

# Rakenteiden ilmantiiviyden ja ilmanvaihtuvuuden välisen riippuvuuden arvioiminen

## Osa II: Kokeelliset tutkimukset

Teoreettisten laskelmien fysikaalinen luotettavuus voidaan selvittää kokeellisesti vertaamalla laskennan tulostietoja todellisessa rakennuskohteessa suoritettujen mittausten tuloksiin. Laskentamallin (ks. LVI 5/80) testikohteeksi valittiin pienehkö uudisrakennustuotantoa edustava asuinkerrostalo. Tässä artikkelissa käsitellään koekohteessa suoritettuja mittauksia sekä esitetään rakenteiden ilmanpitävyydenmittausten päätulokset.

### Koekohteen yleistiedot

Koekohteeseen kuuluu kolme asuinkerrosta ja yhden maanpäällisen kellarikerroksen. Rakennus on yksiportainen. Sisäänkäynti on järjestetty molemmilta julkisivuilta. Päällekkäiset asuinkerrokset ovat samanlaiset. Kussakin kerroksessa on kolme erilaista huoneistoa. Rakennuksessa on koneellinen poistoilmanvaihto. Lisäksi jokaisessa huoneistossa on liesikupu.

Ulkoseinä-rakenteena on betonielemeetti. Parvekkeiden taustaseinät ovat kevytrakenteiset. Rakennuksen päädyt ovat ikkunattomat. Rakennuksen poikkileikkaus on esitetty kuvassa 1.

### Suoritettut mittaukset

Rakenteiden ilmanpitävyyden ja vuoto-ominaisuuksien kartoittamiseksi suoritettiin kohderakennuksessa paikallisen tiiviyden mittauksia keräyskammio-menetelmällä. Kokonaistiiviyden selvittä-

miseksi tehtiin huoneistokohtaiset painekokeet kaikille huoneistoille. Painekokeen yhteydessä suoritettiin vuoto-kohtien paikantaminen savukokein.

Ilmavirta- ja painesuhdemittauksiin käytettiin kahta monipistemanometriä, joilla mittaus tapahtui samanaikaisesti useasta eri mittauspisteestä. Lisäksi tehtiin joitakin täydentäviä mittauksia (jäähdytyskoe yhdessä huoneistossa ja lämpötilamittauksia) sekä suoritettiin säätetekijöiden rekisteröinti.

Pääosa mittauksista suoritettiin valmistumisvaiheessa olevassa rakennuksessa. Käytettävissä ollut mittausaika oli kaksi viikkoa. Ko. mittauksen osalta voidaan aikataulua näin jälkikäteen pitää erittäin kireänä. Tiiviydenmittausten osalta on tulosaineistoa jouduttu täydentämään lisämittauksin.

### Rakenteiden ilmanpitävyyden mittausmenetelmä

Rakenteiden ilmanpitävyyden mittaukseen käytettiin ns. keräyskammio-menetelmää [1]. Mittauksen kojärjestelyt on esitetty kuvassa 2. Menetelmä on pääpiirteittäin seuraava:

mitattava kohde rajataan keräyskammioilla, joka tiivistetään reunoistaan;

keräyskammioon liitetyllä mittauspuhaltimella synnytetään haluttu ilmavirta tutkittavan rakenteen kautta;

apupuhaltimen ilmavirtaa säädetään siten, että kammion ja huonetilan välinen paine-ero nollautuu, jolloin kammion reunavuodot eliminoituvat;

mitataan keräyskammioon liitetyn

puhaltimen ilmavirta ja rakenteen yli vallitseva paine-ero.

Rakenteen yli vallitseva paine-ero on mitattu mikromanometrillä ao. rakenteen keskikorkeudelta. Paine-eron nollaukseen on käytetty sähköistä manometriä ja tilavuusvirran mittaukseen kalibroituja laippaputkia.

