulkoseinät: Kaksoisranka

Yläpohja: Palkkirakenteinen

Ilmansulkurakenteena on tarkoitukseen kuuluva polyeteeni kalvo.

2.2 Tutkimuksen tilaaja

Lemminkäinen Talo Oy on tutkimuksen tilaaja, mutta raportti tuodaan Pikipruukki Oy:n tietoisuuteen joka toimii rakennushankkeen tilaajana.

2.3 Tutkimuksen tavoite

Tavoitteena oli selvittää kohteen ilmanvuotoluku, paikallistaa vuotokohdat sekä suunnittelu arvon todentaminen.

2.4 Tutkimuksen tekijä

Tutkimus suoritettiin osana opinnäytetyötä, joka käsittelee ilmanpitävyyttä puurakentamisessa.

Opinnäytetyön tekijä on Ossi Kivimäki

Ohjaajana toimii Mikko Tapiola

3 LÄHTÖARVOT

3.1 Ulkoilman ja sisäilman olosuhteet

Huoneisto 1, mittausolosuhteet aloitus hetkellä (klo 08:45):

Ulkolämpötila: -3.9 °C

Sisälämpötila: 20.2 °C

Tuuli: NW 2m/s

Huoneisto 2, mittausolosuhteet aloitus hetkellä (klo 12.45):

Ulkolämpötila: 0.7 °C

Sisälämpötila: 21.3 °C

Tuuli: S 4m/s

Rakennus ei ollut erityisen altis tuulen vaikutukselle. Aurinko ei paistanut.
Ilmanpaine: 101325 Pa standardiarvo, jonka käytöstä on ajateltu syntyvän virhettä enintään 5 %

3.2 Tiiviysmittauksen kattavuus

Molemmat huoneistot mitattiin ja paineistettiin erikseen. Ilmanvaihtojärjestelmä tiivistettiin tulevien päätelaitteiden kohdalta, joten ilmanvaihto järjestelmän tiiveys vaikutti tulokseen. Mittauksen aikana toisessa huoneistossa vallitsi ulkoilman paine. Mittauslaitteisto kiinnitettiin huoneistojen ulko-oven paikalle.

3.3 Käytetyt mittalaitteet ja koejärjestelyt

Tiiviysmittauslaitteistona käytettiin Retrotec 1000 puhallinjärjestelmää ja Retrotec Fan Testic (5.2.116) ohjelmistoa. Vuotokohtien paikallistamiseen käytettiin Fluke TirX lämpökameraa ja Tiny C07 savukonetta.

Retrotec Blower Door:

Fan Shell Serial Number: 1FN000525

Fan Top Serial Number: 1FT000525

Calibrating Date: 2011-09-14

Pressure Gauge:

Serial Number: 205990

Calibrating Date: 2011-09-14



Fluke
TirX sarjanumero: Tir-10060286
kalibrintipäiväys 6/11/2010



Tiny C07 savukone



4 TULOKSET

4.1 Mittaustulokset

Huoneisto 1 $n_{50} = 2,67$ (1/h) ja huoneisto 2 $n_{50} = 2,89$ (1/h).

Ilmanvuotokohtia löytyi rakenteiden ja ikkunoiden liitoksista. Mittaustulosta voidaan pitää luotettavana sillä molempiin huoneistoihin suoritettiin tarkistus mittaukset.

4.2 Tulos ja sen arviointi

Rakennuksen n_{50} luku 2.8 on puurakenteiselle pientalolle tyydyttävä. Tulokseen vaikutti hieman kasvattavasti huoneistojen eriaikainen paineistaminen, koska ilman on mahdollista virrata huoneistojen välisen seinän läpi. Tämän ei kuitenkaan pitäisi vaikuttaa tulokseen kuin muutaman kymmenyksen.

Kohteiden ilmavuotoluvut 50 Pa paine-erolla vaihtelevat välillä 0.5...8.9l/h. joskin suuri osa ilmavuotoluvuista sijoittuu välille 3...4 l/h. (Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T... 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos).

Tulosta vertailtaessa päästään hieman keskitasoa parempaan mutta 2012 voimaan tulevien energiamääräysten vertailu arvo q_{50} luvulle on 2.0 ja vaadittava arvo 4.0. Joten kehitettävää olisi. Tulokseen vaikuttaa erityisesti rakenne ratkaisut, suunnitelmien täsmällisyys sekä huolellinen työ.

Building Air Leakage Test Results
In Compliance with European Norm EN13829

Building Details

Building Address: Talo B huoneisto 1 Asemakatu 43 65100 Vaasa	Elevation: 6,5 m
Test technician: Ossi Kivimäki	Height above ground: 5 m
Test company: {TestCompany}	Building Volume, V: 174 m³
	Total envelope area, A _{T BAT} : 164 m²
	Building exposure to wind:
	Accuracy of measurements: 5%

Testing Details

Fan Model: Retrotec 1000	Fan SN: 1ft000525	Gauge Model: DM-2	Gauge SN: 205990
-------------------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------------

Depressurize set

Date: **2012-02-22** Time: **10:17** to **10:30**

Environmental Conditions:

Barometric Pressure: **101,3** KPa from **Direct measurement.**

Wind speed: **3: Gentle breeze**

Temperature: Initial: indoors **20 °C** outdoors **-4 °C**.
Final: indoors **20 °C** outdoors **-4 °C**.

Test Data:

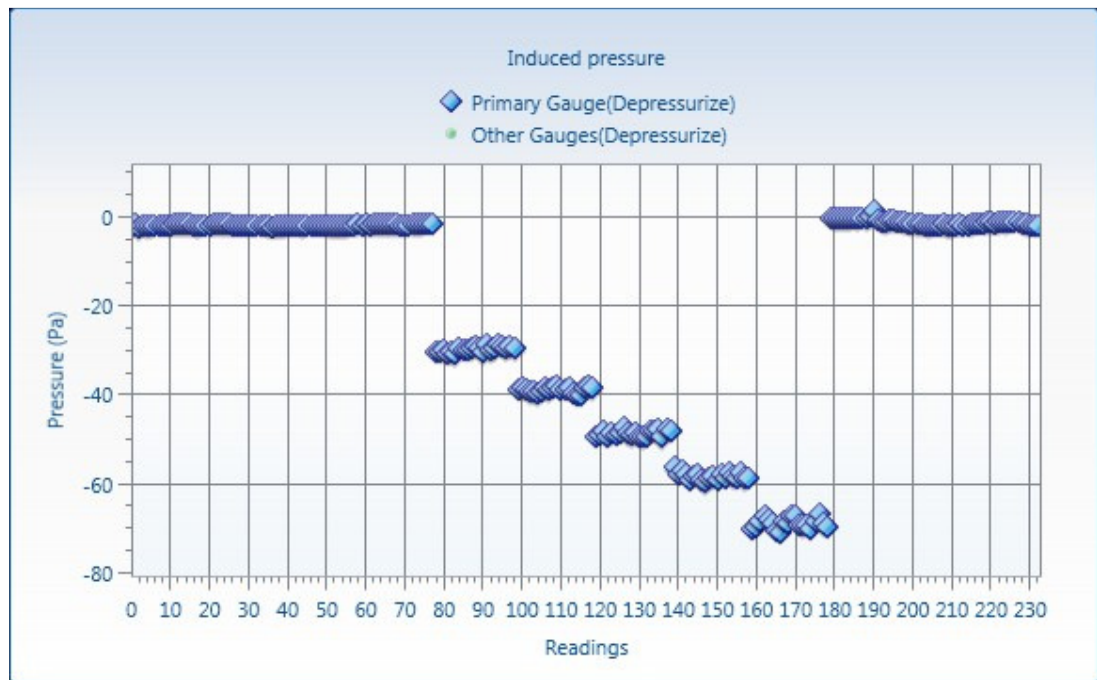
5 bias pressures taken for **10** sec each.

5 induced pressures taken for **20** sec each.

