

## Rakennusten tiiviysmittaus

Sauli Paloniitty, RI YAMK  
Lehtori, HAMK  
sauli.paloniitty@hamk.fi

Rakennusten ilmanpitävyyden mittaaminen rakennusten laadunvalvontamittauksena on yleistynyt merkittävästi muutaman vuoden sisällä. Vaipparekenteiden ilmatiiviydestä on puhuttu kymmeniä vuosia, mutta vasta energiatodistuksen myötä tiiviyden todentaminen on yleistynyt. Aikaisemmin on käytetty termiä pullotalo, kun on tarkoitettu tiiviiksi tehtyä taloa, jossa ei välttämättä ole huolehdittu ilmanvaihdosta. Pullotalo-termi tai -käsitys elää yhä vahvana ja negatiivisena ajatuksena suomalaisessa rakentamisessa. Sen taustat ovatkin tosin todelliset ajoilta, jolloin ilmanvaihdosta ei huolehdittu.

Energiatehokkuus on lyönyt 2000-luvulla itsensä läpi myös suomalaisessa rakentamisessa. Vaipan ilmatiiviyttä ja sen todentaminen on osa rakennuksen energiatehokkuutta. Tulevaisuuden taloista voidaan puhua termospullotaloina, joissa energiatehokas koneellinen ilmanvaihto takaa hyvän sisäilman laadun ja tiivis vaippa rakenteiden toimivuuden.

Tiiviysmittaus tehdään joko koko rakennukseen, tai mittaukseen otetaan mukaan vähintään 75 % bruttoalasta. Asuinkerrostaloissa ja rivitaloissa mitaus tulee tehdä vähintään 20 %:ssa huoneistojen lukumäärästä, kuitenkin siten että jokaisesta rakennuksesta mitataan vähintään yksi asunto.

### Käsitteitä

#### Paineekoe

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

#### Tiiviysmittaus, ks. painekoe

Rakennuksen ulkovaipan ilmanvuotoluvun  $n_{50}$  ja  $q_{50}$  määrittäminen 50 Pa:n paine-erossa (tai ilmanvuotokohtien etsiminen muussa, käyttötilannetta suuremmissa alipaineissa).

#### Ilmanvuotoluku, $n_{50}$ [1/h]

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

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

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

#### Ilmanpitävyys, ilmatiiveys

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

#### Ulkovaippa

Ulkovaipalla tai vaipalla tarkoitetaan rakennuksen sisätilojen erottavia rakennekerroksia kylmästä ulkoilmasta.

#### Rakennuksen vaipan ala

Rakennuksen vaipan alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä alapohja ja yläpohja sisämittojen mukaan laskettuna.

#### Huoneiston vaipan ala

Kerrostalo- ja rivitalo- huoneiston vaipan alaan kuuluvat ulkoseinät, huoneistojen väliset seinät, asunnon ja portaikon välinen seinä sekä huoneiston alapohja ja yläpohja, eli asunnon vaipan alaan lasketaan asuntoa rajaavat seinät aukotuksineen sekä lattia ja katto.



Kuva 1. Rakennuksen tiiviysmittauslaite käyttövalmiina.

## Rakennuksen sisätilavuus

Rakennuksen sisätilavuus on sisämittojen mukaan laskettu vaipan alan rajaama tilavuus, josta vähennetään välipohjien tilavuus.

## Rakennusten tiiviys

### Suomen rakennusmääräykset tiiviiden osalta

Suomen Rakennusmääräyskokoelman osassa D3 2012 sanotaan ilmanpitävyydestä seuraavaa:

#### Kohta 2.3.1

Sekä rakennusvaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku.

#### Kohta 2.3.2

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saa olla enintään  $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$ . Ilmavuotoluku voi ylittää arvon  $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$ , jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Edellä lainattu määräysten teksti tarkoittaa sitä, että uudisrakennusten ilmanvuotoluvun tulisi olla parempi kuin  $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$ . Mitä sitten tarkoitetaan käytön vaatimilla rakenteellisilla ratkaisuilla, jää tulkitsijan oman mielipiteen varaan. Itse näkisin, että tätä määräysten ”porsaanreikä” voitaisiin soveltaa joissakin tapauksissa vaikka perinteisiin hirsirakennuksiin.