### Ilmanpitävyyden mittauskohteet

Paikallisen tiiviyden mittauksia suoritettiin eri rakenneosille seuraavasti:

ikkunat: kokonaisvuoto ja puiteosan kokonaisvuoto;

parvekkeet: puiteosan kokonaisvuoto;

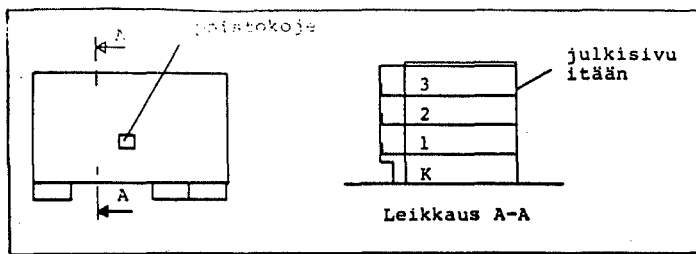
huoneiston sisäänkäyntiovet: puiteosan kokonaisvuoto ja postiluukun vuoto;

porrasovet: kokonaisvuoto.

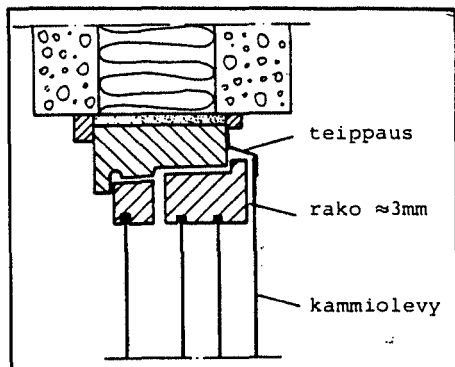
Lisäksi on suoritettu ilmanpitävyydenmittaus parvekkeen kevytrakenteiselle taustaseinäelementille ja yhdelle pallo-ovelle. Ulkoilmaan rajoittuvien rakenteiden vuoto-ominaisuudet on mitattu kaikissa tapauksissa ulkopuoliselle ylipaineelle.

Puiteosan kokonaisvuodon mittauksista varten kiinnitettiin mitattavan kohteen peittävä kammiolevy karmiossaan ilmanpitävällä teipillä (kts. kuva 3). Ilmavirtauksen esteettömän kulun varmistamiseksi järjestettiin puitepuun ja kammiolevyn väliin ilmakanava (läpimitaltaan 3–4 mm).

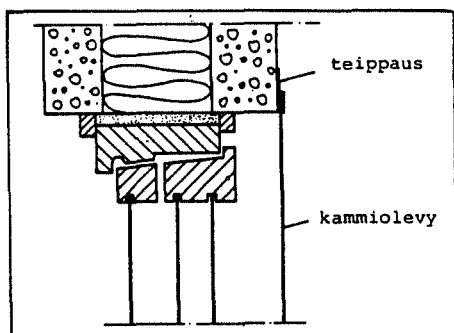
Ikkunan kokonaisvuodon mittauksessa käytettiin koko ikkuna-aukon peittä-



Kuva 1. Laskentamallin testirakennus.



Kuva 3. Kammioglevyn kiinnitys puiterakovuodon mittausta varten. Periaatekuva.



Kuva 4. Kammioglevyn kiinnitys ikkunan kokonaisvuodon mittausta varten. Periaatekuva.

vää kammioglevyä (kiinnitys kuvan 4 mukaisesti). Parvekkeen taustaseinäelementin ilmanpitävyyden mittaukseen käytettiin ulkopuolista koko seinämän peittävää keräyskammiota (koejärjestelyt kuvan 5 mukaisesti).