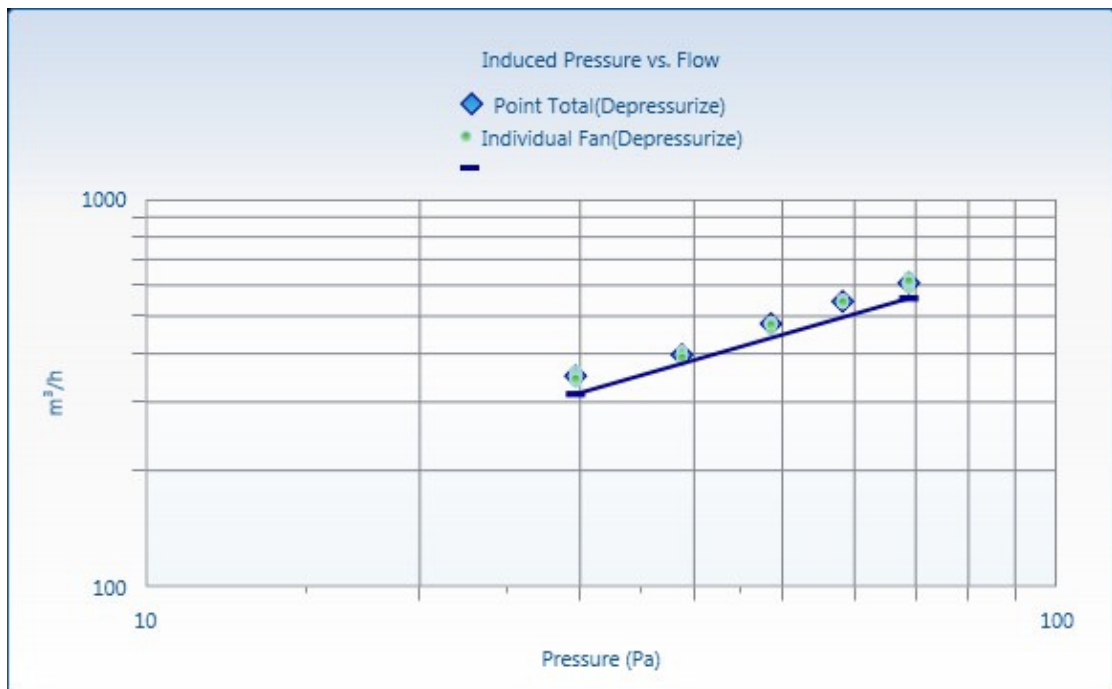
Bias, initial [Pa]	-1,77	-1,72	-1,86	-1,80	-1,56					
Building Test Pressure [Pa]	-31,1	-40,2	-50,0	-59,6	-70,2					
Bias, final [Pa]	-0,22	-0,60	-1,77	-1,48	-1,30					
Door Fan Pressure, [Pa]	207,8	99,7	141,7	183	68,6					
Total flow, V _r [m ³ /h]	350,7	397,5	477,9	545,8	608,5					
Corrected flow, V _{env} [m ³ /h]	321,7	364,7	438,4	500,7	558,2					
Error [%]	2,2%	-3,3%	-0,2%	0,9%	0,5%					

Bias pressure Averages: initial [Pa] ΔP_{01} **-1,74**, ΔP_{01-} **-1,74**, ΔP_{01+} **0,00**
final [Pa] ΔP_{01} **-1,07**, ΔP_{01-} **-1,07**, ΔP_{01+} **0,00**

Induced Pressure



Induced Pressure vs. Flow



Depressurize Test Results

	Results			Results	95% confidence		Uncertainty	
		95% confidence limits						
Correlation, r [%]	99,57			Air flow at 50 Pa, V_{50} [m^3/h]	460,5	444,5	477,0	+/-0,0352
Intercept, C_{env} [$m^3/h.Pa^n$]	31,90	20,41	49,85	Air changes at 50 Pa, n_{50} [/h]	2,645	2,485	2,810	+/-0,0612
Intercept, C_L [$m^3/h.Pa^n$]	32,803	21,00	51,25	Permeability at 50 Pa, q_{50} [$m^3/h.m^2$]	2,808	2,637	2,980	+/-0,0612
Slope, n	0,6753	0,5596	0,7911	Specific Leakage at 50 Pa, w_{50} [$m^3/h.m^2$]	7,489	7,031	7,947	+/-0,0612

Pressurize set

Date: **2012-02-22** Time: **10:35** to **10:44**

Environmental Conditions:

Barometric Pressure: **101,3** KPa from **Direct measurement**.

Wind speed: **3: Gentle breeze**

Temperature: Initial: indoors **20 °C** outdoors **-4 °C**.
Final: indoors **20 °C** outdoors **-4 °C**.

Test Data:

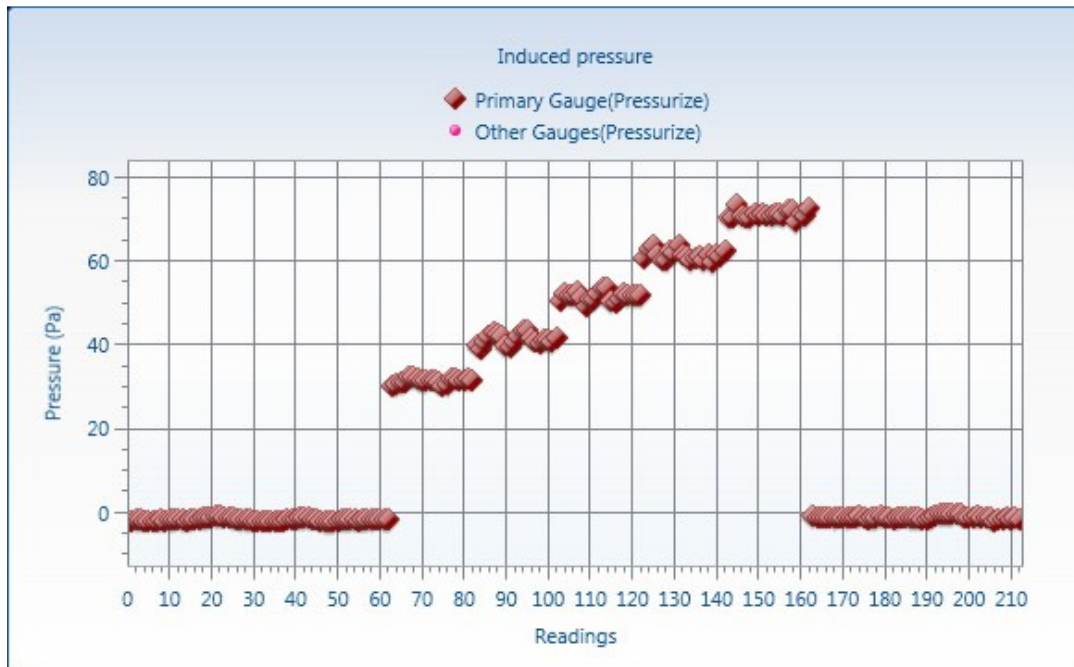
5 bias pressures taken for **10** sec each.

5 induced pressures taken for **20** sec each.

