

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutus

Sampo Myyry

LIGHTHOUSE PUUKERROSTALON TIIVIYSMITTAUKSET

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2020



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Joulukuu 2020**  
**Rakennustekniikan koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä  
Sampo Myyry

Nimeke  
Lighthouse puukerrostalon tiiviysmittaukset

Toimeksiantaja  
Karelia-amk

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli mitata puukerrostalo Lighthousen tiiviyttä. Opinnäytetyöni toimeksiantaja on Karelia Ammattikorkeakoulu.

Työssäni tein tiiviysmittauksen seitsemään eri huoneistoon painekoelaitteistolla. Mittasin Joensuun Penttilään vuonna 2019 valmistuneen puukerrostalon tiiveyttä. Yhden huoneiston mittaamiseen kului noin 2 tuntia valmisteluineen. Käytin mittauksessa huoneiston alipaineistamiseen koulun Minneapolis Blowerdoor -puhallinta tietokoneeseen kytkettynä. Mittauksella saatiin selville huoneistojen ilmanvuotoluku q50. Tiiviysmittaukset suoritettiin noudattaen eurooppalaista standardia EN ISO 9972:2015. Mittausten keskiarvoksi q50 tuli 0,568 (m<sup>3</sup>/(h\*m<sup>2</sup>)), joka tarkoittaa hyvää lopputulosta tiiviyyden osalta.

Kieli  
suomi

Sivuja 60  
Liitteet 1  
Liitesivumäärä 28

**Asiasanat**

Tiiviysmittaus, energiatehokkuus, ilmanvuotoluku, q50-luku, n50-luku, ilmatiiviys



**THESIS**  
**December 2020**  
**Degree Programme in Civil Engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Sampo Myyry

Title  
Air Tightness Measurements of the Wooden Apartment House Lighthouse

Commissioned by  
Karelia UAS

Abstract

The objective of this thesis was to measure the air-tightness of the wooden apartment house Lighthouse. The thesis was commissioned by Karelia UAS.

In this thesis, the air leakage rate of seven different apartments were measured by using pressure testing equipment. The object of the tests was a wooden block of flats called the Lighthouse, which was built in 2019 in Penttilä in Joensuu. It took roughly two hours to measure one apartment with all the preparations included. Minneapolis Blowerdoor was used attached to a laptop to depressurize the apartments. All the equipment was borrowed from the commissioning university. With the air-tightness measurements it was possible to sort out the q50- and n50-rates of the apartments. The measurements were performed following the instructions of European standard EN ISO 9972:2015. The mean of q50-rates, which was 0,568 (m<sup>3</sup>/(h\*m<sup>2</sup>)) was determined in the measurements. It is considered a good result in terms of air permeability.

Language

Finnish

Pages 60

Appendices 1

Pages of Appendices 28

Keywords

energy efficiency, air leakage rate, q50-rate, n50-rate, air-tightness, air-tightness measurement

## Sisällys

1	Johdanto .....	2
2	Lighthouse.....	3
3	Asuinrakennuksen ilmanvuotokohdat.....	6
3.1	Vuotoluokitus .....	6
4	Ilmatiiviys.....	8
4.1	Ilmatiiviys rakentamisessa.....	8
4.2	Ilmatiiviiden rakenteiden toteutus.....	9
4.3	Kosteus .....	9
4.4	Energiankulutus.....	9
4.5	Vaikutus asumismukavuuteen .....	11
4.6	Asuinrakennuksen ilmanpitävyys.....	12
4.7	Paine-erot.....	12
4.8	Savupiippuilmiö .....	12
4.9	Tuulen aiheuttama paine-ero.....	13
5	Ilmanvuotoluvut .....	14
5.1	q50-luku.....	14
5.2	n50-luku.....	15
5.3	Ilmanvuotoluvun mittaaminen.....	15
6	Tiivysmittaus .....	15
6.1	Lähtötiedot .....	15
6.2	Mittausmenetelmä.....	16
6.3	Mittaajan vaatimukset .....	17
6.4	Mittauskalusto.....	17
6.5	Valmistelut mittausta varten.....	19
6.6	Sääolosuhteet mittaushetkellä.....	21
6.7	Mittausten toteutus .....	22
6.8	Tiivysmittaukset.....	23
7	Johtopäätökset .....	25
7.1	Tiivysvaatimus .....	25
7.2	Tiiviyden saavuttaminen .....	25
7.3	Tuulen vaikutus .....	26
8	Pohdinta.....	27

## Käytetyt termit

### Ilmatiiveys

Tarkoittaa rakennuksen vaipan kykyä estää ilman pääsyä rakenteeseen ja kulkeutumista sen läpi [4].

### Tiiviysmittaus

Ilmanvuotoluvun q50 ja n50 määrittäminen rakennuksen ulkovaipalle. Mitataan 50 Pa:n paine-erossa [4].

### Ilmanvuotoluku q50

Rakennuksen vaipan keskimääräinen vuotoilmavirta tunnissa 50 Pa:n paine-erolla rakennusvaipan pinta-alaa kohden [4].

### Ilmanvuotoluku n50

Ilmoittaa kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan kautta 50 Pa:n ali- tai ylipaineessa [4].

### Vaippa

Rakennekerrokset, jotka erottavat rakennuksen sisätilat ulkoilmasta [4].

### Vaipan-ala

Rakennuksen vaippa aukotuksineen, mukaan lukien alapohja ja yläpohja. Lasketaan rakennuksen tai huoneiston sisämittojen mukaan [4].

### Ilmansulku

Ainekerros, joka estää haitallisen ilmavirtauksen rakennusosan läpi puolelta toiselle. Kerroksellisissa vaipparakenteissa tarvitaan rakenteen lämpimällä puolella ilmansulun lisäksi aina riittävän vesihöyrytiivis höyrynsulku. Sama ainekerros voi toimia sekä ilman- että höyrynsulkuna. [10.]

### Kerrostalo

Kaksi- tai useampikerroksinen asuinrakennus, jossa on erilliset huoneistot jokaisessa kerroksessa. Kerrostaloihin kuuluvat mm. porrashuoneelliset kerrostalot ja luhtitalot. [10.]

### Boforiasteikko (Beaufortin asteikko)

Tuulen voimakkuutta kuvaava asteikko, asteikolla pystyy arvioimaan tuulen nopeuden silmämääräisesti [1].

# 1 Johdanto

Energiamääräysten tiukentuessa rakennuksista on tehtävä entistä energiatehokkaampia. Energiatehokas rakentaminen, tiukkoine vaatimuksineen, luo uusia haasteita sekä rakennuksien suunnitteluun että rakentamiseen. Rakennuksen vaipan ilmatiiviyys vaikuttaa suoraan rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen ja näin rakennuksen energiatehokkuusluokkaan energiatodistuksessa. Rakennuksen tiiviyyteen kiinnitetään yhä enemmän huomiota sitä mukaa, kun sen vaikutuksia rakennuksen ja vaipan toimivuuteen ja sisäilman laatuun on tutkittu ja opittu ymmärtämään. Rakennusvaipan tiiviyys on yksi keskeisimmistä tekijöistä, joihin tulisi kiinnittää huomiota rakennuksen rakennetyyppien valinnoissa, valmistuksessa ja laadunvarmistuksessa.

Vuonna 2008 tuli voimaan laki, joka vaatii uusilta rakennuksilta energiatodistusta. Energiatodistuksen tavoitteena on mahdollistaa rakennusten energiankulutuksen vertailu riippumatta lämmitysmuodosta.

Opinnäytetyöni aiheena oli suorittaa tiiviysmittauksia erikokoisissa huoneistoissa ja mittauksia kertyi 7 kappaletta mahdollisimman erilaisissa ja eriarvoisissa tiloissa, esim. keskihuoneisto, päätyhuoneisto ja eri kerrokset. Tutkittavat huoneistot olivat yksiöitä ja kaksioita. Mittauksissa saatuja arvoja tiiviydelle verrataan Suomen rakennusmääräyskokoelman D3 ohjeeseen. Selvitin myös opinnäytetyössäni, kuinka rakennuksen tiiviyttä mitataan ja millaisia vaikutuksia tiiviydellä on asumiseen.

Aiheen opinnäytetyöhöni sain vuoden 2018 syksyllä. Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Karelia-ammattikorkeakoululle. Mittaustulosteita käytettiin apuna laadunvarmistukseen työmaalla. Työhön tarvittun laitteiston tarjosi Karelia-ammattikorkeakoulu.

Työ keskittyy rakentamisen laadunvarmistuksen kannalta olennaiseen työkaluun, tiiviysmittaukseen. Työ käsittelee tiiviysmittauksen teoriaa, jonka jälkeen mittaan kerrostalokohteen. Työn tavoitteena on antaa kokonaisvaltainen kuva tiiviysmittauksen tekemisestä asuinrakennuksiin ja ilmanvuodon vaikutuksista rakenteisiin. Opinnäytetyössä myös selvitetään, kuinka tiiviysmittaus tehdään ja mitä mittauksia suorittavalta henkilöltä vaaditaan.

## 2 Lighthouse

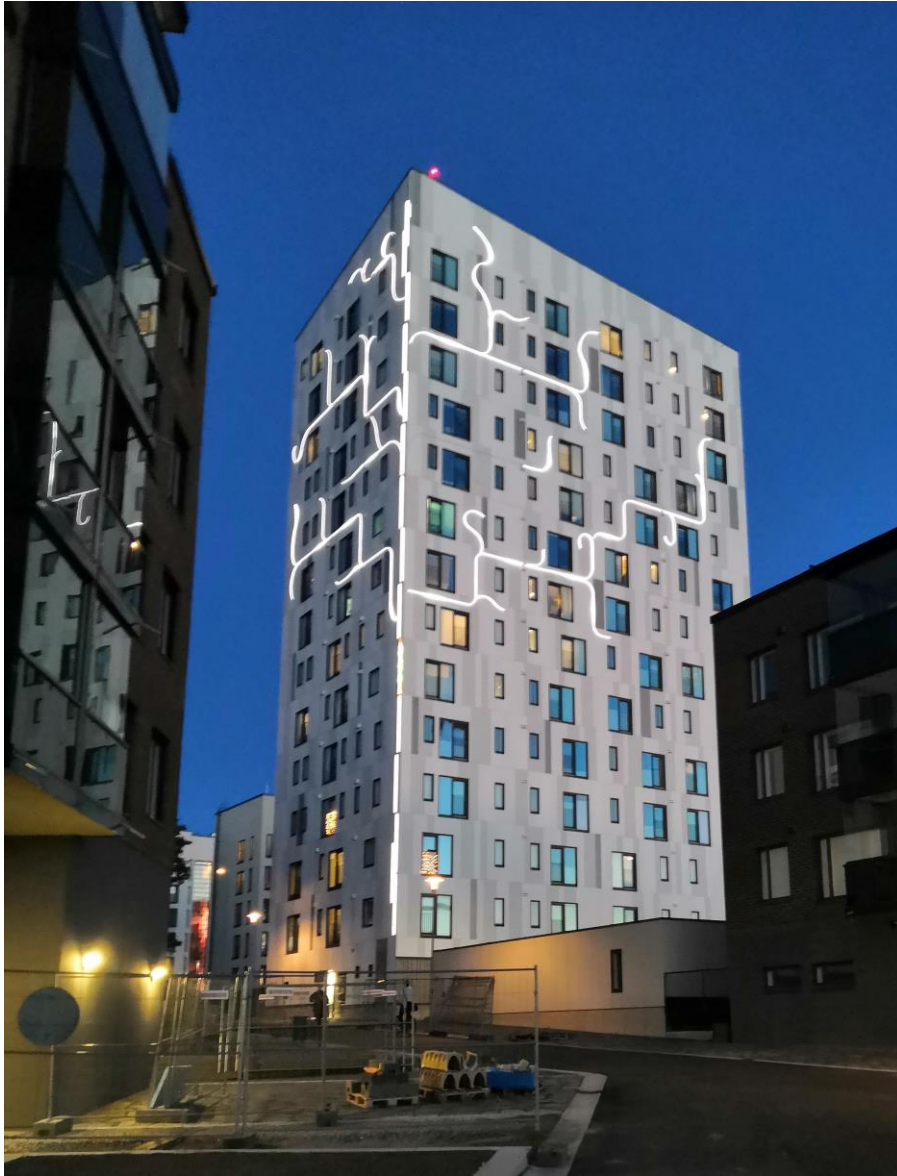
Kohteenani oli Suomen korkein puukerrostalo (kuvat 1 ja 2), joka valmistui Joensuun Penttilänrantaan vuoden 2019 loppupuolella. Puukerrostalon rakennutti Opiskelija-asunnot Oy Joensuun Elli ja pääurakoijana kohteessa toimi Rakennustoimisto Eero Reijonen Oy.

Talossa on 117 asuntoa opiskelijoille. 1.krs:ssa sijaitsevat saunaosastot, pesutupa kuivaushuoneineen, irtain- sekä ulkoiluvälinevarastot ja tekniset tilat. Kerroksissa 2-14 sijaitsevia asuntoja on yhdessä kerroksessa aina 9kpl, joista kaksi on 2h+kt ja loput seitsemän yksiöitä. Asuntojen koot vaihtelevat 26 – 47,5 m<sup>2</sup> välillä. Toteutuksessa on hyödynnetty sekä LVL-viilupuun että ristiin liimatun CLT:n parhaita ominaisuuksia. [9.]

