

Timo Kankaanpää

# Rakennuksen ilmatiivyyden ja energiatehokkuuden parantaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

5.2.2015

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Timo Kankaanpää Rakennuksen ilmatiivyyden ja energiatehokkuuden parantaminen  29 sivua + 2 liitettä 5.2.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	yliopettaja Piia Sormunen LVI-insinööri Ronald Pätt
<p>Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon vaikutusta rakennuksen ilmatiivyyteen ja vuotoilman lämmitysenergiankulutukseen on ulko-ovien ja ikkunoiden liitoksen tiivistämisellä höyrynsulkuun RT 80–10974-kortin ja Tampereen teknillisen yliopiston AISE-tutkimushankkeen ohjeistusten mukaisesti verrattuna pelkästään polyuretaanivaahdolla tiivistämiseen.</p> <p>Projektin alussa kohteeseen tehtiin ilmatiiviydsmittaus ja seuraavaksi ulko-ovien ja ikkunoiden liitokset tiivistettiin ohjeistuksien mukaisesti. Lopuksi tehtiin vielä toiset mittaukset, ja näiden mittausten tuloksia vertailemalla saatiin selville tiivistystyön todellinen hyöty ilmatiivyyteen ja vaikutukset vuotoilman lämmitysenergian kulutukseen.</p> <p>Tuloksista saatiin selville, kuinka paljon vuotoilman tarvitsema lämmitysenergian tarve pieneni ja mikä on sen rahallinen hyöty vuositasolla.</p> <p>Tässä tapauksessa voidaan todeta, että vuotoilman tarvitsema lämmitysenergia pieneni 1,1 kWh, ja vuotuinen vuotoilman tarvitsema lämmitysenergia pieneni 98 kWh vuodessa, mikä tarkoittaa noin 22 %:n energiatarpeen pienenemistä vuotoilman osalta. Rahallinen hyöty työstä on nykyisellä energiahinnalla 13 € vuodessa. Rahallisen hyödyn lisäksi asuinmukavuus, ja rakennuksen kosteustekninen toiminta parantui.</p>	
Avainsanat	ilmatiiviyys, ilmanvuotoluku

Author Title	Timo Kankaanpää Improvement the air tightness and energy efficiency of the building
Number of Pages Date	29 pages + 2 appendices 5 February 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructors	Piia Sormunen, Principal Lecturer Ronald Pätt, HVAC Engineer
<p>The purpose of this Bachelor`s thesis was to study the differences that two isolation methods have on the air tightness, on one hand, and the consumption of heating energy by the air infiltration, on the other, in the building. The methods are, first, isolating the joints of outdoors and windows to the vapour barrier, according to the instructions of the RT 80–10974 card and the AISE-research project by the technical university of Tampere, and second, only isolating the joints with urethan foam.</p> <p>First, an air tightness measurement was conducted. Next, the isolations were done according to the instructions. At the end of the project, the measurements was taken again. The effect of the isolation was established by comparing the results of the measurements.</p> <p>It was shown that the heating energy needed by the air infiltration was diminished by 98kWh annually, or in other words, the energy need of the air infiltration was diminished by approximately 22 %.</p> <p>Currently, the annual financial benefit is 13€. In addition, the residential comfort and the building's moisture performance were improved.</p>	
Keywords	Air tightness, air leakage rate

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ilmatiiviyys	2
2.1	Rakennuksen ilmatiiviyys	2
2.2	Ilmatiiviyden vaikutukset	5
2.2.1	Energiankulutus	5
2.2.2	Kosteustekninen toiminta	6
2.2.3	Asumisviihtyvyys ja sisäilman laatu	7
2.2.4	Paloturvallisuus	8
3	Mittaukset	9
3.1	Ilmatiiviyysmittaus	9
3.2	Lämpökamerakuvaus	11
3.3	Mittauksissa käytetyt laitteet ja koejärjestelyt ovat seuraavat:	13
4	Vapaa-ajan asunnon tiiviyys ja sen todentaminen	15
4.1	Kohteen kuvaus	15
4.2	Ulko-ovien ja ikkunoiden liittäminen höyrynsulkuun	18
5	Mittaustulokset	23
5.1	Alkumittaus	23
5.2	Loppumittaus	23
6	Työn vaikutukset vuotoilman lämmitysenergiankulutukseen	25
7	Yhteenveto ja johtopäätökset	28
	Lähteet	29

### Liitteet

Liite 1. Tiiviyysmittausraportti 3.1.2014

Liite 2. Tiiviyysmittausraportti 27.2.2014

## Lyhenteet ja määritelmät

Höyrynsulku	Ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen vesihöyryn diffuusio rakenteeseen tai rakenteessa. Höyrynsulun vesihöyrynvastus on suuri. Usein höyrynsulkua käytetään samalla ilmansulkuna.
Ilmatiiviys	Ilmatiiviydellä tarkoitetaan rakenteen kykyä estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen eri kerrosten läpi.
Ilmatiiviydsmittaus	Rakennuksen ulkovaipan ilmanvuotoluvun $n_{50}$ ja $q_{50}$ määrittäminen 50 Pa:n paine-erossa (tai ilmapuotokohtien etsiminen muussa, käyttötilannetta suuremmassa alipaineessa).
Ilmanvuotoluku $n_{50}$	Ilmanvuotoluku $n_{50}$ kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa:n paine-ero ulkoilmaan nähden. Rakennuksen sisätilavuus mitataan ulkovaipan sisäpintojen mukaan, välipohjia ei lasketa ilmatilavuuteen. Yksikkönä 1/h.
Ilmanvuotoluku $q_{50}$	Ilmanvuotoluku $q_{50}$ tarkoittaa rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa:n paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Yksikkönä $m^3/(h m^2)$ .
Kastepiste	Pinnan lämpötila, jossa ilman sisältämä vesihöyry tiivistyy pinnalle eli kondensoituu. Se on siten lämpötila, jossa tietyn vesihöyrypitoisuuden sisältämä sisäilman suhteellinen kosteus nousee 100 %:iin.
Konvektio	Kaasuseoksen (esim. ilma) sisältämän lämpöenergian siirtymistä kaasuseoksen mukana sen liikkeessa kokonaispaine-eron vaikutuksesta.

## 1 Johdanto

Tämä tutkimus sai alkunsa eräänä tuulisena syysaamuna. Työpaikan kahvipöytään oli kerääntynyt useita rakennus- ja talotekniikka-alan ihmisiä, ja keskustelu rakennuksen vaipan ilmatiiviydestä oli kiivaimmillaan. Keskustelussa tuli jossain vaiheessa esille ulko-ovien ja ikkunoiden oikeaoppinen liittäminen höyrynsulkuun ja niiden vaikutukset vuotoilman lämmitysenergiankulutukseen.

Asiasta on olemassa ohjeistuksia. Esimerkiksi Tampereen teknillisen yliopiston julkaisemassa tutkimusraportissa Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa, ja Rakennustiedon RT 80–10974 -kortissa annetaan ohjeita liitoksien tekemiseksi.

Asiaa ei ole kuitenkaan tutkittu käytännön tasolla oikeassa kohteessa. Ei siis tiedetä, kuinka paljon käytännössä on vaikutusta ohjeistusten mukaisella liittämisellä verrattuna perinteiseen polyuretaanivaahdolla tiivistämiseen. Polyuretaanivaahtoa pidetään oikeaoppisena materiaalina juuri tähän tarkoitukseen, ja monien mielestä pelkästään sen käyttäminen riittää aikaansaamaan hyvän tiiviyden.

Rakennustyömailla tapaa monentasoista työmiestä ja työmenetelmää. Kokemattomampi työntekijä käyttääkin helposti polyuretaanivaahtoa liian runsaasti, jolloin se laajetessaan pursuaa pitkin seiniä. Kun tätä ylimääräistä vaahtoa aletaan poistamaan, on riski höyrynsulun vaurioitumiseen suuri. Eräässä tapauksessa alan ”ammattilainen” oli tekemässä edellä mainittua työvaihetta puolimetrisellä villaveitsellä. Kaveri operoi veitsellään siihen malliin, että vaurioita tuli varmasti, oli kuulemma vähän kiire naistentansseihin. Toivottavasti ilta sujui paremmin tanssilattialla.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, kuinka paljon vaikutusta on rakennuksen ilmatiiviyteen ja vuotoilman lämmitysenergiankulutukseen ulko-ovien ja ikkunoiden liitoksen tiivistämisellä höyrynsulkuun RT 80–10974 -kortin, ja Tampereen teknillisen yliopiston AISE-tutkimushankkeen ohjeistusten mukaisesti verrattuna pelkästään polyuretaanivaahdolla tiivistämiseen.

## 2 Ilmatiiviyys

Ilmatiiviyttä on tutkittu Tampereen teknillisen yliopiston ja Teknillisen korkeakoulun AISE-tutkimushankkeessa, josta on julkaistu tutkimusraportti Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa.

AISE-tutkimushankkeeseen liittyen on testattu myös putkiläpivientien ilmatiiviyttä erilaisilla tiivistystavoilla. Siinä vertailtiin teipillä tai tiivistyslaipalla tiivistettyjen kappaleiden ilmatiiviyttä verrattuna polyuretaanivaahdolla tiivistettyihin kappaleisiin. Kokeet suoritettiin TTY:n laboratoriossa, jossa tutkimuslaitteistolla ei pystytty mittaamaan selvästi ilmaa läpäiseviä rakenteita 50 Pa:n paine-erolla. Tämän vuoksi koetuloksia ei voida sellaisenaan käyttää tietyntyyppisten läpivientitiivistysten ilmatiiviyden arviointiin

### 2.1 Rakennuksen ilmatiiviyys

Energian hinnan jatkuva kallistuminen ja tiukentuva energiatehokkuus asettavat haasteita rakennusten suunnitteluun ja käytännön toteutukseen. Energiatehokkaassa rakennuksessa ilmatiiviyys, jolla mitataan rakenteen kykyä vastustaa vuotoilman liikettä rakenteen läpi, on avainasemassa. Rakenteiden liitoksien ja läpivientien kautta konvektion aiheuttamalla vuotoilmalla on suuri merkitys rakennuksen energiankulutukseen. Höyrynsulkumuovien liitoskohtien ja läpivientien huolellinen tiivistäminen laadukkailla materiaaleilla valvontaa unohtamatta, parantavat vaipan ilmatiiviyttä ja rakennuksen energiatehokkuutta. Ilmanvaihto toteutetaan hallitusti ja energiatehokkaasti lämmöntalteenotolla varustetulla koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 mainitaan, että rakennusvaipan ja tilojen välisten rakenteiden tulisi olla niin ilmatiiviitä, että vuotavien kohtien läpi liikkuvat ilmavirtaukset eivät saa aiheuttaa merkittäviä haittoja rakennuksen rakenteille, käyttäjille tai rakennuksen energiatehokkuudelle [Rakennusten energiatehokkuus 2012: 10].

Pientaloissa tyypillisimpiä vuotopaikkoja höyrynsulussa ovat sähköasiat, putkien läpiviennit, savupiiput, ilmanvaihtokanavat, ja höyrynsulun ja rakenteiden liitoskohdat. Mitä vähemmän on liitoksia ja läpivientejä, sen vähemmän on riskipaikkoja ilmapuodoille.

