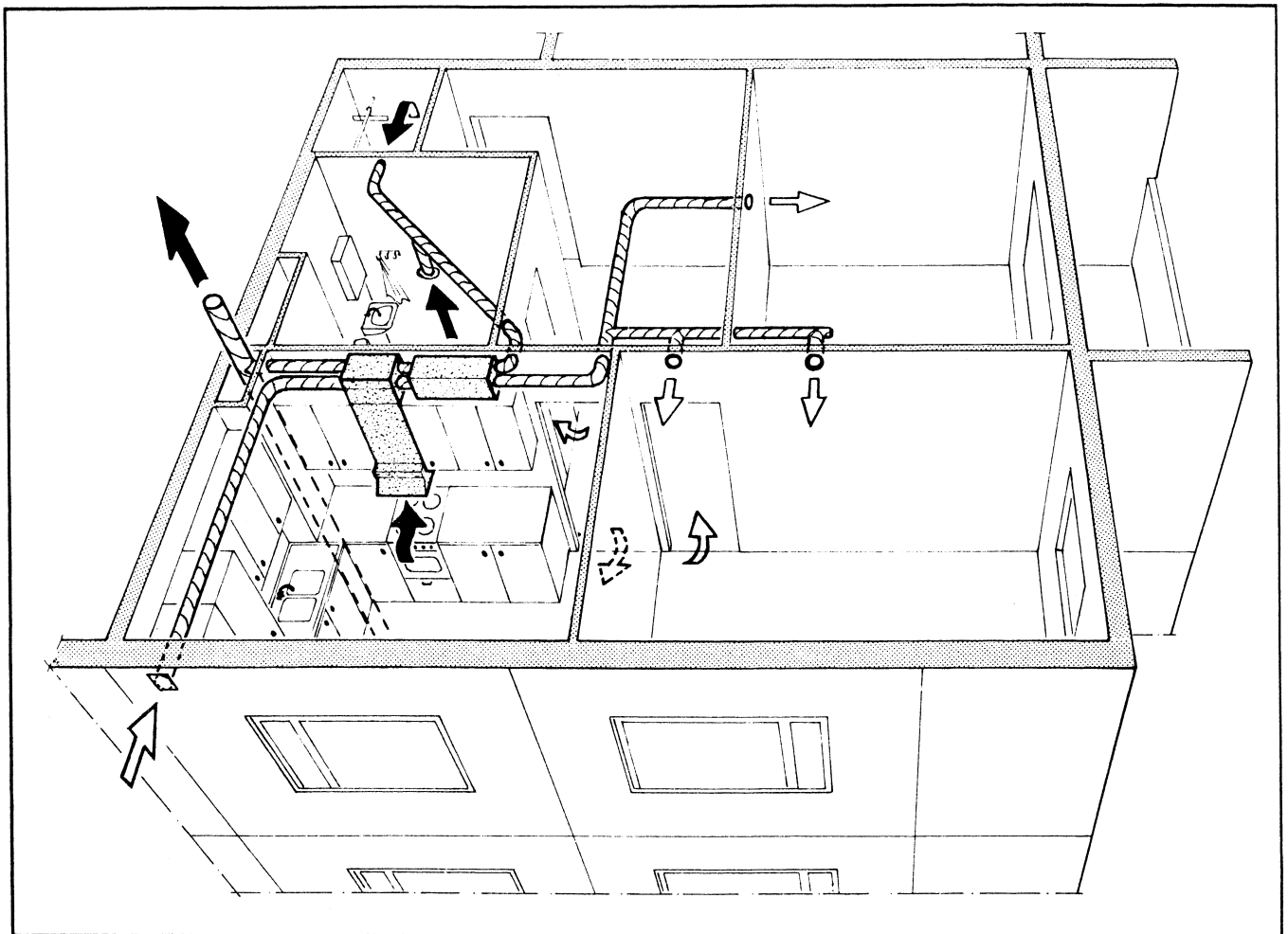




Jorma Heikkinen

# Asuntokohtaiset ilmanvaihtokoneet kerrostalossa







# Asuntokohtaiset ilmanvaihtokoneet kerrostalossa

Jorma Heikkinen  
LVI-tekniikan laboratorio

ISBN 951-38-3064-0

ISSN 0358-5085

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1988

**JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER**

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, 02150 Espoo  
puh. vaihde (90) 4561, teleksi 122972 vttha sf

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, 02150 Esbo  
tel. växel (90) 4561, telex 122972 vttha sf

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, SF-02150 Espoo, Finland  
phone internat. + 358 0 4561, telex 122972 vttha sf

VTT, LVI-tekniikan laboratorio, Lämpömiehenkuja 3, 02150 Espoo  
puh. vaihde (90) 4561

VTT, VVS-tekniska laboratoriet, Värmemansgränden 3, 02150 Esbo  
tel. växel (90) 4561

VTT, Laboratory of Heating and Ventilating, Lämpömiehenkuja 3, SF-02150 Espoo, Finland  
phone internat. + 358 0 4561

HEIKKINEN, Jorma, Asuntokohtaiset ilmanvaihtokoneet kerrostalossa [Ventilation units in each flat in a residential building/Lägenhetbasera ventilationsaggregat i flervåningshus]. Espoo 1988. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita – Statens tekniska forskningscentral, Meddelanden – Technical Research Centre of Finland, Research Notes 824. 88 s./p. + liitt. 14 s./app. 14 p./bil. 14 s.

UDK 697.94.032.2

**Keywords** hvac, ventilation, apartment buildings, residential buildings, air conditioning equipment, exhaust systems, air flow control

## TIIVISTELMÄ

Asuntokohtaisten ilmanvaihtokoneiden teknistä toimivuutta ja käyttöä tutkittiin Hämeenlinnassa kaupungin vuokratalossa kahden vuoden ajan. Talossa on seitsemän asuinkerrosta ja 35 asuntoa. Jokaisen asunnon keittiössä on ilmanvaihtokone, jossa on tulo- ja poistoilmapuhallin. Poistopuhallinta käytetään vain ilmanpoiston tehostukseen. Asukas voi tehostaa liesikuvun ilmanpoistoa esimerkiksi ruoanlaiton ajaksi. Perusilmanpoistosta huolehtii yhteisessä poistokanavistossa oleva puhallin.

Asukkaat tehostivat ilmanpoistoa keskimäärin 50 minuuttia päivässä. Tehostusajat ja tehostusajankohdat vaihtelivat huoneistoittain voimakkaasti, mikä osoittaa huoneistokohtaisen tehostusmahdollisuuden tarpeelliseksi.

Ilmavirrat säilyivät vakaina säästä ja tehostuksen käytöstä riippumatta riittävän suurten kanavistopaineiden takia. Rakennus oli niin tiivis, että ilmanvaihtojärjestelmä pystyi pitämään sen alipaineisena ja ikkunavälit huurteettomina myös kovilla pakkasilla.

Ilman puhallus huoneisiin onnistui vedottomasti mittausten perusteella. Silti osa asukkaista tunsu vetoa. Tuloilma puhallettiin huoneisiin alimmillaan noin 10 °C lämpöisenä. Pitkät tuloilmakanavat tasasivat tuloilman lämpötilanvaihteluja hyvin. Kanaviston lämpötilaa tasaavia ominaisuuksia voitaisiin käyttää suunnitellusti hyväksi.

Ilmanvaihtokoneen ääni keittiössä oli joissakin huoneistois-

sa liian kova. Haitta korostui yksiöissä, joissa asuintila ja keittiö ovat yhtä tilaa. Ääni saatiin pienemään korjauksilla, mutta järjestelmän jatkokehityksessä äänitekniset parannukset ovat aiheellisia. Suurin osa asukkaista ei havainnut ilmanvaihtokoneen aiheuttavan äänihaittoja.

Poistoilman lämmöstä vajaa puolet saatiin siirtymään tuloilmaan ilmanvaihtokoneiden lämmönsiirtimissä.

Ilmanvaihtokoneiden sopiva huoltoväli on puoli vuotta, mutta se voidaan pidentää vuoteen ilman merkittävää haittaa. Ilmansuodattimet kestivät konepesua ainakin 3 - 4 pesukertaa.

HEIKKINEN, Jorma, Asuntokohtaiset ilmanvaihtokoneet kerrostalossa [Ventilation units in each flat in a residential building/Lägenhetbaserade ventilationsaggregat i flervåningshus]. Espoo 1988. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita - Statens tekniska forskningscentral, Meddelanden - Technical Research Centre of Finland, Research Notes 824. 88 s./p. + liitt. 14 s./app. 14 p./bil. 14 s.

UDC 697.94.032.2

Keywords hvac, ventilation, apartment buildings, residential buildings, air conditioning equipment, exhaust systems, air flow control

## ABSTRACT

A mechanical supply and exhaust ventilation system with ventilation units in every dwelling has been monitored during two years period. The house has 35 dwellings in seven stories. The central exhaust system is equipped with a fan which is to provide the basic exhaust air flow rate. The exhaust fan of the ventilation unit in the kitchen is used to force the exhaust air flow rate from the kitchen hood when needed.

The residents forced the kitchen ventilation 50 minutes per day in the mean. There were great differences in times of forcing as well as in duration of forcing. Individual control of kitchen ventilation seems to be necessary.

The air flow rates in the ventilation system were stable irrespective of weather conditions or use of forcing because of high pressure in the ducts. The house was airtight enough, internally and externally, for the ventilation system to keep a slightly lower pressure in dwellings than in the ambient air in most weather conditions. This is essential to prevent moisture damages and inconvenience of moisture between window glasses.

The air velocity in the occupied zone was well below comfort limits. Some residents still feel draught. The minimum temperature of supply air to the living-rooms in winter was about 10 °C. The heat transfer in the supply air ducts was able to raise the supply air temperature considerably as well as to smooth the supply air temperature variations.

The noise level in the kitchen was too high in some flats because of the ventilation unit. The inconvenience was stressed in one-room residences where the living room and kitchen are combined. Most of residents did not feel any inconvenience because of ventilation noise.

About half of the exhaust air energy was recovered in the heat exchanger of the ventilation unit.

The suitable service interval of the ventilation units is six months but even one year service interval seems to be reasonable. The air filters can be washed in a machine at least 3 to 4 times.



HEIKKINEN, Jorma, Asuntokohtaiset ilmanvaihtokoneet kerrostalossa [Ventilation units in each flat in a residential building/Lägenhetbasera ventilationsaggregat i flervåningshus]. Espoo 1988. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita – Statens tekniska forskningscentral, Meddelanden – Technical Research Centre of Finland, Research Notes 824. 88 s./p. + liitt. 14 s./app. 14 p./bil. 14 s.

UDK 697.94.032.2

Keywords hvac, ventilation, apartment buildings, residential buildings, air conditioning equipment, exhaust systems, air flow control

#### REFERAT

Funktionen av ett ventilationssystem med mekanisk till- och frånluft har uppföljts under två år i ett flerbostadshus i Tavastehus, Finland. Huset har 35 lägenheter och sju våningar. Takfläkten i den gemensamma avluftskanalen svarar för basventilationen. Varje lägenhet har ett ventilationsaggregat med till- och frånluftsfläkt över spiskåpan i köket. Aggregatets frånluftsfläkt träder i funktion endast vid forcering av frånluftsflödet från spiskåpan.

Invånarna forcerade kökventilationen 50 minuter per dygn i medeltal. Forceringstiderna och också deras utsträckningar varierade mycket i olika lägenheter. Forceringsmöjligheten visade sig vara nödvändig.

Luftflödena var stabila oberoende av vädret eller forceringen därför att trycket i kanalerna var tillräckligt högt. Byggnaden var lufttät både invändigt och utvändigt så att ventilationsflödena kunde behålla svagt undertryck inne också vid kallt väder.

Lufthastigheterna i vistelsezonen var låga. Trots det kände några invånare drag. Tilluftstemperaturen vid tilluftsdonet var som lägst 10 °C. Långa kanaler jämnade och höjde tilluftstemperaturen så att kanalerna kan utnyttjas som förvärmare av tilluften.

Ljudnivån i köket var för hög i några lägenheter. Olägenheten betonades i enrumslägenheterna där köket och vardagsrummet var i samma utrymme. Ljudnivån minskades genom

reparationer men ljudtekniska förbättringar är nödvändiga. De flesta av invånarna observerade inget buller.

Ventilationsvärmväxlaren sparade nästan hälften av skillnaden i energi-innehållet mellan avluften och uteluften.