Kerrostaloon on toimitettu yli 2 000 m<sup>3</sup> massiivipuutuotteita. Puutuotemäärästä yli puolet on LVL-viilupuuta, jota on käytetty seinärakenteisiin. Lisäksi välipohjiin on käytetty lähes 1000m<sup>3</sup> CLT:tä eli ristiinliimattua puuta. [9.]

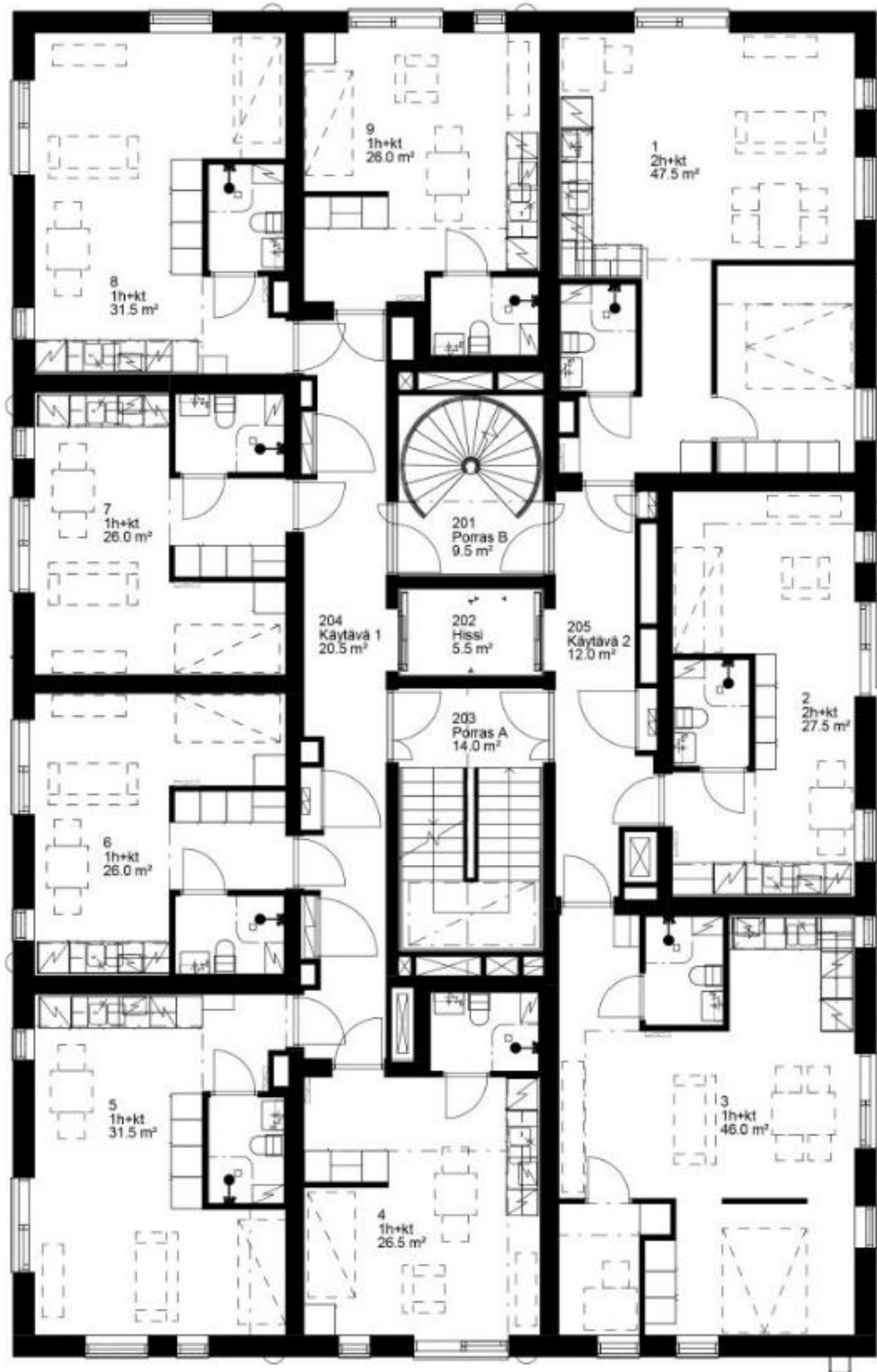
Rakennuksen ensimmäinen kerros väestönsuojineen toteutettiin betonista. Muuten runkorakenne ja jopa hissikuilu on massiivipuurakenteinen. Vaikka kyseessä on puukerrostalo, ei valmiissa rakennuksessa puupintoja juuri näy. Paloteknisten vaatimusten mukaisesti pinnat on verhoiltu pääosin kipsilevyllä. Julkisivupinta toteutetaan valkoisen ja harmaan eri sävyjä toistavilla kivilevyillä. [9.]

Rakennuksessa on käytetty LVL-viilupuuta seinärakenteisiin ja ristiin liimattua CLT:tä välipohjarakenteisiin. Materiaaleina CLT ja LVL ovat ympäristöystävällisiä. Koska materiaalit koostuvat puusta, ne sitovat hiiltä jo itsessään [12]. Materiaalit eivät myöskään purkaessa aiheuta ongelmajätettä yhtä paljoa kuin useat muut rakennusmateriaalit. Elinkaarensa päässä CLT ja LVL voidaan käyttää puutuotteena esimerkiksi energiantuotannossa.



Kuva 1. Kohde, Lighthouse puukerrostalo





Kuva 2. 2. kerroksen pohjapiirustus [9].

### 3 Asuinrakennuksen ilmanvuotokohdat

Vuotokohdat paikannetaan tiiviysmittauksen yhteydessä rakennuksen ollessa alipaineistettuna 50 Pascaliin. Vuotokohdat ovat usein pistemäisiä ja aiheuttavat vetoa, joten niillä on suuri merkitys lämpöviivyyteen ja rakennuksen kosteustekniseen toimintaan.

Ilmavuotokohdat paikannetaan lämpökameralla, käsin tunnustelemalla tai merkkisavun avulla. Vuotokohdat eivät kerro suoraan rakennusvirheestä. [2.]

#### 3.1 Vuotoluokitus

Vuotoluokitus on suuntaa antava. Kaikkein pienimpiä vuotoja ei raportoida, näistä voidaan kuitenkin mainita asiakkaan tai kirvesmiehen ollessa paikalla. Kohtalaiset ja suuret vuodot raportoidaan aina. [2.]

Pieni vuoto, ilmavuoto havaitaan aistinvaraisesti tai merkkisavulla, mutta voimakkuudeltaan se on pientä. Vuodon voi tuntea aistinvaraisesti vain hyvin läheltä. Vuotopaikka on pienikokoinen ja pistemäinen. Vuodon korjaaminen ei ole välttämätöntä. [2.]

Kohtalainen vuoto, ilmavuodon havaitsee selkeästi aistinvaraisesti ja vuotokohdan havaitsee jo silmin. Vuodon havaitsee aistinvaraisesti jo 10-20 cm päästä. Tällainen vuoto tulee kuvata, raportoida ja suositella korjausta. Jos korjaus on järkevästi toteutettavissa. Esimerkki tällaisesta vuodosta on mm. sähkörasian kautta tuleva tuntuva vuoto tai irronnut höyrynsulun teippaus. [2.]

Suuri vuoto, voimakkaasti tuntuva ilmavuoto ja vuotokohta on silminnähtävä suuri, vedon saattaa tuntea jo huoneeseen tullessa ja etäämmältä. Tällainen vuoto tulee kuvata ja suositella korjattavaksi ehdottomasti. Esimerkkinä tällaisesta vuotokohdasta voi olla kokonaan puuttuva ikkunan karmin ja rungon välinen tiivistys, ilmanvaihtokanavan läpiviennin tiivisteiden puuttumattomuus tai kokonaan unohtunut höyrynsulun sauman teippaus. [2.]

Yleisimmät vuotokohdat kerrostaloasunnoissa ovat

- ikkunoissa – ikkunan tiivisteet, karmin ja seinän väliset tiivistykset, sälekaihtimen säätimen läpivienti.
- ovissa – oven tiiviste, kynnyksen alus, karmin ja seinän välinen tiivistys, oven karmin ja oven puitteiden tiivisteet.

- seinät ja seinäliitokset – ulkoseinän ja väliseinän liitoskohta, putkikoteloinnit, seinän ja alapohjan väliset tiivistykset, seinän ja yläpohjan välinen tiivistys, seinän ja välipohjan välinen tiivistys.
- yläpohja – tarkastus- tai muiden luukkujen tiivistykset, höyrynsulkumuovin sauman teippaukset.
- läpiviennit – IV-kanavan tai muiden putkien läpiviennit, IV koneen suljettavan kannen tiiviste.
- sähköasennukset – sähköjohdon läpivientien tiivistykset.

[2.]

## 4 Ilmatiiviys

### 4.1 Ilmatiiviys rakentamisessa

Rakennuksen vaipan tiiviys muodostuu kaikista sen osista ja erityisesti näiden liitoksista. Rakennuksen osia ja liitoksia ovat seinärakenne, yläpohjarakenne, alapohjarakenne, ikkunat, ovet ja läpiviennit. Valvonnan vaikutus rakentamisessa on ratkaiseva tekijä ilmanpitävyyden tuloksen kannalta.

Rakennuksen tiiviys todennetaan rakennusaikana tiiviiden osalta mittauksilla usein valmiista ja puolivalmiista talosta. Rakennusaikaiset tiiviysmittaukset sisältävät usein:

- ilmanvuotoluvun mittaus yli- tai alipainemittauksella
- lämpökuvaus, paikallisten vuotokohtien kartoittamiseksi
- ilmanvaihto- ja ilmalämmitysjärjestelmän, sekä lämmöntalteenoton ja säätöjen tarkastus
- tuuletuksen tehokkuuden mittaukset.

[3, 392]

## 4.2 Ilmatiiviiden rakenteiden toteutus

Ilmatiiviiden rakenteiden toteutuksessa tulee kiinnittää huomiota yksityiskohtien suunnitteluun ja niiden huolelliseen toteutukseen rakentamisvaiheessa. Liitokset ja läpiviennit tulee suunnitella niin, että ne voidaan toteuttaa helposti työmaalla ja liitokset tulee rakentaa niin, että ilmapitävyys säilyy koko rakennuksen elinkaaren ajan. Läpivientien ja liitosten määrä tulee minimoida mahdollisuuksien mukaan. Tiivistyksissä ja liitosten kiinnityksissä tulee käyttää oikeanlaisia tuotteita, joilla on riittävä pitkäaikaiskestävyys, muodonmuutoskyky ja tartuntakyky, ettei ilmanpitävyys heikkene rakenteen ikääntyessä. Ilmasulun tulee olla yhtenäinen, limitysten riittäviä ja tiivistysten asianmukaisia. Rakentamisen aikana tulee valvoa ilmatiiviyteen liittyviä työvaiheita, sekä liitokset ja läpiviennit tarkastaa ennen niiden peittämistä. [3, 388.]

Höyrynsululla on suuri vaikutus tiiviyteen ja sen tuleekin jatkaa ilman vuotokohtia myös seinän ja siihen liittyvien ylä- ja alapohjarakenteiden saumojen yli. Höyrynsulun tulee myös säilyä ehjänä niin valmistuksen, kuin myös käytönkin aikana, eli siihen ei saa aiheuttaa valmistuksessa tai käytössä haitallisia lävistyksiä. Nämä vaatimukset saadaan toteutettua seuraavilla suunnittelu- ja asennusratkaisuilla:

- Höyrynsulkukalvot tulee limittää saumakohdiltaan riittävästi, yleensä yli yhden koolausvälin matkalta.
- Höyrynsulkukalvojen saumat tulee tiivistää koko sauman pituudelta sopivilla materiaaleilla.
- Saumat varmistetaan kalvot yhteen puristavalla soirolla tai listalla.
- Läpiviennit keskitetään ja ne tiivistetään huolellisesti soveltuvilla materiaaleilla.
- Höyrynsulkukalvot sijoitetaan seinärakenteeseen niin, että johto- ja putkiasennukset saadaan asennettua kalvon sisäpuolelle, ilman että kalvoa tarvitsisi lävistää.

[3, 388.]

## 4.3 Kosteus

Tiivis vaippa varmistaa rakennuksen rakennusfysikaalisen toimivuuden lämpö- ja kosteusteknisesti, sillä se estää kostean sisäilman virtaamisen rakenteisiin ja ettei kylmä ulkoilma pääse jäädyttämään rakennetta. Nämä saattaisivat aiheuttaa materiaalikerrosten välisiin pintoihin otolliset olosuhteet homeen kasvuille tai kosteuden tiivistymistä rakenteen sisälle. [3, 385.]