Rakennuksen tai sen osien ilmatiivyyttä kuvataan ilmanvuotoluvulla, eli  $q_{50}$ -luvulla,

joka kertoo, kuinka paljon rakennuksen vaippa vuotaa neliötä kohden 1 tunnin aikana 50 Pa:n paine-erolla vaipassa olevien vuotokohtien kautta (Paloniitty 2012: 5).

Mitä pienempi ilmanvuotoluku on, sitä tiiviimpi talo on. Hyvä tavoitearvo ilmanvuotoluvulle on  $1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$  tai sitä vähemmän (kuva 1). Passiivitaloissa tavoitellaan arvoa  $0,6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$  tai jopa sitä pienempää arvoa. Ilmanvuotoluku saisi olla enintään  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mutta vanhemmissa rakennuksissa se saattaa olla paljon suurempikin, rakenteellisista ratkaisuista johtuen. Karkean nyrkkisäännön mukaan yhden pykälän parannus ilmatiiviydellä pienentää lämmitysenergiakulutusta noin seitsemän prosenttia (Aho & Korpi 2009: 7). Ilmanvuotoluku yleensä pienenee rakennuksen tilavuuden kasvaessa, koska vuotoilmassa on mukana myös asuntojen tai tilojen välisten rakenteiden ilmapuodot. Tämä kyllä kuvaa rakentamisen kokonaislaadukkuutta, mutta ei niinkään rakennuksen ulkovaipan ilmapuotoa.

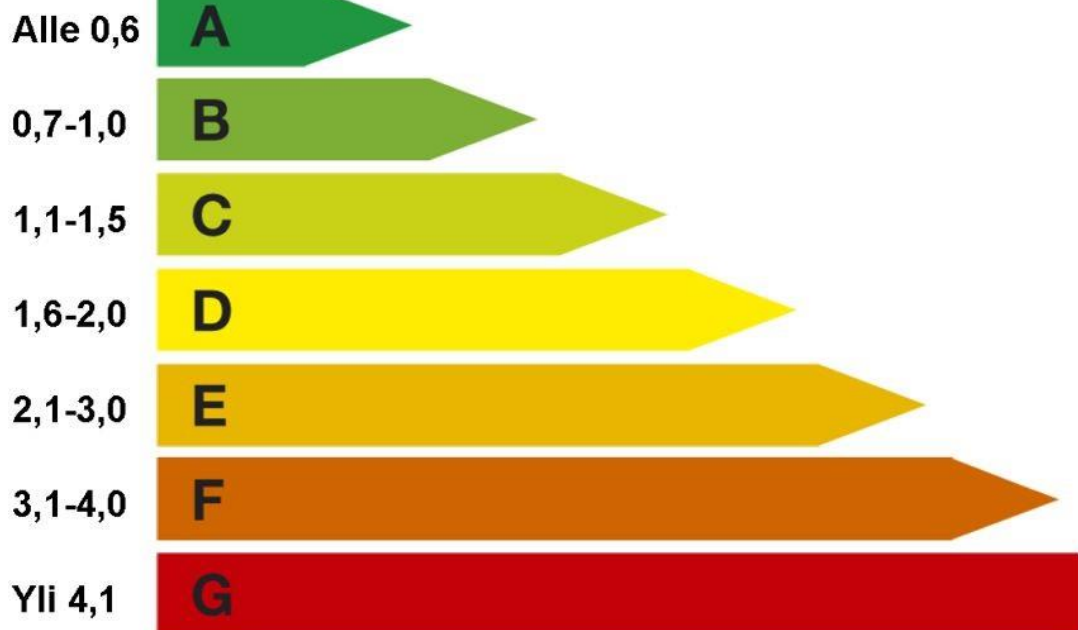
Käytettäessä pienempää ilmatiiviyden laskenta-arvoa kuin  $q_{50} 4 \text{ [m}^3/(\text{h m}^2)]$ , on ilmatiiviyys osoitettava joko ilmatiiviydellä tai muulla menettelyllä (Paloniitty 2012: 7). Ilmatiiviyden osoittaminen muulla menettelyllä voisi esimerkiksi olla teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyä, jolla voidaan luotettavasti ilmatiiviyys arvioida ennakoita [Rakennusten energiatehokkuus 2012: 11].

Rakennusvaipan kosteusteknistä turvallisuutta, hyvää sisäilmastoa ja energiatehokkuutta silmälläpitäen tulisi ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  olla enintään  $1 \text{ (m}^3/(\text{h m}^2))$  [Rakennusten energiatehokkuus 2012: 14].



## TIIVIYSMITTAUSLUOKITUS

Q50- luku



Kuva 1. Tiiviyssmittausluokitus (Paloniitty 2012).

Vaipan hyvällä ilmatiiviydellä voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuusluokkaa energiatodistuksessa. Hyvällä ilmatiiviydellä voidaan myös kompensoida rakennuksen muita lämpöhäviöitä, mutta sitä tulisi kuitenkin käyttää ensisijaisesti rakennuksen energiatehokkuutta parantavana tekijänä heikentämättä vaipan lämmöneristystä tai lämmöntalteenoton hyötysuhdetta.

Rakennuksen toimivuuden kannalta olennaista on, että eri osatekijät, kuten vaippa, ilmanvaihto, lämmitys ja automaatiojärjestelmä toimivat hyvin kokonaisuutena.

Pientämällä rakennuksen energiankulutusta voidaan vähentää tehokkaasti siitä johtuvia ympäristöhaittoja ja vähentää elinkaaren aikaista ympäristökuormitusta. Tämä varmistetaan käytännössä suunnittelemalla ja rakentamalla yhä tiiviimpiä rakennuksia.

## 2.2 Ilmatiiviyden vaikutukset

Hyvän ilmatiiviyden tavoittelemisen rakennuksessa on monesta syystä tärkeää. Yhtenä hyvänä syynä voidaan pitää energiankulutuksen pienenemistä, kun hallitsematon vuotoilma vähenee rakennuksen ilmanvaihdon tapahtuessa LTO:n kautta

Toisena tärkeänä tekijänä on rakennuksen vaipan kosteusteknisen toiminnan paraneminen. Kosteuden virtaus vaipparakenteisiin vähenee, ja vaipparakenteiden sisäpinnat eivät jäähydy ulkoa tulevien ilmavirtausten seurauksena. Samoin kosteus- ja homevaurioiden riski pienenee.

Kolmantena merkittävänä tekijänä on asumisviihtyvyyden ja sisäilman tason kasvaminen. Rakennuksen käyttäjien kokema vedon tunne vähenee, erilaisten haitallisten aineiden ja mikrobien virtaus sisäilmaan vähenee, tilassa on tasaisempi lämpötila ja miellyttävä ääniympäristö.

Lisäksi tiivis rakennuksen vaippa estää paremmin tulipalon leviämistä, Ilmanvaihdon säätäminen ja tavoiteltujen painesuhteiden säätäminen helpottuu, mutta toisaalta säästöjen tekeminen on vielä aiempaakin tärkeämpää. (Vinha 2012: 5.)

### 2.2.1 Energiankulutus

Hyvällä ilmatiiviydellä varmistetaan rakennuksen energiatehokas toiminta. Hallitsemattomalla vuotoilmalla on suuri vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Rakennuksen vaipan, taloteknisten järjestelmien, sääolosuhteiden ja käytön yhteisvaikutus ja yhteensovittaminen määräävät lopulta kokonaisuutena rakennuksen energiatehokkaan toimivuuden (Paloniitty 2012: 20). Varsinkin tuulisella säällä vedontunteen pienentämiseksi lämmityskäyrää helposti nostetaan mukavuuden parantamiseksi, ja 1°C:n sisälämpötilan nostaminen tuottaa 5 % kasvun lämmityskustannuksissa. Säästöä saavutetaan kesällä myös rakennuksen jäädytysenergian kulutuksessa.

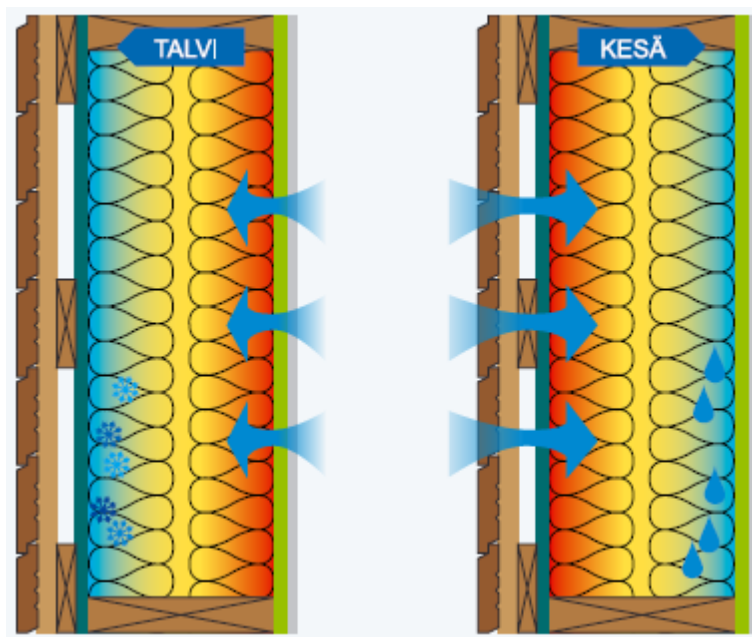
Tampereen teknillisen yliopiston tutkimuksen mukaan pientaloissa on mahdollista säästää jopa seitsemän prosentin säästöt lämmitysenergiankulutuksessa jokaista ilmanvuotoluvun yksikköä kohden (Aho & Korpi 2009: 7). Vuotoilman tarvitseman lämmitysenergian osuus suhteessa kasvaakin siirryttäessä matala- ja passiivienergiarakentamiseen.

Ilmavuotojen vaikutus energiankulutukseen koostuu esim. vuotokohtien jakaumasta ja rakennuksen vaipan yli vaikuttavista ilmanpaine-eroista (lämpötilaerot, tuulisuus, rakennuksen koko, muoto ja sijainti). (Vinha 2012: 10.)

### 2.2.2 Kosteustekninen toiminta

Talvella asuinrakennuksen sisäilma on kosteampaa kuin ulkoilma. Ylipaineisessa rakennuksessa lämpimän ilman kulkeutuminen ulospäin höyrönsulun ilmavuotojen kautta aiheuttaa sisäilman kosteuden kondensoitumisriskin rakenteiden kylmempiin ulkosiin ja mahdollistaa siten kosteus- ja homevaurion syntymisen. (Paloniitty 2012: 16) Ulkoseinälle saavuttuaan ilman lämpötila laskee, ja kun kastepiste saavutetaan, ylimääräinen kosteus tiivistyy rakenteisiin, ellei liika vesihöyry pääse tuulettumaan pois (kuva 2).

Kesällä lämpimämmän ulkoilman virratessa vuotokohtien kautta sisäänpäin alipaineisessa rakennuksessa tuuli saattaa lisätä ilmanpainetta eristeessä ja kuljettaa mukanaan kosteampaa ilmaa eristeeseen (kuva 2). Siirryttäessä rakenteessa kohti höyrönsulkua eristeessä oleva ilma viilenee ja sen suhteellinen kosteus kasvaa. Kun lämpötila saavuttaa kastepisteen, ylimääräinen vesihöyry alkaa lauhtua viileämmän höyrönsulun pintaan. Tämä korostuu varsinkin jäähdytystilanteessa.