#### Kohta 2.3.2 jatkuu seuraavasti:

Pienempi ilmanpitävyys voidaan osoittaa mittamalla tai muulla menettelyllä. Asuinkerrostaloissa ilmanpitävyys voidaan osoittaa mittaamalla vähintään 20 % huoneistoista. Ilmanpitävyyden mittaus voidaan suorittaa myös rakennuksen omilla ilmanvaihtokoneilla, jolloin enintään 25 % rakennuksen tilojen lämmitetystä nettoalasta voidaan rajata pois mittauksesta. Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, rakennusvaipan ilmavuotolukuna käytetään  $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$ .

#### Selostuskohdassa mainitaan:

Ilmanpitävyyden osoittaminen muulla menettelyllä voi olla esimerkiksi teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyä, jolla ilmanpitävyys voidaan luotettavasti arvioida ennakkolta.

Tasauslaskennassa ilmanvuotoluvun vertailuarvo on  $2 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$ .

#### Selostuskohdassa 2.5.8 mainitaan:

Kosteusteknisen turvallisuuden, hyvän sisäilmaston ja energiatehokkuuden kannalta tulisi rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  olla enintään  $1 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$ .

Määräyksistä voidaan tehdä seuraava raja-arvo-taulukko.

#### $q_{50}$ -luku Selite

yli 4	Poikkeukselliset rakenteelliset ratkaisut
$\leq 4$	Vähimmäisvaatimus kaikille uudisrakennuksille
2	Laskennassa käytettävä vertailuarvo = määräysten mukainen rakennus
$\leq 1$	Määräysten suositusarvo.

## Tiivysmittauksen suorittaminen

Rakennuksen tai sen osien tiivyyttä 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.

Mittaus tehdään usealla paine-erolla (yleensä vähintään viidellä). Paine-eron ylläpitämiseksi tarvittavat ilmamäärät mitataan. Mittaussarjasta lasketaan vuotoilmakäyrä, jonka avulla lasketaan 50 Pa:n paine-eroa vastaava ilmamäärä.

50 Pa:n paine-eron ylläpitämiseksi tunnin aikana tarvittava ilmamäärä [Q] jaettuna tutkittavan tilan ilmatilavuudella [V] antaa tulokseksi niin sanotun ilmanvuotoluvun  $n_{50}$ . Ilmamäärä voidaan jakaa myös vaipan alalla [A], jolloin tulokseksi saadaan ilmanvuotoluku  $q_{50}$ . Ilmanvuotoluku  $n_{50}$  esitetään yksikössä 1/h, vaihtoa tunnissa. Ilmavuotoluku  $q_{50}$  esitetään yksikössä  $[\text{m}^3\text{/(h m}^2\text{)}]$ .

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

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

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

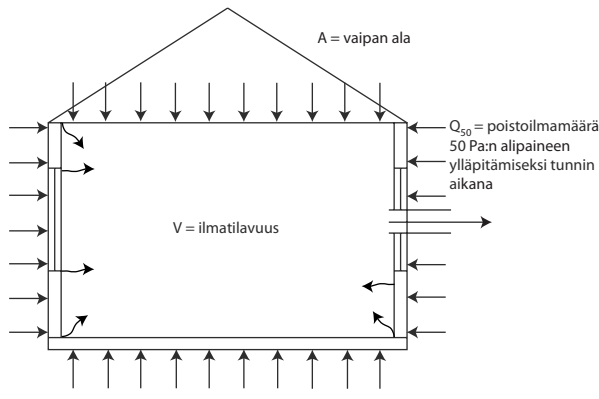
V = rakennuksen/mitattavan osan sisätilavuus [ $\text{m}^3$ ]

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

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

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

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



Kuva 2. Vaipan tiiviysmittauksen periaate.