## 4.4 Energiankulutus

Vuotoilmalla on suuri vaikutus lämmöntarpeeseen. Passiivitalon tiiviydellä n<sub>50</sub>=0,6 tilojen lämmitysenergiatarve on pelkästään tiiviyserojen takia laskennallisesti 25% pienempi kuin normitalon 2008 tiiviydellä n<sub>50</sub>=4. [3, 385.]

Rakennuksen vuotoilman lämmitykseen tarvittavan energian määrän laskemiseen tarvitaan lähtötietoina q50-luku, vaipan ala, paikkakunnan lämmitystarveluku (aiemmin käytetty termi: astepäiväluku) ja tarkastelujakson pituus. Laskelmiin tarvittavat kaavat löytyvät Suomen Rakentamismääräyskokoelman osasta D3 2012.

Ilmanvuotokohtien kautta virtaavan vuotoilman lämmittämiseksi tarvittavan energian määrä lasketaan seuraavasti: [4.]

$Q_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} * (T_s - T_u) * \Delta_t / 1000$
<p><math>Q_{\text{vuotoilma}}</math> = vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia [kWh]  <math>H_{\text{vuotoilma}}</math> = vuotoilman ominaislämpöväiö [W/K]  <math>T_s</math> = sisäilman lämpötila [°C]  <math>T_u</math> = ulkoilman lämpötila [°C]  <math>\Delta_t</math> = ajanjakson pituus [h]  1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi</p>

Laskelmassa vähennyslaskun  $T_s - T_u$  tilalle sijoitetaan käytettävä lämmitystarveluku. Paikkakuntakohtaiset lämmitystarveluvut löytyvät muun muassa Ilmatieteenlaitoksen verkkosivuilta ja ne on myös taulukoitu Rakentamismääräyskokoelman osaan D3 2012.

Vuotoilman ominaislämpöväiö voidaan laskea seuraavalla kaavalla: [4.]

$H_{\text{vuotoilma}} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,\text{vuotoilma}}$
<p><math>H_{\text{vuotoilma}}</math> = vuotoilman ominaislämpöväiö [W/K]  <math>\rho_i</math> = ilman tiheys [1,2kg/m<sup>3</sup>]  <math>c_{pi}</math> = ilman ominaislämpökapasiteetti [1000Ws/kgK]  <math>q_{v,\text{vuotoilma}}</math> = vuotoilmavirta [m<sup>3</sup>/s]</p>

Vuotoilmavirta voidaan laskea seuraavalla kaavalla: [4.]

$q_{v,\text{vuotoilma}} = q_{50} / (3600 * X) * A_{\text{vaippa}}$
<p><math>q_{v,\text{vuotoilma}}</math> = vuotoilmavirta [m<sup>3</sup>/s]  <math>q_{50}</math> = rakennusvaipan ilmanvuotoluku [m<sup>3</sup>/(h*m<sup>2</sup>)]  <math>A_{\text{vaippa}}</math> = rakennusvaipan pinta-ala [m<sup>2</sup>]  3600 = kerroin, jolla ilmavirta muutetaan yksiköstä m<sup>3</sup>/h yksikköön m<sup>3</sup>/s  X = kerroin, joka muuttaa 50 Pa:n paine-erolla tapahtuvan vuodon määrän vastaamaan normaalissa paine-erossa tapahtuvaa vuotoa.  Kerroin on 1-kerroksisille rakennuksille 35, 2-kerroksisille 24,  3-4 kerroksisille 20 ja 5 tai yli 5 kerroksisille rakennuksille 15</p>

Tiiviuden vaikutus energiankulutukseen voidaan nyt laskea kohteeseen. Joensuussa sijaitseva Lighthouse on 14-kerroksinen rakennus, jonka huoneiston keskimääräinen pinta-ala on 32 m<sup>2</sup>, vaipan pinta-ala 128,3 m<sup>2</sup> ja ilmatilavuus 90,7 m<sup>3</sup>. Joensuun astepäiväluku koko vuodelle on 4 984. [13] Vertailun vuoksi lasketaan ensin ilmanvuotoluvulla 4,0 ja verrataan ilmanvuotoluvun vaatimusravoon 0,6. Energian hintana käytetään 0,07 €/kWh. Laskennassa käytetään edellä mainittuja kaavoja.

Vuotoilma lasketaan seuraavasti:

$$qv, \text{vuotoilma [m}^3/\text{s]} = 4 / (3600 * 15) * 128,3 \text{ m}^2 = 0,0095 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vuotoilman ominaislämpöäviö:

$$H\text{vuotoilma [W/K]} = 1,2 \text{ kg/m}^3 * 1000 \text{ Ws/(kgK)} * 0,0095 \text{ m}^3/\text{s} = 11,4 \text{ W/K}$$

Näillä arvoilla saa laskettua vuotoilman lämmitykseen tarvittavan energian:

$$Q\text{vuotoilma [kWh]} = 24,96 \text{ W/K} * 4984 * 24\text{h} / 1000 = 1364 \text{ kWh}$$

Keskimääräisen huoneiston vuotoilman lämmittämiseen kuluisi siis vuodessa:

$$1364 \text{ kWh} * 0,07 \text{ €/kWh} = 95,5\text{€}$$

[5, 19.]

Rakennuksen tiiviysvaatimukseksi oli asetettu 0,6. Jos vaadittuun tiiveyteen päästäisi, aiemman laskelman mukaisesti keskimääräisen huoneiston vuotoilman lämmitykseen kuluisi 204,7 kWh. Euroissa tämä tarkoittaisi 14,3 euroa, per huoneisto.

Summat alkavat kuulostaa suuremmilta vasta, kun ne kerrotaan koko talon huoneistojen määrällä, joka on 117 kpl. Huonommalla, 4,0 tiiviysluvulla vuotoilman lämmitykseen siis kuluisi 11 173 euroa ja paremmalla, 0,6 luvulla 1 673 euroa, säästöä muodostuu siis 9 500 euroa joka vuosi. Energiaakin säästyy 135 720 kWh.

#### 4.5 Vaikutus asumismukavuuteen

Vaipan tiiviys estää alipaineisen, ulkoa sisään suuntautuvan ilmavirtauksen ja sen mukana vaipparakenteesta, ulkoilmasta ja maaperästä tulevat homeet, pöly, mikrobit ja radon. Ulkoa sisään suuntautuva kylmä ilmavirta aiheuttaa myös asukkaalle vedon tunnetta ja voi lisätä terveyshaittariskejä. Tiiveys parantaa myös paloturvallisuutta sekä haju- ja ääniolosuhteita. [2, 3]

Tiivis vaipparakenne myös auttaa lämpötilan pysymistä tasaisena sisätiloissa, mikä vähentää asukkaan vedon tunnetta. Suorien ilmanvuotoreittien jäädessä pois ilman liike tilassa vähenee, eikä vetoa pääse muodostumaan. Alapohjan kautta sisälle tuleva ilma tuo mukanaan maaperän epäpuhtauksia ja mahdollisesti radon kaasuja. Oikein rakennettu radonputkisto perustuksissa estää kaasun pääsemisen sisälle, kun alapohjarakenteet on rakennettu tiiviiksi. Seinien ja yläpohjan läpi kulkeutuva ilma tuo mukanaan epäpuhtaudet, jotka ovat ilmassa.

Ilman epäpuhtauksien määrä vaihtelee rakennuksen sijainnin mukaan. Kaupunkialueilla epäpuhtauksien määrä on huomattavasti suurempi, kuin harvaan asutuilla alueilla. [5.]

#### 4.6 Asuinrakennuksen ilmanpitävyys

Rakennuksessa tulee vallita lievä alipaine ulkoilmaan nähden rakennusfysikaalisista syistä. Ylipaineisissa tiloissa sisäilman kosteus saattaa päästä kondensoitumaan rakenteen sisälle. Alipaineen ja höyrinsulun yhteistoiminta varmistaa, ettei kostean sisäilman vesihöyry pääse tunkeutumaan rakenteisiin. Erityisesti kylminä vuodenaikoina lämpimän sisäilman absoluuttinen kosteus on huomattavasti korkeampi, kuin ulkoilman. [5.]

Jotta sisäilma ei pääsisi seinärakenteeseen, asennetaan seinän sisäpuolelle vesihöyryä läpäisemätön kalvo, eli höyrinsulku, tai ilmansulku, jos halutaan rakenteen olevan ilmatiivis, mutta vesihöyryä läpäisevä. Massiivirakenteet, kuten CLT ja LVL, muodostavat itsessään höyrinsulkukerroksen, kun niiden saumat ja liitokset ovat toteutettu tiiviisti. [12] Eristepaksuuksien kasvaessa on höyrinsulun tiiviys tärkeää, ettei sisäilman kostea ilma pääse kondensoitumaan seinärakenteessa.

#### 4.7 Paine-erot

Rakennuksen sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero muodostuu savupiippuvaikutuksesta, tuulesta ja ilmanvaihtojärjestelmästä. Normaalioloissa rakennuksessa ei esiinny 50 Pa:n paine-eroja. Koneellisella ilmanvaihdolla tilat pyritään tasapainottamaan niin, ettei alipaine ulkoilmaan verrattuna ole enempää kuin 10 Pa. Rakennukset pidetään alipaineisina, ettei sisäilman sisältämä vesihöyry pääse virtaamaan mahdollisten vuotokohtien läpi ja tiivistymään rakenteisiin. [5.]

#### 4.8 Savupiippuilmiö

Savupiippuilmiöksi kutsutaan tilannetta, jossa lämpimämpi ilma nousee ylöspäin ja aiheuttaa rakennuksen yläosaan ylipaineen. Savupiippuilmiö aiheuttaa tilanteen, jossa rakennukseen virtaa kylmää ilmaa rakennuksen alaosaan ja lämmin ilma virtaa ulos yläosaan. Rakennuksen korkeuden sekä ulko- ja sisäpuolen lämpötilaerojen kasvaessa savupiippuilmiö korostuu.

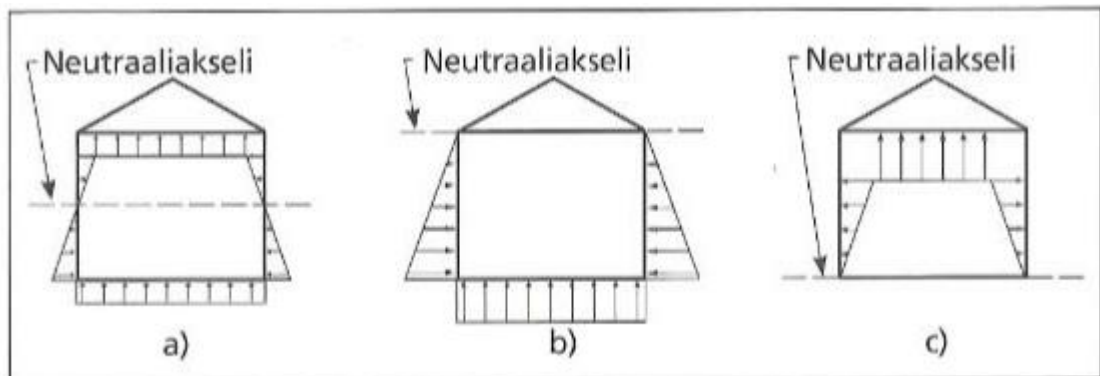
Savupiippuilmiön aiheuttamat paine-erot saadaan laskettua kaavalla: [5, 9]

$\Delta p = 0,043 \cdot \Delta t \cdot h$
<p><math>\Delta p</math> = paine-ero pascaleina  <math>\Delta t</math> = <math>t_s - t_u</math> (°C) (sisälämpötila-ulkolämpötila)  <math>h</math> = etäisyys neutraaliakselista</p>



Neutraaliakselin sijainti riippuu siitä, ovatko rakennuksen ilmanvuotokohdat jakautuneet tasaisesti, rakennuksen yläosaan vai rakennuksen alaosaan (kuva 3).

Painovoimainen ilmanvaihto toimii savupiippuilmion takia.



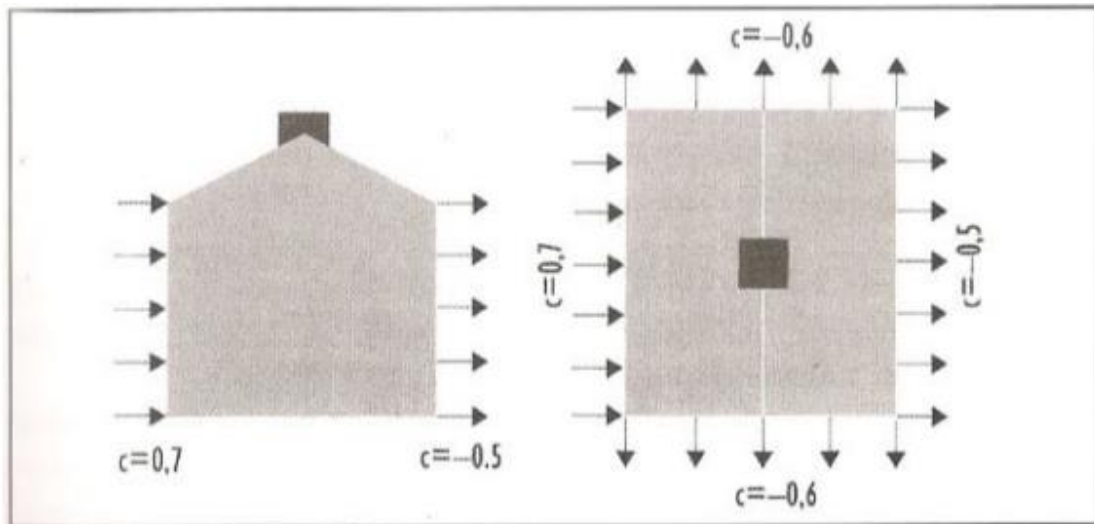
Kuva 3. Neutraaliakselin sijainti, kun a) vaipan ilmanvuotokohdat ovat tasaisesti jakautuneet, b) ilmanvuotokohdat ovat rakennuksen yläosissa, c) ilmanvuotokohdat sijaitsevat rakennuksen alaosissa. [5, 10.]