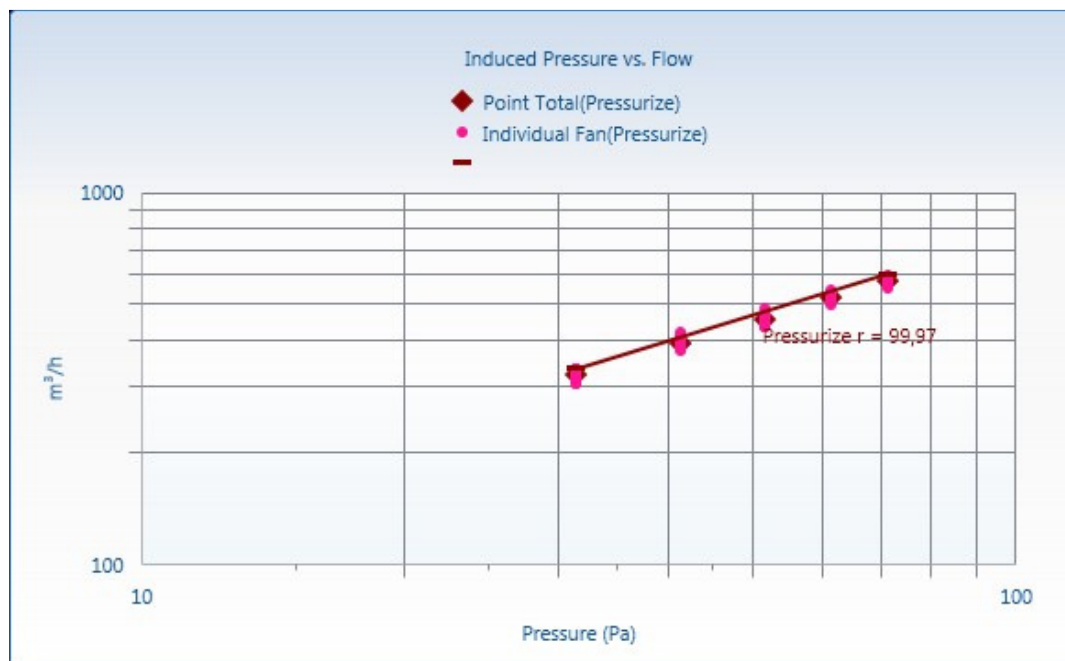
Bias, initial [Pa]	-1,89	-1,38	-1,86	-1,71	-1,78	
Building Test Pressure [Pa]	30,0	39,8	50,1	60,0	69,7	
Bias, final [Pa]	-1,12	-1,20	-1,27	-0,67	-1,43	
Door Fan pressure, [Pa]	49,8	69,3	89,3	110,7	132,6	
Total flow, V_r [m^3/h]	322,8	394,9	456,9	521,2	582,0	
Corrected flow, V_{env} [m^3/h]	336,7	412,0	476,6	543,7	607,2	
Error [%]	0,0%	0,6%	-0,8%	-0,2%	0,4%	

Bias pressure Averages: initial [Pa] ΔP_{01} **-1,72**, ΔP_{01-} **-1,72**, ΔP_{01+} **0,00**
final [Pa] ΔP_{01} **-1,14**, ΔP_{01-} **-1,14**, ΔP_{01+} **0,00**

Induced Pressure



Induced Pressure vs. Flow



Pressurize Test Results

	Results				Results	95% confidence		Uncertainty
<i>Correlation, r [%]</i>	99,97	95% confidence limits		<i>Air flow at 50 Pa, V_{50} [m³/h]</i>	470,0	466,0	474,0	+/-0,0088
<i>Intercept, C_{env} [m³/h.Paⁿ]</i>	28,70	25,50	32,20	<i>Air changes at 50 Pa, n_{50} [/h]</i>	2,701	2,565	2,840	+/-0,0508
<i>Intercept, C_L [m³/h.Paⁿ]</i>	28,692	25,50	32,31	<i>Permeability at 50 Pa, q_{50} [m³/h.m²]</i>	2,866	2,721	3,012	+/-0,0508
<i>Slope, n</i>	0,7148	0,6844	0,7451	<i>Specific Leakage at 50 Pa, w_{50} [m³/h.m²]</i>	7,643	7,255	8,031	+/-0,0508

Combined Test Data

	Results	95% Confidence Interval		Uncertainty
<i>Air flow at {Airflow1RefPa} Pa, $V_{\{Airflow1RefPa\}}$ [m³/h]</i>	465,5	455,5	475,5	+/-0,0220
<i>Air changes at {Airflow1RefPa} Pa, $n_{\{Airflow1RefPa\}}$ [/h]</i>	2,675	2,525	2,825	+/-0,0560
<i>Permeability at 50 Pa, q_{50} [m³/h.m²]</i>	2,837	2,679	2,996	+/-0,0600
<i>Specific leakage at 50 Pa, w_{50} [m³/h.m²]</i>	7,566	7,143	7,989	+/-0,0600

Test Notes: (add notes here)

Calibration Certificate

Retrotec 1000 1ft000525.						
Range	N	K	K1	K2	K3	K4
Open(22)	0,5214	486,99	-0,07	0,8	-0,115	1,067
A	0,503	259,038	-0,075	1	0	1,023
B	0,5	174,8824	0	0,3	0	1
C8	0,5	78,5	-0,02	0,5	0,016	1
C6	0,505	61,3	0,054	0,5	0,004	1
C4	0,5077	42	0,009	0,5	0,0009	1
C2	0,52	22	0,11	0,5	-0,001	1
C1	0,541	11,9239	0,13	0,4	-0,0014	1
L4	0,48	4,0995	0,003	1	0,0004	1
L2	0,502	2,0678	0	0,5	0,0001	1
L1	0,4925	1,1614	0,1	0,5	0,0001	1

Building Air Leakage Test Results
In Compliance with European Norm EN13829

Building Details

Building Address: Talo B huoneisto 2 Asemakatu 43 65100 Vaasa	Elevation: Height above ground: Building Volume, V: Total envelope area, $A_{T\text{BAT}}$	6,5 m 5 m 176 m³ 167 m²
Test technician: Ossi Kivimäki Test company: {TestCompany}	Building exposure to wind: Accuracy of measurements:	5% 5%

Testing Details

Fan Model: Retrotec 1000	Fan SN: 1ft000525	Gauge Model: DM-2	Gauge SN: 205990
-------------------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------------

Depressurize set

Date: **2012-02-22** Time: **13:22** to **13:31**

Environmental Conditions:

Barometric Pressure: **101,3** KPa from **Direct measurement**.

Wind speed: **4: Moderate breeze**

Temperature: Initial: indoors **21 °C** outdoors **1 °C**.
Final: indoors **20 °C** outdoors **-4 °C**.

Test Data:

5 bias pressures taken for **10** sec each.

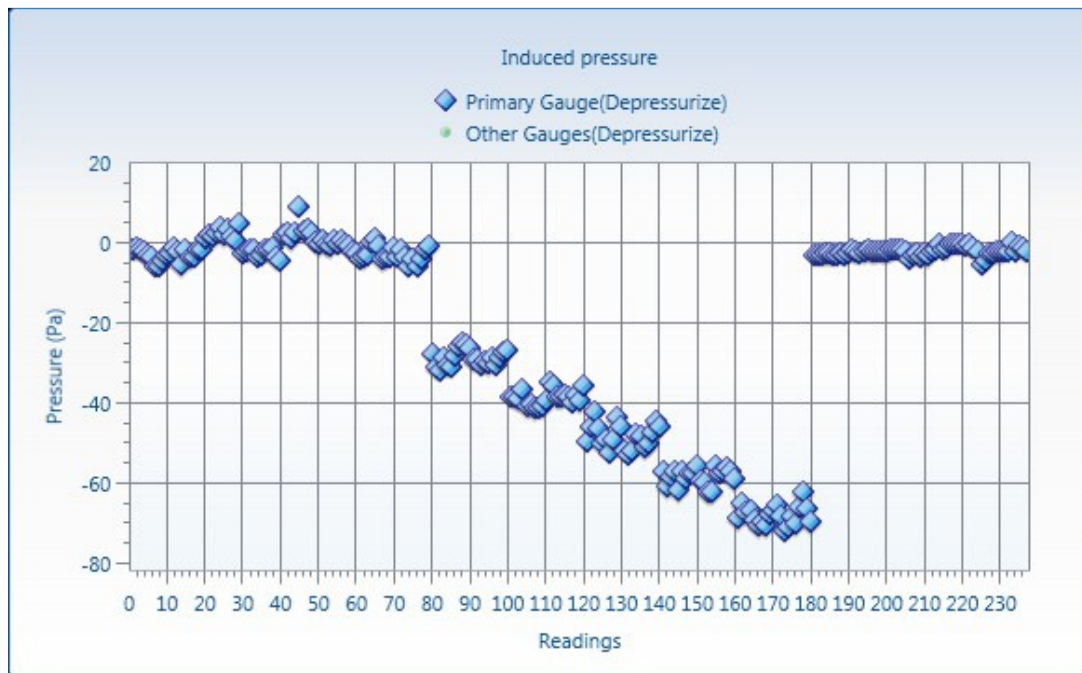
5 induced pressures taken for **20** sec each.