En lämplig serviceperiod av ventilationsaggregatet är sex månader men kan förlängas till ett år utan väsentliga nackdelar. Luftfiltren kan tvättas i maskin åtminstone 3-4 gånger.

## ALKUSANAT

Koerakentamisen ja siihen liittyvän seurantatutkimuksen tavoitteena oli kokeilla asuntokohtaisiin ilmanvaihtokoneisiin perustuvan ilmanvaihtojärjestelmän soveltuvuutta suomalaiseseen rakentamiseen ja käyttöön. Järjestelmän on kehittänyt Fläkt Ab Ruotsissa. Koerakentamishankkeen aloitti Puolimatka-yhtymä Oy.

Kiinteistö Oy Lammasmäen omistaa Hämeenlinnan kaupunki. Rakennuksen on suunnitellut Puolimatka-yhtymä Oy:n suunnittelutoimisto Rakennussuunnittelu Optiplan ja rakentanut Rakennustoimisto A. Puolimatka Oy. Koerakentamista ja tutkimusta on rahoittanut ympäristöministeriö. Asuntohallitus on hyväksynyt koerakentamiseen liittyvän lisälainan. Puolimatka-yhtymässä hankkeesta vastasi diplomi-insinööri Matti Leino ja yhteyshenkilönä oli rakennusinsinööri Kaj Ahvas.

Tutkimuksen valvontaryhmään ovat kuuluneet edellä mainittujen lisäksi diplomi-insinööri Pirjo Kimari ja diplomi-insinööri Helena Vuorelma ympäristöministeriöstä, insinööri Pentti Viitanen asuntohallituksesta, diplomi-insinööri Mikko Ylhäisi kauppa- ja teollisuusministeriöstä, diplomi-insinööri Antti Majanen Teknillisestä korkeakoulusta, insinööri Tapio Ketola ja teknikko Kalevi Rossi Suomen Puhallintehdas Oy:stä, teknikko Veikko Meri Puolimatka-yhtymä Oy:stä ja isännöitsijä Rauno Rapo Kanta-Hämeen talokeskuksesta.

Tutkimus tehtiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) LVI-tekniikan laboratoriossa, jossa päätutkijana oli diplomi-insinööri Jorma Heikkinen. Mittauksista vastasi työtekniikko Antti Mäkelä lukuun ottamatta äänimittauksia, jotka suoritti insinööri Reijo Heinonen. Mittauksia ovat tehneet myös tekniikan ylioppilas Päivi Marjamäki ja diplomi-insinööri Marianna Luoma. Mittareiden lukemisesta talossa huolehti talonmies Tenho Leppänen. Tietokoneohjelmat laati tekniikan ylioppilas Mikko Saari. Suodatinmittaukset laboratoriossa teki diplomi-insinööri Rolf Holmberg ja äänitek-

nisenä asiantuntijana oli diplomi-insinööri Juhani Laine. Asukashaastattelun tekivät maa- ja metsätaloustieteen kandidaatti Anneli Reisbacka ja tutkimusteknikko Raili Alkula Työtehoseura r.y:n kotitalousosastosta.

Kiitän talon asukkaita ymmärtäväisestä suhtautumisesta mitausten aiheuttamaan häiriöön.

Espoo, tammikuu 1988

Jorma Heikkinen

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	5
REFERAT	7
ALKUSANAT	9
1 JOHDANTO	14
2 RAKENNUS JA LVI-JÄRJESTELMÄ	16
2.1 Rakennus	16
2.2 Ilmanvaihtojärjestelmä	17
2.2.1 Ilmanvaihtokoneet	19
2.2.2 Yhteinen poistoilmakanavisto	20
2.2.3 Asuntokohtainen kanavointi ja pääte- elimet	22
2.2.4 Ilmanvaihtojärjestelmän investointikustannukset	23
2.3 Lämmitys- ja käyttövesijärjestelmä	24
3 SEURANTATUTKIMUS	25
3.1 Rakennusvaiheen seuranta	25
3.2 Rakennuksen valmistumisvaiheen mittaukset	26
3.3 Jatkuva seuranta kahden lämmityskauden ajan	26
3.4 Kertamittaukset	28
3.5 Asukashaastattelu	29

4	RAKENNUKSEN VALMISTUMISVAIHEEN MITTAUSTULOKSET	30
4.1	Rakennuksen tiiviys	30
4.1.1	Ulkovaipan kokonaistiiviys	30
4.1.2	Asuinhuoneistojen tiiviys	31
4.1.3	Kerrosten välinen tiiviys	32
4.2	Ilmanvaihdon tarkistusmittaus	34
4.2.1	Ilmavirrat	34
4.2.2	Paine-ero ulkovaipan yli	38
4.3	Poistoilmavirran tehostuksen toiminta	40
4.4	Äänimittaukset	43
5	ENERGIAN KULUTUS	45
6	TEHOSTETUN ILMANVAIHDON KÄYTTÖ JA KANAVISTON TOIMINTA	47
6.1	Tehostusilmanvaihdon käyttötiheys	47
6.2	Poistoilmavirtojen pysyvyys	51
7	LÄMMÖN TALTEENOTTO	52
7.1	Talteen saatavan energian laskentaperiaate	52
7.2	Lämmön talteenotolla saatu energia	54
7.3	Talteen otetun energian rahallinen arvo	58
8	TULOILMAN LÄMMITYS	60
8.1	Tuloilman lämmitys ja lämpeneminen kanavistossa	60
8.2	Ilmanvaihtokoneen sähköteho	64
9	LÄMPÖOLOT	66
9.1	Huonelämpötilat	66
9.2	Tuloilman heittokuviot ja ilman liike	67
10	ULKOVAIPAN PAINE-ERO	70
11	ÄÄNITEKNISET KORJAUKSET	72
12	ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN HUOLTO	74
12.1	Venttiilien ja ilmanvaihtokoneen likaantuminen	74
12.2	Ilmansuodattimet ja ilmavirtojen pysyvyys	74
12.3	Ilmansuodattimien pestävyys	76

13	ASUKASHAASTATTELU	78
13.1	Haastattelumenetelmä ja vertailuaineisto	78
13.2	Taustatiedot	78
13.3	Ilman raikkaus	78
13.4	Pölyisyys	79
13.5	Ilman kosteus	79
13.6	Ikkunoiden huurtuminen ja jäätyminen	80
13.7	Tuuletus	80
13.8	Ilmanpoiston tehokkuus	80
13.9	Vetoisuus	81
13.10	Ilmanvaihdosta aiheutuvat äänet	81
13.11	Huolto	81
14	ARVIO JÄRJESTELMÄSTÄ	84
14.1	Vertailu vaihtoehtoisiin järjestelmiin	84
14.2	Parannusehdotuksia	85
	LÄHDELUETTELO	87

#### LIITTEET

Liite 1. Huonejärjestys, ilmavirrat ja ilmanvaihtokanavisto.

Liite 2. Rakennuksen kokonaispoistoilmavirrat.

Liite 3. Tuloilmasuihkujen heittokuviot lokakuussa 1985.

Liite 4. Ilmansuodattimien pesunkestävyyskoe.

Liite 5. Ilmanvaihtomelu 15.1.1987.

Liite 6. Energiankulutus ja sen jakautuminen kuukausittain.

Liite 7. Lämpötilojen ja paine-erojen kuukausikeskiarvot.

## 1 JOHDANTO

Asuinkerrostaloissa on koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä ollut vallitsevana 1950-luvun lopulta saakka. Järjestelmän epäkohdat ovat hyvin tiedossa:

- Ulkoilman jakautuminen asuinhuoneisiin on epätaisaista, mistä syystä etenkin makuuhuoneiden ilman laatu on huono.
- Ulkoilman sisääntulokohtien lähetyvillä on vetoista.
- Ilmanvaihdon energiankulutus on suuri.
- Ilmanvaihdon keskitetty tehostus oletettuina ruoanlaittoaikoina vastaa vain harvojen käyttäjien tarpeita.
- Kaksinopeusjärjestelmä on ilma- ja ääniteknisesti vaikea hallita.

Korvaavaa, laajaan tuotantoon sopivaa järjestelmää ei ole kuitenkaan löytynyt. 1980-luvun alusta lähtien on kokeiltu erilaisia koneellisia tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmiä, joilla onkin saatu joitain epäkohtia korjatuksi.

Uudet järjestelmät ovat valitettavasti tuoneet mukanaan joukon uusia ongelmia, ennen kaikkea melua ja vetoa. Nämä haitat ovat periaatteessa vältettävissä hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella. Tuekseen suunnittelijat ja urakoitsijat tarvitsevat koeteltuja malliratkaisuja, jotka johtavat hyvään lopputulokseen kohtuullisin kustannuksin.

Kiinteistö Oy Lammasmäessä kokeiltavana oleva tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä perustuu huoneistokohtaisiin ilmanvaihtokoneisiin. Tuloilma puhalletaan asuinhuoneisiin. Ilmanpoiston tehostus liesikuvulta on mahdollista tarpeen



mukaan. Keskuspoistoilmakanavisto puhaltimiseen on kaikille asunnoille yhteinen.

Järjestelmä on kehitetty Ruotsissa, jossa se on asennettu lähes kahteen tuhanteen asuntoon. Sen toimivuutta ei ole Ruotsissa tutkittu.

Koerakentamisella ja seurantatutkimuksella on pyritty selvittämään, miten kyseinen järjestelmä soveltuu suomalaiseen rakentamiseen ja käyttöön.

Koerakennus valmistui lokakuussa 1985 ja seurantatutkimus kesti toukokuun 1987 loppuun saakka.

## 2 RAKENNUS JA LVI-JÄRJESTELMÄ

### 2.1 Rakennus

Koerakennus Kiinteistö Oy Lammasmäki on Hämeenlinnan kaupungin omistama vuokrakerrostalo (kuva 1). Talo sijaitsee Hämeenlinnan kaupungissa osoitteessa Katumantie 10.

Talossa on yksi porras, seitsemän asuinkerrosta ja 35 huoneistoa, joissa asuu 96 henkilöä (tilanne 1.1.1987). Pohjakerroksessa ovat saunatilat, kerhohuone, väestönsuoja, ulkoiluvälinevarasto sekä kiinteistön huoltotilat.



Kuva 1. Kiinteistö Oy Lammasmäki idästä katsottuna.

Rakennuksen huoneistoala on 2 117,5 m<sup>2</sup>, bruttoala 2 984 m<sup>2</sup> ja rakennusala 371,5 m<sup>2</sup>. Rakennustilavuus on 8 530 m<sup>3</sup>.

Asuinkerroksen pohjapiirros on liitteessä 1 ja huoneistotyytit numeroineen taulukossa 1. Huoneistonumerot esiintyvät joidenkin mittauksien yhteydessä.

Taulukko 1. Kiinteistö Oy Lammasmäen huoneistotyyppit.

Huoneluku	Huoneistoala	Huoneistomerot
3 h + k	74,5 m <sup>2</sup>	1, 6, 11, 16, 21, 26, 31
2 h + k	58,5 m <sup>2</sup>	2, 7, 12, 17, 22, 27, 32
1 h + kk	33,0 m <sup>2</sup>	3, 8, 13, 18, 23, 28, 33
2 h + k	60,0 m <sup>2</sup>	4, 9, 14, 19, 24, 29, 34
3 h + k	76,5 m <sup>2</sup>	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35

Talo on betonielementtirakenteinen. Ulkoseinäelementeissä on ulkopuolella 60 mm betonikerros, välissä 120 mm mineraalivillaa ja sisäpuolella 70 - 160 mm betonikerros. Parvekkeen taustaseinät ovat edellä mainitusta poiketen puurankarakenteisia. Ikkunat ovat kolmilasiset.

Välipohjat on tehty ontelolaatoista. Laatan paksuus on 265 mm ja pyöreiden onteloiden halkaisija 185 mm. Onteloita on käytetty tuloilmakanavan osana sopivissa paikoissa.

Huoneistojen porraskäytävöissä ei ole postiluukkuja ilma-  
vuotojen välttämiseksi. Jokaisella huoneistolla on porrastasanteella oma postilaatikkonsa.