#### 4.9 Tuulen aiheuttama paine-ero

Rakennuksen muoto, sijainti ja tuulen voimakkuus vaikuttavat sisä- ja ulkoilman paine-eroihin. Tuulenpuoleisilla rakennuksen sivuilla vallitsee ylipaine, kun taas suojaisilla sivuilla alipaine (kuva 4).

Tuulen aiheuttamat paine-erot lisäävät vaipan läpi tapahtuvaa kosteuden ja lämmön siirtymistä. Rakennukseen vaikuttavaa tuulenpaineKenttää on hankala määrittää tarkasti. Tuulen yleisesti aiheuttamaa painetta voidaan kuitenkin arvioida yleisellä tasolla käyttäen kaavaa [5, 10]:

$P=c*1/2*\rho v^2$
P = Tuulen aiheuttama paine [Pa]
c = Rakennuksen muodosta ja tuulen suunnasta riippuva vakio [Kuva]
$\rho$ = Ulkoilman tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]
v = Tuulen nopeus [m/s]



Kuva 4. Pelkistetyin rakenteen muotokertoimet, joita tarvitaan tuulen aiheuttaman paineen laskemiseen [5, 11.]

## 5 Ilmanvuotoluvut

### 5.1 q<sub>50</sub>-luku

Tiivysmittauksesta saadaan tulokseksi rakennuksen ilmanvuotoluku q<sub>50</sub>, joka kertoo vuotoilmamäärän suhteutettuna rakennusvaipan pinta-alaan (alapohja, seinät ja yläpohja). Mitä pienempi ilmanvuotoluku, sitä parempi ilmatiiviys. q<sub>50</sub>-luku kertoo kuinka monta kuutiota (m<sup>3</sup>) ilmaa vuotaa yhden ulkovaippaneliön (m<sup>2</sup>) läpi tunnissa (h), kun paine-ero on 50 Pascalia. Todellinen vuotoilmamäärä normaalitilassa on pienempi, sillä normaali paine-ero on luokkaa 0-10 Pascalia. [2, 3]

q<sub>50</sub>-luku saadaan laskettua seuraavasta kaavasta: [4]

$q_{50} = Q_{50} / A$
q <sub>50</sub> = rakennuksen ilmanvuotoluku 50 pascalin paine-erolla [m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> )]
Q <sub>50</sub> = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 pascalin paine-erolla [m <sup>3</sup> /h]
A = rakennuksen mitattavan osan vaipan ala [m <sup>2</sup> ]

## 5.2 n50-luku

n50-lukua on aiemmin käytetty q50-luvun sijaan ja ne kertovat samaa asiaa, mutta ilmavuotoja verrataan ulkovaipan neliöiden sijaan rakennuksen ilmatilavuuteen.

n50-luku lasketaan seuraavalla kaavalla:

$n_{50} = Q_{50} / V$
$n_{50}$ = rakennuksen ilmanvuotoluku 50 pascalin paine-erolla [l/h]
$Q_{50}$ = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 pascalin paine-erolla [ $m^3/h$ ]
$V$ = rakennuksen mitattavan osan sisätilavuus [ $m^3$ ]

[4]

## 5.3 Ilmanvuotoluvun mittaaminen

Tiiviysmittaus tehdään koko rakennukseen, tai mittaukseen otetaan mukaan vähintään 75 % bruttoalasta. Asuinkerrostaloissa ja rivitaloissa mittaus tulee tehdä vähintään 20 %:ssa huoneistojen lukumäärästä. Jos tiiviysmittaus suoritetaan huoneistokohtaisesti, tulee mitattavien huoneistojen sijaita eri puolilla taloa ja eri kerroksissa. Koko talon ilmanvuotoluku huoneistokohtaisessa ilmatiiviuden mittauksessa määräytyy tulosten keskiarvona. Ilmanvuotoluvun mittauksesta toimitetaan tilaajalle aina kirjallinen raportti. [3.]

Rakennuksen tai sen osien tiiviiden mittaus suoritetaan paine-eromenetelmällä, jossa tutkittavaan rakennukseen aiheutetaan paine-ero ulkoilmaan nähden. Puhallin, jolla paine-ero saadaan aikaiseksi, asennetaan ulko-oven tai ikkunan tuuletusluukun paikalle. [4.] Omissa mittauksissani asensin puhaltimen huoneiston ulko-oveen.

# 6 Tiiviysmittaus

## 6.1 Lähtötiedot

Pääsin projektipankkiin tarkastelemaan ajantasaisia pohjapiirustuksia, leikkauspiirustuksia ja rakennetyyppejä. Ennen kohteelle menoa perehdyin kohteen pohjapiirustuksiin, laskin huoneistojen vaipan pinta-alat ja tilavuudet pohjapiirustuksista, kohteessa vielä mittasin ja laskin nämä uudelleen. Työmaalle saavuttuani mittasin ulko- ja sisälämpötilat ja tarkastin ilmanpaineen sekä tuulennopeuden Ilmatieteenlaitoksen verkkosivuilta mittausta varten. Sääasema oli Joensuun Linnunlahdella.

## 6.2 Mittausmenetelmä

Mittaukset suoritettiin eurooppalaisen standardin EN ISO 9972:2015 mukaisesti, joka on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi. Standardi määrittelee tarkasti mittauslaitteiston vaatimukset, painemittarin tulee pystyä mittaamaan paine  $\pm 1$  Pa tarkkuudella 0 ja 100 Pa välillä. Ilmavirran tulee olla mitattavissa  $\pm 7$  % tarkkuudella ja lukema tulee korjata ilman tiheyden mukaan. Lämpötila tulee olla mitattavissa  $\pm 0,5$  °C tarkkuudella ja rakennuksen vaippa ja tilavuus tulee mitata.

Mittauksen voi suorittaa joko yli- tai alipaineistamalla rakennuksen tai sen osan. Tarkoitukselliset aukot vaipassa tulee tukkia, kuten ikkunat, ovet ja ilmanvaihto. Mittausta varten vaaditaan sisä- ja ulkolämpötila sekä tuulennopeus. Ideaalitulanteessa sisä- ja ulkolämpötiloissa ei ole suurta eroa ja tuulennopeus on pieni.

Standardin mukaan tuulennopeudelle on määritettävä arvo yhden ja 12 väliltä käyttäen boforiasteikkoa, jossa 0 on tyyni ja 12 hurrikaani. Standardi suosittaa tekemään kahdet mittaukset, yli- ja alipaineessa, mutta mittaukset voi suorittaa tekemällä vain toisen näistä ja silti täyttää standardin vaatimukset.

Standardissa ohjeistetaan tulosten raportoinnissa ja mitä tietoja siellä vähintään tulee olla.

Raportissa tulee esiintyä:

- kaikki tarpeelliset tiedot kohteesta, kuten osoite, huoneiston numero ja rakennusvuosi.
- viittaus kansainväliseen standardiin ISO 9972
- testausmenetelmä, yli-, alipaineistus vai molemmat
- mittauskohde
  - kuvaus rakennuksen osista, joita mitataan
  - sisätilavuus
  - mittausdokumentti
  - vaipan aukkojen tila, auki, kiinni, suljettu
  - kuvaus väliaikaisesti suljetuista aukoista ja kuinka ne on suljettu
  - mekaanisen ilmanvaihdon tiivistyksen sijainti
  - millainen lämmitys, tuuletus ja ilmanvaihtojärjestelmä kohteessa on
- laitteisto ja menetelmät
- testidata
- testin päivämäärä.

[1.]

### 6.3 Mittaajan vaatimukset

Mittaajalle ei ole standardissa vaatimuksia, mutta mittaajalla tulee olla riittävä rakennusfysiikan osaaminen lämpö-, kosteus- ja virtaustekniikasta. Mittaajan tulee tuntea mittalaitteet ja erilaiset rakenteet, hän osaa myös laatia selkeän mittausraportin johtopäätöksineen. Rakennusten tiiviiden mittaaja voi hakea sertifiikaattia käymällä koulutuksessa ja täyttämällä pohjakoulutus- ja työkokemusvaatimukset osoittaakseen pätevyytensä. Rakennusten tiiveysmittaajan henkilösertifiointikoulutuksia järjestää Rakennusteollisuuden koulutuskeskus Rateko, Taitotalo ja TTS. Sertifikaatin myöntää Eurofins Expert Services Oy. [8.]

Tiiviiden mittaajan koulutus sisältää muun muassa tiivistettäviin rakenteisiin liittyvät lait, määräykset ja ohjeet. Rakennusfysiikkaa, lämpö- ja kosteustekniikan perusteet, rakennetekniikkaa, raportointia, mittalaitteet ja sopimusasiakirjat.

Rakennusten tiiviiden mittaajan näyttö osoitetaan henkilökohtaisella näyttötyöllä todellisesta tiivysmittauskohteesta, josta laaditaan kirjallinen raportti raportointiohjeen mukaan. Näyttötyö sisältää kirjallisen raportin, joka arvioidaan asteikolla hyväksytty tai hylätty. [8.]

### 6.4 Mittauskalusto

Mittaus suoritettiin Blowerdoor-mittauslaitteistolla. Laitteistoon kuuluu ovipuhallin, ovikehikko, paine-eromittari, puhaltimen ohjauslaite ja tietokone, jossa on ohjelma mittauksen suorittamiseksi. Mukana oli myös laseretäisyysmittari, lämpömittari, palloja, teippiä ja muovia tarkoituksellisten ilmanvaihtoreittien tukkimiseen. Jos mitattaessa olisi käytetty lämpökameraa vuotokohtien paikannukseen, mukana olisi pitänyt olla myös ilmankosteusmittari. Tiivysmittauksessa käytettävät mittalaitteet tulee olla kalibroitu asianmukaisesti ja mittausraportissa tulee ilmoittaa niiden sarjanumerot. Tarvittaessa kalibroitodistus on esitettävä tilaajalle. Käyttämäni mittauslaitteiston kalibrointi oli suoritettu 3.11.2017.

Ohjelmaan syötetään kohteen mittatiedot, lämpötilat ja ilmakehän paine. Ohjelma suorittaa mittauksen automaattisesti, säätää puhaltimen tehon ja tarkkailee samanaikaisesti rakennuksen painetta puhaltimen molemmin puolin, sekä mittaa puhaltimen läpi kulkevan ilman määrän. Ohjelma korjaa arvoja automaattisesti lämpötilojen ja ulkopuolella vallitsevan paineen suhteen.

Tarvittavan ilmamäärän voi laskea muutaman ennakkotiedon avulla ja näin voi valita kohteeseen sopivan puhaltimen. Usein seuraavia kaavoja tarvitaan vain suurempien kohteiden mittauksissa, jotka vaativat useita puhaltimia. Pientaloja mitattaessa vaadittua ilmamäärää ei tarvitse laskea, koska niiden ilmatilavuudet ovat usein vain muutaman sadan kuution luokkaa.

$Q_{\text{ilmamäärä}} = n_{50, \text{arvioitu}} * V$
$Q_{\text{ilmamäärä}}$ = tarvittava ilmamäärä [ $\text{m}^3$ ]
$n_{50, \text{arvioitu}}$ = kohteen arvioitu ilmanvuotoluku [l/h]
$V$ = kohteen tilavuus [ $\text{m}^3$ ]

$Q_{\text{ilmamäärä}} = q_{50, \text{arvioitu}} * A_{\text{vaippa}}$
$Q_{\text{ilmamäärä}}$ = tarvittava ilmamäärä [ $\text{m}^3$ ]
$q_{50, \text{arvioitu}}$ = kohteen arvioitu ilmanvuotoluku [ $\text{m}^3/(\text{h} * \text{m}^2)$ ]
$A_{\text{vaippa}}$ = kohteen vaipan ala [ $\text{m}^2$ ]

[4.]

