



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# RAKENNUSTIIVIYSMITTA- LAITTEISTON KALIBROINTI- MENETTELY

TEKIJÄ: Simo Hyvönen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Simo Hyvönen			
Työn nimi Rakennustiiviysmittalaitteiston kalibroitimenettely			
Päiväys	12.12.2018	Sivumäärä/Liitteet	24/11
Ohjaaja(t) Merja Tolvanen, yliopettaja ja Teemu Räsänen, lehtori			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia rakennuslaboratorio/Sami Pekkarinen, tutkimusinsinööri			
Tiivistelmä <p>Rakennusten energiatehokkuus on osa tämän päivän rakentamista ja tiiviysmittaus on yksi tärkeä osa energiatehokkuuden todentamista. Rakennusmääräyksissä vaaditaan nykyään energiatodistus, jota tehtäessä tulee olla selvillä myös ilmanvuotoluku ja tämä luku saadaan suorittamalla rakennukseen tiiviysmittaus. Tiiviysmittaus on osa rakentamisen laadunvarmistusta ja laitteiston pitää olla luotettava sekä kalibroitu standardien vaatimalla tavalla.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää mitä rakennusten tiiviysmittaus on, mitä laitteita siinä käytetään ja kuinka laitteiston kalibrointi tulee suorittaa. Tiiviysmittalaitteita on usean eri valmistajan tekemiä, tässä työssä perehdyttiin ainoastaan Minneapolis- mittalaitteiston kalibrointiin. Kalibroinnissa testattavan mittalaitteen tuloksia verrataan jäljitetyksi kalibroituun vertailumittaan. Kalibroinnissa saatavat tulokset täytyy olla tiettyjen viitearvojen sisällä, jotta mittalaite on käyttökelpoinen. Tiiviysmittauksen osalta tärkeimmät suureet ovat virtaus ja paine. Työ toteutettiin tekemällä selvitys internetissä julkaistujen aineistojen ja kirjojen kautta, haastattelemalla alalla toimivia tahoja puhelimitse ja sähköpostitse. Tutkittaessa millä menetelmällä kalibrointi voitaisiin suorittaa, tilaajan kanssa tehtiin päätös kalibroinnin tarkistusmenettelystä. Menetelmässä mittalaitteet tarkistetaan jäljitetyksi kalibroidulla laitteella, mutta niitä ei viritetä tai säädetä.</p> <p>Tämän työn tuloksena oli ohjeistus kalibroinnin tarkistukselle, tarvittavat laitehankinnat ja vaatimukset olosuhteille. Näiden tietojen avulla työn tilaajan on mahdollista aloittaa kalibroitimenettely toimipaikassaan.</p>			
Avainsanat Kalibrointi, tiiviysmittaus			

Field of Study			
Technology, Communication and Transport			
Degree Programme			
Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s)			
Simo Hyvönen			
Title of Thesis			
Calibration Procedure of the Air-Tightness Measurement Equipment			
Date	12 December 2018	Pages/Appendices	24/11
Supervisor(s)			
Ms Merja Tolvanen, Principal Lecturer and Mr Teemu Räsänen, Lecturer			
Client Organisation /Partners			
Savonia Construction Laboratory /Mr Sami Pekkarinen, Research Engineer			
Abstract			
<p>Energy efficiency of buildings is part of today's construction and air-tightness measuring is an important part of energy efficiency verification. Building regulations nowadays require an energy certificate, the air leakage rate must be clear when making it and this rate is obtained by performing air-tightness measurements of the building. The air-tightness measurement is part of quality assurance of construction and the equipment must be reliable and calibrated by required standards.</p> <p>The purpose of this thesis was to find out what the building air-tightness measurement is, what kind of equipment is used and how to calibrate the equipment. Several companies make air-tightness equipment and the focus on this thesis was only on the Minneapolis measuring equipment. In calibration, the results of the tested measuring instrument are compared to the traceable calibrated reference standard. The results of the calibration must be within certain reference values, so that the measuring instrument is usable. For the air-tightness measurement, the most important quantities are flow and pressure. The thesis was implemented by making a research of the materials published on the Internet and from books. Interviews were conducted via phone and e-mail. When researched which method to use, a decision with the commissioner was the calibration check procedure. In this method, the measuring device will be checked by a traceable calibrated reference standard but it will not be tuned or adjusted.</p> <p>The result of this thesis were instructions for a calibration check, requirements for conditions and the need of equipment. With the help of this information, the thesis commissioner will be able to initiate a calibration procedure at their office.</p>			
Keywords			
Calibration, air-tightness measuring			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
2	MITTAUSMENETELMÄN KALIBROINTIKÄYTÄNNÖT .....	6
2.1	Kalibroinnin tarkoitus .....	6
2.2	Jäljitetty kalibrointi .....	6
2.2.1	Kalibrointijärjestelmän kuvaus .....	7
2.2.2	SFS-EN ISO/IEC 17025 .....	9
2.3	Virtaus .....	11
2.4	Paine .....	11
3	KIINTEISTÖN TIIVIYSMITTAUSMENETELMÄT .....	14
3.1	Tiivysmittauksen tarkoitus .....	14
3.2	ISO-Standardin mukainen menetelmä .....	15
3.2.1	SFS-EN ISO 9972 .....	15
3.3	Minneapolis-mittaus/testausmenetelmä .....	16
3.3.1	Mittausmenetelmän kalibrointi .....	19
4	MINNEAPOLIS TIIVIYSMITTALAITTEISTON KALIBROINTI (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN) .....	20
5	YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET .....	20
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	21
	LIITE 1: YKSITTÄISEN MITTARIN KAHDEN KANAVAN NÄYTTÄMÄN TARKISTUS (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN) .....	23
	LIITE 2: DIGITAALISEN PAINEMITTARIN KENTTÄKALIBROINTIMENETTELY (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN) .....	23
	LIITE 3: MENETELMÄ MODEL 3 JA MODEL 4 – PUHALTIMEN KENTTÄTARKISTUKSELLE (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN) .....	23

## 1 JOHDANTO

Rakennusten ilmatiiviyden mittaaminen on tärkeä laadunvalvontamenetelmä nykypäivän rakentamisessa. Rakennuksen vaipan ilmatiiviyys ja sen todentaminen on yksi osa rakennuksen energiatehokkuutta. Jotta vältetään rakenteiden kosteus- ja homeaurioriskeiltä, tulee hallitsemattoman vuotoilman kulkeutuminen rakenteen sisään estää. Hyvä ilmanpitävyys parantaa asumisviihtyvyyttä ja vähentää terveyshaittariskejä sekä vaikuttaa rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Hyvä vaipan ilmanpitävyys vähentää vedontunnetta sekä epäpuhtauksia, homeita, haitallisten aineiden kulkeutusta talon rakenteista, maaperästä ja ulkoilmasta sisäilmaan. Kylmä ulkoilma ei pääse jäähdyttämään rakennetta ja aiheuttamaan homeen kasvulle otollisia olosuhteita tai kosteuden tiivistymisriskiä. Vuotoilman tarvitseman energian osuus suhteessa muuhun energiankulutukseen kasvaa siirryttäessä matalaenergiarakentamisen suuntaan (Paloniitty, 2012, 7).