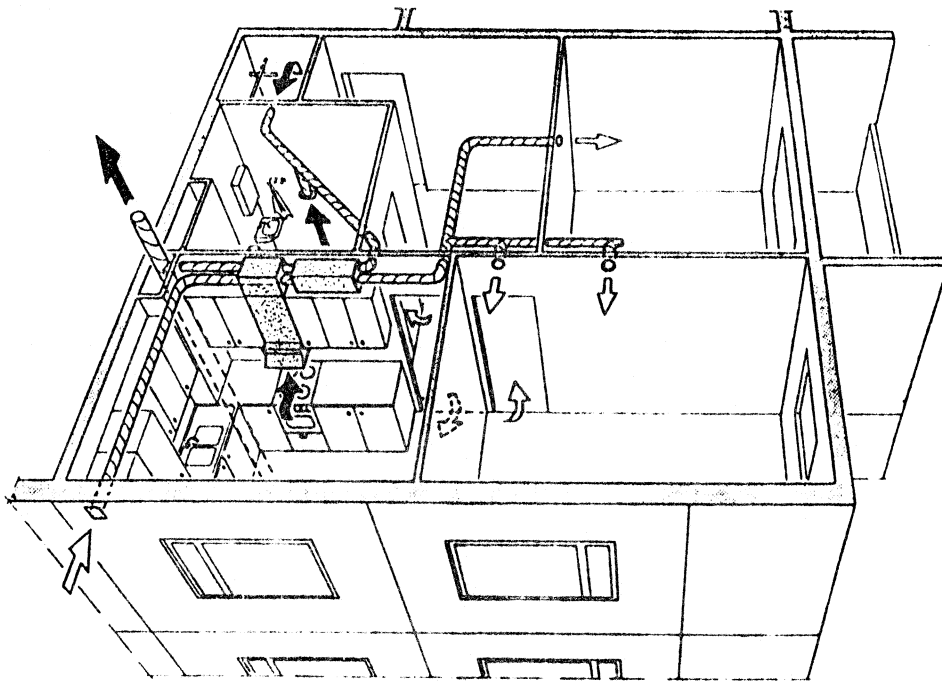
Rakennuksen on suunnitellut Puolimatka-yhtymä Oy:n suunnittelutoimisto Rakennussuunnittelu Optiplan ja rakentanut Rakennustoimisto A. Puolimatka Oy. Ilmanvaihtourakoitsija oli Suomen Puhallintehdas Oy ja sähköurakoitsija Rajalan Sähkö Oy.

## 2.2 Ilmanvaihtojärjestelmä

Kiinteistö Oy Lammasmäessä on koneellinen tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmä. Jokaisella huoneistolla on oma täydellinen ilmanvaihtokoneensa liesikuvun yläpuolella. Laitteiden sijoitus huoneistoon käy ilmi kuvasta 2.

Ilmanvaihtokoneilta lähtevät poistoilmakanavat on yhdistetty talon yhteiseen poistoilmakanavaan, jossa on keskuspoistopu-

hallin. Perusilmanvaihdossa ilman poistosta huolehtii keskuspoistopuhallin; ilmanvaihtokoneen poistopuhallin ei käy. Asunnon poistoilmavirta on keskitetty kylpyhuoneeseen; kylpyhuoneen ilmavirta on perustilanteessa ohjearvojen mukaisesti 16 l/s (RakMK D2 1978). Kylpyhuoneen ilmanvaihto on siis suurempi kuin kaksinopeusjärjestelmissä, joissa puolitettu ilmavirta 8 l/s on suurimman osan aikaa käytössä.



Kuva 2. Huoneiston ilmanvaihtokanavisto. Poistoilmaa imeetään liesikuvulta, kylpyhuoneesta ja vaatehuoneesta. Tuloilmaa puhalletaan asuinhuoneisiin. Poistoilma menee koneelta yhteispoistokanavistoon.

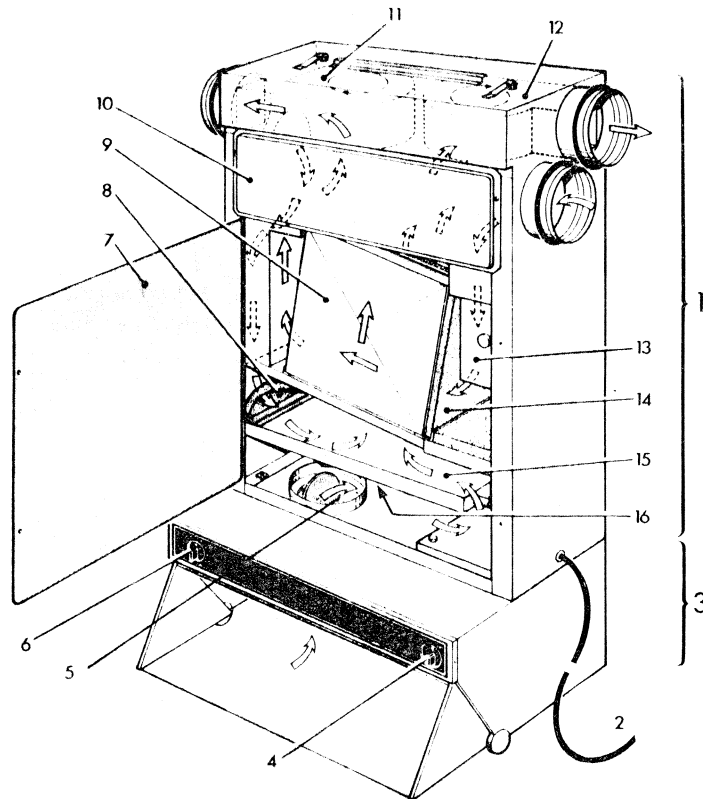
Asukas voi tehostaa ilmanpoistoa liesikuvusta valitsemalla liesikuvussa olevasta ajastinkellosta tehostusajan, joka voi olla enintään 60 minuuttia. Ilmanvaihtokoneen poistoilmapuhallin käynnistyy ja liesikuvun venttiili (tehostusläppä) avautuu täysin. Seurauksena on, että liesikuvun poistoilmavirta lisääntyy noin arvoon 30 l/s ja muiden tilojen poistoilmavirrat hieman pienenevät. Huoneiston kokonaispoistoilmavirta kasvaa tehostettaessa noin 50 %. Ilmanvaihtokoneen kautta tuleva ulkoilmavirta ei juuri lisääny:

Kokonaispoistoilmavirta asunnoista on normaalikäytössä suunnitelmien mukaan  $0,973 \text{ m}^3/\text{s}$ , mikä vastaa asuntojen keskimääräistä ilmanvaihtokerrointa  $0,66 \text{ 1/h}$ .

Kellaritiloissa on koneellinen poistoilmajärjestelmä, jonka puhaltimet ovat kaksinopeuksisia. Suunnitteluilmavirta suuremmalla käyntinopeudella on  $0,342 \text{ m}^3/\text{s}$ , mikä vastaa ilmanvaihtokerrointa  $1,44 \text{ 1/h}$ .

### 2.2.1 Ilmanvaihtokoneet

Huoneistojen ilmanvaihtokoneet ovat Suomen Puhallintehtaan tyyppiä RDKA-11-6. Koneen pääosat selviävät kuvasta 3.



- |                                                              |                             |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Koneosa                                                   | 8. Poistoilmasuodatin       |
| 2. Kiinteä verkkoliitäntä                                    | 9. Lämmönsiirrin            |
| 3. Liesikupu                                                 | 10. Etuluukku               |
| 4. Valaisimen kytkin                                         | 11. Tuloilmapuhallin        |
| 5. Liesikuvun poistoilmavirran kuristusläppä                 | 12. Poistoilmapuhallin      |
| 6. Liesikuvun poistoilmavirran tehostuskytkin (ajastinkello) | 13. Lämmitysvastus (1,2 kW) |
| 7. Saranoitu etuluukku                                       | 14. Tuloilmasuodatin        |
|                                                              | 15. Lauhdeallas             |
|                                                              | 16. Palopelti               |

Kuva 3. Huoneiston ilmanvaihtokone RDKA (Suomen Puhallintehtas Oy 1983).

Lähes samanlaisia koneita käytetään myös pientaloissa, erot ovat puhaltimien sähköisissä kytkennöissä. Koneessa on tulo- ja poistoilmapuhaltimet, tulo- ja poistoilmansuodattimet, lämmöntalteenoton lämmönsiirrin ja tuloilman lämmitysvastus. Lämmitysvastus (teho 1,2 kW) pitää tuloilman vähintään 11 °C lämpöisenä ja huolehtii lämmönsiirtimen huurtumisen estosta. Sähkö tulee ilmanvaihtokoneisiin kiinteistön mittarin kautta.

Huoneiston ilmanvaihtojärjestelmän kaavio on kuvassa 8 sivulla 28 mittausjärjestelyjen yhteydessä.

### 2.2.2 Yhteinen poistoilmakanavisto

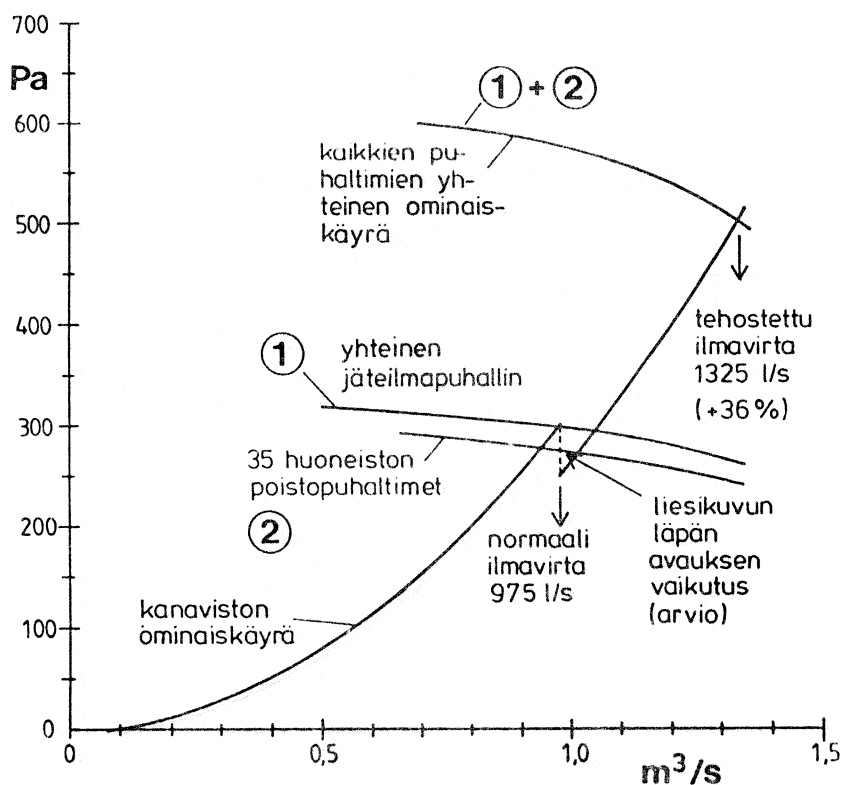
Ilmanvaihtokoneiden poistoilmapuhaltimet on kytketty rinnan ja keskuspoistopuhallin on näiden kanssa sarjassa kuvan 4 mukaisesti. Asuntokohtaisten koneiden poistopuhaltimet seisovat perusilmanvaihtotilanteessa ja käyvät ilmanvaihtoa tehostettaessa.

Keskuspoistopuhaltimen ominaiskäyrä on valittu laakeaksi, jotta lisääntyvä ilmavirta ei muuttaisi yhteiskanaviston painetasoa. Samasta syystä yhteiskanaviston on oltava väljä.

Tehostuksen vaikutuksesta poistoilmavirtaan on laskennallinen esimerkki kuvassa 5, joka on tehty ennen seurantamittauksia.

Kanavistossa olevat ilmavirran mittauselimet (Lapinleimu MRS) on asennettu seurantatutkimuksen tarpeita varten.





Kuva 5. Laskennallinen esimerkki tehostuksen vaikutuksesta kokonaispoistoilmavirtaan, kun poistoilmavirtaa tehostetaan kaikissa 35 huoneistossa.