Mitattavasta kohteesta tulee tietää joko vaipan ala tai tilavuus. Kun tiedossa on tilavuus, ilmanvuotoluvun tulee olla muodossa  $n_{50}$ .  $q_{50}$ -luvun voi muuttaa  $n_{50}$ -luvuksi kaavalla:

$n_{50} = q_{50} * (A_E / V)$
$n_{50}$ = ilmanvuotoluku [l/h]
$q_{50}$ = ilmanvuotoluku [ $\text{m}^3/(\text{h} * \text{m}^2)$ ]
$A_E$ = vaipan ala sisämittojen mukaan laskettuna [ $\text{m}^2$ ]
$V$ = rakennuksen tilavuus [ $\text{m}^3$ ]

[4.]

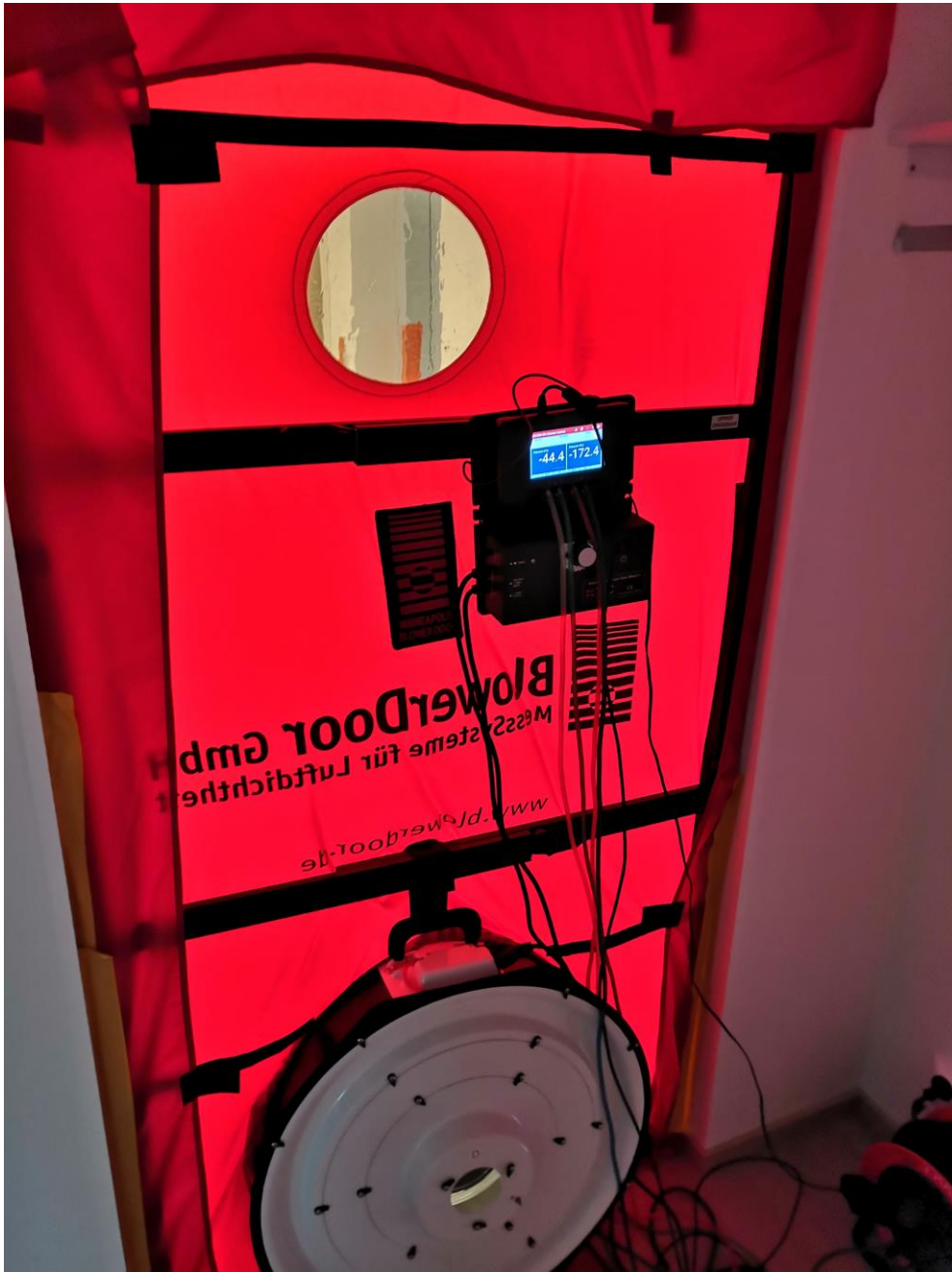
## 6.5 Valmistelut mittauksia varten

Aloitin Blowerdoor mittauslaitteiston (kuva 5) kiinnittämällä ulko-oveen ja tarkastamalla kehikon tiiviiden. Ennen mittauksia kaikki rakennuksen kanavat ulos tukitaan muovilla, teippaamalla tai palloilla. Ikkunat ja ovet suljetaan, sekä ilmanvaihtokone sammutetaan. Ennen mittauksia alipaineistin huoneiston ja tutkin että tiivistetyt paikat olivat oikeasti tiiviitä.

Läpivientien tarkastuksen jälkeen syötin Tectite-tietokoneohjelmaan lähtötiedot. Ohjelma vaatii kohteen laajuustiedot (taulukko 1), ulkoilman lämpötilan, ilmanpaineen, tuulen nopeuden, lämpötilan sisä- ja ulkoilmasta ja sulkurenkaan koon. Ohjelma pyytää vaihtamaan sulkurenkaan, jos käytössä olevalla sulkurenkaalla ei saada vaadittua paine-eroa aikaiseksi. Puhaltimen useilla erikokoisilla sulkurenkailla voidaan pienentää puhaltimen otsapinta-alaa, jonka ansiosta puhallin soveltuu niin pienten ja tiiviiden kohteiden mittauksiin, kuin isompien talojenkin.

Kohteen laajuustiedot			
Huoneis- to	Huoneis- toala m <sup>2</sup>	vaipan pinta-ala m <sup>2</sup>	Ilmatila- vuus m <sup>3</sup>
10	47,5	169	126
11	27,5	115,2	73,7
19	48,5	170	127,4
20	28	115	73,6
22	26,5	98,4	69,2
23	32	124	85
24	26,5	106,8	80

Taulukko 1. Kohteen laajuustiedot



Kuva 5. Blowerdoor mittauslaitteisto asennettuna ovikehikkoon.



## 6.6 Sääolosuhteet mittaushetkellä

Suoritin mittauksia kahtena eri päivänä, 10.6.2019 ja 13.8.2019.

Mittauspaikalla sisälämpötilan mittasin jokaisessa huoneistossa ennen painekoetta Vaisala HM40 -mittarilla (kuva 6) ja tuulisuuden, ulkolämpötilan, sekä ilmanpaineen tarkastin Ilmatieteenlaitoksen verkkosivuilta (taulukko 2).



Kuva 6. Vaisala HM40 kosteus- ja lämpötilamittari

Säätiedot mittaushetkellä		
10.6.2019		
sisälämpötila	27,3	°C
ulkolämpötila	20	°C
tuuli	1,6 - 3,3	m/s
paine-ero	-1,9	Pa
ilmanpaine	101,3	kPa
13.8.2019		
sisälämpötila	23	°C
ulkolämpötila	17	°C
tuuli	1,6 - 3,3	m/s
paine-ero	-0,1	Pa
ilmanpaine	101,3	kPa

Taulukko 2. Säätiedot mittaushetkellä

## 6.7 Mittausten toteutus

Mittauksia kohteessa kertyi seitsemän kappaletta mahdollisimman erilaisissa ja eriarvoisissa tiloissa. Käytännössä tämä eriarvoisuus tarkoittaa, että valitsin mahdollisimman erikokoisia asuntoja eri kerroksista ja eri puolilta rakennusta, esimerkiksi huoneistoja, jotka sijaitsevat rakennuksen nurkassa ja keskellä taloa. Huoneistoissa havaitsin vain pieniä vuotoja aistinvaraisesti ja merkkisavuja apunani käyttäen. Vuodot havaitsi vain erittäin läheltä (kuvat 7 ja 8).



Kuva 7. Sälekaihtimen säätimen läpivientiaukko, josta tuntui pientä vuotoa.



Kuva 8. Pientä ilmavuotoa tuntui myös pistorasian läpiviennissä.

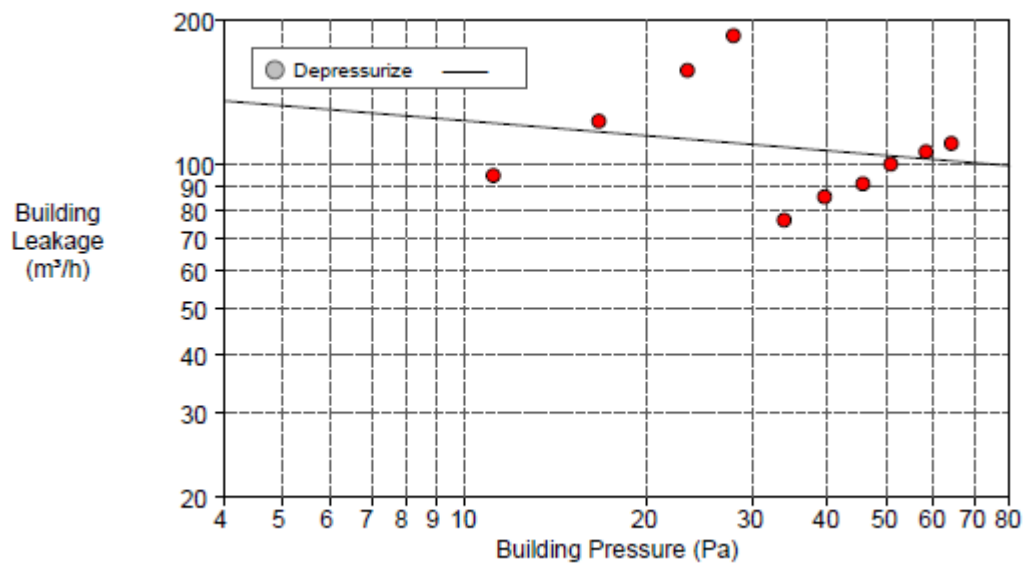
## 6.8 Tiiviysmittaukset

Ensimmäisen tiiviysmittauksen kohteella suoritin 10.6.2019, huoneistoissa 10 ja 11. Tiiviysmittaus tehtiin standardin EN ISO 9972:2015. Huoneistoista tulpattiin viemärit ja IV-kanavat. Testissä huoneistoon ajettiin 64, 58, 52, 46, 40, 34, 28, 22, 16 ja 10 Pascalin alipaineet. Tulokseksi saadut q50-luvut ovat esitettynä oheisessa taulukossa 3.

MITTAUSTULOKSET q50	
10	0,86
11	0,4
19	0,33
20	0,87
22	0,59
23	0,66
24	1,12

Taulukko 3. mittaustulokset

Toisen tiiviysmittauksen suoritin kohteella 13.8.2019, tällä kertaa huoneistoissa 19, 20, 22, 23 ja 24. Viemärit ja IV-kanavat tulpattiin kuten edelliselläkin mittauskerralla. Suorittaessani mittauksia huomasin pienimmän E sulkurenkaan puuttuvan. Kyseistä sulkurengasta tarvitaan usein pienissä ja tiiviissä asunnoissa, koska isommilla sulkurenkailla tulee vaikeuksia pitää paine tasaisena pienemmissä alipaineissa. Lukuisista soitteluista ja etsinnöistä huolimatta sulkurengasta ei löytynyt ja päätin suorittaa mittaukset siitä huolimatta loppuun. Päivän mittauksien tulokset vastasivat tiiviydeltään aiempien mittausten tuloksia lukuun ottamatta kahta pienempää huoneistoa. Huoneistot 20 ja 24 olisivat tarvinneet pienimmän sulkurenkaan tiiviyyden tarkkaan mittaukseen. Erona mittauksissa on suuret virheprosentit tietokoneen tulosteissa, joka aiheutuu suurista heitoista pienempiä alipaineita mitattaessa, kuten seuraavasta kuvasta 9 voi huomata. Kahta eniten poikkeavaa en ota huomioon keskiarvoa laskiessani virheellisten mittaustuloksien vuoksi.



Kuva 9. Huoneiston 20 graafi.

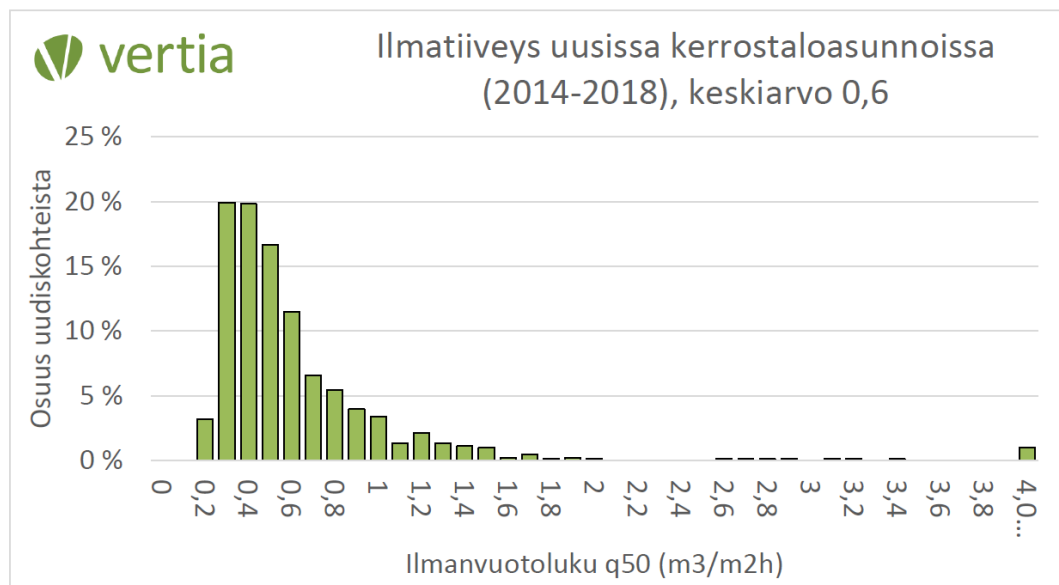
Mittauksien tulokset on esitetty aiemmassa taulukossa 3.