Rakennuksen ilmanvuotoluku on yksikäsitteinen ja yksinkertaisesti mitattavissa oleva suure, jonka avulla rakennuksia voidaan verrata keskenään (Paloniitty, 2012, 8). Ilmatiiviyden mittaamisessa tulee kuitenkin ottaa huomioon monia muuttuvia tekijöitä, kuten esimerkiksi paine-ero, lämpötila, ilmanvaihto ja tuuli. Tiiviysmittalaitteisto tulee myös olla kalibroitu ja varmistettava, että kaikki sen osat ovat asetettujen vaatimusten tasolla, sekä mittaushenkilöstö pätevä suorittamaan mittauksia.

Tässä työssä käsitellään mittaustapoja, laitteita ja kalibrointia yleisesti, sekä perehdytään Minneapolis tiiviysmittalaitteistoon ja sen kalibrointiin. Työn tilaaja on Savonian rakennuslaboratorio. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää mitä kaikkia vaatimuksia sisältyy kalibrointitoiminnan aloittamiseen, kuka toimintaa voi ylläpitää ja mitä välineitä siihen liittyy sekä kuinka toiminta pystytään toteuttamaan Savonian omissa tiloissa.

## 2 MITTAUSMENETELMÄN KALIBROINTIKÄYTÄNNÖT

### 2.1 Kalibroinnin tarkoitus

Kalibrointijärjestelmän tarkoituksena on omalta osaltaan varmistaa omien mittausten ja testausten tulosten oikeellisuus ja sen kautta tuotteiden laatu. Kalibroivat laitteet valitaan tehtävien mittausten tai testausten perusteella. Useista standardeista, piirustuksista tai muista vaatimuksista on pääteltävissä, mikä epävarmuus mittauksissa sallitaan. Laatustandardit toimivat usein ohjeena kalibrointivaatimuksia luotaessa. Yleisenä ohjeena voisi pitää sitä, että sellaisten mittauslaitteiden, joita käytetään suoraan, esimerkiksi testaustulosten tuottamiseen tai laskentaan, pitää olla kalibroituja. Mikäli mitta- tai testausympäristölle asetetaan selviä vaatimuksia ja rajoja, on myös niiden valvonnan oltava kalibroiduilla laitteilla hoidettu. Kaikkien mittauslaitteiden kalibroimiseksi ei aina ole löydettävissä yksinkertaisia menettelyjä. Tällöin on mahdollista kehittää myös omia käytäntöjä, joilla voidaan osoittaa mittaustulosten oikeellisuuden pysyminen. Eräs tällainen keino voi olla esimerkiksi tunnetulla materiaalilla tehtävät vertailumittaukset eri laboratorioiden tai eri tekijöiden kesken. (VITIKAINEN 1993, 5-6.)

Kalibroinnilla tarkoitetaan määritelmän mukaan niitä toimenpiteitä, joiden avulla spesifioituissa olosuhteissa saadaan määritettyä mittauslaitteen tai mittausjärjestelmän näyttämien tai kiintomittan tai vertailuaineen edustamien suureiden arvojen ja vastaavien mittanormaaleilla toteutettujen arvojen välinen yhteys. Kalibrointi on määrävälillä tehtävä toimenpide, jolla varmistetaan käytettävien mittalaitteiden toimintakunto ja samalla varmistetaan, että tiedetään kuinka paljon mittaukseen käytetty laite "näyttää väärin". Kalibrointi on siis osa tulosten oikeellisuuden varmistamista. Asiakkaan ja laboratorion välinen asia on sopia, kuuluuko mittalaitteen virittäminen näyttämään oikein toimeksiantoon vai ei (Finas.fi).

### 2.2 Jäljitetty kalibrointi

Jäljitettävyys voidaan saavuttaa yksinkertaisimmin kalibroimalla yrityksen oma referenssinormaali akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden tai kansallisten mittauspaikkojen avulla. Nämä mittauspaikat voivat olla joko kotimaisia tai ulkomaisia. Joidenkin laitteiden ja apuvälineiden mukana voidaan myös saada suoraan kalibrointitodistus laitteen tai välineen epävarmuudesta. Jos tällaista kalibrointia aiotaan käyttää oman järjestelmän osana, on syytä varmistaa, että kalibrointi on jäljitettävästi tehty ja epävarmuus määritetty. Kun on kyseessä vain yrityksen oman laatu- ja kalibrointijärjestelmän vaatimusten täyttäminen, saattaa riittää, että oma vertailulaite kalibroidaan maahantuojaan tai laite-edustajan toimesta tai että kalibrointi tehdään vertaamalla laitetta johonkin toiseen tarkempaan laitteeseen tai toiseen samanlaiseen laitteeseen, jolla on jäljitettävyys. Tällaisissakin tapauksissa on

huolehdittava siitä, että kalibrointijärjestelmä on rakennettu siten, että se takaa mittaustulosten oikeellisuuden. (VITIKAINEN 1993, 9.)

Akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden tehtävänä on jäljitettävyyden siirto eli ilmaista mittaustuloksen tai asiakkaan käyttämän mittanormaanin yhteys ilmoitettuihin referensseihin (yleensä kansallisiin tai kansainvälisiin mittanormaaleihin) sellaisen aukottoman vertailuketjun välityksellä, jossa on ilmoitettu kaikkien ketjuun kuuluvien vertailujen epävarmuudet. Mittausepävarmuus puolestaan on mittaustulokseen liittyvä parametri, joka kuvaa mittaussuureen arvojen oletettua vaihtelua. Mittausepävarmuuden suuruus vaikuttaa tuloksen hyväksymisrajoihin ja siihen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. mittauksen kohde, mittalaite, mittaaja, mittaussuure ja mittaustuloksen ajankohtana vallitsevat ympäristöolosuhteet. Akkreditoidut kalibrointilaboratoriot kalibroivat mittalaitteita hyvin moniin suurealueisiin liittyen. Tällaisia ovat esim. erilaiset sähkösuureet, paine, lämpötila, pituus, tilavuus, massa, voima ja kovuus (Finas.fi).

Akkreditoidun kalibrointilaboratorion toimintajärjestelmä vastaa standardin ISO 9001 mukaiselle toimintajärjestelmälle asetettuja vaatimuksia. Vastaavuus on tuotu esille kansainvälisten alan organisaatioiden ISO, ILAC ja IAF yhteisessä julkilausumassa. Kalibrointilaboratorioiden akkreditointivaatimus on standardi SFS/EN ISO/IEC 17025:2005. Lisäksi akkreditoituja kalibrointilaboratorioita koskee olennaisena osana mittausepävarmuuden laskentaan ja ilmoittamiseen liittyvä velvoittava opas EA-4/02 M: 2013. Kalibrointilaboratorioiden edellytetään yhtenä laadunvarmistustoimenpiteenään osallistuvan myös vertailumittauksiin. FINASin arviointiperiaate A2 esittää periaatteet laboratorioden laadunvarmistus- ja vertailumittauskäytäntöjen arvioinneille. Akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden käytössä on FINAS-akkreditointitunnus, jossa akkreditoidun toimielimen tunnusnumero on muotoa KXXX (Finas.fi).

### 2.2.1 Kalibrointijärjestelmän kuvaus

Kalibrointijärjestelmän kuvaus on yleisluontoinen ohje, joka sisältää tiedot mm. siitä, minkä suureiden mittaussuureita kalibroidaan, mitä ja millaisia kalibrointimenetelmiä ja menettelytapoja käytetään (standardinmukaisuudet, asiakkaiden kanssa sovitut spesifikaatiot, yrityksen sisäiset dokumentoidut menetelmät) ja kuinka jäljitettävyyden hoidetaan. (VITIKAINEN 1993, 13.)