Bias, initial [Pa]	-3,02	0,51	0,03	-0,90	-2,70			
Building Test Pressure [Pa]	-30,4	-40,3	-49,9	-60,1	-69,7			
Bias, final [Pa]	-2,78	-2,09	-2,46	-1,26	-2,04			
Door Fan Pressure, [Pa]	24,4	35,2	50	62,8	82,7			
Total flow, V_r [m ³ /h]	358,6	432,8	517,6	582,0	669,5			
Corrected flow, V_{env} [m ³ /h]	331,4	400,1	478,4	537,9	618,8			
Error [%]	1,1%	-1,5%	0,5%	-1,5%	1,5%			

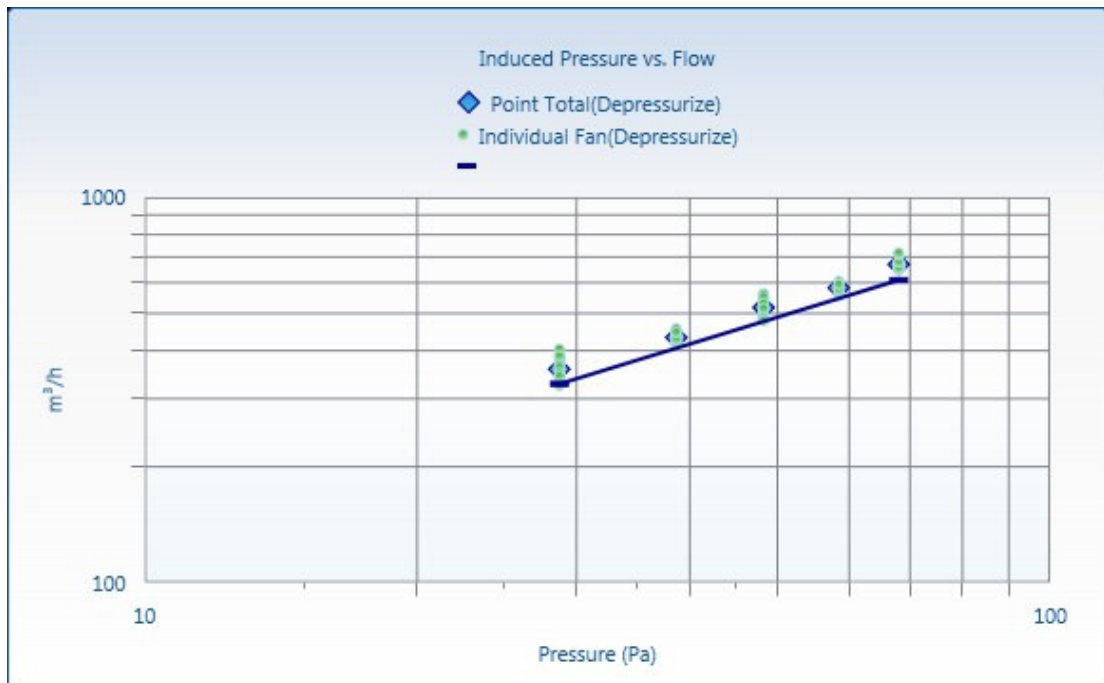
Bias pressure Averages:

initial [Pa]	ΔP_{01}	-1,22	ΔP_{01-}	-2,21	ΔP_{01+}	0,27
final [Pa]	ΔP_{01}	-2,12	ΔP_{01-}	-2,12	ΔP_{01+}	0,00

Induced Pressure



Induced Pressure vs. Flow



Depressurize Test Results

	Results				Results	95% confidence		Uncertainty
Correlation, r [%]	99,83	95% confidence limits		Air flow at 50 Pa, V_{50} [m^3/h]	499,5	487,5	511,5	+/-0,0242
Intercept, C_{env} [$m^3/h.Pa^n$]	29,40	21,85	39,51	Air changes at 50 Pa, n_{50} [/h]	2,835	2,670	2,995	+/-0,0556
Intercept, C_L [$m^3/h.Pa^n$]	30,036	22,35	40,40	Permeability at 50 Pa, q_{50} [$m^3/h.m^2$]	2,990	2,824	3,156	+/-0,0555
Slope, n	0,7185	0,6416	0,7955	Specific Leakage at 50 Pa, w_{50} [$m^3/h.m^2$]	7,864	7,427	8,301	+/-0,0555

Pressurize set

Date: **2012-02-22** Time: **13:36** to **13:43**

Environmental Conditions:

Barometric Pressure: **101,3** KPa from **Direct measurement**.

Wind speed: **4: Moderate breeze**

Temperature: Initial: indoors **21 °C** outdoors **1 °C**.
Final: indoors **20 °C** outdoors **-4 °C**.

Test Data:

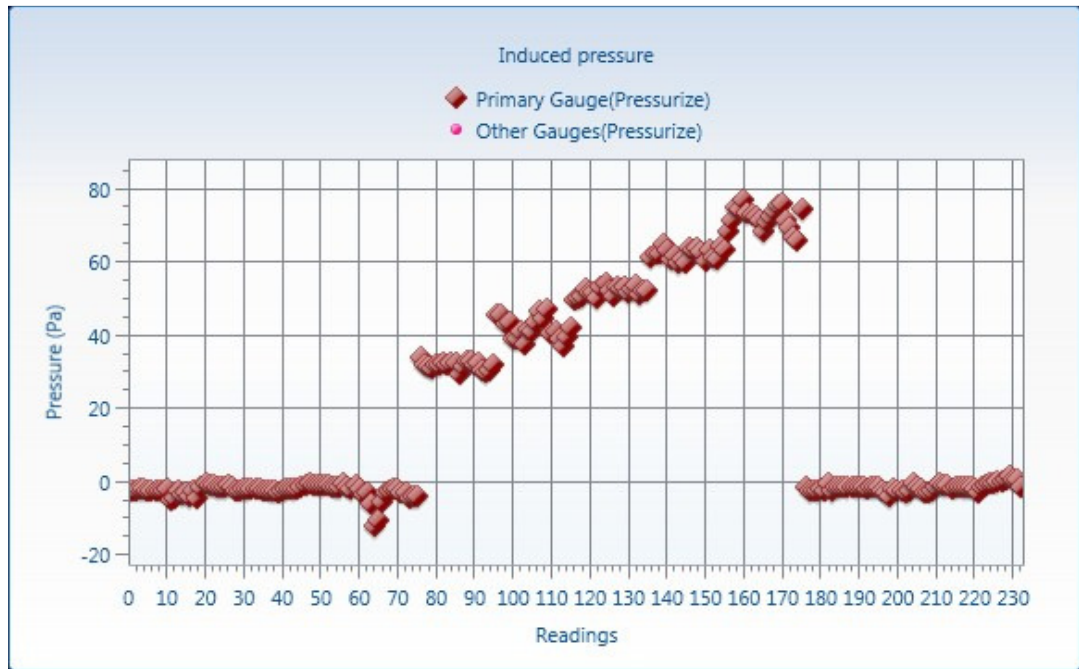
5 bias pressures taken for **10** sec each.

5 induced pressures taken for **20** sec each.