Keskiarvoksi kaikkien mittausten  $q_{50}$  luvusta tulee  $0,69\text{m}^3/\text{hm}^2$  ja huomioimatta kahta eniten poikkeavaa  $0,568\text{m}^3/\text{hm}^2$ .

## 7 Johtopäätökset

### 7.1 Tiiviysvaatimus

Kohteessa tavoitteena oli saavuttaa vähintään taso  $q_{50} < 0,6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ . Mittauksiini keskiarvoksi, kuten edellä mainittu, tuli  $0,568 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , joten vaadittuun tiiviyteen päästiin. Tiiviyden on yleisesti hyvällä tasolla, verraten uusien kerrostalojen tiiviyden keskiarvoon (kuva 10).



Otos 914 uutta kerrostaloasuntoa (asuntokohtaisesti mitattu)  
 Keskiarvo ( $q_{50}$ ) 0,63 (m<sup>3</sup>/h\*m<sup>2</sup>)

Kuva 10. Uusien kerrostaloasuntojen ilmatiiviydenmittauksen tuloksia [2]

### 7.2 Tiiviyden saavuttaminen

Rakennuksen vaipan tiiviyden muodostuu vaipan kaikista osista ja näiden liitoksista. Kohteen hyvään tiiviyteen on päästy huolellisesti valituilla rakennetyypeillä ja liitosten toteutuksella. Kohteen massiivipuurakenteet toimivat jo itsessään höyrynsulkuna, joten tiiviyden saavuttamisessa korostuu liitosten suunnittelu ja toteutus.

Kohteessa on käytetty ylä- ja välipohjissa CLT-massiivirakenteita ja kantavat ulkoseinät muodostuvat LVL-massiivielementeistä. CLT, kuten myös LVL, ovat erittäin tiiviitä rakennusmateriaaleja. Koska CLT muodostuu vähintään kolmen lamellikerroksen muodostamasta kerrosrakenteesta, rakennus, joka on toteutettu CLT:llä, ei välttämättä

tarvitse erillistä ilman- tai höyrynsulkukerrosta, mutta läpiviennit ja liitokset tulee kuitenkin tiivistää huolellisesti ja vaipan levyjen saumat tiivistetään aina tiivistysnauhoilla tai tiivistysteipillä niin, että ne säilyttävät tiiviytensä rakenteiden siirtyessä. Massiivielementin levyrakenteen vähentää kylmäsiltojen ja liitosten määrää rakenteessa sekä parantaa tiiviyyttä.

### **7.3 Tuulen vaikutus**

Tuulenpuoleisella julkisivulla tuuli kasvattaa seinäpinnalle aiheutuvaa kokonaispainetta, joka aiheuttaa tälle seinälle sijoitettujen paine-eromittareiden mittaamiin tuloksiin suurempia alipaineita. Suojanpuoleisella ja viereisillä seinillä vaikutus on päinvastainen, joka saattaa kääntää normaalisti alipaineiset tilat ulkoilmaan verrattuna ylipaineisiksi.

Mittaus suoritettiin huoneistojen ulko-ovelta, eli rappukäytävästä. Tässä tilanteessa tuuli ei pääse vaikuttamaan paine-eroihin. Rappukäytävän puolelta mitatessa tulee kuitenkin ottaa huomioon savupiippuilmio.

Paine-eron mittaus suoritetaan noin metrin korkeudelta lattian pinnasta, joka tulee ottaa huomioon savupiippuilmion vaikutuksen laskennassa. Luvun 4.8 kaavalla saadaan laskettua savupiippuilmion aiheuttama maksimipaine-ero yläpohjan kohdalla, joka ensimmäisen mittauksen aikaisilla lämpötilaeroilla oli 6,75 Pascalia, jos ilmanvuotokohdat ovat tasaisesti jakautuneet. Mikäli ilmanvuotokohdat eivät olisi tasaisesti jakautuneet, olisi maksimipaine-ero kaksi kertaa suurempi kuin edellinen, eli 13,5 Pascalia.

## 8 Pohdinta

Selvitin opinnäytetyössäni, kuinka rakennuksen tiiviyttä mitataan ja millaisia vaikutuksia tiiviydellä on asumiseen. Kohteella suoritetuista tiiviysmittauksista saatiin tietoa laadunvalvontaa varten. Mittauksilla selvitettiin myös, oliko jossain huoneistossa ilmapuotoja, jotka voidaan vielä helposti korjata ennen asukkaiden muuttoa. Mittaustulokset lähetettiin työmaan käyttöön. Opinnäytetyössä suoritettavat mittaukset ovat mitattu rakennusvaiheessa ja niitä ei voi suoraan verrata valmiin rakennuksen tiiviystuloksiin. Rakennuksen valmiusaste oli mittausten suoritushetkellä noin 80 %.

Tiiviysmittaus on rakentamisen laadunvalvontamenetelmänä todella hyvä. Ilmanvuotoluku on selkeä mittaustulos, joka kertoo suoraan rakentamisen laadusta, ja se on ammattitaitoisen mittaajan suorittamana luotettava ja tarkka. Menetelmänä tiiviysmittaus on edullinen, ei vie paljoa aikaa, eikä sen suorittamisessa tarvitse kajota rakenteisiin. Mahdollisissa riitatapauksissa puolueettoman tiiviysmittauksen avulla voidaan löytää rakennusvirheitä ja selvittää tilannetta ja vastuita.

Usein tiiviysmittaajan apuna on myös lämpökamera, jolla saa paikannettua vuotokohtat helposti ja vaivattomasti. Lämpökameramittauksen huono puoli on kuitenkin se, ettei sitä voida toteuttaa läpi vuoden, esimerkiksi kesällä sisä- ja ulkolämpötiloissa ei ole tarpeeksi suurta eroa, että kuvaus saataisiin toteutettua.

Rakennusalalla suurin haaste on luultavasti alati kiristyvät aikataulut ja budjetit. Energiatehokasta rakentamista on kuitenkin mahdollista toteuttaa kustannustehokkaasti ja nopeasti, jos kaikki rakentamisen osapuolet sitoutuvat tähän.

Opin opinnäytetyötäni tehdessä, kuinka rakennuksen tiiviys mitataan, niin teoriassa, kuin käytännössäkin. Tietoa kertyi ilmanpitävyyden tärkeydestä ja sen vaikutuksista rakennuksen energiankulutukseen.

## Lähteet

- 1 SFS EN-ISO 9972. 2015. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method.
- 2 Vertia Oy. 2018. Ilmatiiveys ja vuotokohdat uusissa rakennuksissa.
- 3 Sarja, A. 2010. Rakennuksen tiiviys.  
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100301.pdf>. 1.6.2020
- 4 Paloniitty, S. 2020. Tiiviysmittaus. Paloniitty Oy.  
<https://www.paloniitty.fi/tiiviysmittaus/>. 1.11.2020
- 5 Paloniitty Sauli, 2012. Rakennusten tiiviysmittaus.
- 6 Rakentamismääräyskokoelma D5 2012, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta, ohjeet.
- 7 Rakentamismääräyskokoelma D3 2012, Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet.
- 8 Eurofins Expert Services Oy. 2020. Rakennusten tiiviiden mittaaja.  
[https://rakentamisensertifikaatit.fi/sertifikaatit/rakennusten\\_tiiviidenmittaaja](https://rakentamisensertifikaatit.fi/sertifikaatit/rakennusten_tiiviidenmittaaja). 5.6.2020
- 9 Arcadia. 2020. Referenssit/Lighthouse Joensuu  
<https://www.arcadia.fi/referenssit/lighthouse>. 5.6.2020
- 10 RT 80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmapitävyyden laadunvarmistusohje.
- 11 Paloniitty S. 2013. Rakennusten tiiviysmittaus.  
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK130504.pdf>. 5.6.2020
- 12 Celt. 2017. CLT. celt.fi/clt/. 1.12.2020
- 13 Ilmatieteen laitos. 2020. Ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut. 1.12.2020



## BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 10.6.2019 Test File: Untitled

Technician:

Project Number:

Customer:

Building Address:

**Test Results at 50 Pascals:**

q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Airflow)	145 (+/- 5.4 %)
n <sub>50</sub> : 1/h (Air Change Rate)	1.15
qF50 : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Floor Area)	3.04
qE50 : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Envelope Area)	0.86

**Leakage Areas:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0044 (+/- 5.4 %)
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000928
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000261

**Building Leakage Curve:**

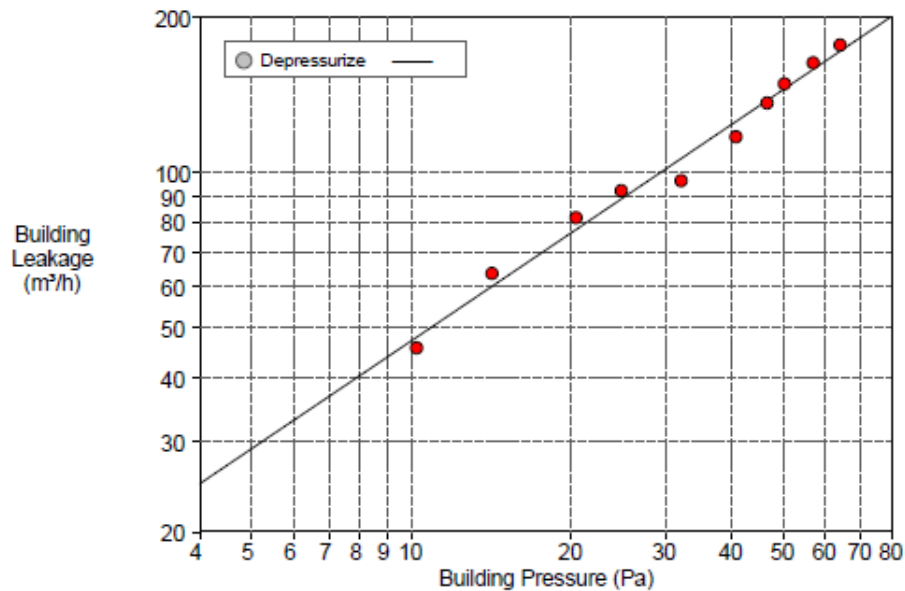
Air Flow Coefficient (C<sub>env</sub>) = 9.4 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 24.8 %)  
 Air Leakage Coefficient (CL) = 9.4 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 24.8 %)  
 Exponent (n) = 0.697 (+/- 0.071)  
 Coefficient of Determination (r<sup>2</sup>) = 0.98460

Test Standard: ISO 9972

Test Mode: Depressurization

Type of Test Method: Method 2 - Test of Building Envelope

Purpose of Test:



## BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4

Date of Test: 10.6.2019 Test File: Untitled

## Building Information

Internal Volume, $V$ (m <sup>3</sup> ) (according to ISO)	128
Net Floor Area, $A_F$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	47.5
Envelope Area, $A_E$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	169
Height (m)	45
Uncertainty of Dimensions (%)	0.1
Year of Construction	
Type of Heating	
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Partly Exposed Building
Wind Class	Gentle Breeze

## Equipment Information

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG1000	939	3.11.2017

## BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4

Date of Test: 10.6.2019 Test File: Untitled

## Depressurization Test:

## Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
23.8	20.0	101325.0

## Baseline Pressure Data

Pre-Test			Post-Test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-1.8	0.0	-1.8	-3.0	0.0	-3.0

## Data Points - Automated Test (TTE 5.0.8.4)

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-1.8	n/a	n/a					
-66.4	-64.0	201.0	178	176	176	2.7	Ring D
-59.3	-58.9	171.8	164	163	163	3.0	Ring D
-52.6	-50.2	142.5	149	148	148	2.2	Ring D
-48.9	-46.5	120.0	137	136	136	-1.1	Ring D
-43.1	-40.7	89.1	118	117	117	-8.5	Ring D
-34.5	-32.1	60.3	97	96	96	-9.4	Ring D
-27.2	-24.8	55.1	93	92	92	3.7	Ring D
-22.8	-20.4	43.4	82	82	82	5.4	Ring D
-16.6	-14.2	26.5	64	64	64	5.9	Ring D
-12.6	-10.2	80.1	46	46	46	-4.7	Ring E
-3.0	n/a	n/a					