Jos kalibrointijärjestelmä sisältää kahdesta tai useammasta välineestä tai laitteesta muodostuvia ketjuja, on näihin liittyvä hyväksymismenettely esitettävä tässä ohjeessa. Kuvaukseen liitetään luettelo hyväksytyistä kalibrointimenetelmistä ja tiedot vertailumittauksista (pätevyysmittaukset, vertailumittaukset). Kalibroittavat tarkastus-, mittaus- ja testausvälineet ja -laitteet kootaan erityiseen luetteloon, josta ilmenee mm. kalibroittavan välineen tai laitteen käyttöalue, laitteen yksilöivä numero, tuotenimi, laitteen sijainti ja kalibrointiohje. Lisäksi jokaisesta yksittäisestä välineestä tai laitteesta laaditaan yrityksen laatujärjestelmästä riippuen, laitehallintajärjestelmään erillinen tiedosto, johon sisältyvät mm. seuraavat tiedot:

- laitteen merkintä
- laitteen epätarkkuustaso
- kalibroitu mitta-alue ja käyttöä mahdollisesti koskevat muut rajoitukset ja erityisohjeet
- kalibrintiohje
- kalibrintiväli
- kalibrintien merkitseminen välineisiin ja laitteisiin
- kalibrintitulosten tallentaminen sekä
- huoltoa, säilytystä ja varastointia koskevat ohjeet ja mahdolliset rajoitukset (VITIKAINEN 1993, 13.)

### Metrologiajärjestelmä

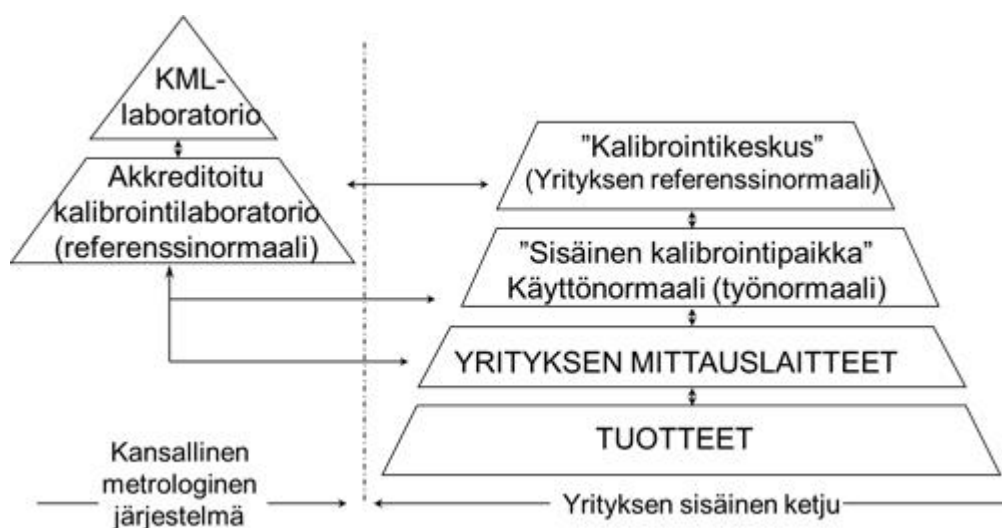
Metrologinen jäljitettävyys osoitetaan katkeamattomalla vertailuketjulla tietystä mittauksesta aina suureen SI-yksikköön asti. Kansallisen mittanormaallaboratorion (KML, kuvassa 1.) tehtävänä on huolehtia SI-mittayksikköjärjestelmän toteutuksesta. Suomessa kansallinen mittanormaallaboratorio on VTT-MIKES. Kalibrintien avulla mittanormaalien jäljitettävyys siirtyy mittanormaallaboratorioista akkreditoitujen kalibrintilaboratorioiden kautta aina erilaisten toimijoiden mittalaitteisiin. Nämä kalibroinnit muodostavat niin sanotun vertailuketjun (Finas.fi).

Metrologisen jäljitettävyyden toteutumisen ehtona on SI-yksikköön ulottuva katkeamaton vertailuketju, jonka jokaisessa vaiheessa toteutuu:

- kaikista ketjun osista on kalibrintitodistus
- mittausepävarmuus on tiedossa ja ilmoitettu
- kalibroinnit suoritetaan pätevästi
- dokumentointi on tehty mittausmenetelmien ja tulosten osalta
- laitteet ovat yksilöitävissä
- kalibroinnit uusitaan tietyin väliajoin (Finas.fi)

Mittaustulosten metrologinen jäljitettävyys on tärkeä osa, jolla varmistetaan akkreditoitujen laboratorioden ja tarkastuslaitosten tulosten luotettavuus (Finas.fi).





Kuva 1. Jäljitettävyysskolmio kuvastaa jäljitettävyyden siirtymistä SI-mittayksiköistä mittaustulokseen. Jokaisessa vaiheessa mittausepävarmuus kasvaa. (Finas.fi)

## 2.2.2 SFS-EN ISO/IEC 17025

SFS-EN ISO/IEC 17025 on kansainvälinen standardi, joka määrittelee testaus- ja kalibrointilaboratorioiden pätevyyden ja yleiset vaatimukset. Testaus- ja kalibrointilaboratoriot, jotka noudattavat tätä kansainvälistä standardia, toimivat samalla standardin ISO 9001 mukaisesti. (SFS-EN ISO/IEC 17025:2005, 10)

Standardin kohdan 5.4.1. mukaan ”laboratorion tulee käyttää sopivia menetelmiä ja menettelytapoja kaikille testeilleen ja/tai kalibroinneilleen, jotka kuuluvat sen toiminta-alueeseen, mukaan lukien käsittely, kuljetus, säilytys sekä valmistelu ja soveltuvin osin arvio mittausepävarmuudesta sekä testaus- ja/tai kalibrointitulosten arvioinnissa käytetyt tilastolliset menetelmät. Laboratoriolla tulee olla ohjeet kaikkien olennaisten laitteiden käytöstä ja toiminnasta sekä testattavien ja/tai kalibroittavien kohteiden käsittelemisestä silloin, kun ohjeiden puuttuminen voisi vaarantaa testauksen ja/tai kalibroinnin tulokset. Sellaiset ohjeet, standardit, käsikirjat ja referenssiarvot, jotka ovat laboratoriotyön kannalta olennaisia, tulee pitää ajan tasalla ja henkilökunnan saatavilla. Testaus- ja/tai kalibrointimenetelmistä voidaan poiketa vain, jos poikkeama on dokumentoitu, teknisesti perusteltu sekä oikeutettu ja asiakkaan hyväksymä”. (SFS-EN ISO/IEC 17025:2005, 32–34)