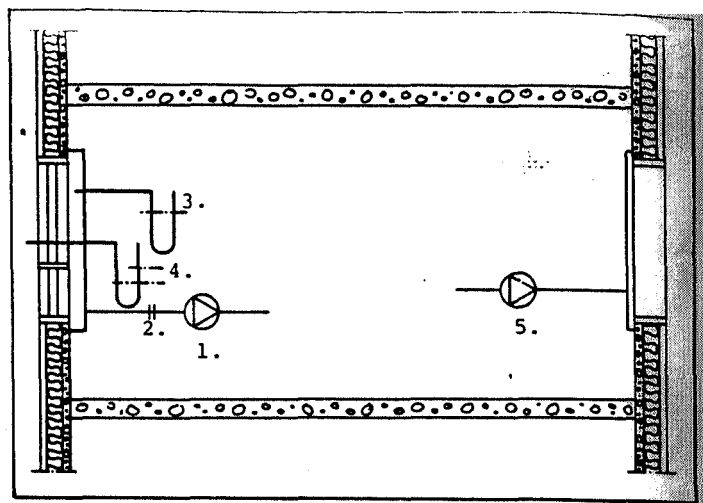
## Ilmanpitävyyden mittaustulokset

Rakenteen läpäisevän vuotovirran ja rakenteen yli mitatun paine-eron välinen riippuvuus voidaan esittää graafisesti. Mittaustulosten keskinäisen vertailun kannalta voidaan mitattu kokonaisvuoto ilmoittaa saumametriä (puite- ja karmirakovuodot,  $m^3/ms$ ) tai pinta-alayksikköä (seinämän tai sen osan kokonaisvuoto,  $m^3/m^2s$ ) kohden laskettuna vuotona.

Eri rakennesille on mittaustulosten perusteella laskettu toisiaan vastaavien havaintojen keskiarvo paine-eroilla 10 Pa, 20 Pa ja 50 Pa. Keskiarvojen perusteella on piirretty vastaavat vuotokäyrät (esitetty kuvassa 6). Vaihteluväliä /2/ käyttäen on arvioitu keskiarvon vaihte-

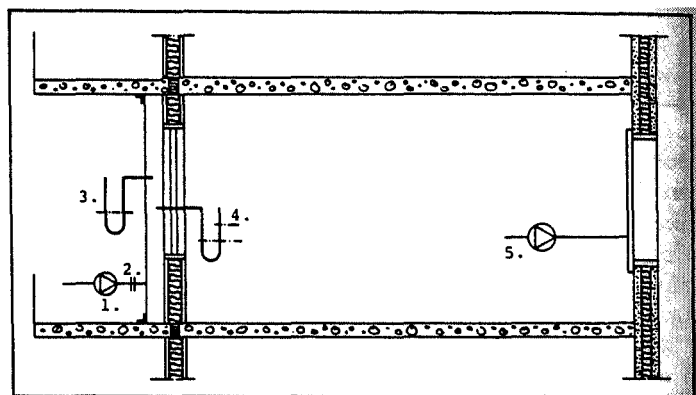
lualue (ilmoitettuna prosentteina keskiarvosta). Kuvassa 6 esitettyjen tapausten osalta on pienin keskiarvon vaihtelualue ollut luokkaa  $\pm 40\%$ . Pienten otosten teorian /3/ mukaan "Student'in" t-jakautumaa käyttäen on vastaava pienin vaihtelualue luokkaa  $\pm 30\%$  (95 % todennäköisyydelle).

Kohderakennuksessa suoritettiin kokonaisvuodon mittaus kolmelle kevytrakenteiselle parvekkeen taustaseinäelementille. Arvio kevytrakenteisen taustaseinäelementin ns. taustavuodosta saadaan vähentämällä mitatusta kokonaisvuodosta parvekeoven puiteosan kokonaisvuoto. Näin saatu taustavuoto sisältää oven karmiosan vuodon, kiinteän ik-



1. Mittauspuhallin
2. Tilavuusvirran mittaus
3. Paine-eron nollaus
4. Paine-ero rakenteen yli
5. Apupuhallin

Kuva 2. Ikkunan kokonaisvuodon mittaus keräyskammiomenetelmällä. Periaatekuva koejärjestelyistä.



1. Mittauspuhallin
2. Tilavuusvirran mittaus
3. Paine-eron nollaus
4. Paine-ero rakenteen yli
5. Apupuhallin

Kuva 5. Parvekkeen taustaseinän kokonaisvuodon mittaus. Periaatekuva.