Rakennuksen ilmanpitävyyden mittaaminen painekoeomenetelmällä on esitetty standardissa SFS EN 13829. Suomessa ja yleensä Euroopassa käytetään standardissa esitettyä mittausten menetelmää B (rakennuksen vaipan testaus) siten, että rakennukseen tarkoituksellisesti ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot (ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistokanavat, korvausilmaventtiilit), tulisijat ja hormit suljetaan tiiviisti.

Rakennusten lopullisen tiiviysmittaustuloksen tulee olla mitattu valmiista rakennuksesta. Rakennusaikaiset mittaukset ovat osa laadunvalvontaprosessia, mutta ne eivät ole lopullisia mittaustuloksia.

**Mittalaitteet**

Tyypillisimmin ilmatiiviysmittaus tehdään kaupallisilla tiiviysmittauslaitteistoilla. Usein valmiista tiiviysmittauslaitteistosta käytetään termiä Blower Door Systems. Termi on kuitenkin korvattu suomenkielisellä ilmaisulla tiiviysmittauslaitteisto. Tämän tyypillisillä tiiviysmittausta varten valmistetuilla ja kalibroiduilla laitteilla mittaustulos on huomattavasti tarkempi, kuin jos mittaus tehdään rakennuksen omilla ilmanvaihtojärjestelmillä. Siksi mittaus suunnitellaan aina ensisijaisesti tehtäväksi tarkoitukseen valmistetuilla laitteilla.

Tiiviysmittauksessa tarvitaan tiiviysmittauskaluston lisäksi seuraavia välineitä ja laitteita:

- Etäisyysmittalaite, jolla voidaan mitata rakennuksen vaipan ala ja tilavuus.
- Lämpömittari, jolla voidaan mitata sekä ulko- että sisälämpötila.
- Teippiä ja muoviva, joilla voidaan sulkea ilmatiiveysmittausta häiritsevät aukot.
- Jalkapallon sisäkumi ja ilmapumppu, joilla voidaan tukkia muun muassa ilmastointikoneen tulo- ja poistokanavien päät.

- Kannettava tietokone ja painekoeohjelma, johon syötetään painekokeeseen ja  $n_{50}$ -luvun määrittämiseen tarvittavat tiedot (mm. lämpötilaolosuhteet ja rakennuksen koko, joiden avulla ohjelma korjaa ilmavirtaukset ja ilmoittaa suoraan tulokset). Ohjelma ohjaa keskusyksikön kautta myös puhallinta, piirtää painekokeesta diagrammin (vuotoilma/paine-ero) ja laskee  $n_{50}$ -luvun.
- Lämpökamera, jolla voidaan paikantaa painekokeen jälkeen alipaineessa rakennuksen sisäpuolelta ilmanvuotoapaikat.
- Savukone, jolla voidaan paikantaa painekokeen jälkeen rakennuksen sisäpuolelta ilmanvuotoapaikat.
- Tikkaat, joilla voi mahdollisesti kiivetä katolle tai joita voi käyttää apuna tukittaessa sisäkatossa olevia ilmanvaihtoventtiilejä.

**Mittausolosuhteet**

Luotettavan tiiviysmittauksen tekeminen vaatii riittävän vakaan paine-ero-olosuhteen. Standardi SFS EN 13829 kehottaa olemasta suorittamatta koetta, mikäli tuulen nopeus ylittää 6 m/s tai arvon 3 Beaufortin asteikolla, koska tällöin mittaustuloksista ei saada täysin luotettavia tuloksia. Standardi suosittaa myös, että mittausta ei tulisi suorittaa, mikäli sisä- ja ulkolämpötilojen erotus kerrottuna rakennuksen korkeudella ylittää arvon 500 m°C, koska tällöin savupiippuilmioilla on liian suuri vaikutus mittaustuloksiin.