## Deviations from Standard ISO 9972 - Test Parameters

None

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 4 of 4**

Date of Test: 10.6.2019 Test File: Untitled

---

**Comments**

None

---

## BUILDING LEAKAGE TEST

---

Date of Test: 10.6.2019    Test File: 11 TEST FILE

Technician: Sampo Myyry

Project Number: 11

Customer:

Building Address: Lighthouse  
11  
Penttiläankulma 2  
Joensuu, Finland 80220

---

**Test Results at 50 Pascals:**

q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Airflow)	46 (+/- 3.1 %)
n <sub>50</sub> : 1/h (Air Change Rate)	0.63
qF <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Floor Area)	1.69
qE <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Envelope Area)	0.40

**Leakage Areas:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0014 (+/- 3.1 %)
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000514
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000123

**Building Leakage Curve:**

Air Flow Coefficient ( $C_{env}$ ) = 2.6 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 30.3 %)  
 Air Leakage Coefficient ( $C_L$ ) = 2.6 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 30.3 %)  
 Exponent (n) = 0.733 (+/- 0.081)  
 Coefficient of Determination (r<sup>2</sup>) = 0.98790

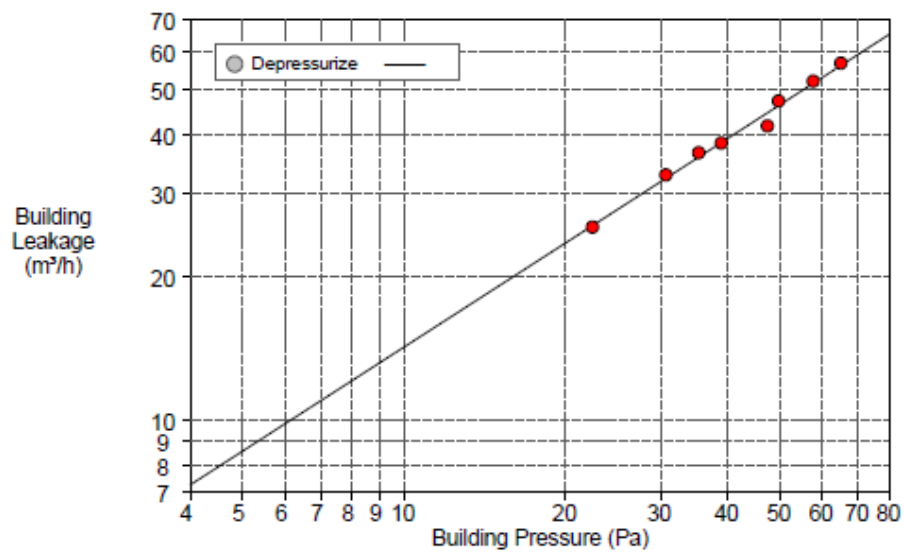
Test Standard: ISO 9972

Test Mode: Depressurization

Type of Test Method: Method 2 - Test of Building Envelope

Purpose of Test:

---



## BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4

Date of Test: 10.6.2019 Test File: 11 TEST FILE

## Building Information

Internal Volume, $V$ (m <sup>3</sup> ) (according to ISO)	73.7
Net Floor Area, $A_F$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	27.5
Envelope Area, $A_E$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	115.2
Height (m)	45
Uncertainty of Dimensions (%)	0.1
Year of Construction	2019
Type of Heating	
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Partly Exposed Building
Wind Class	Gentle Breeze

## Equipment Information

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG1000	939	3.11.2017

## BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4

Date of Test: 10.6.2019 Test File: 11 TEST FILE

## Depressurization Test:

## Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
27.3	20.0	101325.0

## Baseline Pressure Data

Pre-Test			Post-Test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-2.3	0.0	-2.3	-0.7	0.0	-0.7

## Data Points - Automated Test (TTE 5.0.8.4)

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-2.3	n/a	n/a					
-66.4	-64.9	21.4	57	57	57	0.9	Ring D
-59.1	-57.6	18.0	53	52	52	1.1	Ring D
-51.2	-49.7	86.8	48	47	47	2.2	Ring E
-48.9	-47.5	88.7	42	42	42	-8.3	Ring E
-40.4	-38.9	58.5	39	38	38	-0.3	Ring E
-36.8	-35.3	53.3	37	37	37	2.0	Ring E
-32.2	-30.7	43.3	33	33	33	1.5	Ring E
-23.9	-22.4	26.5	26	26	26	-0.8	Ring E
-0.7	n/a	n/a					

## Deviations from Standard ISO 9972 - Test Parameters

- The minimum pressure is not within +/- 3Pa of the greater of 10 Pa or (5 \* zero-flow pressure  $\Delta p_{01}$ ).

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 4 of 4**

Date of Test: 10.6.2019 Test File: 11 TEST FILE

---

**Comments**

None

---



## BUILDING LEAKAGE TEST

---

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS19 test file

Technician: Sampo Myyry

Project Number: AS19

Customer: Opiskelija asunnot Oy  
Joensuun Elli  
Penttiläntulma 2  
80220 Joensuu

Building Address: 4 krs

Phone:  
Fax:

---

**Test Results at 10 Pascals:**

q<sub>10</sub> : m<sup>3</sup>/h (Airflow) 56 (+/- 91.4 %)

n<sub>10</sub> : 1/h (Air Change Rate) 0.44

qF<sub>10</sub> : m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup> Floor Area) 1.16

qE<sub>10</sub> : m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup> Envelope Area) 0.33

**Leakage Areas:**

ELA<sub>10</sub> : m<sup>2</sup> 0.0038 (+/- 91.4 %)

ELA<sub>F10</sub> : m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> 0.0000794

ELA<sub>E10</sub> : m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> 0.0000226

**Building Leakage Curve:**

Air Flow Coefficient (C<sub>env</sub>) = 17.5 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 242.4 %)

Air Leakage Coefficient (C<sub>L</sub>) = 17.6 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 242.4 %)

Exponent (n) = 0.507 (+/- 0.666)

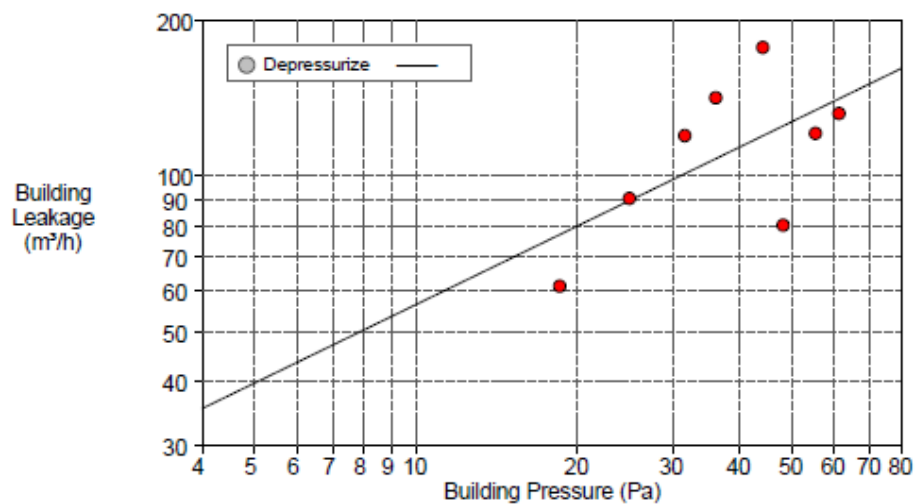
Coefficient of Determination (r<sup>2</sup>) = 0.36604

Test Standard: ISO 9972

Test Mode: Depressurization

Type of Test Method: Method 1 - Test of Building in use

Purpose of Test:



## BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS19 test file

## Building Information

Internal Volume, $V$ (m <sup>3</sup> ) (according to ISO)	127.37
Net Floor Area, $A_F$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	48.5
Envelope Area, $A_E$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	170
Height (m)	45
Uncertainty of Dimensions (%)	0.1
Year of Construction	
Type of Heating	
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Partly Exposed Building
Wind Class	Light Breeze

## Equipment Information

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG1000	939	3.11.2017

## BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS19 test file

## Depressurization Test:

## Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
23.0	17.0	101325.0

## Pre-Test

## Baseline Pressure Data

## Post-Test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.1	0.0	-0.1	-6.4	0.0	-6.4

## Data Points - Automated Test (TTE 5.0.8.4)

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-0.1	n/a	n/a					
-64.5	-61.2	42.7	134	132	132	-6.4	Ring C
-58.6	-55.3	35.9	122	120	121	-9.8	Ring C
-51.5	-48.2	16.2	81	80	80	-35.8	Ring C
-47.4	-44.1	205.7	180	177	178	48.3	Ring D
-39.3	-36.1	131.5	143	141	142	31.2	Ring D
-34.9	-31.6	94.0	121	119	120	18.4	Ring D
-28.2	-25.0	53.9	92	90	91	1.0	Ring D
-21.7	-18.5	24.7	62	61	61	-20.6	Ring D
-6.4	n/a	n/a					

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 4 of 4**

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS19 test file

---

**Comments**

None

---

## BUILDING LEAKAGE TEST

---

Date of Test: 13.8.2019      Test File: AS20 test file

Technician: Sampo Myyry  
Project Number: AS20

Customer: Opiskelija Asunnot Oy      Building Address: 4 krs  
Joensuun Elli  
Penttilänkulma 2  
80220 Joensuu

Phone:  
Fax:

---

**Test Results at 10 Pascals:**

$q_{10}$  : m<sup>3</sup>/h (Airflow)  
 $n_{10}$  : 1/h (Air Change Rate)  
 $q_{F10}$  :  
 $q_{E10}$  :

**Leakage Areas:**

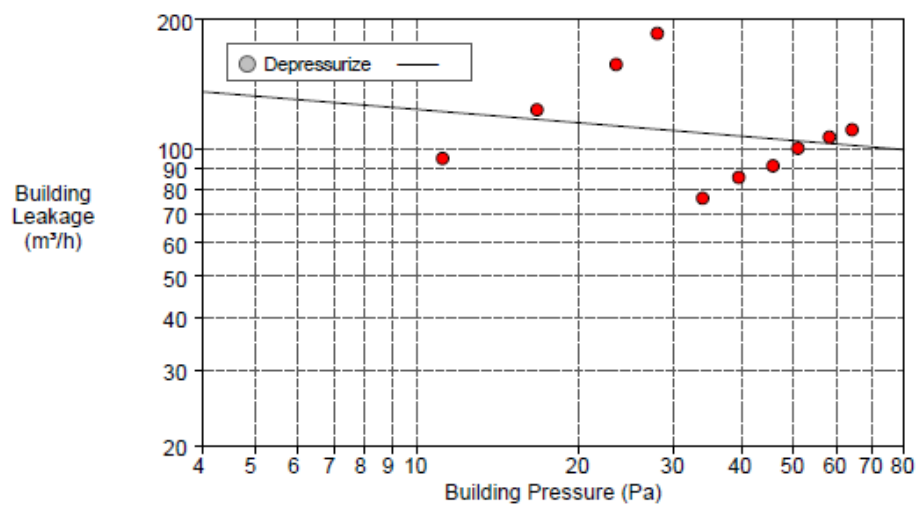
ELA<sub>10</sub> : m<sup>2</sup>  
ELA<sub>F10</sub> : m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>  
ELA<sub>E10</sub> : m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

**Building Leakage Curve:**      Air Flow Coefficient ( $C_{env}$ ) = 17.5 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 242.4 %)  
Air Leakage Coefficient ( $C_L$ ) = 17.6 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 242.4 %)

Coefficient of Determination ( $r^2$ ) = 0.04591

Test Standard: ISO 9972  
Test Mode: Depressurization  
Type of Test Method: Method 1 - Test of Building in use  
Purpose of Test:

---



## BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS20 test file

## Building Information

Internal Volume, $V$ (m <sup>3</sup> ) (according to ISO)	73.6
Net Floor Area, $A_F$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	28
Envelope Area, $A_E$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	115
Height (m)	4.5
Uncertainty of Dimensions (%)	0.1
Year of Construction	
Type of Heating	
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Partly Exposed Building
Wind Class	Light Breeze

## Equipment Information

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG1000	939	3.11.2017

## BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS20 test file

## Depressurization Test:

## Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
23.0	17.0	101325.0

## Pre-Test

## Baseline Pressure Data

## Post-Test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
0.0	1.4	1.4	0.0	1.3	1.3

## Data Points - Automated Test (TTE 5.0.8.4)

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow $q_f$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
1.4	n/a	n/a					
-62.8	-64.2	30.1	112	12	110	8.6	Ring C
-57.0	-58.3	28.0	107	12	106	3.5	Ring C
-49.6	-50.9	24.9	101	11	100	-3.9	Ring C
-44.4	-45.8	20.7	92	10	91	-13.6	Ring C
-38.2	-39.6	18.3	86	10	85	-20.1	Ring C
-32.6	-33.9	14.7	77	9	76	-29.7	Ring C
-28.6	-27.9	225.4	188	21	186	67.8	Ring D
-22.1	-23.4	161.7	159	18	157	39.3	Ring D
-15.4	-16.7	99.0	124	14	123	5.1	Ring D
-9.8	-11.2	58.9	96	11	95	-22.4	Ring D
1.3	n/a	n/a					