### 2.2.3 Asuntokohtainen kanavointi ja päätte-elimet

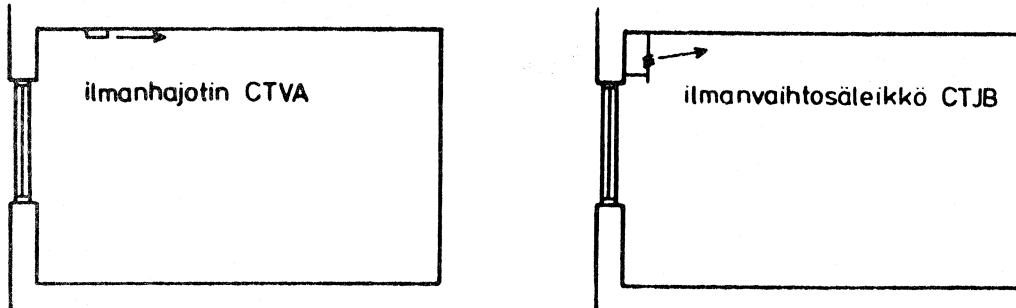
Kanaviston kulku huoneistossa käy ilmi liitteestä 1. Asunnon sisäinen poistokanavisto on lyhyt, koska suurin poistokohde, liesikupu, sijaitsee heti koneen alapuolella. Kylpyhuoneessa ja vaatehuoneessa on tavalliset poistoilmaventtiilit.

Ulkoilmakanava on vedetty kulkemaan keittiökaappien yläsokkelissa ja eristetty mineraalivillalla ja päällystetty muovikalvolla vesihöyryn tiivistymisen estämiseksi.

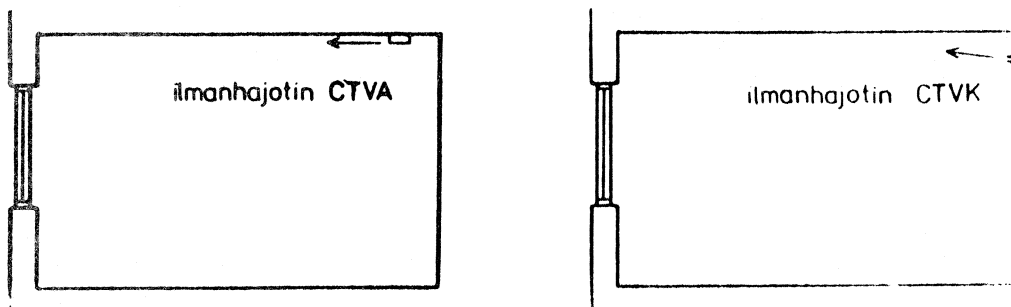
Tuloilmakanavistossa on käytetty hyväksi ontelolaatan onteloita. Ontelokanavien ja alakattojen ansiosta kanavistoja ei ole tarvinnut juuri koteloida.



Kuvissa 6 ja 7 esitetään ilman sisäänpuhallustavat ja käytetyt pääte-elimet. Sisäänpuhallustapoja on periaatteessa kaksi: puhallus ikkunaseinältä patterin konvektiovirtauksen suuntaan (etureunapuhallus) ja takareunapuhallus ikkunaa ja patterivirtausta vastaan. Ilma puhalletaan joko katosta tai seinältä.



Kuva 6. Etureunapuhallus katosta tai seinältä.



Kuva 7. Takareunapuhallus katosta tai seinältä.

#### 2.2.4 Ilmanvaihtojärjestelmän investointikustannukset

Rakennuksen ilmanvaihtourakka oli vertailutarjousten perusteella 164 000 mk kalliimpi kuin koneellisessa poistoilmajärjestelmässä. Lisäksi arvioitiin ilmanvaihtojärjestelmästä aiheutuvan 70 000 mk lisää rakennuskustannuksia. Lämmitysverkoston kustannukset pienenevät 8 000 mk koneelliseen poistojärjestelmään verrattuna, joten ilmanvaihtojärjestelmän lisäkustannukset olivat yhteensä 226 000 mk. Huoneistoalaa kohti lisäkustannukset olivat 107 mk/m<sup>2</sup>.

Vertailujärjestelmänä ollut koneellinen poisto edustaa ilmanvaihdon vähimmäisvaatimukset täyttävää järjestelmää rakentamisajankohtana. Uusien Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeiden (RakMK D2 1987) mukaan liesikupu ja ulkoilmaelimet kuuluvat entisestä poiketen vähimmäistason järjestelmään ja nostavat sen kustannuksia. Vähimmäistason järjestelmän kustannusten nousu vähentää tutkittavan järjestelmän lisäkustannuksia.

Ilmanvaihtokanavistojen tarvitsema lattiapinta-ala oli koko rakennuksessa  $3,5 \text{ m}^2$  pienempi kuin tavanomaisessa koneellisen poiston järjestelmässä rakentajan ilmoituksen mukaan. Vastaava tilakustannusten säästö parantaa tutkittavan järjestelmän taloudellisuutta.

### 2.3 Lämmitys- ja käyttövesijärjestelmä

Rakennuksessa on vesipatterilämmitys ja lämmönlähteenä on kaukolämpö. Pattereissa on termostaattiventtiilit.

Kylpyhuoneen lämmitys hoidetaan termostaattiohjatulla sähköpattereilla (teho 300 W). Sähkö patteriin tulee asunnon sähkömittarin kautta.

Lämpimän käyttöveden piirissä ei ole kiertojohtoa. Syöttöjohdon pitää lämpimänä saattolämmityskaapeli (tyyppiä Chemelex Auto-Trace HWAT-45), joka on sijoitettu kupariputken pintaan eristekourun alle. Eristeenä on 20 mm vuoriviljaa, ja saattolämmitetyn syöttöjohdon yhteispituus on noin 135 m. Saattolämmityssähkö tulee kiinteistön sähkömittarin kautta.

Lämmin ja kylmä käyttövesi mitataan asuntokohtaisesti. Mittarit luetaan lämmönjakohuoneessa olevasta mittauskeskuksesta (tyyppiä Vesiverto EV).

### 3 SEURANTATUTKIMUS

Puolimatka-yhtymä Oy tilasi Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen LVI-tekniikan laboratoriolta tutkimussuunnitelman maaliskuussa 1984. Rakennussuunnitelmat olivat tässä vaiheessa jo valmiit ja rakentamisen tuli alkaa elo—syyskuussa samana vuonna. Päätös seurantatutkimuksen rahoituksesta tuli syyskuun puolivälissä.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää koerakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän

1. vaikutus lämpöoloihin ja ilman puhtauteen
2. tekninen toimivuus
3. käytettävyys
4. vaikutus energiatalouteen.

Tutkimuksesta jätettiin ilman suoranaisen puhtauden (kaasut ja hiukkaset) mittaukset pois, koska sopivaa vertailuainetta muista ilmanvaihtojärjestelmistä ei ole. Ilmavirtojen oletettiin kuvaavan riittävän hyvin ilman puhtautta.

#### 3.1 Rakennusvaiheen seuranta

Tutkimussuunnitelmassa varattiin tutkimuslaitokselle määräraha hankkeen seurantaan rakentamisen aikana. Tarkoituksena oli välttää aikaisemmissa koekohteissa ilmenneitä ongelmia, joista merkittävin oli ikkunoiden lasivälin huurtuminen rakennuksen sisäisten ilmavuotojen takia. Myös ilmanvaihdon säätö oli jäänyt koekohteissa puutteelliseksi.

Rakennuksen sisäinen tiiviys pyrittiin varmistamaan työmaata informoimalla ja työn toteutusta tarkkailemalla. Elokuussa 1985 järjestettiin työmaalla kokous, jossa pyrittiin moti-

voimaan rakentamisen kaikki osapuolet hyvän tiiviyyden aikaansaamiseen. Eri urakoitsijoiden osuudet, erityisesti läpiviennit, tarkastettiin Puolimatka-yhtymän laatiman listan mukaan. Tiivistä postiluukkua ei löytynyt markkinoilta ja siksi postiluukut korvattiin ilmavuotojen välttämiseksi postilaatikoilla.

Ilmanvaihtokanaviston toiminnasta tehostustilanteessa suoritettiin laskelmia insinöörioppilastyönä (Sinisalo & Sivonen 1985). Laskelmien mukaan poistoilmavirran tehostus osassa huoneistoja vaikutti muiden huoneistojen normaali-ilmavirtaan vain vähän: ilmavirta pieneni 9 % muissa huoneistoissa, kun 15 huoneistoa 35:stä tehosti ilmanvaihtoa.

Asuntojen tulo- ja poistoilmavirrat oli alunperin suunniteltu yhtä suuriksi. Alipaineisuuden saamiseksi tuloilmavirtoja pienennettiin lopullisessa suunnitelmassa 81 %:iin poistoilmavirroista (kaikkien huoneistotyyppien keskiarvo). Keskuspoistopuhaltimen ilmavirran puolitus ulkoilmatermostaatin ohjaamana jätettiin pois, koska sen tiedettiin johtavan pakkasella ylimpien kerrosten ikkunoiden huurtumiseen.

### 3.2 Rakennuksen valmistumisvaiheen mittaukset

Rakennus valmistui 3.10.1985 (viranomaisien loppukatselmus) ja asukkaat muuttivat sisään 15.10.1985.

VTT:lle jäi noin viikko aikaa mitata rakennuksen tiiviyyttä ja ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa tyhjässä talossa. Mittausten perusteella todettiin tarve säätää poistoilmakanavisto uudelleen. Uusi säätö ja uudet toimintamittaukset ehdittiin suorittaa vielä ennen asukkaiden muuttoa.

### 3.3 Jatkuva seuranta kahden lämmityskauden ajan

Lämpötiloja, kanavistopaineita ja poistoilmanvaihdon tehostusta seurattiin mikrotietokoneen ohjaamalla tiedonkeruujär-

jestelmällä, johon voidaan kytkeä 80 mittauspistettä. Mittausväli oli 2 minuuttia. Tuntikeskiarvot sekä 13 mittauskanavan hetkelliset minimi- ja maksimit tunnin aikana talletettiin kasetille jatkokäsittelyä varten.

Asuntojen poistopuhaltimien käyttöä seurattiin kaikissa 35 asunnossa.

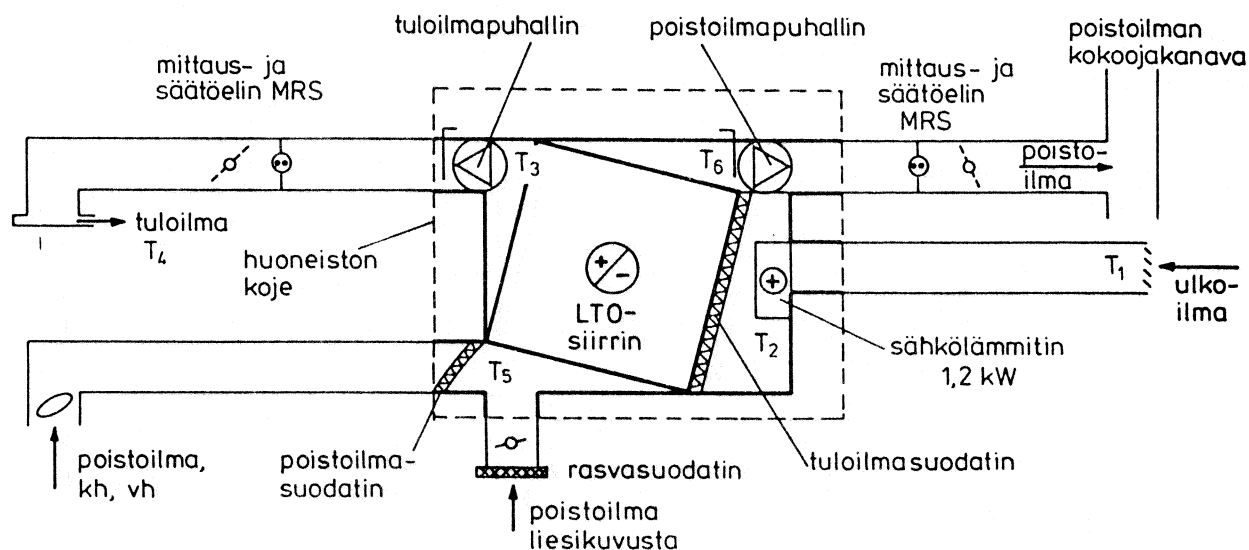
Lämpötiloja mitattiin

- kolmen huoneiston ilmanvaihtokanavistosta (yhteensä 29 mittauspistettä koneissa, ulkoilma- ja tuloilma-kanavissa, ks. kuva 8)
- seitsemän huoneiston eteistilasta (kaikki 76,5 m<sup>2</sup> huoneistot)
- poistoilmakanavistosta ennen poistopuhallinta (5 pääkanavaa 10:stä)
- ulkoa rakennuksen pohjoispuolelta 3 m ja 23 m korkeuksilta.