Luotettavan tiiviysmittauksen tekemiseksi

1. tuulen nopeuden tulee olla alle 6 m/s
2. sisä- ja ulkolämpötilojen erotuksen kerrottuna rakennuksen korkeudella tulee olla alle 500 m°C, koska jos se on yli 500 m°C, savupiippuilmioilla on liian suuri vaikutus mittaustuloksiin.

Rakentajain kalenteri 2013 | © Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestari ja Insinöörit AMIK RKKL ry

TYÖMAA

Mittauksen alussa tulee tehdä seuraavat oheismittaukset:

- ulkoilman lämpötila kohteen välittömässä läheisyydessä
- sisäilman lämpötila tilassa, johon puhallin asennetaan
- ulkona tuulen suunta ja voimakkuus kohteen välittömässä läheisyydessä.

Tulee myös kirjata lähimmän sääaseman ilmoittama ulkoilman paine mittauspäivänä.

## Mittauksen rajaus ja puhaltimen asennus

Rakennusten lopullisen tiiviysmittaustuloksen tulee olla mitattu valmiista rakennuksesta. Rakennus- aikaiset mittaukset ovat osa laadunvalvontaprosessia, mutta ne eivät ole lopullisia mittaustuloksia.

Tiiviyn mittaaminen vaatii, että rakennuksen höyrynsulkumuovit on asennettu ja teipattu kunnolla, läpivientien tiivistykset on suoritettu, ovet ja ikkunat on asennettu sekä tiivistetty ja kaivot sekä viemärit ovat käytössä (vettä kaivoissa). Myös sisäverhoilu vaikuttaa, koska se osaltaan tiivistää rakenteita.

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

Lähtökohta mittauksen rajaukselle on, että

- ulkovaippa rajaa mittausalueen
- kaikki rakennuksen lämpimät ja pääkäyttötarkoituksen mukaiset tilat ovat mittauksessa mukana
- kaikki tilat, jotka ovat ilmanvaihtoteknisesti samaa osastoa, ovat mittauksessa mukana.

Mittauksen rajauksessa kannattaa aina pyrkiä koko rakennuksen mittaamiseen. Riittävän ilmatiiviissä osastoinneissa usein epäonnistutaan, jolloin mittaustulokset ovat heikompia.

On kuitenkin tilanteita, jolloin on perusteltua jättää jokin tila rakennuksesta mittauksen ulkopuolelle. Jos rakennuksessa on selkeästi erillinen tila, johon ei ole ilmayhteyttä ilmanvaihtokanavistojen tai ovien kautta, voidaan se jättää mittauksen ulkopuolelle. Mittauksen ulkopuolelle voidaan jättää tila, joka on eri palo-osastoa. Tämäntyyppinen tilanne voi olla muun muassa pientalon autotalli, kerrostalon autohalli tai kerrostalon väestönsuoja. Mikäli mitattavassa kohteessa on joitakin rakennusosia, joita ei ole tarkoitus mitata, tulee näitä osia erottavien rakenteiden olla ilmatiiviä. Mikäli tämä ei ole mahdollista, tulisi tilojen välille saada tuotetuksi sama paine kuin mitattavassa tilassa, jotta ilma ei pääse virtaamaan välirakenteen läpi.

Puhaltimen eli mittalaitteiden asennuspaikan määrittelyssä pyritään siihen, että laitteisto asennetaan tuulelta suojaisimpaan julkisivun osaan sekä

että korkeussuunnassa pyritään neutraaliakselille eli ilmatilavuuden puoleenväliin. 1–2-kerroksisissa rakennuksissa voidaan puhallin asentaa vapaasti myös muualle kuin neutraaliakselille. Korkeissa rakennuksissa, joissa puhallin asennetaan muualle kuin neutraaliakselille, tulee mittauksen alkutilanteen ja lopputilanteen paine-ero mitata soveltuvin osin myös muista kerroksista.

## Mittauksen valmistelu

Ennen painekokeen suorittamista rakennuksessa on suoritettava esivalmistelut onnistuneen painekokeen ja luotettavan tuloksen saavuttamiseksi. Tiivistämällä on estettävä, ettei paineistetussa rakennuksessa kulje vuotoilmaa ilmanvaihtokanavien, viemäreiden, liesituulettimen, tulisijan tai vesiviemäriin liittyvien asennusluukun aukkojen kautta.