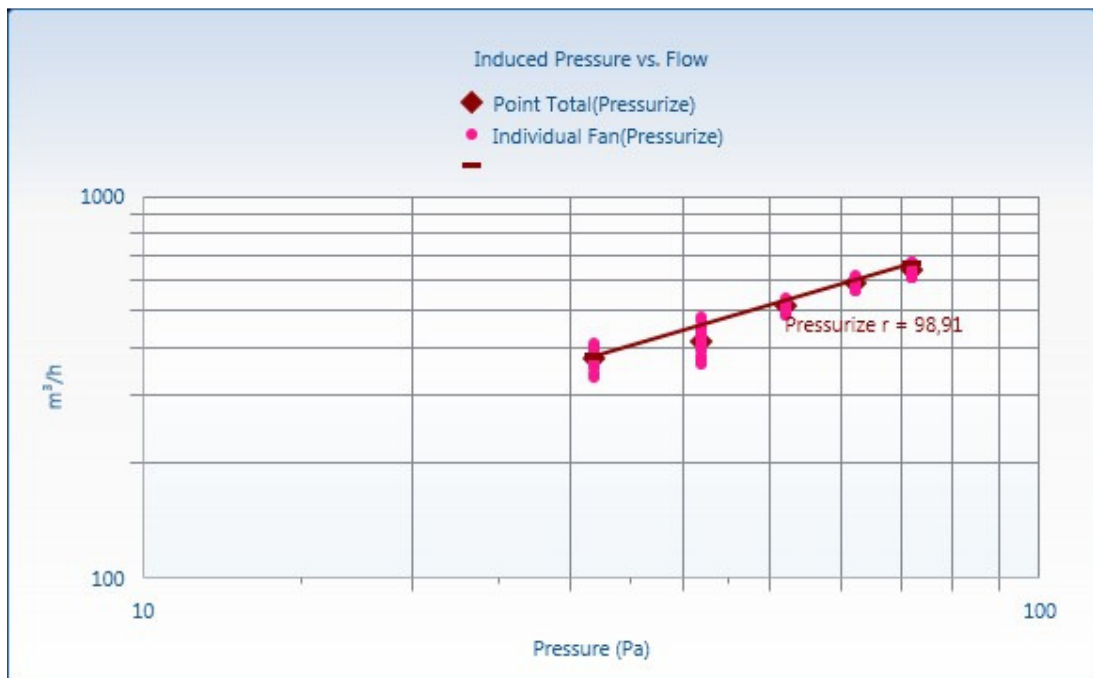
Bias, initial [Pa]	-2,66	-1,88	-2,13	-1,21	-4,57
Building Test Pressure [Pa]	29,8	39,9	50,0	60,2	70,0
Bias, final [Pa]	-1,89	-1,97	-2,24	-1,39	-0,28
Door Fan pressure, [Pa]	56,6	72,9	99,2	124,8	146,1
Total flow, V_T [m^3/h]	376,6	417,8	514,0	590,5	641,6
Corrected flow, V_{env} [m^3/h]	391,9	434,8	534,9	614,6	667,7
Error [%]	3,2%	-5,4%	0,4%	1,9%	0,1%

Bias pressure Averages: initial [Pa] ΔP_{01} **-2,49**, ΔP_{01-} **-2,49**, ΔP_{01+} **0,00**
final [Pa] ΔP_{01} **-1,55**, ΔP_{01-} **-1,55**, ΔP_{01+} **0,00**

Induced Pressure



Induced Pressure vs. Flow



Pressurize Test Results

	Results			Results	95% confidence		Uncertainty	
		95% confidence limits						
Correlation, n, r [%]	98,91			Air flow at 50 Pa, V_{50} [m^3/h]	518,5	491,1	547,5	+/-0,0545
Intercept, C_{env} [$m^3/h.Pa^n$]	34,90	16,70	73,25	Air changes at 50 Pa, n_{50} [/h]	2,945	2,730	3,165	+/-0,0740
Intercept, C_L [$m^3/h.Pa^n$]	34,986	16,70	73,21	Permeability at 50 Pa, q_{50} [$m^3/h.m^2$]	3,105	2,876	3,335	+/-0,0740
Slope, n	0,6892	0,5009	0,8775	Specific Leakage at 50 Pa, w_{50} [$m^3/h.m^2$]	8,167	7,563	8,771	+/-0,0740

Combined Test Data

	Results	95% Confidence Interval		Uncertainty
Air flow at {Airflow1RefPa} Pa, $V_{\{Airflow1RefPa\}}$ [m^3/h]	508,0	489,5	529,5	+/-0,0394
Air changes at {Airflow1RefPa} Pa, $n_{\{Airflow1RefPa\}}$ [/h]	2,890	2,705	3,080	+/-0,0648
Permeability at 50 Pa, q_{50} [$m^3/h.m^2$]	3,048	2,850	3,246	+/-0,0600
Specific leakage at 50 Pa, w_{50} [$m^3/h.m^2$]	8,016	7,495	8,536	+/-0,0600

Test Notes: (add notes here)

Calibration Certificate

Retrotec 1000 1ft000525.						
Range	N	K	K1	K2	K3	K4
Open(22)	0,5214	486,99	-0,07	0,8	-0,115	1,067
A	0,503	259,038	-0,075	1	0	1,023
B	0,5	174,8824	0	0,3	0	1
C8	0,5	78,5	-0,02	0,5	0,016	1
C6	0,505	61,3	0,054	0,5	0,004	1
C4	0,5077	42	0,009	0,5	0,0009	1
C2	0,52	22	0,11	0,5	-0,001	1
C1	0,541	11,9239	0,13	0,4	-0,0014	1
L4	0,48	4,0995	0,003	1	0,0004	1
L2	0,502	2,0678	0	0,5	0,0001	1
L1	0,4925	1,1614	0,1	0,5	0,0001	1

Ossi Kivimäki

8.3.2012

Lämpökuvausraportti

Lemminkäinen Talo Oy

Asemakatu 43

Talo B

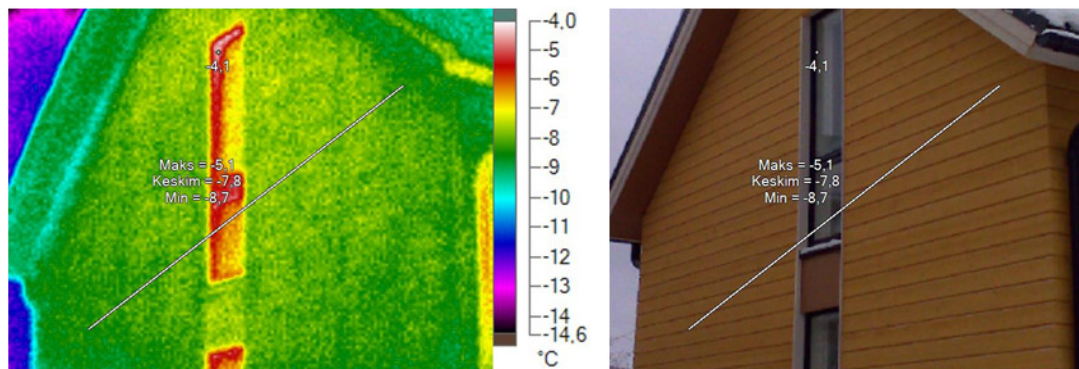
Kuvat otettu 10.2.2012 sekä 22.2.2012

Lämpökanera Fluke TirX

sarjanumero: Tir-1006028

kalibrointipäiväys 6/11/2010

Pohjoispääty

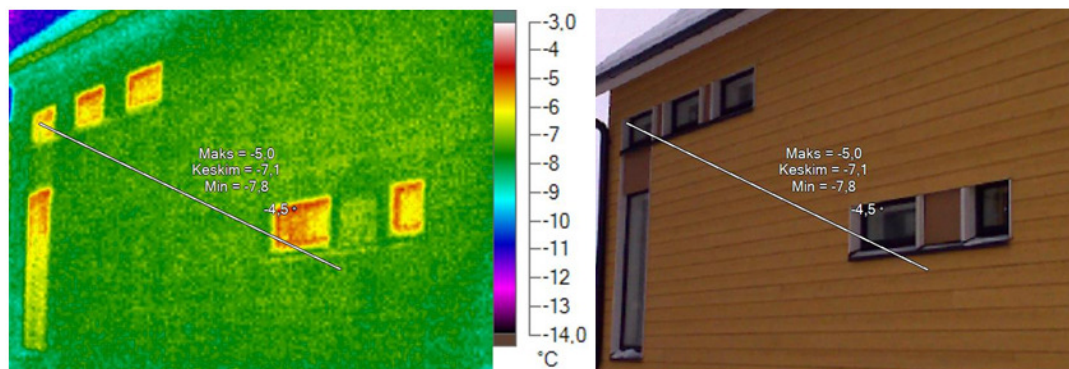


Lähetys	1,00
Keskilämpötila	-8,3°C
Kuva-asteikko	-14,5°C ... -4,1°C

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Emissiivisyys	Tausta	Keskihajonta
V0	-7,8°C	-8,7°C	-5,1°C	0,95	22,0°C	0,67