Poistoilmakanaviston paine-eroa ympäristöön mitattiin paine-erolähettimillä

- ensimmäisen kerroksen 76,5 m<sup>2</sup> huoneiston kohdalta
- keskuspoistopuhaltimen imukammista.

## Huoneiston ilmanvaihtojärjestelmän kaavio



Kuva 8. Ilman lämpötilan mittauspaikat kolmessa seuranta-  
huoneistossa.

- T<sub>1</sub>, ulkoilma ulkoilmasäleikössä
- T<sub>2</sub>, tuloilma ennen lämmöntalteenottoa (LTO)
- T<sub>3</sub>, tuloilma lämmöntalteenoton jälkeen
- T<sub>4</sub>, tuloilma huoneeseen (sisäänpuhallusilma)
- T<sub>5</sub>, poistoilma ennen lämmöntalteenottoa
- T<sub>6</sub>, poistoilma lämmöntalteenoton jälkeen.

### 3.4 Kertamittaukset

Kertamittausten kohteeksi valittiin kerrosten 2, 4 ja 7 huoneistot. Ylin kerros otettiin mukaan ulkovaipan painesuhteiden ja lämpöolojen kannalta kiinnostavana. Kolme toisen kerrosten huoneistoa oli myös jatkuvassa seurannassa, jonka tueksi kertahavainnot olivat tarpeen. Neljäs kerros edustaa keskikerroksia.

Kaikissa mainituissa huoneistoissa käytiin mittaamassa vä-

hintään kolme kertaa: tammikuussa 1986, elokuussa 1987 ja tammikuussa 1987. Tällöin mitattiin huoneistojen kokonaisilmavirrat, paine-erot ulos ja talvella lämpöolot. Elokuussa 1986 mitattiin ilmanvaihtokoneen eri osien paineet ja tarkastettiin koneiden ja suodattimien likaantuminen. Huoneiden äänitaso mitattiin ääniteknisten korjausten jälkeen tammikuussa 1987.

Talon valmistuttua jäi kuudennen kerroksen huoneisto 30 VTT:n käyttöön helmikuun 1986 loppuun saakka. Huoneistossa mitattiin lämpö-oloja ja koneen aiheuttamaa ääntä tarkemmin kuin asutuissa huoneistoissa on mahdollista.

### 3.5 Asukashaastattelu

Asukashaastattelu toteutettiin kesällä 1987 seurantamittausten päätyttyä. Haastattelulomakkeet olivat pieniä muutoksia lukuun ottamatta samat kuin kahden naapuritalon aikaisemmissa haastatteluissa. Taloissa on erilaiset ilmanvaihtojärjestelmät (muut järjestelmät ovat ilmalämmitys ja koneellinen poisto) ja asukaspohja on sama (kaupungin vuokrataloja), joten tuloksista voidaan saada tietoa ilmanvaihtojärjestelmän toimivuudesta asukkaan kannalta.

## 4 RAKENNUKSEN VALMISTUMISVAIHEEN MITTAUSTULOKSET

### 4.1 Rakennuksen tiiviys

Tavoitteena oli selvittää seuraavien rakenteiden kokonaisilmavuodot:

- ulkovaippa kokonaisuutena (asuinhuoneistot, porraskäytävä ja kellarikerros)
- asuinhuoneistot yhteensä
- kellarin ja 1. kerroksen välipohja sekä 1. ja 2. kerroksen välipohja.

Mittauksessa käytettiin yksinkertaistettua painekoemenetelmää, jossa rakennuksen keskuspoistopuhallin toimi painekoe-puhaltimena. Mittauspaine-eroa ulkovaipan yli ei säädetty ja sen vuoksi tulos on muunnettu vastaamaan 50 pascalin paine-eroa laskennallisesti. Mittausmenettely ei ole standardin (NORDTEST 1985) mukainen ja tuloksen epätarkkuus on suurempi kuin 10 %. Menettely antaa kuitenkin riittävän kuvan rakennuksen tiiviystasosta.

Tarkoitukselliset tuloilmareitit, kuten asuntojen ulkoilmakanavat ja kellarikerroksen ulkoilmaventtiilit, suljettiin kokeiden ajaksi tiiviisti teippaamalla.

#### 4.1.1 Ulkovaipan kokonaistiiviys

Koko ulkovaipan vuotomittausta varten huoneistojen porraset ja kellarikerroksen ovet avattiin. Poistoilmavirta mitattiin katolla olevista mittarenkaista. Keskimääräinen paine-ero ulkovaipan yli mitattiin eri ilmansuunnilta kellarikerroksesta sekä 1., 4., ja 7. kerroksista. Ilmavuotoluku 50 pascalin paine-erolla  $n_{50}$  laskettiin seuraavasti:



$$n_{50} = \frac{q_{vp}}{V} \left( \frac{\Delta p}{50 \text{ Pa}} \right)^{-0,7} = 0,62 \text{ 1/h}, \quad (1)$$

missä

$q_{vp}$  on lämpötilakorjattu poistoilmavirta  $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$

$V$  talon ilmatilavuus  $6676 \text{ m}^3/\text{s}$

$\Delta p$  keskimääräinen paine-ero =  $53,4 \text{ Pa}$ .

Rakennuksen ulkovaippa on tiivis. Ruotsalainen suositus ilmavuotoluvun enimmäisarvoksi kerrostaloille on  $1,0 \text{ 1/h}$ . Suomessa ei ole ulkovaipan tiiviysvaatimuksia.

#### 4.1.2 Asuinhuoneistojen tiiviys

Mittauksen ajaksi suljettiin huoneistojen porrasovet ja mitattiin asuinnoista poistettava ilmavirta sekä vastaava paine-ero ulkovaipan yli. Saatiin tulos:

$$n_{50} = \frac{q_{vp}}{V} \left( \frac{\Delta p}{50 \text{ Pa}} \right)^{-0,7} = 0,49 \text{ 1/h}, \quad (2)$$

missä

$q_{vp}$  on lämpötilakorjattu poistoilmavirta  $0,975 \text{ m}^3/\text{s}$

$V$  asuinhuoneistojen ilmatilavuus  $5294 \text{ m}^3$

$\Delta p$  paine-ero ulkovaipan yli keskimäärin =  $77,6 \text{ Pa}$ .

Tämän mittausmenettelyn mukainen ilmavuotoluku  $n_{50}$  on verrattavissa VTT:n aikaisemmin mitaamiin koerakennusten tiiviyteen. Kiinteistö Oy Lammasmäki on ulkovaipaltaan tiivein mitattu asuinkerrostalo, taulukko 2. Muut koetalot ovat Lammasmäen naapuritalo Kiinteistö Oy Katumajärvi (Ilmalämmitteinen asuinkerrostalo 1983), lappeenrantalainen Kiinteistö Oy Kanaalipirtti (Huonekohtaisella ilmankierrätyksellä toimivan kerrostalon ilmalämmitysjärjestelmän seuranta 1983) ja järvenpääläinen Kiinteistö Oy Jampankuusi (Asuinkerrostalon lämmöntalteenoton seurantatutkimus 1985).

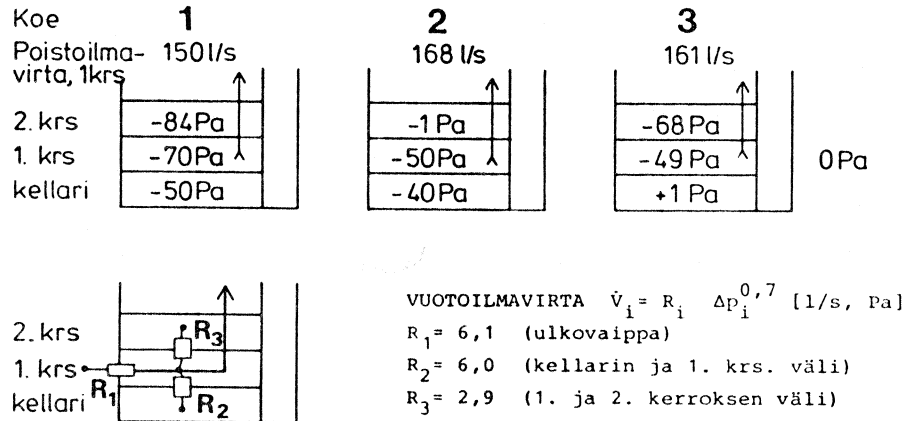
Taulukko 2. Betonielementtirakenteisten asuinkerrostalojen ilmapuotolukuja  $n_{50}$ . Talot ovat koerakennuksia. Tiiviysmittaukset on tehnyt VTT:n LVI-tekniikan laboratorio.

Koerakennus	Valm. vuosi	Rakennustyyppi	$n_{50}$ l/h
Kiint. Oy Katumajärvi	1981	5-kerr. pistetalo	0,72
Kiint. Oy Kanaalipirtti	1980	3-kerr. lamellitalo	0,72
VVO/Jampankuusi	1982	6-kerr. pistetalo	0,64
Kiint. Oy Lammasmäki	1985	7-kerr. pistetalo	0,49

#### 4.1.3 Kerrosten välinen tiiviys

Rakennuksen sisäinen tiiviys on tärkeää kerrostalon ilmanvaihdon hyvän toiminnan kannalta. Suuri vuoto välipohjien läpi tekee rakennuksen painesuhteiden hallinnan mahdollottomaksi ilmanvaihtojärjestelmästä riippumatta. Seurauksena on hajujen siirtyminen kylminä vuodenaikoina kerroksesta toiseen (yleensä alhaalta ylös), ikkunoiden huurtuminen ja ehkä myös ilmanvaihdon riittämättömyys.

Mittauksilla selvitettiin kellarin ja 1. kerroksen välinen vuoto sekä 1. ja 2. kerroksen välinen vuoto. Mittaus suoritettiin järjestämällä ao. kerrokseen erilaisia painetasoja kuvan 9 mukaisesti. Tulokset tulkittiin yksinkertaisella virtausverkolla, joka sisältää oletuksen, että kellarikerroksen ja toisen kerroksen välillä ei ole suoraan vuotoreittiä. Vuotofunktiot on oletettu muodoltaan samanlaisiksi potenssifunktioiksi.



Kuva 9. Välipohjien vuotomittauksissa mitatut painetasot, 1. kerroksen poistoilmavirrat, käytetty virtausverkko sekä vuotofunktioiden kertoimet.

Kellarin ja ensimmäisen kerroksen välinen vuoto on kokeen mukaan lähes yhtä suuri kuin ensimmäisen kerroksen ulkovaipan vuoto. Ensimmäisen ja toisen kerroksen välinen vuoto on noin puolet edellisistä.

Normaalin ilmanvaihdon tilanteessa paine-ero välipohjan yli on muutaman pascalin luokkaa ulkolämpötilan mukaan. Jos ulkolämpötila on esimerkiksi  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , paine-ero on noin 5 Pa ja vastaava vuotoilmavirta ensimmäisestä toiseen kerrokseen 9 l/s, mikä on kuusi prosenttia mitoituspoistoilmavirrasta. Ilmanpoiston tehostustilanteessa naapureista tulevan ilman osuus on suurempi.

Tarvittava välipohjien tiiviys painesuhteiden hallitsemiseksi pakkasella voidaan selvittää laskennallisesti (Heikkinen ym. 1987). Ensimmäisen ja toisen kerroksen välipohjan tiiviys on niin hyvä, että rakennuksen painesuhteiden hallin-

nalle on edellytykset myös kovilla pakkasilla. Muiden välipohjien tiiviyttä ei ole mitattu. Painesuhteiden kannalta ei ole kuitenkaan tuhoisaa, jos jokin välipohja vuotaa muita enemmän. Olennaista on, että rakennuksessa on joitakin ilmanpitäviä välipohjia, jotka muodostavat vuotoilman kululle selvän katkon. Sen sijaan huoneistojen väliseen äänen-eristävyyteen ja hajujen leviämiseen kaikki epätiiviydet vaikuttavat haitallisesti.