Paine-ero rakenteen yli	Taustavuoto, $10^{-3} m^3/m^2s$	Vaihtelualue
50 Pa	0,39	$\pm 12\%$
20 Pa	0,19	$\pm 45\%$
10 Pa	0,11	$\pm 80\%$

Taulukko 1.

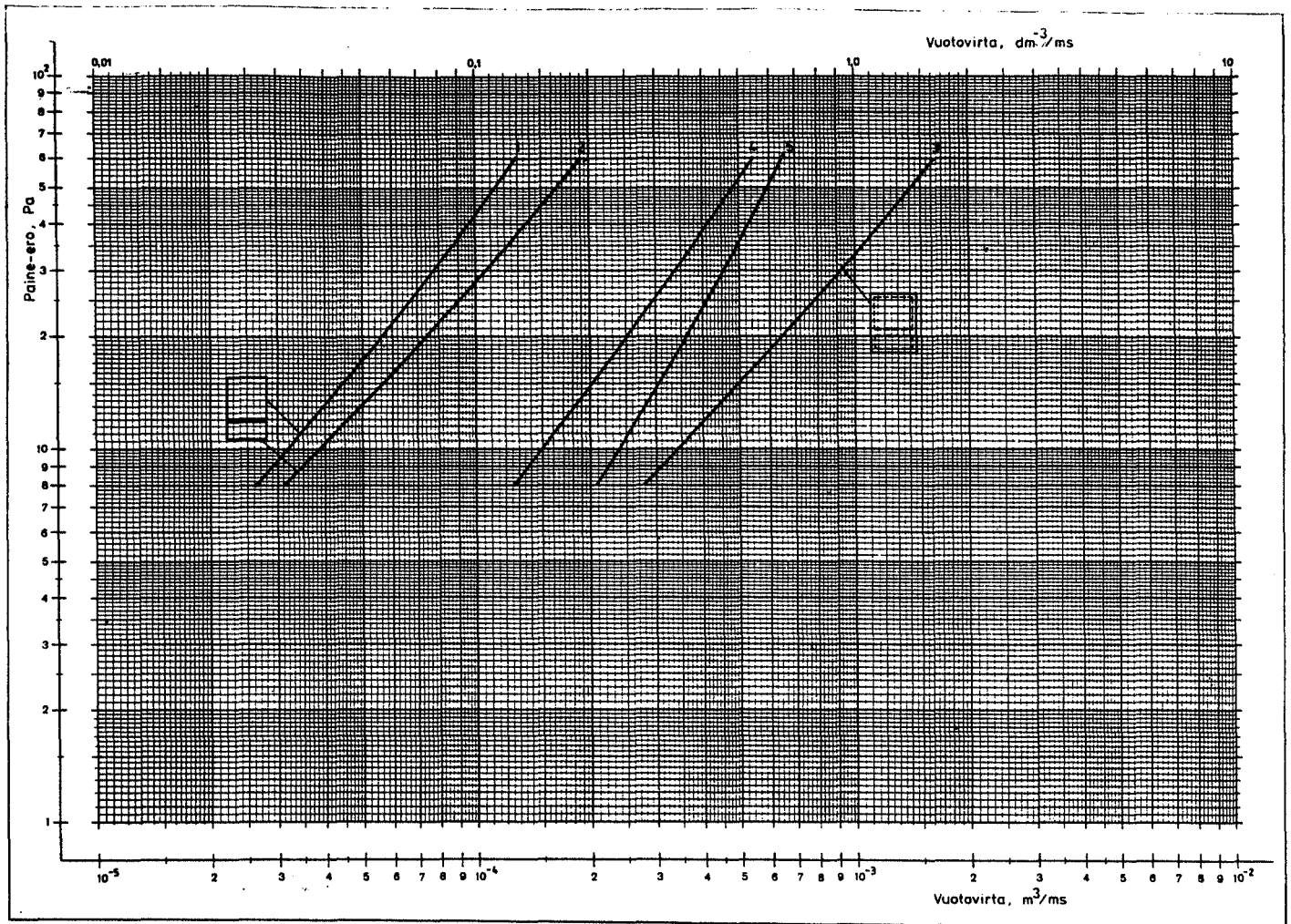
kunarakenteen vuodon sekä elementin saumavuodot.