Kuva 2. Kosteuden siirtyminen ja tiivistyminen rakenteessa (Kosteusvauriot 2012).

Rakenteen kosteusteknisessä toiminnassa merkittävämpää on kuitenkin rakennuksen sisältä tuleva ilmavuoto.

Varsinkin paremmin eristävissä vaipparakenteissa on hallitsemattoman vuotoilman kulkeutuminen rakenteiden sisään estettävä, jotta välttyttäisiin kosteus- ja homevaurioriskeiltä rakenteissa. Nykyiset asumistottumukset lisäävät sisäilman kosteutta talvisin jopa 4–7 g/m<sup>3</sup>, tällöin kosteuskonvektion riski kasvaa (Paloniitty 2012: 7).

Kosteusvaurioiden ja homeen syntymisen estämiseksi rakenteisiin, tulisi asuinrakennuksen sisäpuolen höyrynsulun olla riittävän tiivis mahdollistaakseen rakenteille pienen kosteusrasituksen. Sentyypinen ilmatiivis rakenne, joka kuivuu hyvin sekä ulos että sisäänpäin, tarjoaa rakenteille parhaan mahdollisen kuivumisvaran ja pitkäikäisyyden kaikissa ilmasto- ja sääolosuhteissa. (Kosteusvauriot 2012: 9.)

### 2.2.3 Asumisviihtyvyys ja sisäilman laatu

Vaipan hyvä ilmatiiviyys parantaa asumisviihtyvyyttä ja sisäilman laatua, koska mahdollisten homeiden, haitallisten aineiden ja epäpuhtauksien kulkeutuminen vaipparakenteista, ulkoilmasta ja maaperästä sisäilmaan vähenee. Pienhiukkasia sekä siite- ja katupölyä kulkeutuu sisäilmaan liikenteestä, teollisuudesta ja energiantuotannoista. Ne saattavat aiheuttaa oireita erityisesti allergikoille.

Huono ilmatiiviyys saattaa myös aiheuttaa ilman liikettä, mikä tuntuu epämiellyttävänä vedon tunteena. Huoneessa oleskelun miellyttävyyteen vaikuttavat myös sisäilman- ja rakenteiden pintalämpötilojen erot sekä ilmanvaihdon tuloilman- ja sisäilman lämpötilojen ero. Lämpötilan erojen ollessa liian korkeat asumisviihtyvyys helposti kärsii.

Lisäksi hyvä ilmatiiviyys parantaa kosteusteknistä toimintaa rakenteissa, koska silloin kostean sisäilman virtaus rakenteisiin estyy. Myös kylmän ulkoilman jäähdyttävä vaikutus rakenteisiin estyy, ja näin ei pääse aiheutumaan materiaalikerroksien välisiin rajapintoihin olosuhteita, jossa homeen kasvulle tai kosteuden tiivistymiselle olisi riskiä. (Paloniitty 2012: 20.)

Toimivalla ja oikein säädetyllä ilmanvaihdolla on erittäin suuri merkitys hyvin ilmantii- viissä rakennuksessa. Koska käytännössä ilman vaihtuminen ei tapahdu vuotokohtien kautta, tulisi rakennuksessa olla riittävän tehokas ja hyvin tasapainotettu ilmanvaihto,

jolla voidaan taata terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto. Tämä edellyttää luonnollisesti myös ilmanvaihdon säännöllistä huoltoa ja suodattimien vaihtamista riittävän usein. Lisäksi ilmanvaihtolaitteisto voidaan varustaa merkkivalolla tai näyttötaululla, josta nähdään, onko ilmanvaihtolaitteisto toiminnassa. Ilmatiiviissä rakennuksessa saadaan ilmanvaihdon lämmöntalteenotosta paras mahdollinen hyöty, koska ilma virtaa lähes kokonaisuudessaan rakennukseen ja sieltä pois hallitusti lämmöntalteenoton kautta.

Toisaalta hyvin ilmatiiviissä rakennuksessa ilmanvaihdon säätämiseen pitää kiinnittää erityistä huomiota, koska hallitsemattomana ilmanvaihto saattaa aiheuttaa rakennuksen ulkovaipan yli suuria paine-eroja. Tällaisessa tapauksessa ilman virtaus lisääntyy yksittäisten ilmapuotopaikkojen läpi, ja näissä kohdissa voi esiintyä edellä mainittuja sisäilman laatuun ja rakenteiden kosteustekniseen toimintaan liittyviä ongelmia. Ilmanvaihdon säätämisen tärkeys korostuu ilmapuotoluvun pienenemisen myötä. [Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje 2009: 4.]

#### 2.2.4 Paloturvallisuus

Käytettäessä palo-osastointia tulipalon ja savun rajoittamiseksi on ilmatiiviys palo-osastojen välillä on erittäin merkittävää. Tiivis rakenne hidastaa savun ja haitallisten kaasujen pääsyä osastosta toiseen.

### 3 Mittaukset

#### 3.1 Ilmatiivysmittaus

Rakennuksen tiivysmittaus on puolueeton ja erittäin luotettava tapa mitata rakennuksen vaipan ilmatiiviyttä. Mittaus on huokea ja yksinkertainen, ja se antaa selkeän kuvan tutkittavan rakennuksen ilmatiivyyden tasosta. Mittaus voidaan suorittaa jo rakennusvaiheen aikana, koska silloin voidaan puuttua havaittuihin vuotokohtiin ja korjata ne edullisesti ja helposti. Lopullinen tiivysluku pitäisi kuitenkin mitata aina muuttovalmiissa rakennuksessa, jolloin mittaus pystytään tekemään luotettavasti ilman työnaikaisia häiriötekijöitä. Tiivysmittauksen yhteydessä voidaan suorittaa ilmavuotojen paikantaminen lämpökamerakuvauksella tai merkkisavuilla.

Tiivysmittauksen suorittaa omakotitaloihin ja rivitaloasuntoihin aina henkilösertifikaatin omaava tiivysmittaaja kaupallisilla tiivysmittauslaitteilla. Suuremmissa rakennuksissa mittaus pyritään tekemään aina kalibroituilla kaupallisilla mittauslaitteilla. Mittaus kannattaakin tehdä yhteistyöhankkeena useamman sertifioidun tiivysmittaajan kanssa, jolloin saatavilla on riittävästi puhaltimia sekä apua mittaukseen ja järjestelyyn. (Päloniitty 2012: 86.)

Tiivysmittauksessa tarkoituksena on selvittää rakennuksen ilmatiiviyttä. Suositeltavaa on mitata ilmatiiviyttä sekä ali- että ylipainetilanteissa. Mittaus voidaan myös tehdä vain alipainetilanteessa. Tiivysmittauksessa saadaan tulokseksi rakennusvaipan ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla. Mittaus suoritetaan standardin SFS-EN 13829 mukaisesti.

Tiivysmittauksessa rakennuksen tai sen osien tiiviyttä mitataan niin sanotulla paine-eromenetelmällä, jossa aiheutetaan paine-ero tutkittavaan tilaan ulkoilmaan nähden (kuva 4). Paine-ero aikaansaadaan aikaan puhaltimella. Puhallin asennetaan yleensä ulko-oven tai ikkunan yhteydessä olevan tuuletusluukun paikalle (kuva 3). Puhaltimena voidaan käyttää myös rakennuksen omaa ilmanvaihtolaitteistoa.



Kuva 3. Ilmatiiviysmittaus käynnissä.

Mittaus tehdään useammalla paine-erolla (yleensä vähintään viidellä). Paine-eron ylläpitämiseksi vaadittavat ilmamäärät mitataan. Mittaussarjasta lasketaan vuotoilmakäyrä, josta voidaan laskea 50 Pa:n paine-eroa vastaava ilmamäärä. 50 Pa:n paine-eron ylläpitämiseksi tunnin aikana vaadittava ilmamäärä [Q] jaetaan tutkittavan tilan ilmatilavuudella [V] saadaan tulokseksi niin sanotun ilmanvuotoluvun  $n_{50}$ . Ilmamäärä voidaan jakaa myös rakennuksen vaipan alalla [A], jolloin saadaan tulokseksi ilmanvuotoluku  $Q_{50}$ . Ilmanvuotoluvun  $n_{50}$  yksikkö on 1/h, vaihtoa tunnissa. Ilmanvuotoluvun  $Q_{50}$  yksikkö on [m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)]. (Paloniitty 2012: 29.)

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

jossa

$n_{50}$  on rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla [1/h]

$Q_{50}$  on painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa:n paine-erolla [m<sup>3</sup>/h]

$V$  on rakennuksen/mitattavan osan sisätilavuus [ $\text{m}^3$ ]

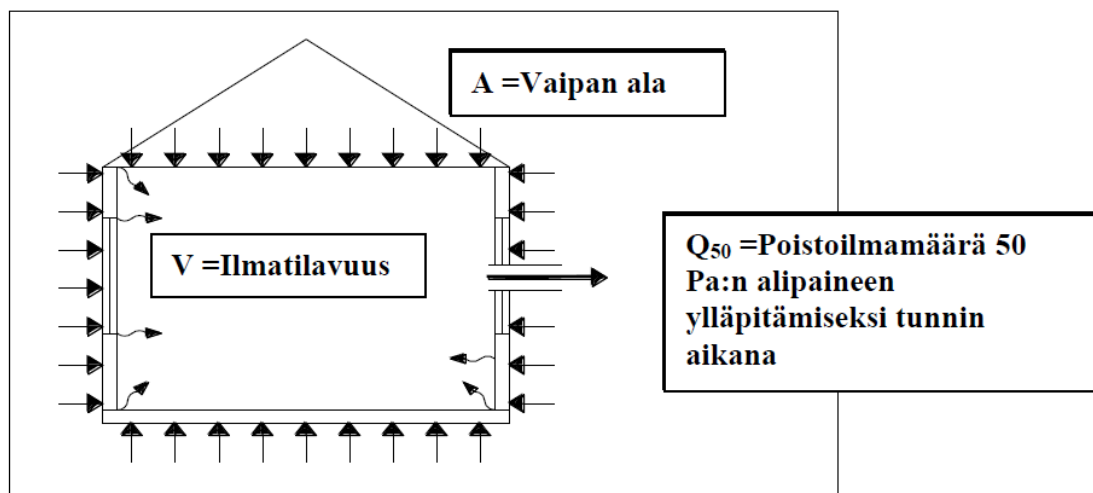
$$q_{50} = \frac{Q_{50}}{A}$$

jossa

$q_{50}$  on rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla [ $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ]

$Q_{50}$  on painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa:n paine-erolla [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$A$  on rakennuksen/mitattavan osan ulkovaipan ala [ $\text{m}^2$ ]



Kuva 4. Vaipan tiiviysmittauksen periaate (Paloniitty 2012).