Menetelmien valinnan osalta laboratorion tulee käyttää sellaisia testaus- ja/tai kalibrointimenetelmiä, jotka vastaavat asiakkaan tarpeita ja jotka soveltuvat tehtäviin testauksiin ja/tai kalibrointeihin. Testauksessa ja/tai kalibroinnissa tulee mieluiten käyttää kansainvälisissä, alueellisissa tai kansallisissa standardeissa julkaistuja menetelmiä ja tulee myös varmistua, että käytössä on standardin viimeisin voimassa oleva versio. Standardien yhdenmukaisen soveltamisen varmistamiseksi voi olla tarpeen laatia lisäohjeistusta. Standardin kohdassa 5.4.2 mainitaan seuraavasti: ”Jos asiakas ei määrittele käytettävää menetelmää, laboratorion tulee valita sopivat menetelmät. Näitä ovat joko kansainvälisessä, alueellisessa tai kansallisessa standardissa julkaistut menetelmät, arvostetun teknisen järjes-

tön tai asiaankuuluuissa tieteellisissä teksteissä tai julkaisuissa esitetyt menetelmät tai menetelmät, jotka laitteen valmistaja on määritellyt. Laboratorion kehittämiä menetelmiä tai laboratorion käyttönottamia menetelmiä voidaan myös käyttää, jos ne soveltuvat käyttötarkoitukseen ja jos ne on validoitu. Valitusta menetelmästä tulee ilmoittaa asiakkaalle. Laboratorion tulee varmistua standardisoitujen menetelmien oikeasta käytöstä ennen niiden käyttöön ottamista testauksiin ja/tai kalibrointeihin. Jos standardisoitu menetelmä muuttuu, varmistaminen on tehtävä uudelleen. Laboratorion tulee ilmoittaa asiakkaalle, jos tämän ehdottama menetelmä on sopimaton tai vanhentunut” (SFS-EN ISO/IEC 17025:2005, 34).

Kun laboratorio ottaa käyttöön kehittämiään menetelmiä, tulee sen olla suunniteltua, henkilökunnan pätevää ja käytössä tulee olla tarvittavat resurssit sekä päivittää kehittämisen edetessä suunnitelmia ja varmistua tiedonkulusta henkilöiden välillä. Jos käytetään standardisoimattomia menetelmiä, ne tulee olla asiakkaan hyväksymät ja sisältää asiakkaan vaatimuksia koskevat määrittelyt sekä testauksen ja/tai kalibroinnin päämäärä. Kehitetty menetelmä tulee validoida asianmukaisesti ennen käyttöönottoa (SFS-EN ISO/IEC 17025:2005, 34).

HUOM. Uusille testaus- ja/tai kalibrointimenetelmille tulisi olla olemassa menettelytavat ennen testausta ja/tai kalibrointia ja menettelytapojen tulisi sisältää ainakin seuraavat tiedot:

- a) menetelmän asianmukainen tunnistaminen
- b) toiminta-alue
- c) testattavan tai kalibroitavan kohteen kuvaus
- d) määritettävät parametrit tai suureet ja mittausalueet
- e) laitteet ja laitteisto, mukaan lukien teknisen suorituskyvyn vaatimukset
- f) tarvittavat referenssinormaalit ja referenssimateriaalit
- g) ympäristöoloille asetetut vaatimukset ja mahdollinen vakiintumiseen tarvittava aika
- h) menettelytavan kuvaus, mukaan lukien
  - kohteiden merkitseminen, käsitteleminen, kuljetus, säilytys ja valmistelu
  - ennen työn aloittamista tehtävät tarkistukset
  - laitteiston toiminnan tarkistaminen ja tarvittaessa laitteiston kalibrointi ja virittäminen ennen jokaista käyttöä
  - tulosten ja havaintojen tallentamismenetelmä
  - kaikki huomioon otavat turvallisuustoimenpiteet
- i) tulosten hyväksymisen/hylkäämisen kriteerit ja/tai vaatimukset
- j) tallennettava tieto sekä tiedon käsittely- ja esitysmenetelmät
- k) epävarmuus tai menettelytavat epävarmuuden arvioimiseksi (SFS-EN ISO/IEC 17025:2005, 34–36).

Validointi on menettely, jonka avulla tutkimalla ja puolueettomalla näytöllä varmistetaan, että menetelmä täyttää käyttötarkoituksen asettamat vaatimukset (SFS-EN ISO/IEC 17025:2005, 36).

Varmistuaakseen menetelmien sopivuudesta tarkoitettuun käyttöön laboratorion tulee validoida standardisoimattomat menetelmät, laboratorion itse kehittämät menetelmät sekä sellaiset standardisoidut menetelmät, joita ei käytetä tarkoitettulla soveltamisalalla ja joihin on tehty lisäyksiä ja muutoksia. Validoinnin kattavuuden tulee olla sellainen, että se täyttää menetelmän sovellusalueen asettamat tarpeet. Laboratorion tulee tallentaa saadut tulokset, validointiin käytetyt menettelyt sekä toteamus menetelmän sopivuudesta aiottuun käyttöön (SFS-EN ISO/IEC 17025:2005, 36).

Validoitavan menetelmän suorituskyvyn määrittämiseksi tulisi käyttää jotakin seuraavista tekniikoista tai seuraavien tekniikoiden yhdistelmiä:

- kalibrointi referenssinormaaleja tai referenssimateriaaleja käyttäen
- tulosten vertailu muilla menetelmillä saatuihin tuloksiin
- laboratoriodenväliset vertailut
- järjestelmällinen tulokseen vaikuttavien tekijöiden arviointi
- tulosten epävarmuuden arviointi, joka perustuu menetelmän teoreettisten periaatteiden tieteelliseen ymmärtämiseen sekä käytännön kokemukseen (SFS-EN ISO/IEC 17025:2005, 36).

### 2.3 Virtaus

Virtausmittauksella tarkoitetaan putken tai avokanavan tietyn poikkileikkauksen läpi virtaavan tilavuus- tai massavirran määrittämistä. Virtaus voidaan mitata *tilavuus- tai massavirtauksena*, määrä vastaavasti *tilavuus- ja massayksikköinä*. Perusyksiköiden m<sup>3</sup>/s ja kg/s lisäksi käytetään esimerkiksi yksiköitä m<sup>3</sup>/h, t/h ja l/min (Pihkala 2004, 59.)

Virtausmittarin kalibrointi voi tapahtua joko laboratorio- tai kenttäkalibrointina. Laboratoriossa sinne tuotu virtausmittari kalibroidaan tyypillisesti ilma- tai vesivirtauksella epävarmuustasolla 0,1 %...1,0 %. Laboratoriokalibrointien keskeinen käyttöalue on kuluttajasuojalakien edellyttämä asiakasmitausten laadun varmennus. Jonkin verran niitä tarvitaan myös toimilaitteiden tuotekehityksessä, tutkimus- ja testauslaboratorioiden pienten virtausmittarien laadun varmennuksessa sekä virtaustekniikassa perustutkimuksessa. Kenttäkalibroinnissa kalibroinnin kohteena on koko virtausmittausketju mukaan lukien mittauspaikan olosuhteet. Kenttäkalibroinneissa mittausepävarmuus on suurempi kuin laboratoriokalibroinneissa. Kenttäkalibrointeja tarvitaan prosessiteollisuuden ja elinkeinoelämän keskisuurten ja suurten neste- ja kaasuvirtausmittausten tarkkuuden varmennuksessa. Näissä mittauksissa asennuspaikkakohtaisia systemaattisia mittausvirheitä on erittäin vaikea eliminoida, mistä johtuen laboratoriokalibroinnin edustavuus jää yleensä epämääräiseksi. Vielä selvempi este laboratoriokalibrointien käytölle on se, että näitä mittareita ei yleensä voida irrottaa laboratorioon lähettämistä varten (MIKES METROLOGIA, 2006 57–58).