Rakennuksen kaikki tarkoituksenmukaiset aukot suljetaan ja tiivistetään käyttäen ensisijaisesti kumipalloja. Tiivistyksissä voidaan käyttää siihen soveltuva teippiä, jos kumipallon asennus ei onnistu. Isoissa aukoissa voidaan käyttää myös muoviva.

Viemäreiden osalta on varmistuttava siitä, että vesilukoissa on vettä. Kokeen aikana asunnon välivoit pidetään auki, jotta ilma pääsee kulkemaan esteettä rakennuksen sisällä.

Ilmavaihtoventtiilit ja hormit voidaan sulkea monella tavalla. Tulppaus voidaan tehdä huoneen puolelta (pääteventtiilit tai iv-kone) tai talon ulkopuolelta (ulkoilma ja jäteilmakanava). Pääsääntö on, että tulppaus tehdään ensisijaisesti rakennuksen ulkopuolelta, jos se on helposti mahdollista, koska silloin saadaan näkyviin iv-kanavissa ja -koneissa mahdollisesti olevat ilmanvuodot. Tulppaus tehdään rakennuksen sisäpuolelta vain, jos ulkopuolelta tehtävä tulppaus ei onnistu tai se on liian hankalasti toteutettavissa (esim. jos tuloilmasäleikkö on korkealla julkisivussa).

Muita esivalmisteluita ennen painekokeen suorittamista ovat rakennuksen asuinpinta-alan ja -tilavuuden, ulko- ja sisälämpötilan, ulkoilman ilmanpaineen, rakennuksen lämmitysmuodon sekä tuuliolosuhteiden määrittäminen: Onko rakennus tuulelta suojaisessa vai suojaamattomassa paikassa? Mikä on tuulen nopeus?

## Mittaus

Mittausohjelmaan tulee syöttää ulkoilman ja sisäilman lämpötilat sekä ulkoilman vallitseva paine. Ilmakehän paineen antamisessa kannattaa olla tarkka eri yksiköiden kanssa, jotta lasketut ilmapäämäärät eivät karkaa käsistä.

Ulko- ja sisäilman välille luodaan paine-ero puhaltimella joko puhaltamalla ilmaa rakennuksen sisältä ulos (alipainemittaus) tai imemällä ilmaa ulkoa sisälle rakennukseen (ylipainemittaus).



Kuva 3. Tulppaus pallolla.

Tiivysmittaus tehdään aina alipaineisena tai ylipaineisena. Jos mahdollista, mittaus tehdään sekä alipaineisena että ylipaineisena, jolloin mittaustulokset ovat näiden mittausten keskiarvo.

Ennen varsinaista mittausta tehdään niin sanottu manuaalinen ajo. Siinä puhallinta ohjataan tyristorisäätimellä ja ajetaan rakennukseen 50 Pa:n alipaine. Tavoitteena on

- mitata, saadaanko rakennukseen riittävä alipaine
- kokeilla, mitä kuristusrenkaita aiotaan käyttää
- selvittää, onko rakennuksen jäänyt tiivistämättömiä ilmanvuotopaikkoja (viemärin haju, ilmanvuodot tulee paikantaa).

Ennen varsinaista puhallussarjaa suoritetaan niin sanottu vallitsevan paine-eron mittaus, jossa puhallinaukko on peitettyä. Kyseisellä paine-eromittauksella mitataan siis tuulen ja savupiippuvaikutuksen aiheuttama vallitseva paine-ero, jota voidaan kutsua myös bios-paineeksi, nollapaine-eroksi, alkupaineeksi tai lepopaineeksi. Jäljempänä tätä paine-eroa kutsutaan lähtöpaineeksi. Lähtöpaine-ero mitataan yleensä 5–10 kertaa muutaman sekunnin mittaussarjana, josta lasketaan lähtöpaineen keskiarvo. Lähtöpaine-eron tulisi olla alle 5 Pa. Jos kuitenkin se ylitetään, voidaan mittausta jatkaa, mutta silloin tulee tehdä myös ylipainemittaus ja käyttää mittausten keskiarvoa.