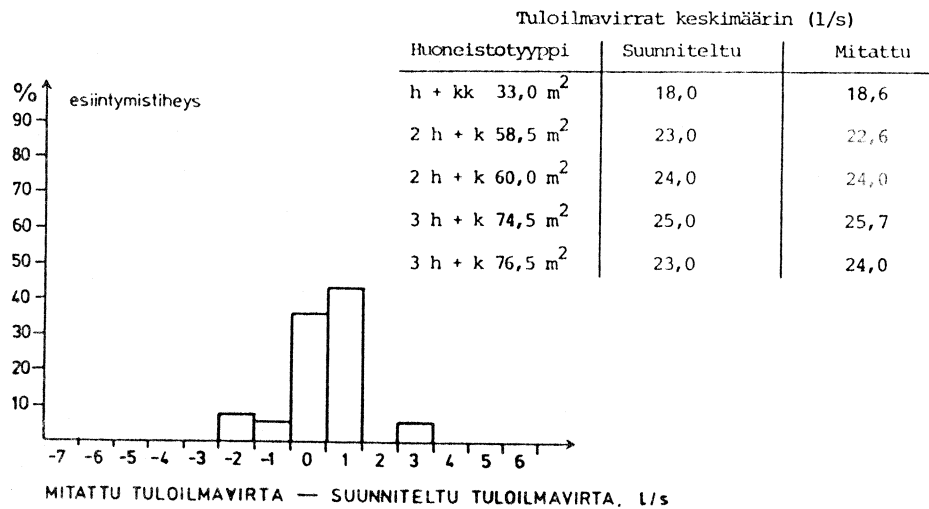
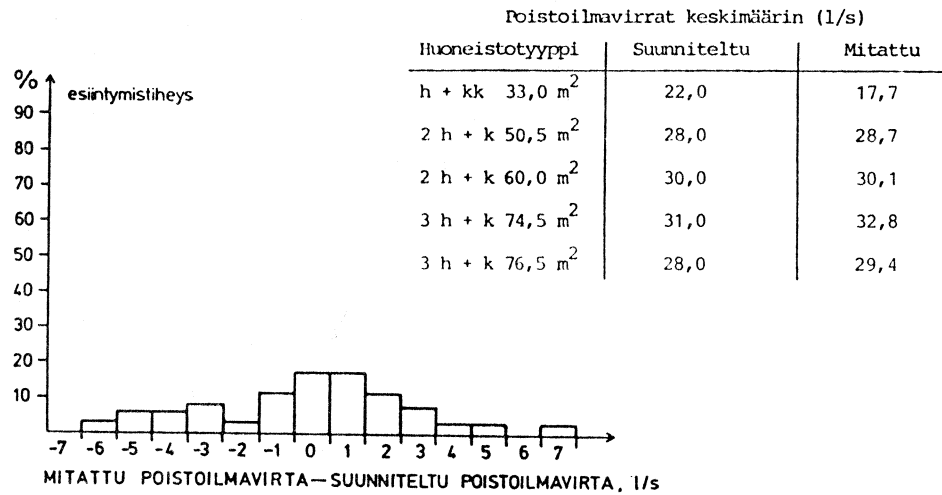
## 4.2 Ilmanvaihdon tarkistusmittaus

### 4.2.1 Ilmavirrat

Tutkimusta varten ilmanvaihtokanavistoon asennettiin kuvan 4 mukaisesti kiinteitä ilmavirran mittauselimiä, mittarenkaita (Lapinleimu MRS). Mittarenkaita asennettiin jokaiseen huoneistoon kaksi (tuloilmavirralle ja poistoilmavirralle) ja lisäksi katolle poistoilmakanaviin 13 kappaletta. Yksiöiden poistoilmapuolen mittarenkaasta jouduttiin luopumaan, koska kanavassa ei ollut riittävästi tilaa.

Huoneistokohtaisten ilmavirtojen poikkeama suunnitteluarvoista esitetään kuvassa 10. Tuloilmavirrat ovat tarkkaan suunnitelman mukaisia. Poistoilmavirroissa on enemmän poikkeamia. Syitä suurehkoihin poikkeamiin on kaksi:

- Yksiöiden poistoilmavirta on jouduttu mittaamaan venttiileistä, jolloin tulos on epätarkka.
- Urakoitsija joutui säätämään poistoilmavirrat uudelleen hyvin lyhyessä ajassa.



Kuva 10. Huoneistokohtaiset poisto- ja tuloilmavirrat verrattuna suunnitteluarvoihin 11.10.1985. Mitattu mittarenskaista, paitsi yksiöiden poistoilmavirta venttiileistä.

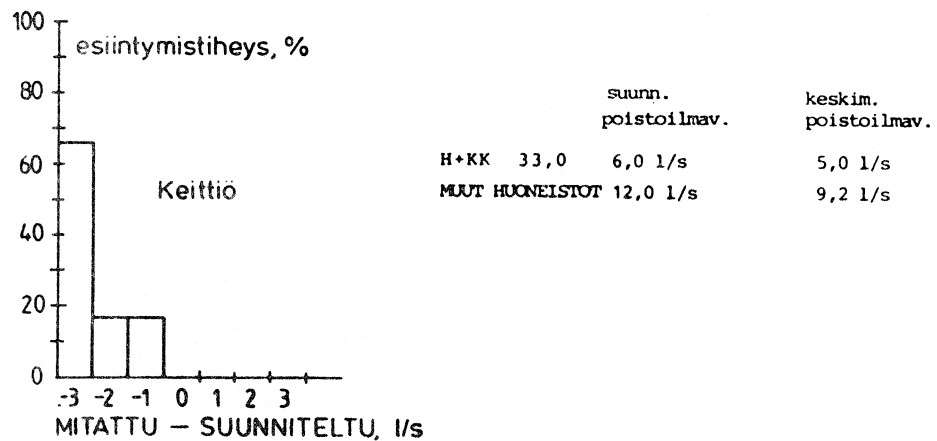
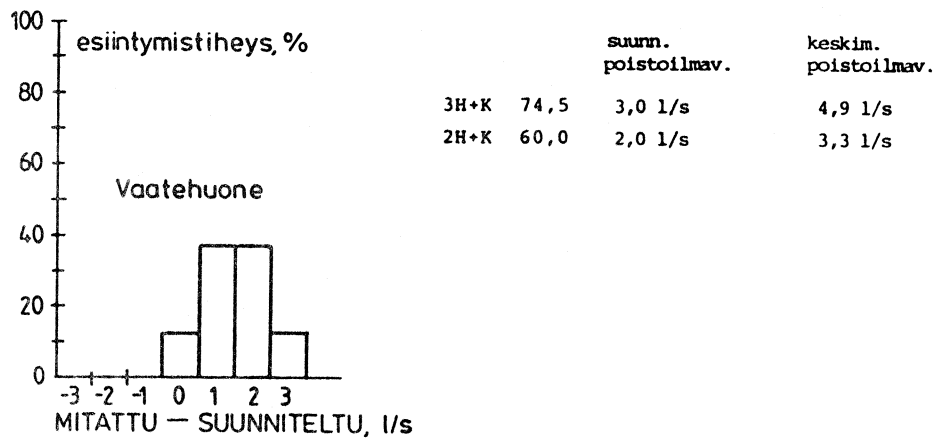
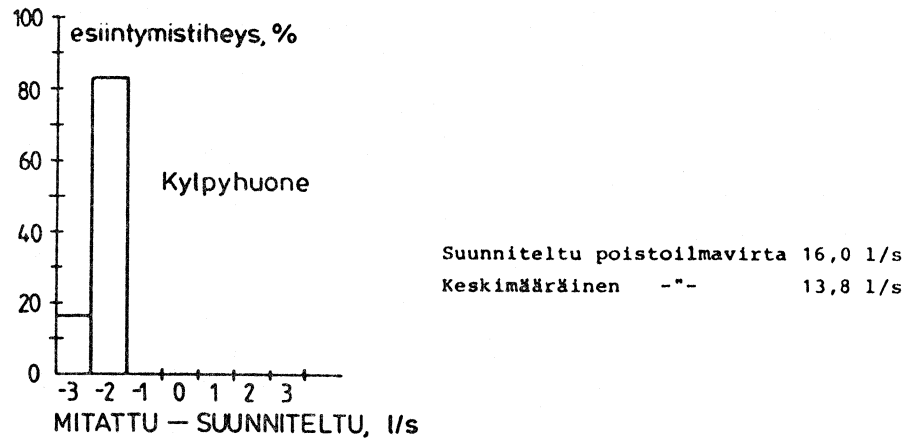
Poistoilmavirtojen uusintasäädön syynä oli se, että säätöurakoitsija ei saanut riittävästi tietoa ilmanvaihtojärjestelmän periaatteesta ja sen edellyttämästä säätötavasta. Urakoitsija oli käyttänyt säätöön pääkanavissa olevia kuristuspelejä. Pääkanavissa ei pitäisi kuristuspelejä edes olla, koska yksi keskeinen järjestelmän suunnitteluperiaate on pääkanavien väljyys. Lopullinen poistoilmavirtojen säätö

suoritettiin huoneistokohtaisista säätöpelleistä ja lisäksi säätöpeltien riittämättömän painehäviön takia ilmanvaihtokoneen kuristuspelleistä. Kanavakoon mukaisella rei'itetyllä säätöpellillä (Lapinleimu MRS) ei saatu aikaan riittävän suurta painehäviötä.

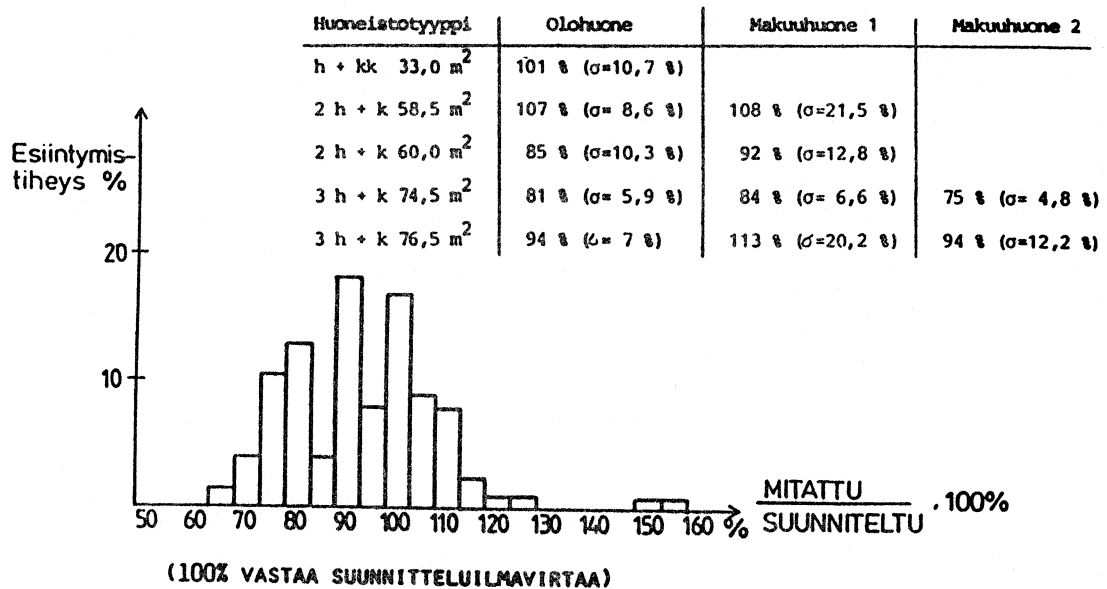
Huonekohtaisten poistoilmavirtojen poikkeama suunnitteluarvoista on kuvassa 11 ja tuloilmavirtojen kuvassa 12. Poistoilmavirrat ovat suunniteltuja pienempiä muissa tiloissa paitsi vaatehuoneissa. Koska kokonaisilmavirrat ovat lähellä suunniteltuja, on poistokanavistossa tai koneessa vuotoja.

Katolta mitatut usean huoneiston yhteiset poistoilmavirrat ovat kanavavuotojen takia huoneistokohtaisia ilmavirtoja suurempia, liite 2. Urakoitsija on mitannut vuodot viidestä pääkanavasta kymmenestä ja niiden vuotoilmavirta oli 200 Pa paine-erolla 7 - 9 l/s. Kanavapinta-alaa kohti vuoto oli 0,4 - 0,5 l/s/m<sup>2</sup>, eli Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK D2 1978) normaalien hormien tiiviysvaatimus 0,9 l/s/m<sup>2</sup> täyttyy. Kun paine-ero on käytännössä noin 300 Pa, on vuotoilmavirta noin 100 l/s eli 10 % nimellisilmavirrasta. Tämä vuoto ylittää uuden, vuoden 1988 alusta voimaan astuvan ohjearvon 6 % (RakMK D2 1987). Kanavat ja kanavanosat ovat tehdasvalmisteisia ja tiivisteellä varustettuja.