### 2.4 Paine

Painemittarin kalibroinnin tarkoituksena on usein laitteen käyttökunnon selvittäminen. Tällöin tuloksia usein verrataan painemittaristandardissa (SFS-EN 837-1, katso kappale 14, Standardit ja suosi-

tukset) tms. spesifikaatiossa esitettyihin vaatimuksiin. Vaatimukset voivat koskea esimerkiksi maksimivirhettä, hystereesiä tai lineaarisuutta, ja käytettävä kalibrointimenetelmä on valittava näiden suhteen asianmukaisesti siten, että tarvittavat ominaisuudet saadaan selville. Painemittarin kalibroinnin tavoitteena on siis määrittää mittarin näyttämiin käytön aikana tehtävien korjausten (korjaus on virheen vastaluku) suuruudet tai selvittää, voidaanko mittaria käyttää sellaisenaan vai onko sitä viritettävä. Nämä tavoitteet voivat olla osin päällekkäisiäkin. Kummassakin tapauksessa keskeinen ja ratkaiseva tekijä on mittarin virhe, joka määritellään seuraavasti:

Mittarin virhe = Mittarin näyttämä paine – Mittanormaalin paine (MIKES METROLOGIA 2011, 22)

Näin laskettujen virheen arvojen avulla korjataan mittarin näyttämiä käytön aikana. Laskettuun virheeseen liittyy aina epävarmuus. Kalibroimalla siis selvitetään mittauslaitteen virhe. Eli kalibrointi kertoo, kuinka paljon laite näyttää väärin. Tätä tietoa tarvitaan esimerkiksi laitteen toimintakunnon selvittämiseen, spesifikaationmukaisuuden selvittämiseen ja tarvittavien korjausten suuruuden määrittämiseen. Korjaus on virheen vastaluku. Mittauslaitetta voidaan viritellä kalibroimalla saatujen tietojen perusteella. Viritys on erillinen toimenpide, joka voidaan suorittaa vasta kalibroinnin jälkeen. Virittäminen edellyttää yleensä uudelleenkalibrointia. Kalibroinnin toteuttamiseksi kalibroitava painemittari ja mittanormaali kytketään samaan paineverkkoon, ja kalibroitavan laitteen näyttämää verrataan mittanormaalien näyttämään erisuuruuksilla nimellispaineilla. Hyvä käytäntö on se, että mittanormaalien epävarmuus on enintään neljäsosa kalibroitavan laitteen odotetusta epävarmuudesta. Paineen kenttäkalibroinneissa käytettävät mittanormaalit (kalibraattorit) ovat useimmiten elektronisia laitteita, joissa paineen mittauksen lisäksi on tiedonkeru ominaisuuksia. Kalibraattorit puolestaan kalibroidaan yleensä laboratorio-oloissa käyttäen mittanormaaleina painevaakoja. Painevaaka-assa mitaus palautuu paineen määritelmään (paine on voima jaettuna pinta-alalla) (MIKES METROLOGIA 2011, 22).

Kalibroitava mittari asennetaan käyttöasentoon (asentoon, jossa se normaalistikin käytössä on) mittanormaalien lähelle ja mahdollisuuksien mukaan sen kanssa samalle korkeudelle, jotta korkeuserosta johtuva hydrostaattinen paine-ero ja näin ollen tarvittava korjaus olisi pieni. Järjestelmässä on oltava paineen hienosäätömahdollisuus ja tyhjennysventtiili. Vastaventtiilejä (takaiskuventtiilejä), suodattimia tms. ei pitäisi asentaa laitteiden välille. Kun väliaineena käytetään nestettä, on kaasukuplat saatava pois järjestelmästä. Vastaavasti kaasua käytettäessä putkistoon ei saa jäädä nestettä (esim. öljytippoja). Kalibroitavan laitteen lämpötilan annetaan tasaantua riittävän kauan, herkillä mittareilla laboratoriotason kalibroinneissa mieluiten aina yön yli. Ennen varsinaista mittausta kalibroitavaa laitetta yleensä kuormitetaan asteikon maksimiarvoa vastaavalla paineella 2 – 3 kertaa. Samalla varmistetaan liitosten pitävyydestä. Korkeaan paineeseen liittyvät turvallisuusriskit on hyvä pitää mielessä kalibrointeja tehtäessä. Putkiliitosten tai tiivisteiden pettäessä purkautuva nestesuihku tai kaasu voi olla vaarallinen. Erityisesti on huomioitava, että happimittareihin ei saa joutua öljyä (räjähdysvaara) (MIKES METROLOGIA 2011, 23).

Kun painemittari koostuu erillisestä paineanturista ja näyttölaitteesta, ne kalibroidaan yhdessä. Kalibroinnin aikana anturi tulee siis olla kytkettynä samaan näyttölaitteeseen, johon se normaalin käytön aikana on kytketty. Jos näyttölaitteella on useita kanavia, tulee varmistua siitä, että kalibroinnissa käytetään samaa kanavaa kuin muulloinkin on käytössä. Jos paineanturiin liittyy näyttölaite, mutta myös ulostulosignaalia on mahdollista lukea, tulee päättää, kumman perusteella kalibrointi tehdään. Kalibrointia tilatessa tämä tieto pitää ilmoittaa. Vastaavasti kalibroinnin toimittajan tulee tulosten yhteydessä selkeästi ilmoittaa, perustuvatko tulokset näyttämään vai ulostulosignaalista lasketuun painelukemaan. Näyttölaitteen näyttämällä ja ulostulosignaalista lasketulla paineella on usein pieni ero. Numeronäyttöisen mittarin kalibroinnissa mittausten toistaminen on tärkeämpää kuin mekaanisen mittarin kalibroinnissa. Jos kalibroittavasta mittarista ei ole aikaisempia kokemuksia, hyvänä käytäntönä voidaan pitää vähintään kahta mittaussykliä, joihin kumpaankin kuuluu sekä nousevaa että laskevaa painetta vastaavia pisteitä. Kalibroinnin tuloksena voidaan ilmoittaa tiettyjä mittarin näyttämiä vastaavat todelliset paineet tai mittarin virhe kussakin pisteessä. Virheen sijasta voidaan ilmoittaa korjaus. Tuloksena voidaan myös mitattuihin pisteisiin sovittaa suora tai korkeamman asteen käyrä. Sovitusyhtälön perusteella lasketaan arvot pisteille, jotka eivät sisällyneet kalibrointiin (interpolointi ja ekstrapolointi). Ekstrapolointi ei yleensä ole suositeltavaa ja interpolointiinkin kannattaa suhtautua varauksella, sillä mittarin todellista käyttäytymistä kalibrointiin sisällyttämättömissä pisteissä ei voi arvata monimutkaisinkaan sovitussyhtälö. Mittausepävarmuutta tarkasteltaessa tulee muistaa, että sovituksellakin on epävarmuus (MIKES METROLOGIA 2011, 24–25).