### 3.2 Lämpökamerakuvaus

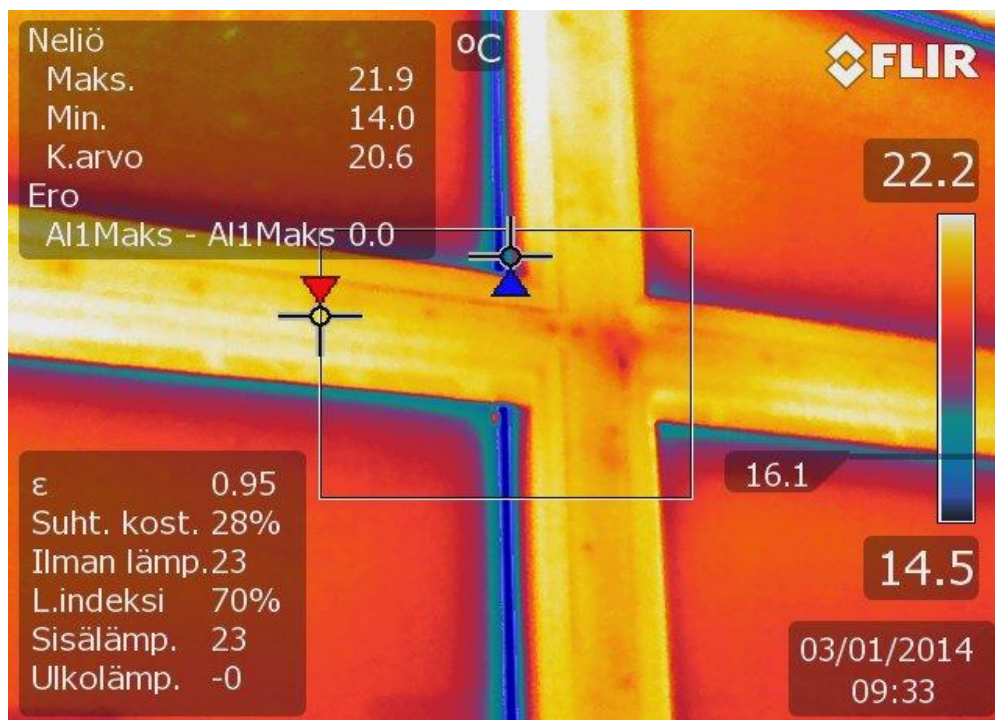
Rakentamisen laadun ja rakenteiden toiminnan varmistamiseksi voidaan käyttää erilaisia mittaomenetelmiä. Lämpökameralla voidaan arvioida rakenteiden lämpöteknistä toimivuutta rakennustyön aikana sekä valmiissa rakennuksessa. Lämpökuvauksella voidaan nopeasti määrittää rakenteita rikkomatta lämpövuotopaikat sekä havaita, onko kyseessä ilmavuoto, eristyspuute, kylmäsilta tai myös joissakin tapauksissa kosteus-



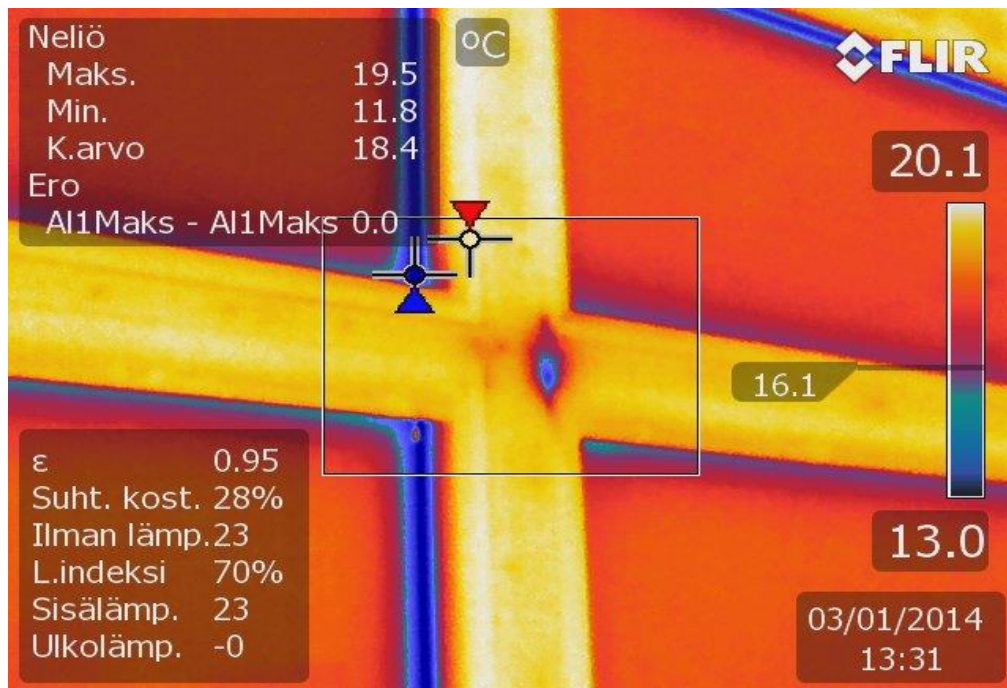
vaurio. Lämpökameralla voidaan samalla selvittää myös muita rakennuksen ja rakenteiden toimintaan sekä asumisviihtyvyyteen ja olosuhteisiin liittyviä tekijöitä, kuten ilman virtausreittejä ja LVIS-laitteiden toimintaa. Lämpökuvauksella voidaan myös nopeasti määrittää suurien pintojen pintalämpötilajakauma.

Lämpökuvauksia tehdään yleensä rakennuksen sisäpuolelta. Tarvittaessa rakennus voidaan kuvata myös ulkopuolelta ja lämmöneristyskerroksen kylmältä puolelta siltä osin kuin se on mahdollista, esimerkiksi ullakolta. Ulkopuolisessa kuvauksessa on huomioitava erityisesti kuvausta edeltäneet sääolosuhteet sekä myös ulkoverhouksen tuuletusraon vaikutukset. [Rakennuksen lämpökuvauksia 2005: 4.]

Ilmavuotoja kuvattaessa rakennuksen sisätiloissa tulisi olla alipaine min. (0–15 Pa) ulkoilmaan verrattuna, koska silloin ulkoilma ja maan huokosilma pyrkivät ilmavuotopaikkojen kautta sisään ja ne ovat helposti paikallistettavissa (kuvat 5 ja 6).



Kuva 5. Normaali tilanne.



Kuva 6. 50 Pa:n alipaine.

### 3.3 Mittauksissa käytetyt laitteet ja koejärjestelyt ovat seuraavat:

- Lämpötilamittaukset tehtiin Waisala HMI41 -mittalaitteella ja HMP 42 -mittapäällä (kalibroitu 31.1.2013).
- Etäisyysmittarina on Bosch DLE 50.
- Tiiviysmittauslaitteistona on Minneapolis blower door 4.1 (kalibroitu 3.12.2013).
- Mikromanometrinä on DG 700 (kalibroitu 3.12.2013).
- Anemometrinä on Prova AVM-03 (hankintapäivä 3.9.2013).
- Lämpökamerakuvaus suoritettiin Flir T 640 -lämpökameralla (hankintapäivä 7.2.2013).

Ennen tiiviysmittausta liesituuletin sekä ilmanvaihdon ulko- ja jäteilmakanava teipattiin/tukittiin. Viemäriputket ja lattiakaivot teipattiin. Savuhormi pussitettiin katolta. Puhallin asennettiin pääoveen.

Mittaus suoritettiin esiohjelmoituna standardin SFS- EN 13829:n B-menetelmän mukaisesti. Mittaus suoritettiin sekä ali- että ylipainekokein. Mittausepävarmuus oli  $\pm 5$  %.

Lämpökamerakuvaus suoritettiin rakennus 50 Pa:n alipaineisena.

## 4 Vapaa-ajan asunnon tiiviys ja sen todentaminen

Kohteena on rakenteilla oleva vapaa-ajan asunto, joka on tutkimuksen kannalta siinä vaiheessa, että se voidaan siihen liittää. Rakennuksessa on melko paljon lasipintaa, esimerkiksi etuseinästä 60 % on lasia, ja näin ollen tiiviyttä koittelevia liitoksia on melkoisesti. Tarkoituksena on projektin alussa tehdä kohteeseen ilmantiivysmittaus ja mahdollisten ilmavuotojen varalle lämpökamerakuvaus Ammattikorkeakoulu Novian toimesta. Seuraavaksi ulko-ovien ja ikkunoiden liitokset tiivistetään ohjeistuksien mukaisesti, ja lopuksi tehdään vielä toiset mittaukset. Näiden mittausten tuloksia vertailemalla saadaan selville tiivistystyön todellinen hyöty ilmantiivyyteen ja vaikutukset vuotoilman lämmitysenergian kulutukseen.

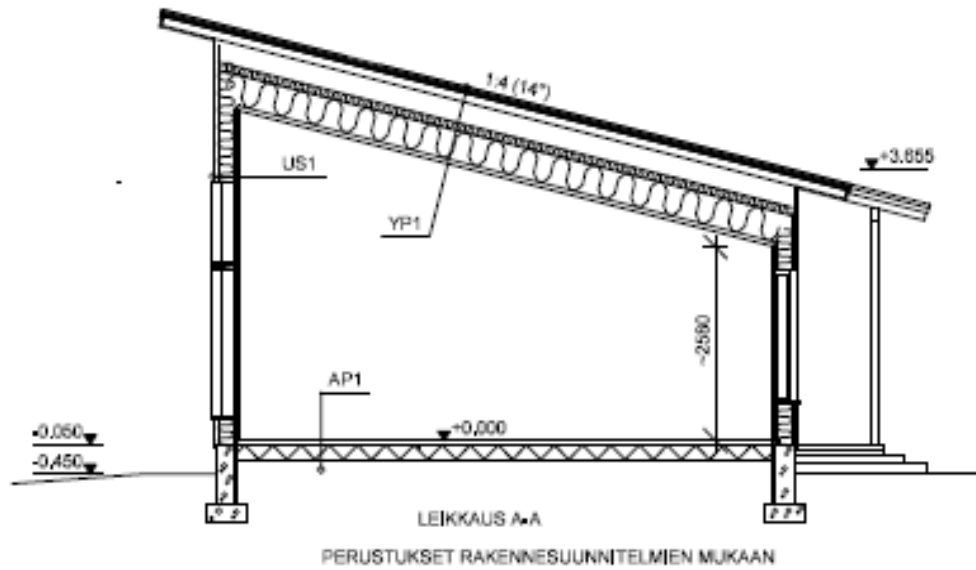
Mittauksista vastasi Ronald Pätt Ammattikorkeakoulu Noviasta. Hän suoritti kohteeseen ilmatiivysmittaukset ja lämpökamerakuvaukset, joihin hänellä on ITC-sertifikaatti.

### 4.1 Kohteen kuvaus

Tutkimuksen kohteena on rakenteilla oleva Mustasaarella sijaitseva vapaa-ajan asunto, joka rakennetaan ympärivuotista asumista silmälläpitäen. Kohde on puurakenteinen Precut-tyyppinen matalaenergiatalo, se on yksitasoinen, pulpettikattoinen ja kerrosalaa siinä on 83,5 m<sup>2</sup>. Alapohjassa on rakenteena maanvarainen laatta, ja laatan alla eristeenä 200 mm EPS 100-eristettä. Yläpohjassa on käytetty 500 mm Ekovillan puhallusvilla koteloon puhallettuna. Seinässä on eristeenä mineraalivilla, jonka paksuus on 245 mm (kuvat 7, 8 ja 9). Ulko-ovet ja ikkunat täyttävät määräykset U-arvolta (taulukko 1).

Lämmitysjärjestelmänä käytetään suoralla sähköllä lämpiävää hybridivaraajaa ja siihen liitettyjä aurinkopaneeleita. Lämmönjako tapahtuu vesikiertoisella lattialämmityksellä. Kylmävesi otetaan porakaivosta ja lämmin käyttövesi lämmitetään varaajassa. Ilmanvaihto toteutetaan koneellisena tulo- ja poistoilmanvaihtona lämmöntalteenotolla varustettuna. Ilmanvaihtokoneessa on vastavirtalämmönsiirrin ja vesikiertoinen jälkilämmitys.