Tämän jälkeen luodaan puhalltimella valittu paine-ero. Tietyin, tasaisen paine-eron saavuttamiseksi tarvittava puhallimen läpäsämä ilmavirtaus mitataan. Ilmavirtaus tulee mitata vähintään viidellä tasaisiin väleihin olevalla paine-erolla siten, että suurin paine-ero on vähintään 50 Pa. Mittauspaineet voidaan itse valita. Seuraavia mittauspaineita suositellaan kuitenkin käytettäväksi

1. mittauspaine-ero 30 Pa
2. mittauspaine-ero 40 Pa
3. mittauspaine-ero 50 Pa
4. mittauspaine-ero 60 Pa
5. mittauspaine-ero 70 Pa.

Mittauslaite mittaa puhaltimen akselin ympäriltä paine-eroa, josta se mittaa läpi virtaavan ilmamäärän kullakin paine-erolla, kunhan mittaaja kertoo ohjelmaan käytetyt kuristusrenkaan. Kuristusrenkaan valinta ja sen ilmoittaminen ohjelmaan onkin yksi tärkeimmistä mittaajan tekemistä toimista luotettavan tuloksen saamiseksi.

Puhallussarjan jälkeen suoritetaan loppupaineen mittaus, jossa puhallinaukko on peitettyä. Loppupaine-ero mitataan myös yleensä 5–10 kertaa muutaman sekunnin mittaussarjana, josta lasketaan loppupaineen keskiarvo.

Kokeen tulosta ei tule hyväksyä, mikäli lähtöpaineen ja loppupaineen paine-ero on yli 5 Pa.

Kun mittausko on suoritettu kaikissa paine-eroissa ja ilmavirtaustulokset on saatu, mallintaa tietokone tämän tiedon pohjalta rakennuksen ilmanvuotokäyrän.

Tämän jälkeen puhallin käännetään ja tehdään vastaavalla tavalla ylipainemittaus.

Mikäli mittaus suoritetaan ali- ja ylipaineisena, tehdään molemmista mittauksista omat ilmanvuotokäyränsä ja lasketaan ilmanvuotoluvun arvot. Rakennuksen ilmanvuotoluku on ali- ja ylipainemittauksen tulosten keskiarvo. Jos ali- ja ylipainemittauksen tulokset poikkeavat toisistaan enemmän kuin  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ , tulee mittaus uusia. Jos ali- ja ylipainemittauksen tulokset poikkeavat uusintamittauksenkin jälkeen toisistaan enemmän kuin  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ , rakennuksen ilmavuotolukuna käytetään suurempaa ilmanvuotolukua.

Tiivysmittaus voidaan tehdä myös pienemmällä paine-erolla, kunhan mittaukset on tehty vähintään kolmella eri paine-erolla ja saavutetaan vähintään 20–30 Pa:n paine-ero sekä jos kyseisestä mittaustadasta voidaan laskea riittävän luotettavasti kohteen ilmanvuotokäyrä ja ilmanvuotoluku. On kuitenkin huomioitava, että tällöin ulkoilman olosuhteille asetetaan tiukemmat vaatimukset.