Keskeisimmät painemittarin kalibroinnin epävarmuuteen vaikuttavat tekijät ovat:

- mittaustulosten hajonta
- kalibroittavan laitteen resoluutio
- mittanormaanin epävarmuus
- korkeuserokorjaukseen liittyvä epävarmuus
- hystereesi

Lähes kaikille painemittarityypeille on ominaista hystereesi, joka liittyy niiden toimintaperiaatteeseen eli elastisen muodonmuutoksen muuntamiseen painelukemaksi. Hystereesi tarkoittaa tässä sitä, että paineen nousevassa suunnassa saadut virheen arvot poikkeavat laskevassa suunnassa saaduista arvoista. Hystereesistä johtuen myös kalibroinnin epävarmuuslaskelma on erilainen tutkittaessa virheen mahtumista annettuihin rajoihin kuin määritettäessä mittarin käytön aikaista korjauskäyrää. Kun prosessin painemittari tietyllä hetkellä näyttää jotakin lukemaa, ei yleensä tiedetä, onko paine nousemassa vai laskemassa. Tällaisen tilanteen varalle käyttäjä toivoo saavansa kalibrointitodistuksesta nousevan ja laskevan suunnan virheiden keskiarvon ja siihen liittyvän epävarmuuden. Hystereesi on otettava epävarmuuslaskelmissa huomioon. Jos tulosten hajonta lasketaan erottelematta nousevan ja laskevan suunnan arvoja, saadaan ehkä liian pessimistinen kuva tulosten hajonnasta. Toisinaan spesifikaationmukaisuutta tutkittaessa voidaan epävarmuus laskea erikseen nousevan ja laskevan suunnan virheille (MIKES METROLOGIA 2011, 25–26).

### 3 KIINTEISTÖN TIIVIYSMITTAUSMENETELMÄT

#### 3.1 Tiiviysmittauksen tarkoitus

Energiatehokkuus on lyönyt 2000-luvulla itsensä läpi myös suomalaisessa rakentamisessa. Vaipan ilmatiiviyys ja sen todentaminen on yksi osa rakennuksen energiatehokkuutta. Hyvän ilmatiiviyden saavuttaminen rakennuksen vaipparakenteissa on tärkeä monesta syystä. Ehkä tärkeimpänä yksittäisenä tekijänä voidaan pitää rakennuksen vaipparakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistamista. Kun siirrytään entistä paremmin eristäviin vaipparakenteisiin, tulee hallitsemattoman vuotoilman kulkeutuminen rakenteen sisään estää, jotta välttytään rakenteiden kosteus- ja homevaurioriskeiltä. Toinen merkittävä syy hyvään ilmanpitävyyteen on hyvän asumisviihtyvyyden saavuttaminen. Kylmän ulkoilman virtaaminen sisätiloihin aiheuttaa vedon tunnetta ja pahimmillaan lisää terveyshaittariskejä. Vaipan hyvä ilmanpitävyys parantaa sisäilman laatua, koska vedontunne vähenee ja mahdollisten homeiden, epäpuhtauksien ja haitallisten aineiden kulkeutuminen talon rakenteista, maaperästä ja ulkoilmasta sisäilmaan vähenee. Lisäksi hyvä ilmanpitävyys parantaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa, koska kostea sisäilma ei pääse virtaamaan rakenteisiin. Myöskään kylmä ulkoilma ei pääse jäädyttämään rakennetta ja aiheuttamaan materiaalikerrosten välisiin rajapintoihin homeen kasvulle otollisia olosuhteita tai kosteuden tiivistymisriskiä. Kolmas merkittävä tekijä hyvään ilmatiivyyteen pyrkimisessä on energiankulutuksen pienentäminen. Hallitsemattomalla vuotoilmalla on suuri vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Vuotoilman tarvitseman energian osuus suhteessa muuhun energiankulutukseen kasvaa siirryttäessä matalaenergiarakentamisen suuntaan. Rakennuksen ilmanvuotoluku on yksikäsitteinen ja yksinkertaisesti mitattavissa oleva suure, jonka avulla rakennuksia voidaan verrata keskenään (Paloniitty, 2012, 7-8).

Kuvasta 2 voidaan huomata rakennuksen tiivyyden merkitys energian säästöön. Mitä pienempi ilmanvuotoluku, sitä tiiviimpi rakennus ja siten myös energiansäästö on suurempi. Uusissa rakennuksissa ilmanvuotoluku on yleensä keskimäärin vähintään hyvällä tasolla, kun taas vanhoissa, etenkin puutaloissa luku vaihtelee paljon ja on usein välttävällä tasolla.

Ilmanvuotoluku $q_{50}$	Tiiviys	Energiansäästö
<0,6	Passiivirakenne	>25%
<1	Kiitettävä	>21%
1	Erittäin hyvä	21%
2	Hyvä (vertailuarvo)	14%
3	Tyydyttävä	7%
4	Välttävä	0%

Kuva 2. tiivysmittausluokitus (tusertificat.ru)

### 3.2 ISO-Standardin mukainen menetelmä

#### 3.2.1 SFS-EN ISO 9972

SFS-EN ISO 9972 (vahvistettu 2015) on standardi, joka koskee rakennusten lämpöominaisuuksia, ilman läpäisevyyden määrittämistä rakennuksista sekä puhaltimen painekoemenetelmää.

Puhaltimen avulla tapahtuvan painekoemenetelmän tarkoituksena on määrittää rakennuksen vaipan tai sen osien ilman läpäisevyyttä. Menetelmää voidaan käyttää ilmatiivyyden mittaamisessa, jotta voidaan saavuttaa suunniteltu ilmatiiviyys. Menetelmällä voidaan verrata useiden vastaavien rakennusten tai rakennusten osien suhteellista ilmanläpäisevyyttä ja voidaan määrittää yksittäisten sovellettujen jälkiasennustoimenpiteiden aiheuttaman ilmavuodon väheneminen asteittain olemassa olevaan rakennukseen tai rakennuksen osaan.

Puhaltimen painekoemenetelmä ei mittaa ilman sisääntunkeutumismäärää, vaan tämän menetelmän tuloksien avulla voidaan arvioida ilmanvuotoluku, ja laskea lämmön tarve. Sen sijaan esimerkiksi merkkisavun avulla voidaan määrittää suoraan ilman sisääntunkeutumismäärää. Yksittäinen merkkisavumittaus antaa kuitenkin vain hyvin rajallisesti tietoa rakennusten ilmanvaihdosta ja ilmanvuotoluvusta. Painekoemenetelmää sovelletaan ilmavirtauksen mittauksiin rakennuksen läpi ulkopuolelta sisäpuolelle tai päinvastoin. Sillä ei voi määrittää ilmavirtauksia, jotka tulevat rakenteiden läpi ulkoa sisälle ja kulkevat takaisin ulos. Tämän menetelmän oikeaoppinen käyttö vaatii mittajaalta hyvää osaamista ilmavirtauksista ja paineen mittaamisesta. Menetelmä sopii parhaiten tilanteisiin, joissa on pienet lämpötilaerot ja alhainen tuulennopeus. Ideaalitulannetta on vaikea saavuttaa kenttäolosuhteissa, mutta on pyrittävä välttämään voimakkaita tuulia ja suuria sisä- ja ulkoilmalämpötilojen eroja.

### 3.3 Minneapolis-mittaus/testausmenetelmä

Minneapolis-laitteistolla mitattaessa, ”rakennuksen tai sen osien tiiviyyttä mitataan niin sanotulla *paine-eromenetelmällä*, jossa tutkittavaan tilaan aiheutetaan paine-ero ulkoilmaan nähden. Paine-ero saadaan aikaan puhaltimella. Puhallin asennetaan ulko-oven tai ikkunan tuuletusluukun paikalle. Puhallin voi olla myös rakennuksen oma ilmanvaihtolaitteisto” (PALONIITTY, 2012, 14).