Lisälämmönlähteenä on paikalle muurattu takka ja ilmalämpöpumppu, jota tarvittaessa voidaan käyttää myös tilojen jäähdytykseen.

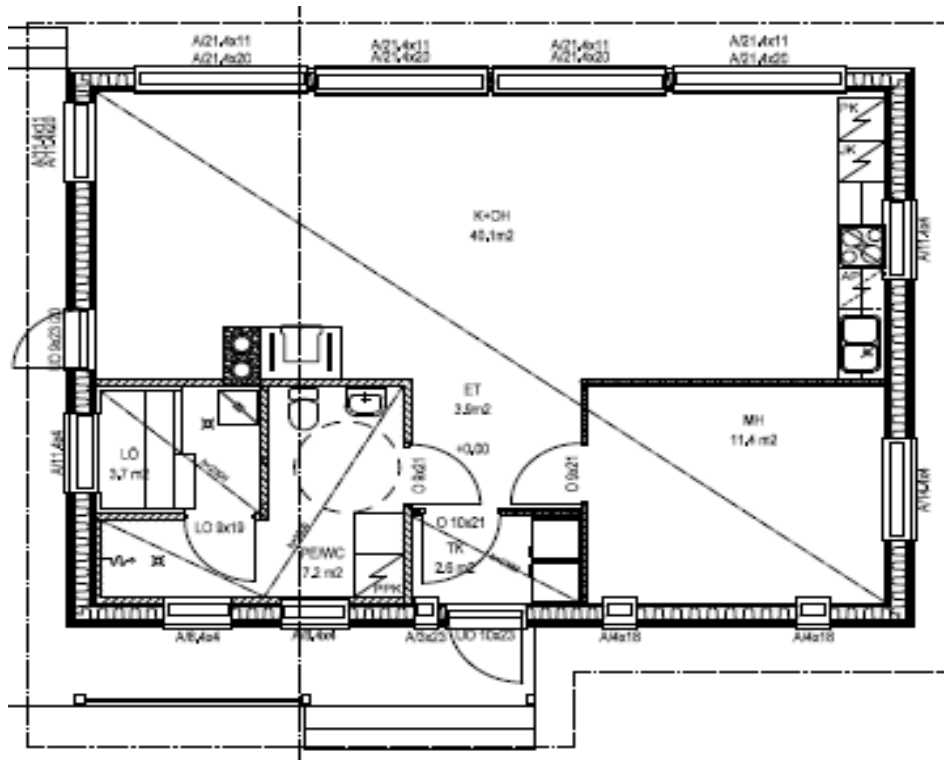


kuva 7. A-A -leikkaus kohteesta.

Taulukko 1. Kohderakennuksen U-arvot.

Rakennuksen vaipan osa	U-arvo W/m <sup>2</sup> K
Alapohja	0,16
Yläpohja	0,07
Ulkoseinä	0,16
Ikkunat	0,9
Ovet	0,9

Kohde on ulkoapäin valmis, höyrynsulku kokonaisuudessaan asennettu, eristeet, ovet ja ikkunat paikallaan polyuretaanivahto asennettuna, läpiviennit asennettu ja tiivistetty, lattialaatta valettu ja seinät levytetty.



Kuva 8. Pohjapiirustus.



Kuva 9. Tutkimuksen vapaa-ajan asunto

#### 4.2 Ulko-ovien ja ikkunoiden liittäminen höyrynsulkuun

Lähtötilanne oli kuvan 10 kaltainen. Ovien ja ikkunoiden liitokset rakenteeseen oli tiivistetty polyuretaanivaahdolla, ensimmäinen tiiviysmittaus suoritettiin tässä vaiheessa.





Kuva 10. Alkutilanne

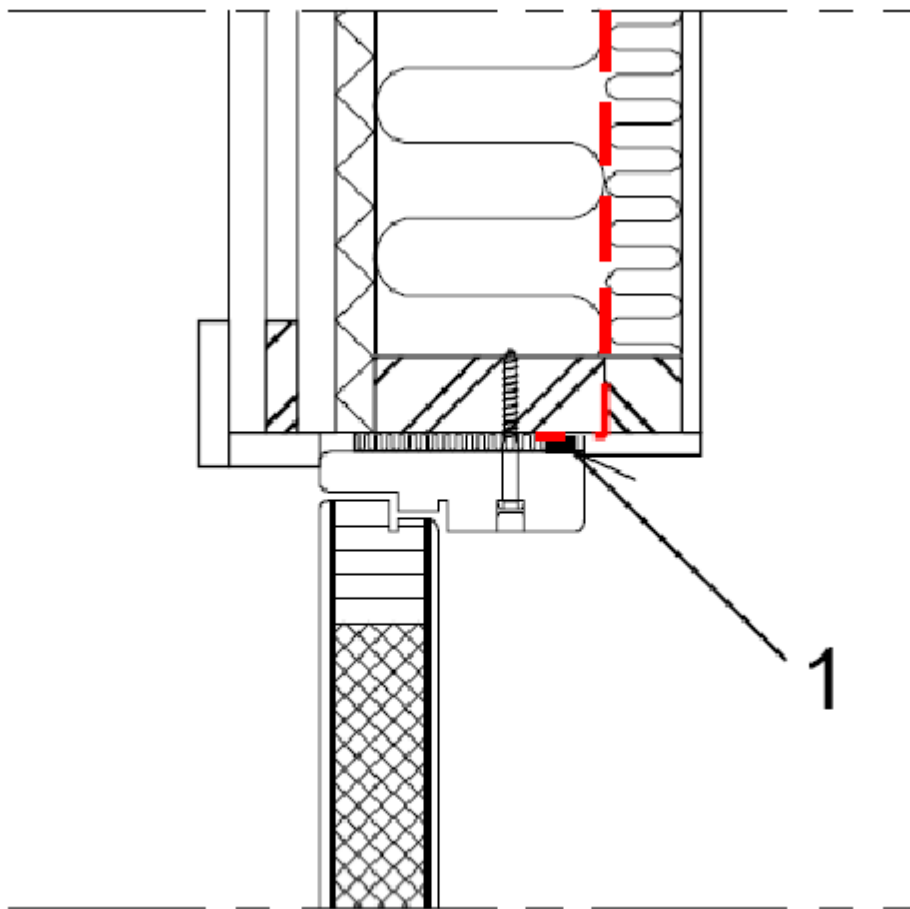
Seuraavaksi aloitettiin ohjeiden mukainen tiivistäminen elastisella kittauksella. Kittinä käytettiin elastista liitosten saumaus- ja tiivistysmassaa ja kosteissa tiloissa saniteettisilikonია seuraavan ohjeen mukaisesti:

#### Toteutusohjeet

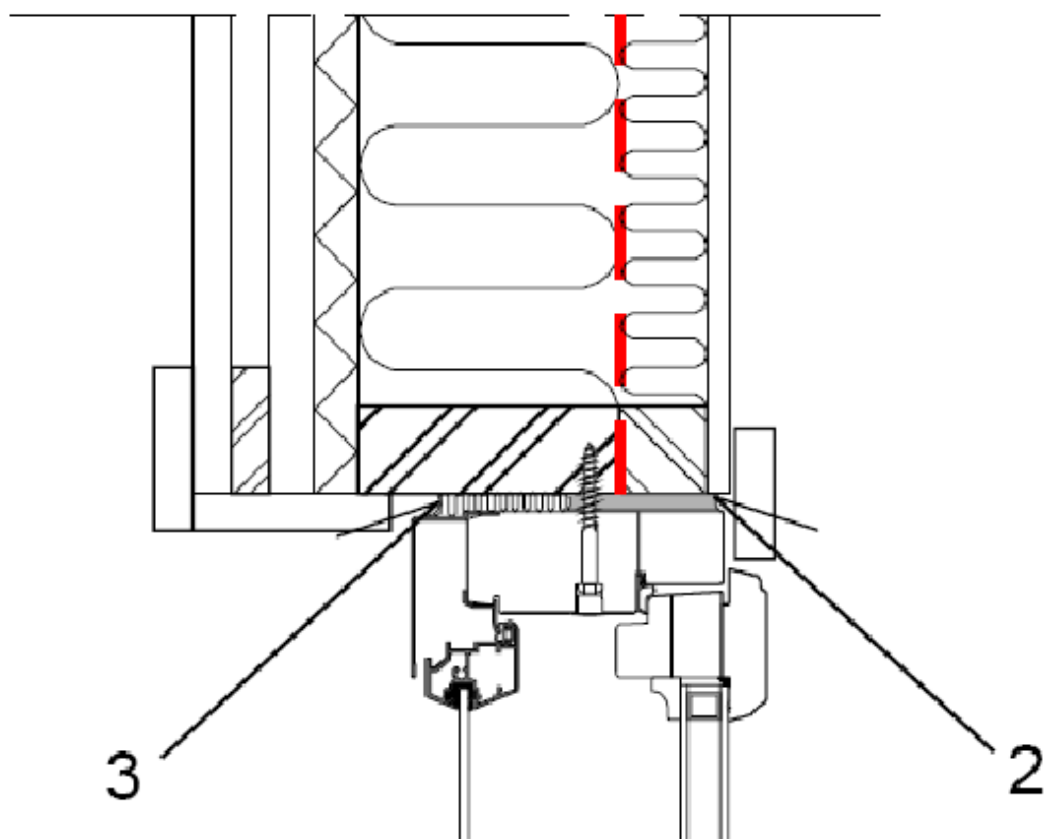
- Ovi voidaan tiivistää mineraalivillakaistalla (kuva 11), ilmatiiviys toteutetaan elastisella kittauksella sisäpinnassa (1)
- Ikkuna voidaan tiivistää polyuretaanivaahdolla (2). Vaahdolla ei täytetä koko väliä, vaan ulkoreunaan tulee jättää tuuletusrako (3). Karmin ulkoreunassa osa tiivistetilasta voidaan täyttää myös mineraalivillakaistalla.
- Kuvan 11 tapauksessa polyuretaanivaahdosauman tulee yltää elementin sisäkuoren ja karmin väliin (2). Sisäreunasta tulee varmemmin tiivis, kun vaahdotus tehdään kahden jäykän pinnan väliin.



- Kuvassa 12 ikkuna on ensin tiivistetty mineraalivillalla ja ainoastaan tiivistyksen sisäpinnassa on polyuretaanivaahtoauma.
- Mikäli seinän ilmansulkukalvo olisi kuvassa 7 suoraan sisäpinnan levyn takana, ilmansulkukalvon reunat tiivistetään ikkunan ympäri riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä. Tämän jälkeen puun ja karmin välinen rako täytetään polyuretaanivaahdolla.



Kuva 11. Oven tiivistäminen seinärakenteeseen.



Kuva 12. Ikkunan tiivistäminen seinärakenteeseen

Kuvassa 13 näkyy valmis kittaus.



Kuva 13. Valmis kittaus.

Lopuksi suoritettiin jälkimmäinen tiiviysmittaus, jonka tuloksesta saatiin selville työn vaikutus ilmatiiviyteen.