## Ilmanvuotokäyrän laskenta

Puhaltimen akselin paine-erosta ja kuristusrenkaan tiedosta ohjelmisto laskee ilmamäärän niin sanotun mitatun ilmamäärän. Mitatun ilmamäärän lämpötila korjataan automaattisesti ohjelmassa (ks. kaava). Ilmamäärään vaikuttaa ilman lämpötila, koska ilman lämpötila vaikuttaa ilman tiheyteen. Tämän takia on tärkeää, että mittaaja mittaa ja ilmoittaa sisäilman ja ulkoilman lämpötilan oikein sekä ilmoittaa ohjelmaan, tehdäänkö mittausta ulkoa vai sisältä käsin. Jos ohjelma ei tee lämpötilakorjausta, tulee mittaajan määrittää se, mikäli puhaltimen läpi virtaava ilma ei vastaa lämpötilaltaan kalibrointilämpötilaa (yleensä  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Korjatut ilmavirtaukset syötetään ohjelmaan, ja tietokone piirtää mitattujen pisteiden kautta käy-

rän. Tätä käyrää kutsutaan rakennuksen vuoto-  
käyräksi (building leakage curve). Ilmavuotojen  
mallintaminen tiettyssä paine-erossa  $V_{\text{Dpr}}$  perustuu  
kaavaan

$$V_{\text{Dpr}} = C_L \cdot (\Delta_{\text{pr}})^n$$

$V_{\text{Dpr}}$  = ilmavirtaus tietyllä paine-erolla [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$C_L$  = ilmanvuotokerroin [ $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa})$ ]

$\Delta_{\text{pr}}$  = tietty paine-ero rakennuksen sisä- ja ulko-  
puolella [Pa]

$n$  = virtauksesta johtuva eksponentti, joka yleensä vaihtelee 0,5:n ja 1,0:n välissä. Tätä voidaan kutsua myös ilmanvuotokäyrän kaltevuussuhteeksi.

Näillä matemaattisilla laskentaparametreilla laske-  
taan, mikä ilmamäärä on, kun ilmanvuotokäyrä leikkaa 50 Pa:n paine-eron. Tästä saadaan vuotoilmavirta 50 Pa:n paine-erossa.

Ohjelma laskee mittausarjasta vuotokäyrän, jossa saadaan myös korrelaatiokerroin prosentteina. Tämä on vastaavuussuhde sille, kuinka hyvin mittauspisteet osuvat laskennalliselle ilmanvuotokäyrälle.

Ohjelmat luovat ilmanvuotokäyrästä kuvaajan, jossa paine-eroasteikko (x-akseli) ja/tai ilmamääräasteikko (y-akseli) ovat logaritmiset.

Ilmanvuotokäyrä voidaan esittää myös lineaarisella kuvaajalla, joka kuvaa ehkä visuaalisesti logaritmita paremmin rakennuksen vuotoilman käyttäytymistä. Kuva voidaan tehdä helposti vaikka Excel-ohjelmalla.

## Raportointi

Rakennuksen tiiviysmittauksesta tehdään aina vähintään mittausdokumentti, joka toimii sinänsä tiivistodistuksena esimerkiksi rakennusvalvontaa varten. Tätä mittausdokumenttia kutsutaan tiiviysmittauspöytäkirjaksi.

## Tiiviysmittauspöytäkirja

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

- säätiedot: vallitseva tuulen nopeus, puuska ja suunta sekä ilmakehän paine
- sisälämpötila
- käytetty laitteisto: tyyppi, malli, ja sarjanumerot
- lähtöpaine, loppupaine ja mittauspaineet sekä ilmamäärät
- laskettu vuotoilmavirta 50 Pa:n paine-erolla
- vuotoilmakäyrä
- lasketut ilmanvuotoluvun arvot  $q_{50}$  ja  $n_{50}$  (huom. 0,01 tarkkuudella).

## Tiiviysmittausraportti

Jos asiakkaan kanssa on sovittu, tiiviysmittauksesta laaditaan laajempi tiiviysmittausraportti. Tiiviysmittausraportti on kirjallinen tutkimusraportti, joka sisältää tiiviysmittauspöytäkirjan lisäksi seuraavat tiedot:

- tilaajan yhteystiedot
- tutkimuksen tavoite
- lyhyt johdanto ja selitysosa tiiviysmittaukseen
- tutkimuksen rajaus ja käytetyt menetelmät
- tiivistysmenetelmät ja tiivistyspaikat
- arvioitu virhetoleranssi
- havainnot ja johtopäätökset.