Kuva 3. Puhallin ja kehikko asennettuna oviaukkoon (Hyvönen 2018-02-07).

Tiiviysmittalaitteisto tunnistaa antureiden avulla vuotavaa ilmaa rakennuksesta, mitä tiiviimpi rakennus on, sitä vähemmän tarvitaan ilmaa puhaltimesta. Paine-eron ylläpitämiseen tarvittava ilmamäärä on yhtä suuri kuin se, joka vuotaa rakennuksen liitosten ja halkeamien läpi. Tämä tarvittava ilmamäärä ilmaisee vuotoa. Puhaltimen pakottaessa ilman läpi kaikista rakennuksen rei’istä, nämä vuotokohdat ovat helpompi löytää esimerkiksi merkkisavun tai infrapunakameran avulla.

Kun 50 Pa:n paine-eron ylläpitämiseksi tunnin aikana tarvittava ilmamäärä jaetaan tutkittavan tilan ilmatilavuudella, saadaan tulokseksi niin sanottu ilmanvuotoluku  $n_{50}$ , tai kun ilmamäärä jaetaan vaiipan alalla, saadaan tulokseksi ilmanvuotoluku  $q_{50}$ . Ilmanvuotoluku  $n_{50}$  esitetään yksikössä 1/h, vaih-



toa tunnissa. Ilmanvuotoluku  $q_{50}$  esitetään yksikössä [ $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ]. Mikäli rakennuksen ilmanvuotoluku on esitetty  $q_{50}$ -lukuna [ $\text{m}^3/\text{h m}^2$ ], voidaan se muuttaa  $n_{50}$ -luvuksi kaavalla

$$n_{50} = q_{50} \times (A_E/V) \quad (1)$$

missä,

$n_{50}$  = ilmanvuotoluku [ $1/\text{h}$ ] (kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa vaipan vuotoreittien kautta)

$q_{50}$  = ilmanvuotoluku [ $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ] (vaipan keskimääräinen vuotoilmavirta tunnissa rakennusvaipan pinta-alaa kohden)

$A_E$  = rakennuksen vaipan ala sisämittojen mukaan laskettuna [ $\text{m}^2$ ]

$V$  =  $n_{50}$ -luvun laskennassa käytettävä rakennuksen sisätilavuus [ $\text{m}^3$ ]

Rakennuksen ilmanvuotoluku tarvitaan lähtötietona kiinteistön lämmöntarpeen laskennassa. Erinomainen arvo on alle 1,0, normaali noin 2,0 ja heikko yli 4,0. Ilmanvuotolukua ei pidä sekoittaa lvi-suunnittelussa käytettyyn termiin *ilmanvaihtokerroin*, joka kertoo rakennuksen ilmanvaihdon suunnittelijalle, kuinka monta kertaa sisäilman tilavuuden halutaan vaihtuvan aikayksikössä. Ilmanvaihtoa suunniteltaessa on otettava siis huomioon koneellisen ja luonnollisen ilmanvaihdon suhteet. Englanninkielisissä teksteissä käytetään  $n_{50}$ -luvusta termejä *Air Change Rate* ja *Air Leakage Rate*. Eritoten yhdysvaltalainen tapa lyhentää  $n_{50}$ -luku on  $ACH_{50}$ , joka tulee sanoista *Air Change per Hour*. Vastavasti puhuttaessa ilmanvuotoluvusta suhteena rakennuksen vaipan pinta-alaan käytetään termejä *Air Permeability* ja *Air Leakage Index*. Tällöin lukemat ilmoitetaan yksiköinä  $1/\text{sm}^2$  tai  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ . Yhdysvalloissa ja Kanadassa määritellään ilmanvuotoluku myös laskennallisena vuotopinta-alana (ELA= *Equivalent Leakage Area*) 4 Pa:n ja 10 Pa:n paine-eroilla (PALONIITTY, 2012, 14).

Mittalaitteisiin kuuluvat aina ilmamäärämittauksella varustettu puhallin, ovi-tai ikkunasennuskehikko ja lakana, paine-eromittausyksikkö, ohjausyksikkö sekä paine-eroletkut ja virtajohdot. Mittaus voidaan tehdä pelkillä laitteistoilla, mutta ne on suunniteltu toimivaksi tietokoneohjelman avulla. Ohjelma ohjaa automaattisesti mittausta, tekee tarvittavat laskelmat ja luo mittausraportin. Jokaisella laitteistovalmistajalla on oma tietokoneohjelma ja raportointitapa (PALONIITTY, 2012, 30)

Esivalmisteluvälineiden osalta on hyvä olla mukana ainakin teippiä, kumipalloja, joilla tukitaan esimerkiksi ilmanvaihtokanavat (kuva 4.), pumppu (pallojen täyttämistä varten), A-tikkaat ja ikkunan avain.



Kuva 4. Ilmanvaihtokanavien pallotus (Hyvönen 2018-07-16).

Joissain puhaltimissa käytetään myös kuristusrenkaita, joiden avulla voidaan supistaa puhaltimen aukkoa ja sen myötä mitata ilmamäärää tarkemmin. Minneapolis-laitteistossa on käytössä viisi erikoista kuristusrengasta: A, B, C, D ja E.

Testausmenetelmän tarkoitus on saada asunto alipaineiseksi viidellä eri alipaineella (esimerkiksi 60, 50, 40, 30, ja 20 Pa) ja mitata kuinka paljon ilmaa virtaa (asunnossa/asunnosta) kyseisen alipaineen aikaansaamiseksi. Itse mittaus on varsin nopea, mutta laitteiston ja asunnon valmistelut vievät ajasta suurimman osan. Kolme tärkeintä asiaa asunnon esivalmisteluissa ovat asunnon tiivistäminen, ulko-oveen asennettavan lakanan ja kehikon virittäminen oikean kokoiseksi ja mittauslaitteiston kytkentä.

Asunnon ilmanvaihtokanavien ja muiden rakojen tiivistämiseen käytetään kumipalloja, mutta mikäli pallot eivät sovellu tiivistämiseen, voidaan raot tukkia myös teipillä. Lattiakaivot ja viemärit täytetään vedellä (jos vettä ei ole käytettävissä, tulee aukot tiivistää palloilla tai teipillä). Asunnon ulko-ovet suljetaan yhtä lukuun ottamatta ja varmistetaan että kaikki ikkunat ovat kunnolla kiinni ja ikkunaluokat suljettuna. Ennen mittausta on syytä tarkistaa, että tiivistykset ovat kunnossa ja listat ovat paikallaan. Avoimeen oveen asennetaan kehikko ja lakana, johon itse mittalaitteisto viritetään. Kaikki asunnon sisällä olevat ovet avataan eri huoneiden välillä, jotta asunnon ilmassa pääsee virtaamaan vapaasti mittauksen aikana. Ilmanvuotoluvun määrittämiseksi asunnosta tulee laskea myös lattian pinta-ala, vaipan pinta-ala sekä asunnon tilavuus. Määrittäminen voidaan tehdä pohjakuvien avulla tai mittaamalla ne paikan päällä. Varmin tapa on tehdä määrittäminen lasermittarin avulla paikan päällä ja vertailla saatuja tuloksia pohjakuvien kanssa. Myös ulkona vallitsevat sääolosuhteet on oltava selvillä mittausta tehtäessä. Tarvittavat säätiedot saadaan selvitettyä esimerkiksi ilmatieteen laitoksen nettisivuilta.