## 5 Mittaustulokset

### 5.1 Alkumittaus

Tutkimuksen alussa 3.1.2014 suoritettussa ilmatiiviysmittauksessa  $q_{50}$ -luvuksi saatiin 1,66 (kuva 14).

Date of Test: 3.1.2014		Technician: Ronald Pätt	
Test File: Mäntyniemi 2014-01-03			
Customer: Timo Kankaanpää Mäntyniemi		Building Address:	
Phone:			
Fax:			
	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
<b>Test Results at 50 Pascals:</b>			
V50: Airflow (m³/h)	437 (+/- 0.8 %)	449 (+/- 0.4 %)	443
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.72	1.76	1.74
w50: m³/(h*m² Floor Area)	6.08	6.24	6.16
q50: m³/(h*m² Surface Area)	1.64	1.68	1.66
<b>Leakage Areas:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	161.3 (+/- 4.9 %)	165.0 (+/- 2.2 %)	163.2
cm²/m² Surface Area	0.60	0.62	0.61
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	82.8 (+/- 7.6 %)	84.6 (+/- 3.4 %)	83.7
cm²/m² Surface Area	0.31	0.32	0.31
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (Cenv)	29.0 (+/- 11.6 %)	30.3 (+/- 5.2 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	29.6 (+/- 11.6 %)	30.2 (+/- 5.2 %)	
Exponent (n)	0.688 (+/- 0.029)	0.690 (+/- 0.013)	
Correlation Coefficient	0.99286	0.99855	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		
Inside Temperature:	23 °C	Volume:	255 m³
Outside Temperature:	0 °C	Surface Area:	267 m²
Barometric Pressure:	101260 Pa	Floor Area:	72 m²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Protected Building	Building Dimensions:	3 %
Type of Heating:		Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		

Kuva 14. Alkumittaus.

### 5.2 Loppumittaus

Tutkimuksen loppumittauksessa  $q_{50}$ -luvuksi saatiin 1,30 (kuva 15).

Date of Test: 27.2.2014		Technician: Ronald Pätt	
Test File: Untitled			
Customer: Timo Kankaanpää	Building Address:		
Mäntyniemi			
Phone:			
Fax:			
<hr/>			
	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
<b>Test Results at 50 Pascals:</b>			
V50: Airflow (m <sup>3</sup> /h)	337 ( +/- 0.4 %)	357 ( +/- 0.8 %)	347
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.32	1.40	1.36
w50: m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> Floor Area)	4.68	4.95	4.82
q50: m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> Surface Area)	1.26	1.34	1.30
<b>Leakage Areas:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm <sup>2</sup> )	106.7 ( +/- 2.5 %)	112.7 ( +/- 4.5 %)	109.7
cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> Surface Area	0.40	0.42	0.41
LBL ELA @ 4 Pa (cm <sup>2</sup> )	50.2 ( +/- 3.8 %)	53.0 ( +/- 7.0 %)	51.6
cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> Surface Area	0.19	0.20	0.19
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (C <sub>env</sub> )	15.5 ( +/- 5.9 %)	16.6 ( +/- 10.7 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	15.8 ( +/- 5.9 %)	16.6 ( +/- 10.7 %)	
Exponent (n)	0.783 ( +/- 0.015 )	0.784 ( +/- 0.027 )	
Correlation Coefficient	0.99857	0.99531	
Test Standard: EN 13829	Regulation complied with:		
Type of Test Method: B			
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door			
<hr/>			
Inside Temperature: 21 °C	Volume: 255 m <sup>3</sup>		
Outside Temperature: 0 °C	Surface Area: 267 m <sup>2</sup>		
Barometric Pressure: 101000 Pa	Floor Area: 72 m <sup>2</sup>		
Wind Class: 1 Light Air	Uncertainty of		
Building Wind Exposure: Highly Protected Building	Building Dimensions: 3 %		
Type of Heating:	Year of Construction: 2013		
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation: None			

Kuva 15. Loppumittaus.

Tiivistystyön tuloksena voidaan todeta, että q<sub>50</sub>-luku putosi arvosta 1,66 arvoon 1,30. Rakennuksen tiiviysluokitus nousi arvosta D arvoon C. Lämpökamerakuvauksessa ei havaittu olennaisia lämpövuotoja.

## 6 Työn vaikutukset vuotoilman lämmitysenergiankulutukseen

Rakenteiden kautta kulkeutuvan vuotoilman lämmitykseen tarvittavan energian laskeamiseen tarvitaan kolmea kaavaa, jotka saadaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D3/2012. Lähtötiedoiksi tarvitaan rakennuksen ilmapuotoluku, vaipan ala ja paikkakunnan lämmöntarveluku sekä tarkasteltavan jakson pituus.

Rakenteiden epätiiviyksien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia  $Q_{vuotoilma}$  lasketaan kaavalla 2.2.1

$$Q_{vuotoilma} = H_{vuotoilma}(T_s - T_u)\Delta t/1000 \quad (2.2.1)$$

Vuotoilman ominaislämpöväiö  $H_{vuotoilma}$  lasketaan kaavalla 2.2.2

$$H_{vuotoilma} = \rho_i C_{pi} q_{v,vuotoilma} \quad (2.2.2)$$

jossa

$Q_{vuotoilma}$  vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh

$H_{vuotoilma}$  vuotoilman ominaislämpöväiö, W/K

$\rho_i$  ilman tiheys 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$C_{pi}$  ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)

$q_{v,vuotoilma}$  vuotoilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$T_s$  sisäilman lämpötila, °C

$T_u$  ulkoilman lämpötila, °C

$\Delta t$  ajanjakson pituus, h

1000 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Vuotoilman vuotoilmavirta  $q_{v,vuotoilma}$  lasketaan kaavalla (2.2.3)

$$q_{v,vuotoilma} = \left( \frac{q_{50}}{3600 x} \right) A_{vaiippa} \quad (2.2.3)$$

jossa

$q_{50}$  rakennuksen vuotoilmaluku

3600 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos  $m^3/h \rightarrow m^3/s$

$x$  kerroin, 1-kerroksinen 35

2-kerroksinen 24

3–4-kerroksinen 20

5:nneille tai sitä korkeammille kerroksille 15

$A_{vaiippa}$  rakennuksen vaipan sisäpinta-ala  $m^2$ .

Vuotuisen vuotoilman energiantarve lasketaan seuraavasti.

$$Q_{vuotoilma,vuosi} = \frac{H_{vuotoilma} * S_{17} * 24}{1000}$$

jossa

$S_{17}$  lämmitysenergiatarpeen normitukseen käytettävä lämmitystarveluku, Kd.

24 ajanjakson pituus, h.

Seuraavassa taulukossa esitetään kohteen tarvitsema vuotoilman energiantarve molemmilla vuotoilmaluvuilla (taulukko 2).

Taulukko 2.

Ilmanpitävyys q50	1,66 q50	Ilmanpitävyys q50	1,3 q50
Vaipan ala m2	267 m2	Vaipan ala m2	267 m2
kerroin	35	kerroin	35
Vuotoilma	0,003517619 m3/s	Vuotoilma	0,002755 m3/s
Ominaislämpöhäviö	4,22 W/K	Ominaislämpöhäviö	3,31 W/K
Vuotoilman energia	5,07 kWh	Vuotoilman energia	3,97 kWh

Kohteen tarvitsema vuotuinen vuotoilman energiatarve selviää taulukosta 3.

Taulukko 3.

Ilmanpitävyys q50	1,66 q50	Ilmanpitävyys q50	1,3 q50
Vaipan ala m2	267 m2	Vaipan ala m2	267 m2
k-kerroin	35	k-kerroin	35
Vuotoilma	0,003517619 m3/s	Vuotoilma	0,002755 m3/s
Ominaislämpöhäviö	4,221142857 W/K	Ominaislämpöhäviö	3,305714 W/K
Lämmöntarveluku kd	4469 K	Lämmöntarveluku kd	4469 K
Vuotoilman energia	453 kWh/v	Vuotoilman energia	355 kWh/v
Energian hinta	0,14 €/kWh	Energian hinta	0,14 €/kWh
Kulutus	63 €/v	Kulutus	50 €/v

Copyright:  
**PALONIITY OY** [sauli@paloniitty.fi](mailto:sauli@paloniitty.fi) 045-77348778



## 7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon vaikutusta rakennuksen ilmatiiviyteen ja vuotoilman lämmitysenergiankulutukseen on ulko-ovien ja ikkunoiden liitoksen tiivistämisellä höyrynsulkuun RT 80–10974 -kortin ja Tampereen teknillisen yliopiston AISE-tutkimushankkeen ohjeistusten mukaisesti verrattuna pelkästään polyuretaanivaahdolla tiivistämiseen.

Projektin alussa kohteeseen tehtiin ilmatiiviydsmittaus, seuraavaksi ulko-ovien ja ikkunoiden liitokset tiivistettiin ohjeistuksien mukaisesti, ja lopuksi tehtiin vielä toiset mittaukset, ja näiden mittausten tuloksia vertailemalla saatiin selville tiivistystyön todellinen hyöty ilmatiiviydelle ja vaikutukset vuotoilman lämmitysenergian kulutukseen.

Yhteenvetona voidaan todeta, että  $q_{50}$ -luku putosi arvosta 1,66 arvoon 1,30. Rakennuksen tiiviysluokitus puolestaan nousi arvosta D arvoon C.

Tuloksista voidaan päätellä, että vuotoilman tarvitsema lämmitysenergia pieneni 1,1 kWh ja vuotuinen vuotoilman tarvitsema lämmitysenergia pieneni 98 kWh vuodessa, mikä tarkoittaa noin 22 %:n energiatarpeen pienenemistä vuotoilman osalta. Rahallinen hyöty työstä on nykyisellä energianhinnalla 13 € vuodessa. Tässä tapauksessa voidaan todeta, että tiivistyksen hyödyt ovat selkeästi asuinmukavuuden paraneminen vedon pienenemisenä, ja rakennuksen kosteusteknisen toiminnan paraneminen. Energian kulutuksen pieneneminen on melko maltillista, ja pelkkien tiivistystarvikkeiden takaisinmaksuaika on noin 15 vuotta.

## Lähteet

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

Kosteusvauriot. 2012. Verkkodokumentti. Tiivistalo.  
<<http://www.tiivistalo.fi/docs/kosteusvauriot.pdf>>. Luettu 12.11.2014.

Paloniitty, Sauli. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Suomen rakennusmedia Oy.

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.

Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.

RT 14- 10850. 2005. Rakennusten lämpökuvaus. Rakennustieto Oy.

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

Vinha, J. 2012. Rakennusten ilmanpitävyys ja ilmatiiviiden rakenteiden toteutus. Power point -esitys. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.

Vuotoilman energian laskenta. 2014. Verkkodokumentti. Paloniitty Oy.  
<<http://paloniitty.fi/page.php?sivu=53>>. Luettu 12.11.2014.