Mittaustulosten perusteella on laskettu toisiaan vastaavien havaintojen keskiarvo sekä arvioitu keskiarvon vaihtelualue vaihteluväliä käyttäen. Tulokset eri paine-eroilla ovat taulukon 1 mukaiset.

Painekokeen yhteydessä suoritettujen savuhavaintojen perusteella taustavuoto tapahtuu katonraja- ja nurkkasaumoista sekä oven karmiosasta.

## Huoneistokohtaiset painekokeet

Painekoe suoritettiin kaikille huoneis-



**Merkinnät:**

1. Yläkukan puitteiviyys tiivisteenä profiilitiiviste, mitat 1,13 x 1,13 m<sup>2</sup>
2. Tuuletusikkunan puitteiviyys, tiivisteenä profiilitiiviste, mitat 1,13 x 0,375 m<sup>2</sup>
3. Ikkunan karnitteiviyys, aukon mitat 1,20 x 1,60 m<sup>2</sup>
4. Sisäpuolisen parvekeoven puitteiviyys, tiivisteenä profiilitiiviste, mitat 0,825 x 2,200 m<sup>2</sup>
5. Huoneiston sisäänkäyntioven puitteiviyys, tiivisteenä profiilitiiviste, mitat 0,825 x 2,050 m<sup>2</sup>

Kuva 6. Vuotovirran ja paine-eron välinen riippuvuus. Esitetyt vuotokäyrät edustavat toisiaan vastaavien havaintojen keskiarvoja.

toille ulkopuolisella ylipaineella. Viereisten sekä ylä- tai alapuolella sijaitsevien huoneistojen paineistamista ei suoritettu. Kokeen ajaksi teipattiin umpeen kaikki ilmanvaihtoventtiilit, liesikuvun imuaukko sekä postiluukku. Ikkunat, parvekeovet ja huoneiston ulko-ovi olivat suljettuina. Huoneiston sisäovet olivat kokeen aikana avattuina.

Painekokeen tulokset — ilmoitettuna paine-erolle 50 Pa laskettuna ilmanvaihtolukuna — ovat eri kokoisilla huoneistoilla vaihdelleet taulukon 2 mukaisesti.

Huoneiston tilavuus	Ilmanvaihtoluku, vaihtoa tunnissa
225 m <sup>3</sup>	n <sub>50</sub> = 1,3 . . 2,8
143 m <sup>3</sup>	n <sub>50</sub> = 1,7 . . 2,4
119 m <sup>3</sup>	n <sub>50</sub> = 2,1 . . 3,9

Taulukko 2.

Painekokeen tuloksia vertailtaessa on syytä huomata, että parvekeovesta ja

osasta ikkunoita oli tuloilman sisäänottoa varten yläpuiteen tiivistettä tarkoituksellisesti poistettu. Painekokeen yhteydessä suoritettiin vuotokohtien systemaattinen paikantaminen savukokein. Menetelmä osoittautui käyttökelpoiseksi.

**Muut mittaukset**

Rakennuksen painesuhteet mitattiin 60 -pisteistä monipistemanageria käyttäen. Tämä sijoitettiin rakennuksen pohjakerrokseen. Manometriin liitettiin 21 kpl sisäpuolisen ja 29 kpl ulkopuolisen painejakautuman mittauspistettä.

Ilmanvaihtolaitteiden ilmavirrat mitattiin kaikista poistoelimistä. Poistoelimien ilmavirtamittaukseen käytettiin venttiilikohteisesti kalibroituja mittaussondeja. Kolmen poistoelimen ilmavirta mitattiin venttiilikohteisesti asennetulla mittauslaitteella huoneenpuolelta. Il-

mavirran mitauspisteet oli liitetty keskikerrokseen sijoitettuun 36 -pisteiseen manometriin. Manometritaulujen lukeminen suoritettiin valokuvaamalla.