Tiiviysmittauspöytäkirja sisältää vähintään seuraavat tiedot:

- kansilehti, jossa ilmoitetaan lasketut ilmanvuotoluvun arvot  $q_{50}$  ja  $n_{50}$  0,1 tarkkuudella sekä tiiviysmittauksen energialuokka
- mittauksen tekijän yhteystiedot
- mittausaika pvm ja klo
- mittauskohteen tiedot:
  - kohde ja osoite
  - ilmatilavuus
  - vaipan ala
  - rakennuksen kokonaiskorkeus
  - rakennuksen laajuustietojen virheprosentti
  - mittauksen kattavuus
- sää tiedot: vallitseva tuulennopeus, puuska ja suunta sekä ilmakehän paine
- sisälämpötila
- käytetty laitteisto, tyyppi, malli ja sarjanumerot
- lähtöpaine, loppupaine ja mittauspisteet sekä ilmamäärät
- vuotoilmakäyrä
- lasketut ilmavuotoluvun arvot  $q_{50}$  ja  $n_{50}$  (huom. 0,01 tarkkuudella) (PALONIITTY, 2012, 63.)

Mittauksesta voidaan myös laatia laajempi raportti asiakkaan kanssa sovittaessa. Raportti on kirjallinen ja niin kattava, että mittaus voidaan tehdä uudestaan samalla tavalla raportin mukaisesti.

Mitattavat suureet ovat paine (Pa) ja virtaus ( $m^3/h$ ).

### 3.3.1 Mittausmenetelmän kalibrointi

Painekokeessa käytettävät mittauslaitteet tulee kalibroida säännöllisesti. Ellei käytettäville laitteille ole annettu valmistajan taholta erillisiä kalibrointivälejä, voidaan käyttää seuraavia ohjeellisia kalibrointivälejä

- painekoelaitteisto 2 vuoden välein
- virtaus- ja paine-eromittarit 2 vuoden välein
- lämpötila-anturit 4 vuoden välein.

Jos laitteisto vaurioituu, on kalibroinnit aina tehtävä uudestaan vaurion korjaamisen jälkeen (Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. RT 80-10974).

Jos pinta-ala määritetään ennen tiiviysmittausta laser-mittalaitteella, tulee varmistua myös siitä, että laser-mittalaittekin on kalibroitu.

#### 4 MINNEAPOLIS TIIVIYSMITTALAITTEISTON KALIBROINTI (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)

#### 5 YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET

Rakennusten energiatehokkuusvaatimukset ovat tiukentuneet ja tiiviysmittaus on tärkeä osa vaatimusten todentamisessa. Laitteiston kalibrointi pitää myös olla kunnossa luotettavien mittaustuloksien saamiseksi. Minneapolis- laitteiston kalibrointia ei tee tällä hetkellä monikaan yritys. Ne jotka sitä tekevät, eivät mielellään kerro ulkopuolisille, kuinka se tehdään, koska kyse on liiketoiminnasta. Paineen osalta kalibrointi pystytään tekemään, mutta virtauksen osalta Suomessa ei ole esimerkiksi tällä hetkellä paikkaa missä näin suurille virtauksille, kuin tämä laitteisto käyttää olisi mahdollista kalibrointia tehdä. Kalibroinnin tarkistus on siis ainakin tässä vaiheessa paras vaihtoehto kustannuksia ajatellen tehdä. Tällä toimenpiteellä varmistetaan laitteen käyttökunto ja mittaukset voidaan luotettavasti suorittaa. Jos kalibrointi ei ole kunnossa, voi asiakas lähettää laitteiston Saksaan kalibroitavaksi.

Tilaaajan tehtäväksi jää järjestää asianmukaiset tilat tarkistusta varten, sekä standardilaitteiston ja muiden tarvittavien mittareiden hankinta. Tarkistukselle sopiva hinta tulee miettiä käytetyn ajan, laitteiden hankintahinnan ja juoksevien kulujen perusteella. Kalibroinnin tarkistusta ei tässä työssä tehty käytännön tasolla, mutta siinä vaiheessa, kun laitteet ovat hankittu ja tilat valmiina, niin liitteissä olevilla ohjeilla se on mahdollista toteuttaa.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

VITIKAINEN, Esa 1993. Mittauslaitteiden kalibrointi- Ohjeita järjestelmän rakentamiseen. Metalliteollisuuden kustannus Oy.

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

Finnish Accreditation Service. Kalibrointilaboratoriot. [Viitattu 2018-03-14.] Saatavissa: <https://www.finas.fi/akkreditointi/Akkreditointialueet/Sivut/Kalibrointilaboratoriot.aspx>

Finnish Accreditation Service. Metrologiajärjestelmä. [Viitattu 2018-03-27.] Saatavissa: <https://www.finas.fi/akkreditointi/jaljitettavuus/Sivut/Metrologiaj%C3%A4rjestelm%C3%A4.aspx>

MIKES METROLOGIA 2011. Paineen mittaus. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2018-03-15.] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2011-J1.pdf>

MIKES METROLOGIA 2006. Kansallinen mittanormaalityö ja sen kehittäminen 2007–2011. [Viitattu 2018-04-13.] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2006-J7.pdf>

Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. RT 80-10974 [online]. [Viitattu 2018-03-15.] Saatavissa: <https://www.rakennustietokauppa.fi/rt-80-10974-teollisesti-valmistettujen-asuinrakennusten-ilmanpitavyyden-laadunvarmistusohje/104574/dp>

Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method. ISO 9972. Vahvistettu 2015. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. [Viitattu 2018-03-15.] Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/9/389269.html.stx>

TESTAUS- JA KALIBROINTILABORATORIOIDEN PÄTEVYYS. YLEISET VAATIMUKSET. SFS-EN ISO/IEC 17025. Vahvistettu 2005. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. [Viitattu 2018-02-28.] Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/14724.html.stx>

PALONIITTY, Sauli 2018-03-28. rakennustekniikan lehtori. [Puhelinhaastattelu.] Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

PIHKALA, Juhani 2004, Prosessisuureiden mittaustekniikka. Opetushallitus.

Kuvat:

Ilmanvuotoluku. [kuva.] [Viitattu 2018-02-20.] Saatavissa: <http://tusertificat.ru/author/admin/page/7/>

HYVÖNEN, Simo 2018-02-07. Puhallin ja kehikko asennettuna oviaukkoon. [digikuva]. Sijainti: Siilinjärvi: Tekijän sähköiset kokoelmat.

HYVÖNEN, Simo 2018-07-16. Pallotus. [digikuva]. Sijainti: Siilinjärvi: Tekijän sähköiset kokoelmat.

Finnish Accreditation Service. Metrologiajärjestelmä. [kuva.] [Viitattu 2018-03-27.] Saatavissa: <https://www.finas.fi/akkreditointi/jaljitettaavuys/Sivut/Metrologiajarjestelma.aspx>

LIITE 1: YKSITTÄISEN MITTARIN KAHDEN KANAVAN NÄYTTÄMÄN TARKISTUS (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)

LIITE 2: DIGITAALISEN PAINEMITTARIN KENTTÄKALIBROINTIMENETTELY (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)

LIITE 3: MENETELMÄ MODEL 3 JA MODEL 4 – PUHALTIMEN KENTTÄTARKISTUKSELLE (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)