## Tiivysmittausraportti 3.1.2014

www.novia.fi  
**NOVIA**

Ronald Pilti 050-374 2465

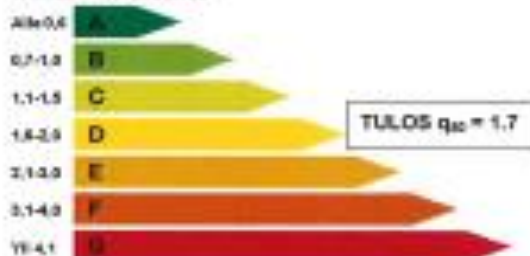
TM 2014-01-03  
1(7)

Raportti No: TM2014-01-03  
Pvm: 10.2.2014  
Tilaaaja: Timo Karkoosipää  
Kohde: Vapaa-aikasuunto Viiksterankimo  
Tekijä: Ronald Pilti

### Tiivysmittausraportti



#### TIIVYSMITTAUSLUOKITUS



Ronald Pilti  
LV-mestri



Ronald Pätt 050-374 2465

TM 2014-01-03

2 (7)

---

**TIIVIYSMITTAUSRAPORTIN SISÄLLYSLUETTELO:**

<b>1. KOHTEEN YLEISTIEDOT</b>	
1.1 Rakennuksen tunnist- ja laajuustiedot	3
1.2 Tutkimuksen tilaaja	3
1.3 Tutkimuksen tavoite	3
1.4 Tutkimuksen tekijä	3
1.5 Tutkimusajankohta	3
<b>2. LÄHTÖARVOT</b>	
2.1 Ulko- ja sisäilman olosuhteet	4-5
2.2 Rakennuksen ilmatilavuus	6
2.3 Tiiviysmittauksen kattavuus	6
2.4 Käytetyt mittalaitteet ja koejärjestelyt	6
<b>3. TULOKSET</b>	
3.1 Mittaustulokset	7
3.2 Tulos ja sen arviointi	7
3.3 Ilmavuotopaikat	7

**Liitteet:**

Tiiviysmittauspöytäkirja 1 kpl  
Mittalaitepöytäkirja 1 kpl

---



Ronald Pätt 050-374 2465

TM 2014-01-03

3 (7)

## 1. Kohteen yleistiedot

### 1.1 Rakennuksen tunnistetiedot ja laajuustiedot

Osoite: Västerhankmo

Kohde: Yksikerroksinen Kastelli talo precut tyyppinen vapaa-ajan asunto. Kohteessa sisätyöt vielä kesken. Lattiarakenteena maanvarainen betonilaatta. Yläpohja puurakenteinen, ilman- / höyrynsulkumateriaalina rakennusmuovi.

1.2 Tutkimuksen tilaaja Timo Kankaanpää  
timo.kankaanpaa@vaasa.fi

1.3 Tutkimuksen tavoite Rakennuksen ilmapuotoluvun  $q_{50}$  määrittäminen

1.4 Tutkimuksen tekijä LVI-insinööri Ronald Pätt  
YrkesHögskolan Novia  
Technobothnia  
Puuwillakujat 3  
65200 Vaasa  
ronald.patt@novia.fi  
050-374 2465

1.5 Tutkimusajankohta 03.01.2014 klo 10.30 – 15.30. Tutkimuksessa läsnä Timo Kankaanpää

## 2. Lähtöarvot

### 2.1 Ulko- ja sisäilman olosuhteet



Ronald Pätt 050-374 2465

TM 2014-01-03  
4 (7)

Ulkolämpötila mittaushetkellä oli 0 °C. Sisälämpötila +23 °C.

#### Paikalliset säähavainnot

Havaintoasema: Väasa Kiemettä

Tuorein säähavainto:		3.1.2014 8:40 Suomen aikaa	
Lämpötila	0,1 °C	Kosteus	93 %
Kasteaste	-0,8 °C	Kaakkoistuuli	5 m/s
Puuska	7 m/s	Paine	1012,6 hPa
Tunnin sadekertymä	0,0 mm (8:00)	Lumensyvyys	0 cm
Pilvistä	(8/8)	Näkyvyys	12 km

Viimeisimmän 2 vuorokauden havainnot



#### Paikalliset säähavainnot

Havaintoasema: Väasa Kiemettä

Tuorein säähavainto:		3.1.2014 8:40 Suomen aikaa	
Lämpötila	0,1 °C	Kosteus	93 %
Kasteaste	-0,8 °C	Kaakkoistuuli	5 m/s
Puuska	7 m/s	Paine	1012,6 hPa
Tunnin sadekertymä	0,0 mm (8:00)	Lumensyvyys	0 cm
Pilvistä	(8/8)	Näkyvyys	12 km

Viimeisimmän 2 vuorokauden havainnot



#### Paikalliset säähavainnot

Havaintoasema  ▶ ⓘ

Tuorein säähavainto: 3.1.2014 8:40 Suomen aikaa

Lämpötila	0,1 °C	Kosteus	93 %
Kastepiste	-0,8 °C	Kaakkoistuulta	5 m/s
Puuska	7 m/s	Paine	1012,8 hPa
Tunnin sadekertymä	0,0 mm (8:00)	Lumensyvyys	0 cm
Pilvistä	(8/8)	Näkyvyys	12 km

#### Viimeisimmän 2 vuorokauden havainnot



Tuulen suunta etelä, nopeus 3-5 m/s, ilmanpaine 1013 hPa,  
(<http://www.ilmatieteenlaitos.fi>) Vaasa, Klemetilä.



Ronald Pätt 050-374 2465

TM 2014-01-03

6 (7)

## 2.2 Rakennuksen ilmatilavuus

Rakennuksen ilmatilavuudeksi mitattiin 255 m<sup>3</sup>.  
Vaipan sisäpinta-ala 267m<sup>2</sup>

## 2.3 Tiiviysmittauksen kattavuus

Rakennuksen ulkovaippa kauttaaltaan kuului mittaus-  
alueeseen.

## 2.4 Käytetyt mittalaitteet ja koejärjestelyt

Kohteessa tehtiin lämpötilamittaukset Waisala HMI41-mittarilla ja HMP 42 - mittapäällä (sarjanumero E2530001, kalibroitu 31.1.2013) Tiiviysmittauslaitteistona käytettiin Minneapolis BlowerDoor model 4.1 (sarjanumero 17413-106) puhallin- ja mittausyksikköä. Kalibroitu 3.12.2013.

Ennen tiiviysmittausta liesituuletin, koneellinen tulo- ja poistokanavisto teipattiin/tukittiin. Viemäriputket/lattiakaivot teipattiin. Savuhormi pussitettiin katolta. Puhallin asennettiin pää-oveen.

Mittaus suoritettiin esiohjelmoituna standardin SFS-EN 13829 B-menetelmän mukaisesti. Mittaus suoritettiin sekä ali- että ylipainekokein.





Ronald Pätt 050-374 2465

TM 2014-01-03  
7 (7)

---

### 3. Tulokset

- 3.1 Mittaustulokset Rakennuksen ilmavuotoluku  $q_{50}$  oli 1,66  $m^3/(h \cdot m^2$  Surface Area).
- 3.2 Tulos ja sen arviointi Mitattu ilmavuotoluku 1.7 1/h sijoittuu tiiviysluokituksen D-luokkaan. Mittaustarkkuus  $\pm 5\%$ .
- 3.3 Ilmavuotopaikat Ilmavuotopaikkoja on tutkittu lämpökameralla.
-

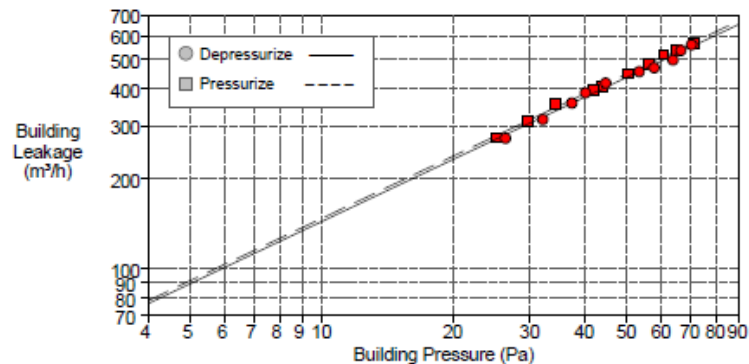
## BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 3.1.2014	Technician: Ronald Pätt
Test File: Mäntyniemi 2014-01-03	
Customer: Timo Kankaanpää Mäntyniemi	Building Address:
Phone:	
Fax:	

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
<b>Test Results at 50 Pascals:</b>			
V50: Airflow (m <sup>3</sup> /h)	437 (+/- 0.8 %)	449 (+/- 0.4 %)	443
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.72	1.76	1.74
w50: m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> Floor Area)	6.08	6.24	6.16
q50: m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> Surface Area)	1.64	1.68	1.66
<b>Leakage Areas:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm <sup>2</sup> )	161.3 (+/- 4.9 %)	165.0 (+/- 2.2 %)	163.2
cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> Surface Area	0.60	0.62	0.61
LBL ELA @ 4 Pa (cm <sup>2</sup> )	82.8 (+/- 7.6 %)	84.6 (+/- 3.4 %)	83.7
cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> Surface Area	0.31	0.32	0.31
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (Cenv)	29.0 (+/- 11.6 %)	30.3 (+/- 5.2 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	29.6 (+/- 11.6 %)	30.2 (+/- 5.2 %)	
Exponent (n)	0.688 (+/- 0.029)	0.690 (+/- 0.013)	
Correlation Coefficient	0.99286	0.99855	

Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:
Type of Test Method:	B	
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door	

Inside Temperature:	23 °C	Volume:	255 m <sup>3</sup>
Outside Temperature:	0 °C	Surface Area:	267 m <sup>2</sup>
Barometric Pressure:	101260 Pa	Floor Area:	72 m <sup>2</sup>
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Protected Building	Building Dimensions:	3 %
Type of Heating:		Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



**BUILDING LEAKAGE TEST Page 2**

Date of Test: 3.1.2014 Test File: Mäntyniemi 2014-01-03

**Comments**

**Data Points: Depressurization:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m <sup>3</sup> /h)	Temperature Adjusted Flow (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-3.3	n/a				
-73.0	54.1	593	562	1.6	Ring B
-69.2	49.5	567	537	1.0	Ring B
-66.5	42.7	527	499	-3.4	Ring B
-60.5	37.7	496	470	-2.7	Ring B
-56.1	35.7	482	457	-0.1	Ring B
-47.4	29.8	441	418	3.3	Ring B
-42.9	373.4	409	388	3.1	Ring C
-40.1	321.3	379	359	0.3	Ring C
-34.8	251.4	334	316	-1.8	Ring C
-29.1	190.0	289	274	-2.7	Ring C
-2.2	n/a				
Test 1 Baseline (Pa):	p01- = -3.3	p01+ = 0.0	p02- = -2.2	p02+ = 0.0	

**Data Points: Pressurization:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m <sup>3</sup> /h)	Temperature Adjusted Flow (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-1.2	n/a				
69.3	45.7	546	569	-0.0	Ring B
63.2	41.0	517	539	0.9	Ring B
58.9	38.0	498	519	1.8	Ring B
54.6	32.6	461	481	-0.6	Ring B
48.6	28.5	431	450	0.4	Ring B
42.1	23.2	389	406	-0.3	Ring B
40.2	323.3	380	396	0.6	Ring C
32.6	261.6	341	355	3.7	Ring C
28.0	203.4	299	312	0.8	Ring C
23.4	158.5	263	274	-0.4	Ring C
-2.1	n/a				
Test 1 Baseline (Pa):	p01- = -1.2	p01+ = 0.0	p02- = -2.1	p02+ = 0.0	

## Tiiviyssmittausraportti 27.2.2014

TIIVISMITTAUSLABORATORIUM  
**NOVIA**

Ronald Pätt 050-374 2465

TM 2014-02-27  
1 (7)