---

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 4 of 4**

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS20 test file

---

**Comments**

None

---



## BUILDING LEAKAGE TEST

---

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS22 Test file

Technician: Sampo Myyry

Project Number: AS22

Customer: Opiskelija Asunnot Oy  
Joensuun Elli  
Penttiläkulma 2  
80220 Joensuu

Building Address: 4 krs

Phone:  
Fax:

---

**Test Results at 10 Pascals:**

q <sub>10</sub> : m <sup>3</sup> /h (Airflow)	58 (+/- 51.1 %)
n <sub>10</sub> : 1/h (Air Change Rate)	0.84
qF <sub>10</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Floor Area)	2.20
qE <sub>10</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Envelope Area)	0.59

**Leakage Areas:**

ELA <sub>10</sub> : m <sup>2</sup>	0.0040 (+/- 51.1 %)
ELA <sub>F10</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0001496
ELA <sub>E10</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000403

**Building Leakage Curve:**

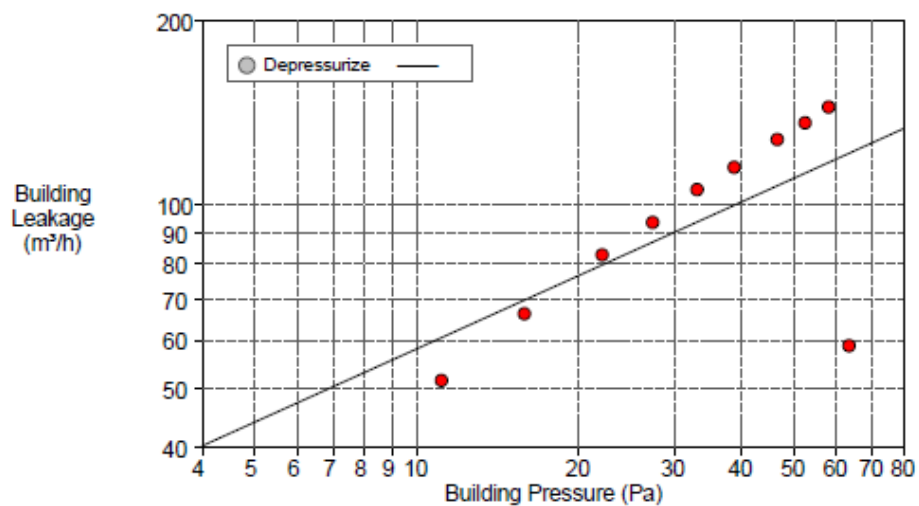
Air Flow Coefficient (C<sub>env</sub>) = 23.0 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 138.9 %)  
Air Leakage Coefficient (CL) = 23.2 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 138.9 %)  
Exponent (n) = 0.400 (+/- 0.395)  
Coefficient of Determination (r<sup>2</sup>) = 0.40488

Test Standard: ISO 9972

Test Mode: Depressurization

Type of Test Method: Method 1 - Test of Building in use

Purpose of Test:



## BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS22 Test file

## Building Information

Internal Volume, $V$ (m <sup>3</sup> ) (according to ISO)	69.2
Net Floor Area, $A_F$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	26.5
Envelope Area, $A_E$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	98.4
Height (m)	45
Uncertainty of Dimensions (%)	0.1
Year of Construction	
Type of Heating	
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Highly Protected Building
Wind Class	Light Breeze

## Equipment Information

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG1000	939	3.11.2017

## BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS22 Test file

## Depressurization Test:

## Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
24.5	17.0	101325.0

## Pre-Test

## Baseline Pressure Data

## Post-Test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
0.0	1.4	1.4	0.0	0.9	0.9

## Data Points - Automated Test (TTE 5.0.8.4)

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
1.4	n/a	n/a					
-62.2	-63.3	8.9	59	58	59	-51.7	Ring C
-58.9	-58.0	136.8	146	144	145	23.0	Ring D
-51.3	-52.5	121.6	138	135	136	20.7	Ring D
-46.4	-46.5	107.3	129	127	128	18.9	Ring D
-37.6	-38.7	87.3	117	115	115	15.3	Ring D
-32.0	-33.1	73.8	107	105	106	12.9	Ring D
-26.2	-27.3	57.7	95	93	94	7.6	Ring D
-20.9	-22.1	45.3	84	82	83	3.7	Ring D
-14.7	-15.8	29.1	67	66	66	-5.1	Ring D
-10.0	-11.1	17.7	52	51	52	-15.0	Ring D
0.9	n/a	n/a					

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 4 of 4**

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS22 Test file

---

**Comments**

None

---

## BUILDING LEAKAGE TEST

---

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS23 test file

Technician: Sampo Myyry

Project Number: AS23

Customer: Opiskelija Asunnot Oy  
Joensuun Elli  
Penttiläntulma 2  
80220 Joensuu

Building Address: 4 krs

Phone:

Fax:

---

**Test Results at 10 Pascals:**

q<sub>10</sub> : m<sup>3</sup>/h (Airflow) 81 (+/- 55.4 %)

n<sub>10</sub> : 1/h (Air Change Rate) 0.98

qF<sub>10</sub> : m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup> Floor Area) 2.54

qE<sub>10</sub> : m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup> Envelope Area) 0.66

**Leakage Areas:**

ELA<sub>10</sub> : m<sup>2</sup> 0.0055 (+/- 55.4 %)

ELA<sub>F10</sub> : m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> 0.0001730

ELA<sub>E10</sub> : m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> 0.0000447

**Building Leakage Curve:**

Air Flow Coefficient (C<sub>env</sub>) = 49.4 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 148.8 %)

Air Leakage Coefficient (C<sub>L</sub>) = 49.8 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 148.8 %)

Exponent (n) = 0.213 (+/- 0.420)

Coefficient of Determination (r<sup>2</sup>) = 0.14544

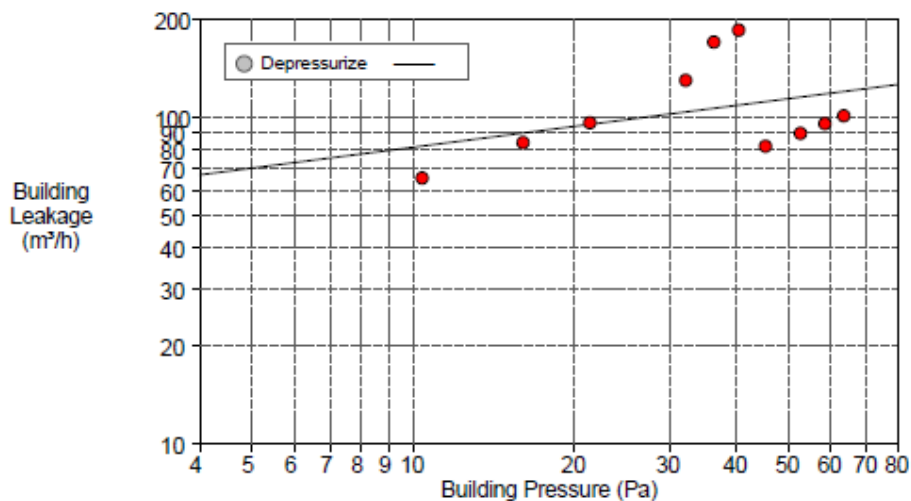
Test Standard: ISO 9972

Test Mode: Depressurization

Type of Test Method: Method 1 - Test of Building in use

Purpose of Test:

---



## BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS23 test file

## Building Information

Internal Volume, $V$ (m <sup>3</sup> ) (according to ISO)	85
Net Floor Area, $A_F$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	32
Envelope Area, $A_E$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	124
Height (m)	45
Uncertainty of Dimensions (%)	0.1
Year of Construction	
Type of Heating	
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Highly Protected Building
Wind Class	Light Breeze

## Equipment Information

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG1000	939	3.11.2017

## BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS23 test file

## Depressurization Test:

## Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
23.5	17.0	101325.0

## Pre-Test

## Baseline Pressure Data

## Post-Test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
0.0	2.3	2.3	0.0	2.8	2.8

## Data Points - Automated Test (TTE 5.0.8.4)

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow $q_f$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
2.3	n/a	n/a					
-60.9	-63.4	25.4	102	101	102	-15.7	Ring C
-55.9	-58.5	22.8	97	95	96	-18.8	Ring C
-50.1	-52.7	20.0	90	89	90	-22.5	Ring C
-42.7	-45.3	16.8	83	81	82	-26.8	Ring C
-37.8	-40.4	224.2	188	185	186	70.1	Ring D
-33.7	-36.3	189.3	172	169	171	59.8	Ring D
-29.6	-32.2	110.9	132	129	131	25.3	Ring D
-18.8	-21.3	61.0	97	96	97	1.2	Ring D
-13.5	-16.0	46.4	85	83	84	-6.3	Ring D
-7.8	-10.4	28.1	66	65	65	-20.2	Ring D
2.8	n/a	n/a					

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 4 of 4**

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS23 test file

---

**Comments**

None

---



## BUILDING LEAKAGE TEST

---

Date of Test: 13.8.2019      Test File: AS24 Test file

Technician: Sampo Myyry

Project Number: AS24

Customer: Opiskelija Asunnot Oy  
Joensuun Elli  
Penttilänkulma 2  
80220 Joensuu

Building Address: 4 krs

Phone:  
Fax:

---

**Test Results at 50 Pascals:**

q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Airflow)	120 (+/- 38.0 %)
n <sub>50</sub> : 1/h (Air Change Rate)	1.71
qF <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Floor Area)	4.52
qE <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Envelope Area)	1.12

**Leakage Areas:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0036 (+/- 38.0 %)
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0001377
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000342

**Building Leakage Curve:**

Air Flow Coefficient (C<sub>env</sub>) = 8.0 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 649.6 %)  
Air Leakage Coefficient (C<sub>L</sub>) = 8.0 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 649.6 %)  
Exponent (n) = 0.890 (+/- 1.672)  
Coefficient of Determination (r<sup>2</sup>) = 0.24710

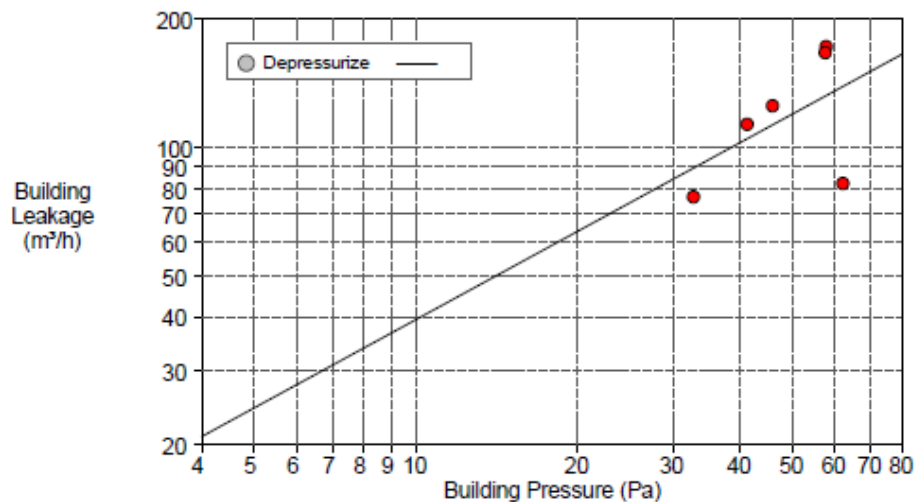
Test Standard: ISO 9972

Test Mode: Depressurization

Type of Test Method: Method 1 - Test of Building in use

Purpose of Test:

---



## BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS24 Test file

## Building Information

Internal Volume, $V$ (m <sup>3</sup> ) (according to ISO)	70
Net Floor Area, $A_F$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	26.5
Envelope Area, $A_E$ (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	106.8
Height (m)	4.5
Uncertainty of Dimensions (%)	0.1
Year of Construction	
Type of Heating	
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Highly Protected Building
Wind Class	Light Breeze

## Equipment Information

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG1000	939	3.11.2017

## BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS24 Test file

## Depressurization Test:

## Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
22.0	17.0	101325.0

## Pre-Test

## Baseline Pressure Data

## Post-Test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-15.5	0.0	-15.5	-18.1	0.0	-18.1

## Data Points - Automated Test (TTE 5.0.8.4)

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-15.5	n/a	n/a					
-78.8	-62.0	17.0	83	82	82	-40.8	Ring C
-74.6	-57.8	163.2	174	172	172	30.1	Ring D
-74.4	-57.6	181.5	169	166	167	26.5	Ring D
-62.7	-45.9	102.4	126	125	125	10.8	Ring D
-58.0	-41.2	84.3	115	113	113	8.3	Ring D
-49.6	-32.8	38.5	77	76	76	-14.5	Ring D
-18.1	n/a	n/a					

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 4 of 4**

Date of Test: 13.8.2019 Test File: AS24 Test file

---

**Comments**

None

---