Jos asiakkaan kanssa on sovittu, tehdään tiiviysmittauksen lisäksi ilmanvuotojen paikannus. Ilmanvuotopaikat raportoidaan laajempaan tiiviysmittausraporttiin erikseen esimerkiksi lämpökuvamittausraporttein ja pohjapiirustuksin.

Tiiviysmittausraportti on kirjallinen tutkimusraportti, jonka tavoitteena on olla niin kattava, että mittaus ja tutkimus voidaan toistaa uudelleen samalla tavalla.

## Lopuksi

Rakennuksen tiiviysmittaus on erittäin luotettava ja puolueeton rakennuksen vaipan ilmanpitävyyden laadunvalvontamittaus. Mittaus on yksinkertainen ja edullinen sekä antaa selkeän kuvan, millä tasolla tutkittavan rakennuksen ilmanpitävyys on.

Mittaus voidaan tehdä jo rakennusvaiheen aikana, jolloin voidaan puuttua ilmennisiin vuotokohtiin ja korjata ne helposti ja edullisesti. Lopullinen tiiviysluku mitataan aina valmiissa rakennuksessa, jolloin mittaus voidaan tehdä luotettavasti, kun työnaikaisia häiriötekijöitä ei ole.

Tiiviysmittausta tehtäessä on sovittava mahdollinen ilmanvuotojen paikannus mittauksen yhteydessä.

Tiiviysmittaajan tulisi olla rakentajan yhteistyökumppanina ohjaamassa rakentamista tiiviin rakentamisen suuntaan.

Omakotitalojen ja rivitaloasuntojen tiiviysmittauksen tekee aina henkilösertifioitu tiiviysmittaaja kaupallisilla tiiviysmittauslaitteilla.

Suuremmissa rakennuksissa mittaus pyritään tekemään aina kaupallisilla kalibroiduilla mittauslaitteilla. Mittaus kannattaa tehdä useamman sertifioidun tiiviysmittaajan yhteistyöhankkeena, jolloin saadaan riittävästi puhaltimia sekä mittausjärjestelyapua.

Rakennusten omalla ilmanvaihtojärjestelmällä tehdyt tiiviysmittaukset sisältävät jonkin verran mittausepävarmuutta. Tulosten virhemarginaali voi olla jopa +20 prosenttia. Mittaus on kuitenkin nopeaa sekä yksinkertaista, ja tulosten käytettävyys useimmissa tilanteissa on riittävä.

Tulevaisuuden suurten rakennusten ilmanvaihtojärjestelmät tulisi varustaa muutamilla lisäantureilla ja ohjausyksiköillä, jotta rakennuksen tiiviys voidaan mitata helposti ”nappia painamalla”.

## Lähteet

Paloniitty Sauli 2012: Rakennusten Tiiviysmittaus. Suomen Rakennusmedia Oy.

Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvalmistusohje, RT-80-10974/LVI 01-10450, lokakuu 2009

SFS-EN 13829 2000. 2000. Thermal Performance of Buildings. Determination of Air Permeability of Buildings. Fan Pressurization Method (ISO 9972:1996, modified). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma

D3 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma

Paloniitty, Sauli 2005: Rakennusten lämpökuvaus. Suomen Rakennusmedia Oy.

## Rakentamisen tuotantotekniikka, e-kirja

Hannu Koski, Christian Kivimäki

Kirjassa on perustiedot keskeisimmistä työvaiheista, kuten maarakennus-, perustus- ja runkotöistä, ikkuna-, ovi- ja väliseinäsennuksista sekä pintarakennustöistä. Siinä on esitetty tuotannosuunnittelun tavoitteet ja pääperiaatteet, joita vertailujen ja valintojen tekeminen edellyttää.

*Rakennustieto Oy, 2012*  
ISBN 978-951-682-973-2  
274 s., 40 €



Tilaukset verkkokaupasta [www.rakennustietokauppa.fi](http://www.rakennustietokauppa.fi)  
Puh. 0207 476 366

RAKENNUSTIETO