Huoneistokohtaisten ilmavirtojen mukaan asuntojen yhteenlaskettu poistoilmavirta on 0,97 m<sup>3</sup>/s, mikä vastaa ilmanvaihtokerrointa 0,66 l/h. Koneellinen tuloilmavirta on 82 % poistoilmavirrasta. Kokonaispoistoilmavirta on poistokanavien vuotojen takia edellä mainittua suurempi.



Kuva 11. Tilakohtaiset poistoilmavirrat verrattuna suunniteltuuarvoihin. Mittaus anemometritorvella 7.10.1985.



Kuva 12. Tilakohtaiset tuloilmavirrat 10.10.1985. Mitattu käyttäen venttiilivalmistajan mittauskäyrää (venttiilit CTVA ja CTVK) tai anemometritorvea, joka on laboratoriossa kalibroitu ko. venttiilityypille (venttiili CTJB).

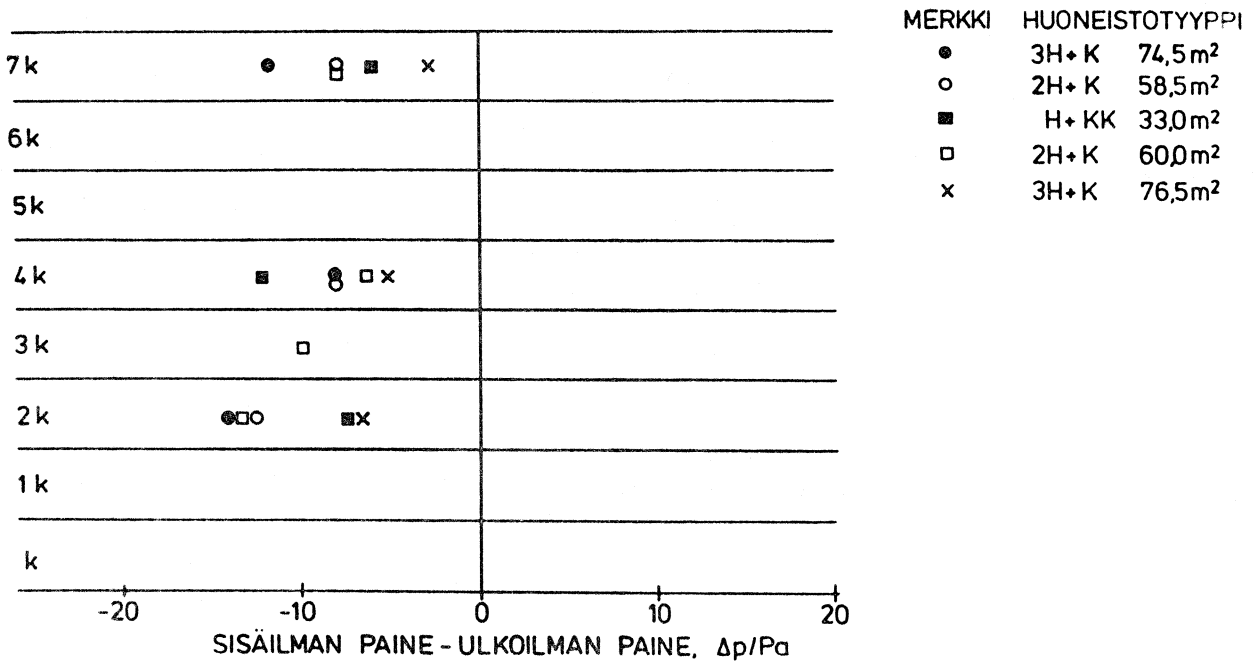
#### 4.2.2 Paine-ero ulkovaipan yli

Ilmavirtojen tarkistusmittausten yhteydessä mitatut paine-erot kerroksittain ovat kuvassa 13. Kaikki huoneistot ovat alipaineisia ulkoilmaan nähden.

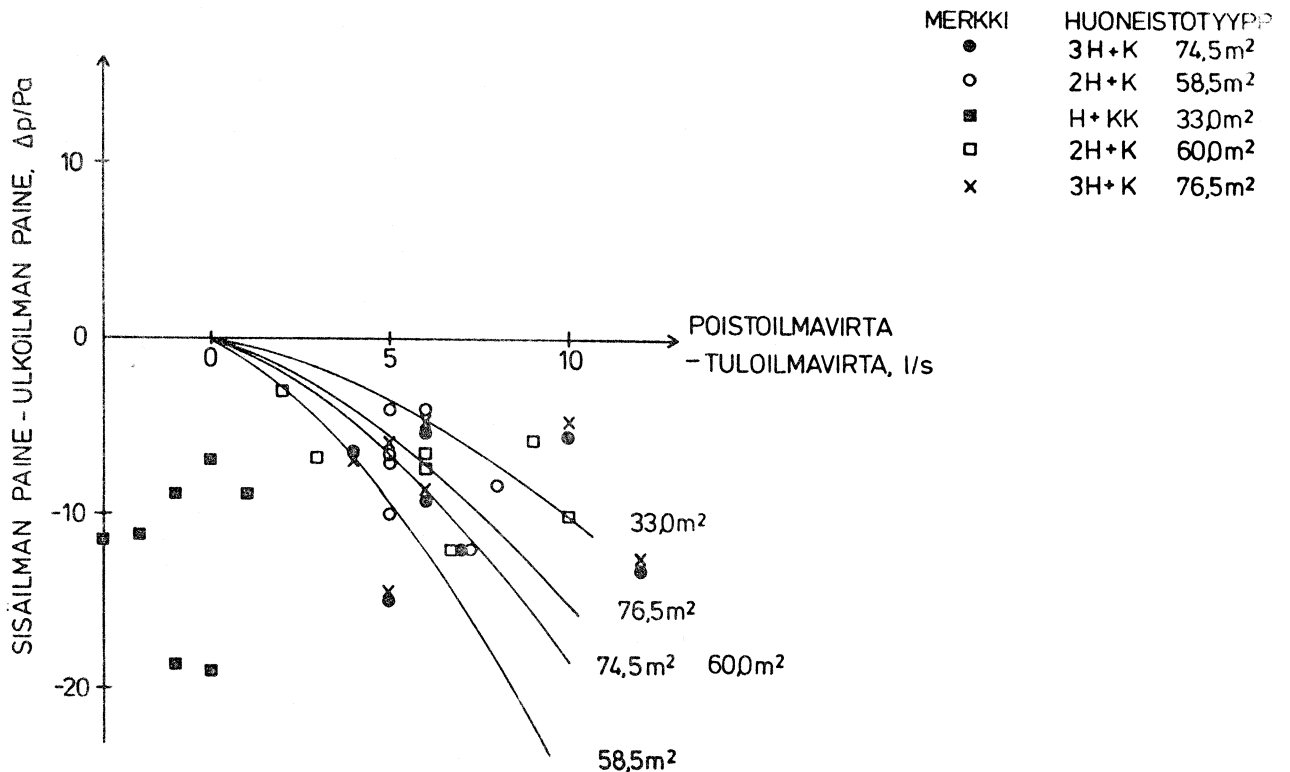
Alipaineisuus saatiin aikaan sillä, että tuloilmavirrat mitoitettiin ja säädettiin poistoilmavirtoja pienemmiksi. Huoneistokohtaisten kokonaisilmavirtojen mukaan tuloilmavirta on 82 % poistoilmavirrasta (mitattu 11.10.1985).

Ulkovaipan paine-erot ilmavirtaeron funktiona ovat lähellä teoreettisia, painekokeen mukaan laskettuja arvoja, kuva 14. Yksiöiden mitatut paine-erot poikkeavat merkittävästi teoreettisesta. Syynä on huoneistokohtainen poistoilmavirran mittausepätarkkuus (mittarengas puuttuu).





Kuva 13. Paine-ero ulkovaipan yli huoneistoissa 11.10.1985. Ilmanvaihtoa ei tehosteta. Poistoilmavaihto on 0,66 kertaa tunnissa, tuloilmavirta 82 % poistoilmavirrasta. Ulkolämpötila 10 °C.

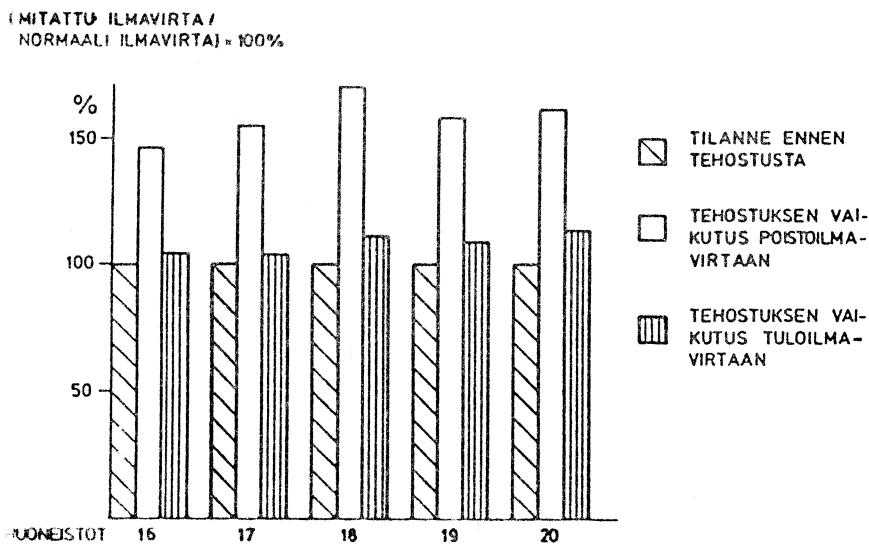


Kuva 14. Paine-ero ulkovaipan yli huoneistoissa 11.10.1985 ilmavirtaeron funktiona. Teoreettiset käyrät on piirretty painekokeen perusteella.

Ilmavirtojen mittaustarkkuuden on oltava erittäin hyvä, jotta paine-erot saataisiin ilmavirtaerolla hallintaan. Venttiilikohaisten ilmavirtojen mittaustarkkuus ei ole riittävä, eli tutkimusta varten asennettujen kiinteiden kokonaisilmavirran mittauslaitteiden tulisi kuulua ilmanvaihtojärjestelmään.

#### 4.3 Poistoilmavirran tehostuksen toiminta

Kun ilmanvaihtoa tehostetaan vain yhdessä huoneistossa, lisääntyy kyseisen huoneiston kokonaispoistoilmavirta 45 - 70 %. Tuloilmavirta lisääntyy vain 4 - 13 %. Lukuarvot koskevat neljännen kerroksen huoneistoja, kuva 15.



Kuva 15. Kokonaisilmavirtojen muutos tehostettaessa, kun ilmanvaihtoa tehostetaan vain yhdessä huoneistossa kerrallaan.

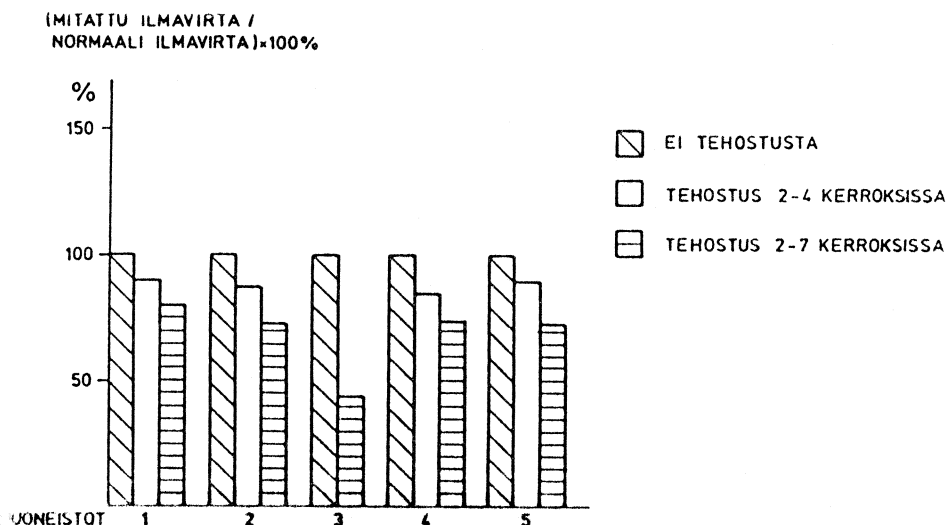
Ilmavirran lisäys jakaantuu poistovenktiileiden kesken siten, että keittiön poistoilmavirta lisääntyy 14 - 23 l/s ja kylpyhuoneen ilmavirta pienenee 2 - 5 l/s, taulukko 3.