Raportti No: TM2014-02-27  
Pvm: 27.2.2014  
Tilaja: Timo Kankaanpää  
Kohde: Vapaa-ajanasunto Västerhankmo  
Tekijä: Ronald Pätt

### Tiiviyssmittausraportti



#### TIIVISMITTAUSLUOKITUS



Ronald Pätt  
LVI-insinööri



Ronald Pätt 050-374 2465

TM 2014-02-27  
2 (7)

TIIVIYSMITTAUSRAPORTIN SISÄLLYSLUETTELO:

1. KOHTEEN YLEISTIEDOT	
1.1 Rakennuksen tunnist- ja laajuustiedot	3
1.2 Tutkimuksen tilaaja	3
1.3 Tutkimuksen tavoite	3
1.4 Tutkimuksen tekijä	3
1.5 Tutkimusajankohta	3
2. LÄHTÖARVOT	
2.1 Ulko- ja sisäilman olosuhteet	4-5
2.2 Rakennuksen ilmatilavuus	6
2.3 Tiivysmittauksen kattavuus	6
2.4 Käytetyt mittalaitteet ja koejärjestelyt	6
3. TULOKSET	
3.1 Mittaustulokset	7
3.2 Tulos ja sen arviointi	7
3.3 Ilmavuotopeikat	7

Litteet:

Tiivysmittauspöytäkirja 1 kpl  
Mittalaittepöytäkirja 1 kpl



Ronald Pätt 050-374 2465

TM 2014-02-27

3 (7)

## 1. Kohteen yleistiedot

### 1.1 Rakennuksen tunnistus- ja laajuustiedot

Osoite: Västerhankmo

Kohde: Yksikerroksinen Kastelli talo precut tyyppinen vapaa-ajan asunto. Kohteessa sisätyöt vielä kesken. Lattiarakenteena maanvarainen betoni laatta. Yläpohja puurakenteinen, ilman- / höyrnsulkumateriaalina rakennusmuovi.

1.2 Tutkimuksen tilaaja Timo Kankaanpää  
timo.kankaanpaa@vaasa.fi

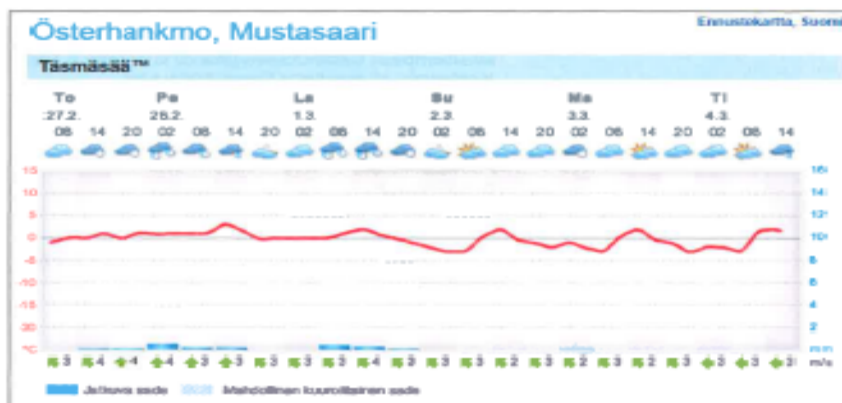
1.3 Tutkimuksen tavoite Rakennuksen ilmapuotoluvun  $q_{50}$  määrittäminen ja muutos aikaisempaan tutkimukseen joka oli suoritettu 3.1.2014. Kohteessa oli suoritettu tiiveys korjauksia.

1.4 Tutkimuksen tekijä LVI-insinööri Ronald Pätt  
Ykeshögskolan Novia  
Technobothnia  
Puuvillakuja 3  
65200 Vaasa  
ronald.patt@novia.fi  
050-374 2465

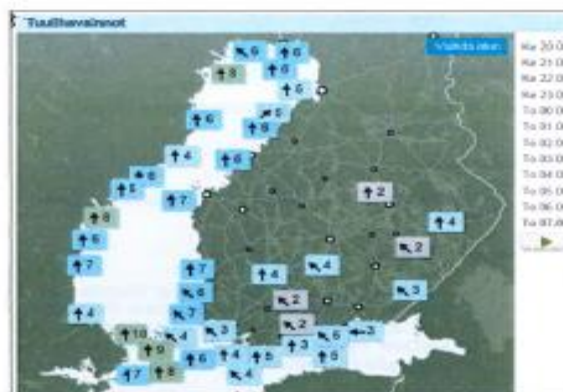
1.5 Tutkimusajankohta 27.02.2014 klo 9.00 – 13.30. Tutkimuksessa läsnä Timo Kankaanpää

## 2. Lähtöarvot

### 2.1 Ulko- ja sisäilman olosuhteet



(<http://www.ilmatieteenlaitos.fi>) Mustasaari.



Vähimmäiset havainnot		3 päivän ennuste		
Hävintopaema: <input type="text" value="Valassaalet"/>		Tänään	Huomenna	Lauantaina
<b>+1 °C</b>	Tuulu kuu: -3° Ilmapaine: 1010,0 hPa			
<b>↑ 4 m/s</b>	Aurinko nousee: 07.46 Aurinko laskee: 17.47 IPäivän pituus: 10 h 1 min	IPäivä: +1° Yö: +1°	Päivä: +3° Yö: 0°	Päivä: +2° Yö: -3°
Hävintäika: 16.12. 02:30 <a href="#">Käsko hävintähetkellä</a>		<a href="#">10 päivän ennuste</a>		

Tuulen suunta etelä, nopeus 3-5 m/s, ilmapaine 1010 hPa, (<http://www.ilmatieteenlaitos.fi>) Mustasaari.



## 2.2 Rakennuksen ilmatilavuus

Rakennuksen ilmatilavuudeksi mitattiin 255 m<sup>3</sup>.  
Vaipan sisäpinta-ala 267m<sup>2</sup>

## 2.3 Tiiviysmittauksen kattavuus

Rakennuksen ulkovaippa kauttaaltaan kuului mittaus-  
alueeseen.

## 2.4 Käytetyt mittalaitteet ja koejärjestelyt

Kohteessa tehtiin lämpötilamittaukset Waisala HMI41-mittarilla ja HMP 42 - mittapäällä (sarjanumero E2530001, kalibroitu 31.1.2013) Tiiviysmittauslaitteistona käytettiin Minneapolis BlowerDoor model 4.1 (sarjanumero 17413-106) puhallin- ja mittausyksikköä. Kalibroitu 3.12.2013.

Ennen tiiviysmittausta liesituuletin, koneellinen tulo- ja poistokanavisto teipattiin/tukittiin. Viemäriputket/tattiakaivot teipattiin. Savuhormi pussitettiin katolta. Puhallin asennettiin pää-oveen.

Mittaus suoritettiin esiohjelmoituna standardin SFS-EN 13829 B-menetelmän mukaisesti. Mittaus suoritettiin sekä al- että ylipainekelein.



Ronald Päätt 050-374 2465

TM 2014-02-27  
7 (7)

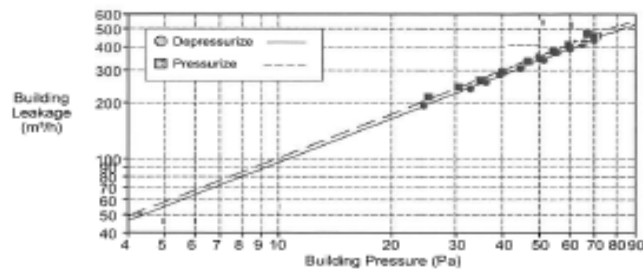
---

### 3. Tulokset

- 3.1 Mittaustulokset** Rakennuksen ilmavuotoluku  $q_{50}$  oli 1,30 m<sup>3</sup>/(h\*m<sup>2</sup> Surface Area).
- 3.2 Tulos ja sen arviointi** Mitattu ilmavuotoluku 1.3 l/h sijoittuu tiiviysluokituksen C-luokkaan. Mittaustarkkuus ± 5%.
- 3.3 Ilmavuotoapaikat** Ilmavuotopaikkoja ei tutkittu lämpökameralla.
-

**BUILDING LEAKAGE TEST**

Date of Test: 27.2.2014		Technician: Ronald Pätt	
Test File: Unfiled			
Customer: Timo Kankaanpää Mäntyniemi	Building Address:		
Phone:			
Fax:			
	<b>Depressurization</b>	<b>Pressurization</b>	<b>Average</b>
<b>Test Results at 50 Pascals:</b>			
V50: Airflow (m³/h)	337 (+/- 0.4 %)	357 (+/- 0.8 %)	347
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.32	1.40	1.36
w50: m³/h/m² Floor Area	4.68	4.95	4.82
q50: m³/h/m² Surface Area	1.26	1.34	1.30
<b>Leakage Areas:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	106.7 (+/- 2.5 %)	112.7 (+/- 4.5 %)	109.7
cm²/m² Surface Area	0.40	0.42	0.41
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	50.2 (+/- 3.8 %)	53.0 (+/- 7.0 %)	51.6
cm²/m² Surface Area	0.19	0.20	0.19
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (Conv)	15.5 (+/- 5.9 %)	16.6 (+/- 10.7 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	15.8 (+/- 5.9 %)	16.6 (+/- 10.7 %)	
Exponent (n)	0.783 (+/- 0.015)	0.784 (+/- 0.027)	
Correlation Coefficient	0.99857	0.99531	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		
Inside Temperature:	21 °C	Volume:	255 m³
Outside Temperature:	0 °C	Surface Area:	267 m²
Barometric Pressure:	101000 Pa	Floor Area:	72 m²
Wind Class:	1 Light Air	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Protected Building	Building Dimensions:	3 %
Type of Heating:		Year of Construction:	2013
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



**BUILDING LEAKAGE TEST Page 2**

Date of Test: 27.2.2014 Test File: Untitled

**Comments**

**Data Points: Depressurization:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m <sup>3</sup> /h)	Temperature Adjusted Flow (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-1.5	n/a				
-71.3	32.4	460	435	-0.8	Ring B
-66.5	29.4	438	414	-0.2	Ring B
-61.7	26.1	413	391	0.0	Ring B
-56.9	24.0	396	374	2.3	Ring B
-52.7	21.6	360	341	-1.1	Ring C
-45.8	238.5	325	307	-0.1	Ring C
-40.7	205.6	301	284	1.8	Ring C
-37.5	171.9	274	259	-0.8	Ring C
-34.2	146.7	253	239	-1.5	Ring C
-26.1	97.5	205	194	-0.2	Ring C
-1.2	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.5 p01+ = 0.0 p02- = -1.2 p02+ = 0.0

**Data Points: Pressurization:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m <sup>3</sup> /h)	Temperature Adjusted Flow (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-1.2	n/a				
69.3	29.7	440	457	-1.9	Ring B
65.1	30.4	445	465	4.1	Ring B
58.6	24.0	396	411	0.4	Ring B
53.0	20.5	366	380	0.2	Ring B
48.4	252.4	334	348	-1.8	Ring C
44.9	227.9	317	330	-1.3	Ring C
38.5	183.9	284	295	-0.7	Ring C
33.5	150.7	256	267	-0.3	Ring C
29.2	127.6	235	245	1.5	Ring C
24.0	100.6	208	216	3.9	Ring C
-1.5	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.2 p01+ = 0.0 p02- = -1.5 p02+ = 0.0