Nimi	Lämpötila	Emissiivisyys	Tausta
Kuuma	-4,1°C	0,95	22,0°C

Itäsiivu

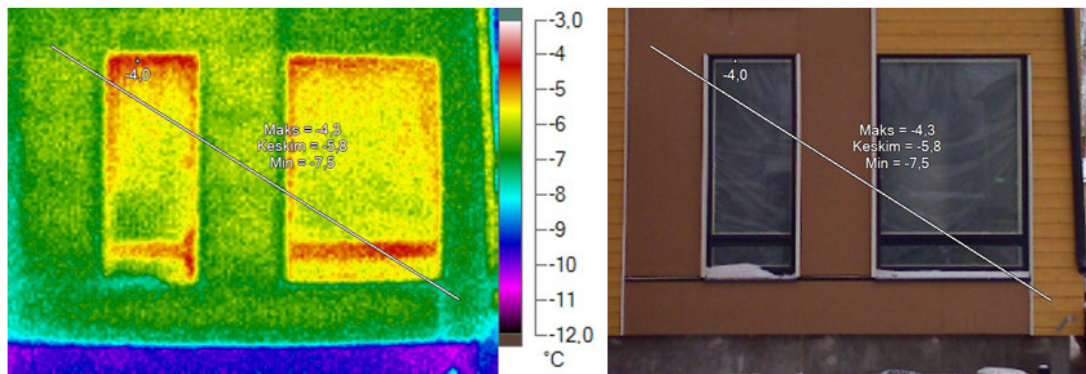


Lähetys	1,00
Keskilämpötila	-7,4°C
Kuva-asteikko	-12,2°C ... -4,5°C

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Emissiivisyys	Tausta	Keskihajonta
V0	-7,1°C	-7,8°C	-5,0°C	0,95	22,0°C	0,67

Nimi	Lämpötila	Emissiivisyys	Tausta
Kuuma	-4,5°C	0,95	22,0°C

Länsisivu

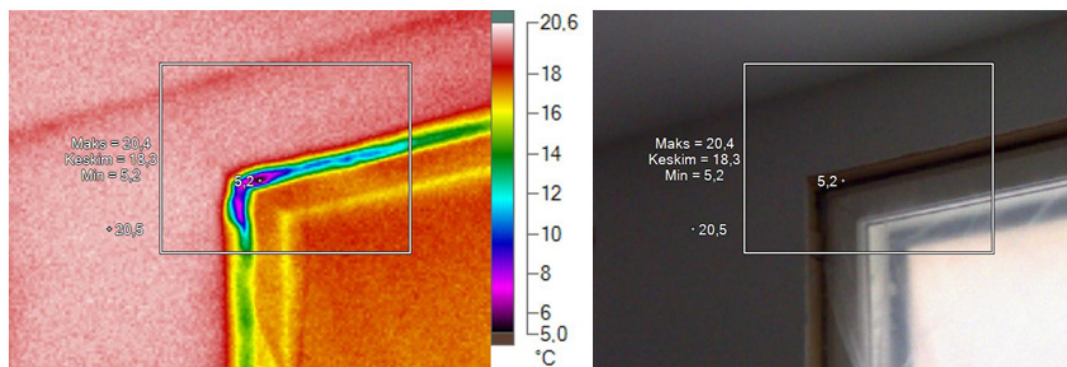


Lähetys	1,00
Keskilämpötila	-6,5°C
Kuva-asteikko	-10,7°C ... -4,0°C

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Emissiivisyys	Tausta	Keskihajonta
V0	-5,8°C	-7,5°C	-4,3°C	0,95	22,0°C	0,63

Nimi	Lämpötila	Emissiivisyys	Tausta
Kuuma	-4,0°C	0,95	22,0°C

Huoneisto 1, Lännenpuoleinen, tupakeittiön ikkuna

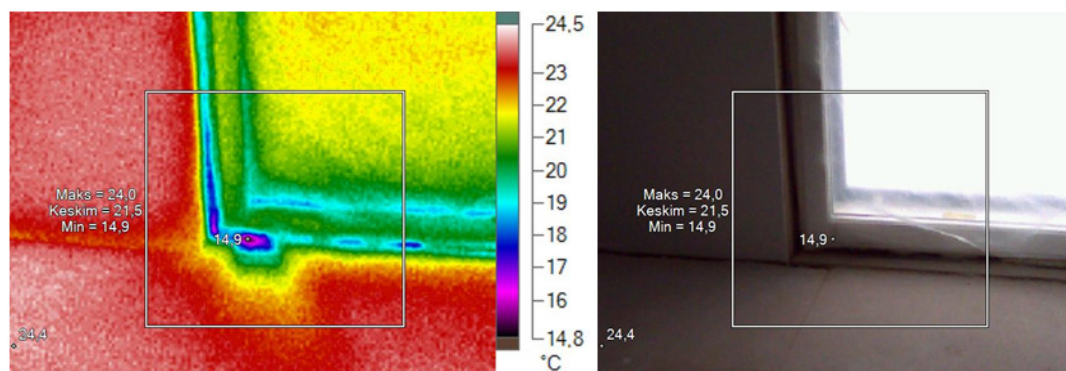


Lähetys	1,00
Keskilämpötila	18,8°C
Kuva-asteikko	5,2°C ... 20,5°C

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Emissiivisyys	Tausta	Keskihajonta
A0	18,3°C	5,2°C	20,4°C	0,95	22,0°C	2,40

Nimi	Lämpötila	Emissiivisyys	Tausta
Kuuma	20,5°C	0,95	22,0°C
Kylmä	5,2°C	0,95	22,0°C

Huoneisto 2, Lännenpuoleinen, yläkerran ikkuna

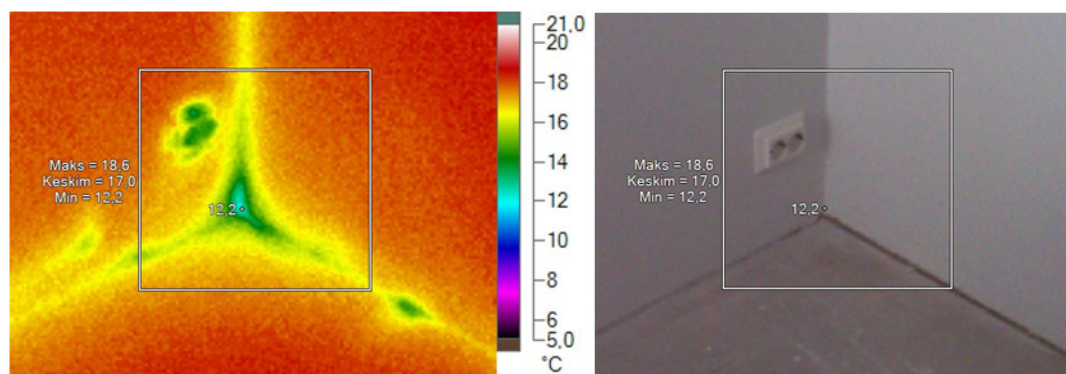


Lähetys	1,00
Keskilämpötila	22,3°C
Kuva-asteikko	14,9°C ... 24,4°C

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Emissiivisyys	Tausta	Keskihajonta
A0	21,5°C	14,9°C	24,0°C	0,95	22,0°C	1,51