Painesuhde- ja ilmavirtamittausten tulostietoja käytetään vertailulaskelmien lähtötietoina sekä mallin fysikaalisen luotettavuuden arvioimiseen. Vertailulaskelmia ja niihin liittyviä lähtötietoja tullaan käsittelemään seuraavassa artikkelissa.

**Lähteet:**

- /1/ Siitonen V.: Rakenteiden tiiviyden mittaaminen kenttäolosuhteissa. VTT, LVI-tekniikan laboratorio, tiedonanto 33. ESPOO 1978. 27 s.
- /2/ Ilmastointitekniikan mittaukset — Laboratoriokurssi. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, kurssimoniste 3. 1973.
- /3/ Murray R. and Spiegel Ph.D.: Theory and Problems of Statistics. Schaum Publishing Company. New York. 1961. s. 188—189.

## Uppskattning av sambandet mellan byggnaders täthet och luftväxling genom läckage. Del II.

Den fysikaliska tillförlitligheten i teoretiska läckageberäkningar kan verifieras genom jämförelse med mätningar i byggnaden i fråga. Som beräkningsmodell användes ett mindre höghus motsvarande nutida byggnadsstandard. Huset har tre våningar och källarvåning ovan jord. Frånluftssystemet är mekaniskt och dessutom har varje lägenhet spisfläkt.

För bestämning av husets täthet utfördes tryckprov i varje lägenhet. Läckagepunkterna lokaliserades med rökprov. Läckaget vid fönster och dörrar mättes med den sk. samlingskammarmetoden, som visas i fig. 2 i artikeln. Inverkan av randläckaget mellan kammaren och väggen elimineras med en hjälpfläkt, som håller samma tryck i rummet som i samlingskammaren.

Vid tryckproven erhöles resultat vid 50 Pa övertryck enligt tabell 1.

Lägenhetens volym	Luftväxling, omsättningar per timme
225 m <sup>3</sup>	1,3—2,8
143 m <sup>3</sup>	1,7—2,4
119 m <sup>3</sup>	2,1—3,9

Tabell 1. Tryckprovresultat vid 50 Pa i flerfamiljshus.

Det bör observeras, att tätningarna i övre delen av balkongdörrens karm och fönsterkarmarna avsiktligt avlägsnats för att medge inströmning av uteluft.

Tryckförhållandena i huset mättes med en 60 punktsmanometer med känselorgan både inne i huset och utanför.

En jämförelse mellan uppmätta och beräknade värden kommer att ingå i en följande artikel.

## Estimation of the relation between tightness and leakage ventilation in a building. Part II.

The dependability of theoretical leakage calculations may be verified when compared with actual measurements.

As calculation model, an apartment house corresponding to the today's building technique was chosen. The house has three storeys with a cellar above ground. The exhaust air system is mechanical and in addition every apartment has a kitchen fan.

To determine the tightness of the house, pressure tests were made in each apartment. The leakage points were located with smoke tests. The leakage of windows and doors were made with so called plenum method, which is shown in fig. 2 in the article. The influence of the leakage at the connections of the plenum to the wall is eliminated by an auxiliary fan, which maintains the same pressure in the room as in the plenum.

The pressure tests gave results showed in table 1 at 50 Pa positive pressure.

It has to be observed that the tightening gaskets in the upper parts of the balcony door and the windows had been removed to allow the supply of outside air.

The pressure conditions in the house were measured with a 60-point manometre with feelers both inside and outside of the house.

A comparison between measured and calculated leakage values will be contained in a following article.

Volume of the apartment	Air changes per hour
225 m <sup>3</sup>	1,3—2,8
143 m <sup>3</sup>	1,7—2,4
119 m <sup>3</sup>	2,1—3,9

Table 1. Pressure tests in an apartment house.