Nimi	Lämpötila	Emissiivisyys	Tausta
Kuuma	24,4°C	0,95	22,0°C
Kylmä	14,9°C	0,95	22,0°C

Huoneisto 2 keittiön kulma

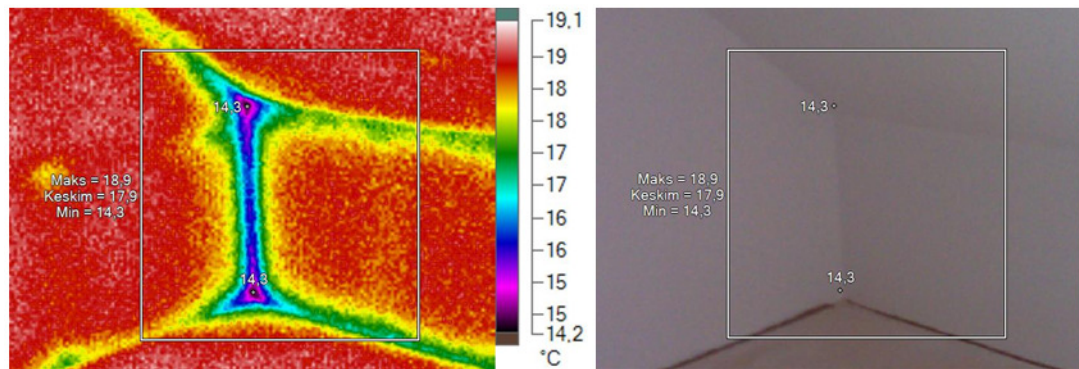


Lähetys	1,00
Keskilämpötila	17,6°C
Kuva-asteikko	12,2°C ... 18,9°C

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Emissiivisyys	Tausta	Keskihajonta
A0	17,0°C	12,2°C	18,6°C	0,95	22,0°C	0,94

Nimi	Lämpötila	Emissiivisyys	Tausta
Kylmä	12,2°C	0,95	22,0°C

Huoneisto 2, Yläkerran makuuhuoneen kulma

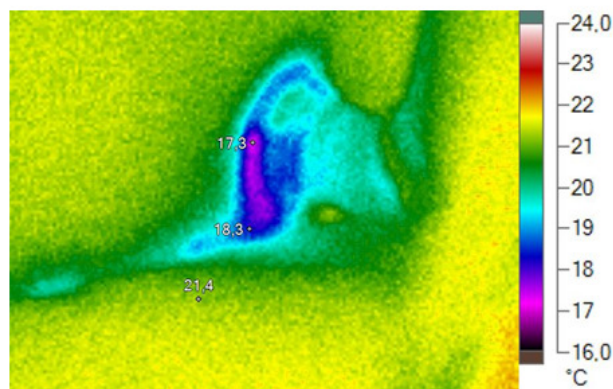


Lähetys	1,00
Keskilämpötila	18,1°C
Kuva-asteikko	14,3°C ... 19,0°C

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Emissiivisyys	Tausta	Keskihajonta
A0	17,9°C	14,3°C	18,9°C	0,95	22,0°C	0,74

Nimi	Lämpötila	Emissiivisyys	Tausta
Kylmä	14,3°C	0,95	22,0°C
P0	14,3°C	0,95	22,0°C

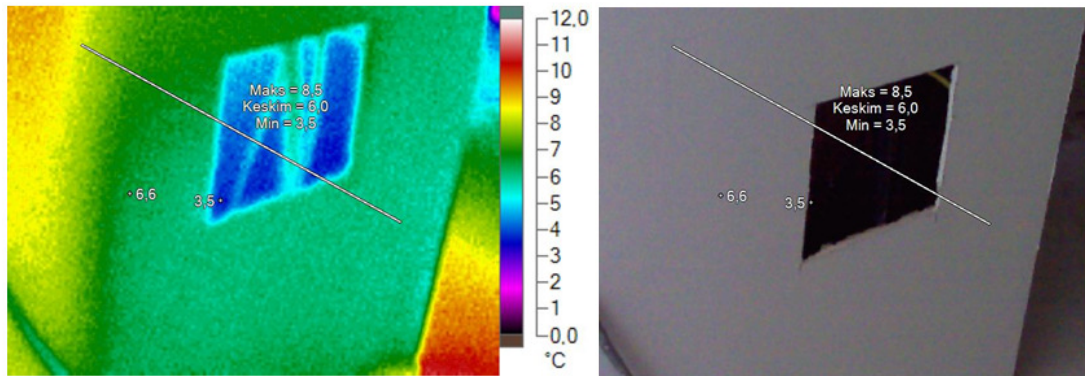
Huoneisto 2, Ilmastointiputki



Lähetys	1,00
Keskilämpötila	21,0°C
Kuva-asteikko	17,3°C ... 22,3°C

Nimi	Lämpötila	Emissiivisyys	Tausta
Kylmä	17,3°C	0,95	22,0°C
P0	18,3°C	0,95	22,0°C
P1	21,4°C	0,95	22,0°C

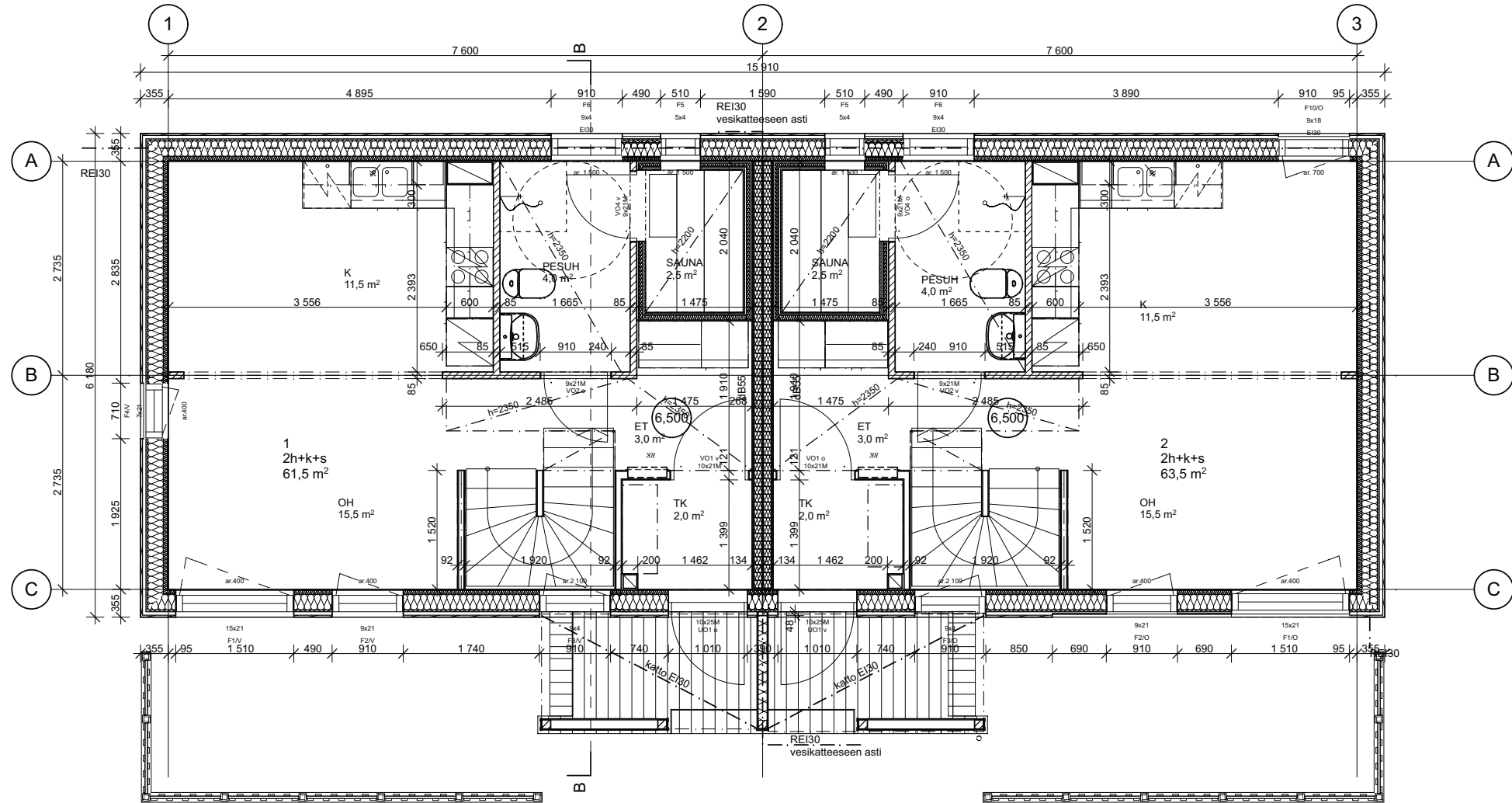
Huoneisto 2, Eteisen kotelo



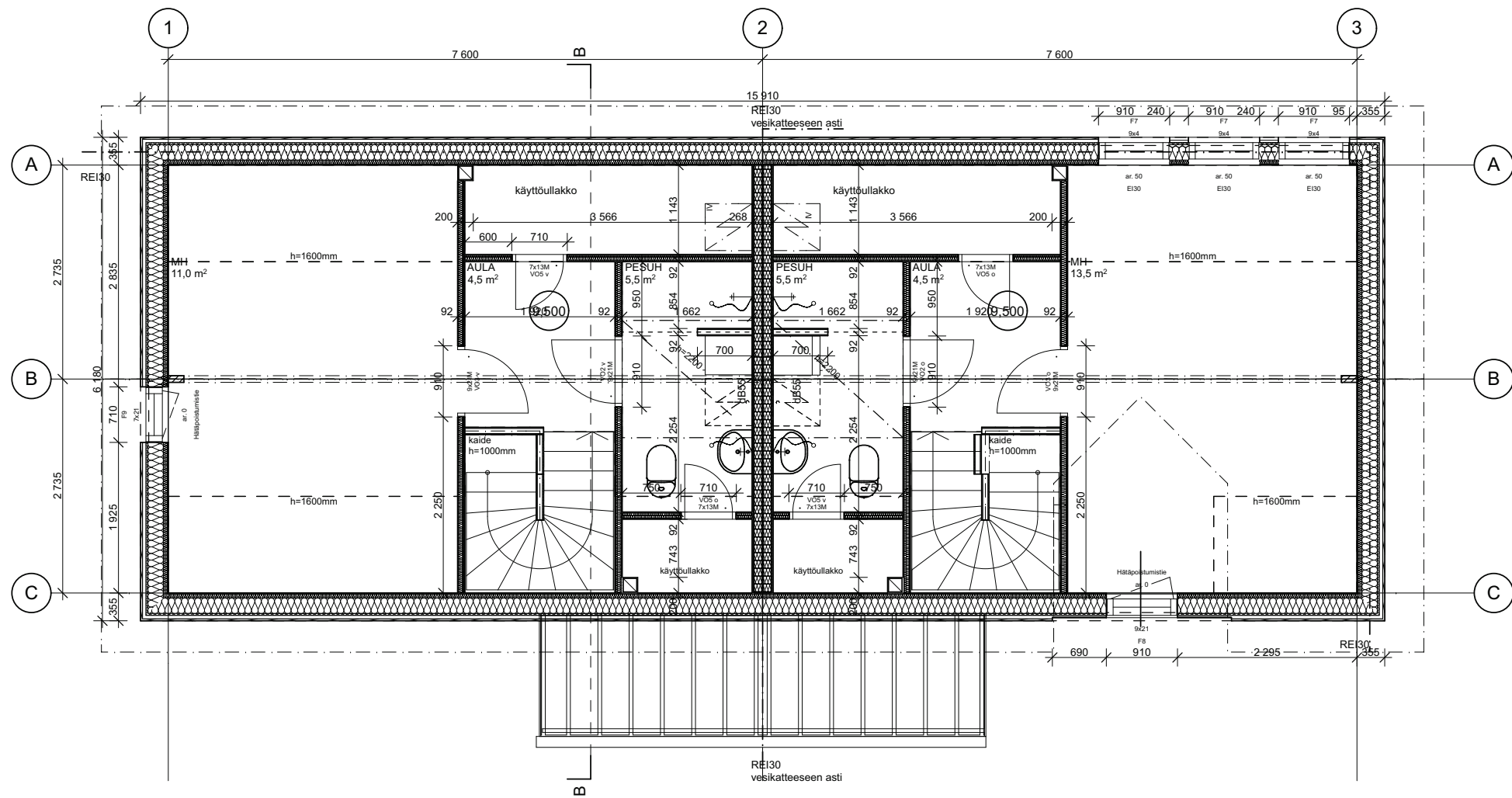
Lähetys	1,00
Keskilämpötila	6,7°C
Kuva-asteikko	1,5°C ... 10,8°C

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Emissiivisyys	Tausta	Keskihajonta
V0	6,0°C	3,5°C	8,5°C	0,95	22,0°C	1,28

Nimi	Lämpötila	Emissiivisyys	Tausta
P0	6,6°C	0,95	22,0°C
P1	3,5°C	0,95	22,0°C



Kaupunginosa/kylä 9	Kortteli/tila 12	Tontti/Rn:o 81	Viranomaisten arkistointimerkintöjä varten
Rakennustoimenpide Uudisrakennus			Piirustuslaji Juoks. nro
Rakennuskohteen nimi ja osoite As Oy Vaasan Asemakatu 43 Asemakatu 43 65100 Vaasa			Piirustuksen sisältö Pohjapiirros, talo B 1. kerros Mittakaavat 1:50
Suunnitteluorganisaation tiedot Arkitehdit Ahlström Oy Pereentie 43 33950 Pirkkala		p. 03-3143 0600 s. etunimi.sukunimi@arkahlstrom.fi	
Piirtäjä PS	Suunnittelija Pasi Sammaljärvi	Työnumero 305	Tiedoston sijainti: SERVER-PROJEKTI:305_Asemakatu43.305_Archicad.305_Asemakatu_43.pln
Päiväys 04.04.2011	Vastuullinen suunnittelija  Jarl Ahlström		Suunnittelulala ja piirustusnumero Muutos ARK 204



Kaupunginosa/kylä 9	Kortteli/tila 12	Tonntti/Rn:o 81	Viranomaisten arkistointimerkintöjä varten
Rakennustoimenpide Uudisrakennus			Piirustuslaji Juoks. nro
Rakennuskohteen nimi ja osoite As Oy Vaasan Asemakatu 43 Asemakatu 43 65100 Vaasa			Piirustuksen sisältö Pohjapiirros, talo B 2. kerros Mittakaava 1:50
Suunnittelutoimiston tiedot Arkitehdit Ahlström Oy Pereentie 43 33950 Pirkkala			
Piirtäjä PS	Suunnittelija Pasi Sammaljärvi	Työnumero 305	
Päiväys 04.04.2011	Vastuullinen suunnittelija  Jari Ahlström		Tiedoston sijainti: SERVER-PROJEKTIIT:305_Asemakatu43:305_Archicad:305_Asemakatu_43.pln Suunnitteluala ja piirustusnumero Muutos
			ARK 205