Taulukko 3. Poistoventtiileiden ilmavirtojen muutokset, kun ilmavirtaa tehostetaan yhdessä huoneistossa.

Huoneisto	Poistoilmavirta, l/s				Paine-ero, Pa			
	Keittiö		Kylpyhuone		Kh. venttiilissä		Ulkovaipan yli	
	norm.	tehostus	norm.	tehostus	norm.	tehostus	norm.	tehostus
16	9	31	16	11	65	40	5	20
17	10	30	15	10	72	42	7	28
18	7	24	14	12	29	29	19	57
19	10	33	14	10	68	38	5	26
20	9	31	15	10	58	31	4	27

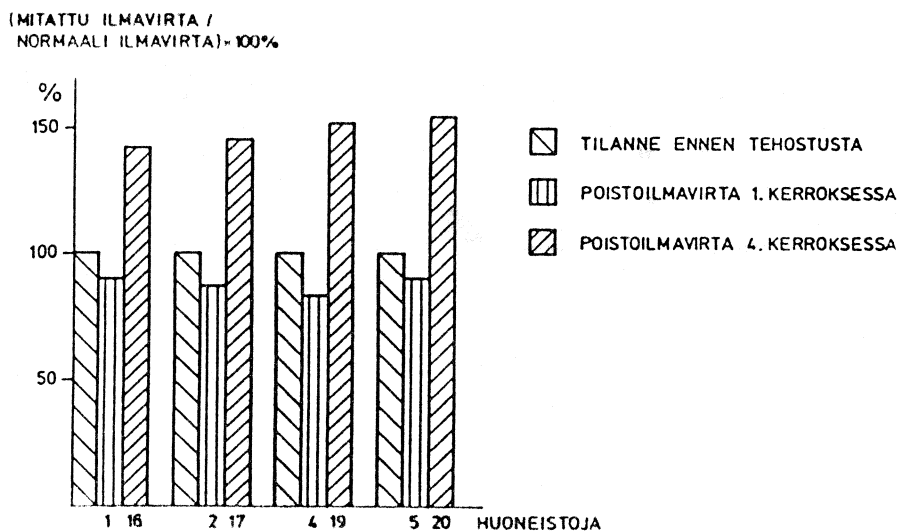
Koska tuloilmapuhallin käy jatkuvasti samalla nopeudella, ei tuloilmavirta ilmanvaihtokoneen kautta juuri lisäännä. Tämän takia paine-ero ulkovaipan yli kasvaa tehostustilanteessa voimakkaasti. Samalla syntyy paine-ero naapurihuoneistoihin ja porraskäytävään nähden. Paineekokeen perusteella voidaan arvioida, että noin puolet poisto- ja tuloilmavirtojen erosta tulee ulkovaipan kautta ja loput naapurihuoneistosta ja porraskäytävästä.

Usean huoneiston tehostaessa samanaikaisesti poistoilmavirtaa, pienenee muiden huoneistojen poistoilmavirta. Kuvan 16 tilanteessa tehostushuoneistoja on 43 % (2. - 4. kerros) tai 86 % (2. - 7. kerros). Viimemainitussa tilanteessa tehostamattoman huoneiston poistoilmavirta on vielä yli 70 % alkuperäisestä arvostaan lukuun ottamatta yksiötä, jossa ilmavirta pienenee alle 50 %:iin. Yksiöiden poistokanavisto toimii tässä suhteessa heikosti, koska ilmanvaihtourakoitsija kuristi yksiöiden poistoilmavirtaa myös pääkanavistosta, sillä huoneistojen poistokanavista puuttui säätöpelti.



Kuva 16. Kokonaispoistoilmavirran pieneneminen ensimmäisessä kerroksessa, kun muissa kerroksissa tehostetaan poistoilmavaihtoa.

Poistoilmavirran lisääntyminen tehostettaessa ei riipu kovin paljon siitä, tehostavatko naapurihuoneistot vai ei (vertaa kuvia 15 ja 17). Kuvassa 17 ei ole yksiötä mukana mittausvaikeuksien takia. Oletettavasti yksiöiden ilmavirtojen keskinäinen riippuvuus on voimakkaampi edellä mainitun säästöperiaatteen takia.



Kuva 17. Tehostus 2. - 4. kerroksissa. Vaikutus 1. ja 4. kerroksen kokonaispoistoilmavirtoihin.

#### 4.4 Äänimittaukset

A-painotetut äänitasot mitattiin 15 huoneiston (kerrokset 1, 4 ja 7) kaikista huoneista. Lisäksi mitattiin joistakin huoneista äänitasot oktaavikaistoittain vaimennustoimenpiteiden tueksi. A-painotetut äänitasot ovat taulukossa 4, jossa on äänitason vaihtelu huoneiden eri kohdissa. Äänitasa ei ole mitattu 1,5 m lähempää ilmanvaihtokonetta tai ilmanjakoelimiä.

Taulukko 4. A-painotettu äänitaso, dB(A), 7.10.1985. Huoneet olivat tyhjiä ja väliovet olivat kiinni. Mittauksessa 1 oli perusilmanvaihto ja mittauksessa 2 tehostettu ilmanvaihto.

Huoneisto	Keittiö		Olohuone		Makuuh. 1		Makuuh. 2	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	35-37	45-47	27-28	34-36	22-23	28-30	22-23	28-29
2	40-42	50-51	28-29	33-34	24-26	29-30	-	-
3	-	-	32-34	43-46	-	-	-	-
4	40-42	49-50	33-35	37-38	34-35	36-37	-	-
5	35-36	52-55	29-30	34-35	36-37	37-38	25-27	32-33
16	37-39	46-47	28-30	34-36	25-26	27-28	24-26	28-29
17	42-43	48-49	28-29	32-33	26-27	30-31	-	-
18	-	-	34-42	43-47	-	-	-	-
19	42-44	49-50	33-34	37-38	30-31	33-34	-	-
20	40-41	48-49	29-30	34-35	31-32	34-35	26-27	29-30
31	41-43	48-49	32-33	36-38	28-29	30-31	28-29	31-32
32	42-43	52-54	28-29	33-34	27-28	30-32	-	-
33	-	-	34-37	45-49	-	-	-	-
34	42-44	49-50	32-33	35-36	32-33	35-36	-	-
35	40-42	48-49	29-30	33-34	30-31	31-32	26-27	28-29

Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK C1 1984) määräysten mukaan LVI-laitteiden aiheuttama melutaso saa olla enintään 35 dB(A) keittiössä ja 30 dB(A) asuinhuoneissa. Taulukon 4 tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että mittaukset on tehty tyhjässä talossa, jossa huoneen ääntä vaimen-

tava absorptioala on kalustuksen puuttuessa pienempi kuin määräyksissä mainittu  $10 \text{ m}^2$ . Melutaso pienenee kalustuksen takia tavallisesti noin 2 - 4 dB(A).

Perusilmanvaihdolla keittiön äänitasoraja 35 dB(A) ylittyy useimmissa huoneistoissa, vaikka kalustuksen vaimennus otetaan huomioon. Asuinhuoneissa 30 dB(A):n raja ei yleensä ylity, poikkeuksena ovat yksiöt ja pari yksittäistä huonetta. Äänekkäille huoneille on yhteistä venttiilityyppi (CTVK), minkä asennustapa todettiin myöhemmin valmistajan ohjeiden vastaiseksi ja ääntä aiheuttavaksi.

Ilmanvaihdon tehostus eli poistopuhaltimen käynnistys lisää keittiön äänitasa yleensä 6 - 10 dB(A). Äänitaso lisääntyy selvästi myös olohuoneissa, koska ne ovat keittiöiden vieressä.

Äänenvaimennus oli rakennuksen valmistuttua tarpeellista ennen kaikkea keittiössä. Äänenvaimennustarvetta oli eniten oktaavikaistoilla 250, 500 ja 1000 Hz. Myös asuinhuoneissa oli vaimennuksen tarvetta, mikäli tavoitellaan ääniteknisesti hyvää tulosta eikä tyydytä määräysten edellyttämään vähimmäistasoon. Jälkeenpäin tehtyjen korjausten vaikutus äänitasoon esitetään luvussa 11.

## 5 ENERGIAN KULUTUS

Kaukolämmön ja sähkön kulutus kuukausittain näkyy liitteestä 6. Kaukolämmön kulutuksesta on eritelty käyttöveden lämmitykseen ja kellaritilojen lämmitykseen menevä osa. Sähköenergiasta on eritelty huoneistojen ja kiinteistön osuudet. Kiinteistön sähkönkulutuksesta käyttöveden saattolämmitykseen menevä osa on mitattu erikseen.

Tässä tarkastellaan vuosikulutusta ja verrataan sitä muiden poistoilman lämmöntalteenotolla (LTO) varustettujen koetalojen energiankulutukseen. Koetalot ovat Lammasmäen naapuritalo Kiinteistö Oy Katumajärvi (Ilmalämmitteinen asuinkerrostalo 1983), lappeenrantalainen Kiinteistö Oy Kanaalipirtti (Huonekohtaisella ilmankierrätyksellä toimivan kerrostalon ilmalämmitysjärjestelmän seuranta 1983) ja järvenpäälainen Kiinteistö Oy Jampankuusi (Asuinkerrostalon lämmöntalteenoton seurantatutkimus 1985).

Taulukko 5. Koekerrostalojen vuoden energiankulutuksia rakennustilavuutta ja asuinpinta-alaa kohti. Kaukolämmön kulutus on muunnettu Tampereen normaalivuoteen.

Koekerrostalo ja vuosi	Kaukolämpö		Sähkö		Yhteensä	
	kWh/ m <sup>3</sup> a	kWh/ m <sup>2</sup> a	kWh/ m <sup>3</sup> a	kWh/ m <sup>2</sup> a	kWh/ m <sup>3</sup> a	kWh/ m <sup>2</sup> a
Katumajärvi 1981-1982	46,1	186	13,7	55	59,8	241
Katumajärvi 1982-1983	44,3	178	13,5	54	57,8	233
Kanaalipirtti 1982	50,7	222	14,1	62	64,8	283
Kanaalipirtti 1984	51,1	223	15,7	69	66,8	292
Jampankuusi 1983	45,1	186	13,6	56	58,7	242
Jampankuusi 1984	43,2	177	14,2	59	58,0	236
Lammasmäki 1986	37,8	152	16,2	65	54,0	217

Kokonaisenergian kulutus Lammasmäessä on pienempi kuin muissa seuratuissa koetaloissa. Sähkön kulutus rakennuskuutiometriä kohti on sen sijaan suurin. Vertailukelpoisten koe-

kohteiden energiakustannusten ero jää pieneksi, koska sähkö on kaukolämpöä kalliimpaa.

Koetaloista Katumajärvi ja Jampankuusi ovat muodoltaan vertailukelpoisia Lammasmäkeen, mutta niiden ilmanvaihto on jonkin verran pienempi (ilmanvaihtokerroin noin 0,4 l/h, kun se Lammasmäessä on 0,66 l/h). Kanaalipirtti on muista poiketen vain kolmikerroksinen ja ilmanvaihtomäärät ovat oleellisesti suurempia (ilmanvaihtokerroin noin 0,8 kertaa tunnissa). Verrattuna muihin lämmöntalteenotolla varustettuihin taloihin Lammasmäessä on sähkönkulutusta lisääviä ja lämmönkulutusta vähentäviä teknisiä ratkaisuja. Näitä ovat käyttöveden saattolämmitys sähköllä, sähkölämmitteiset ilmanvaihtokoneiden tuloilmapatterit ja kylpyhuoneiden sähkölämmityspatterit.

Sähköenergiasta 0,9 kWh/m<sup>3</sup>a kuluu käyttöveden saattolämmitykseen ja noin 0,8 kWh/m<sup>3</sup>a ilmanvaihtokoneiden pattereissa. Kylpyhuoneiden sähköpattereiden energiankulutus ei ole tiedossa. Se sisältyy asuntojen taloussähköön.

Poistoilmasta talteen saatua energiaa arvioidaan luvussa 7.



## 6 TEHOSTETUN ILMANVAIHDON KÄYTTÖ JA KANAVISTON TOIMINTA

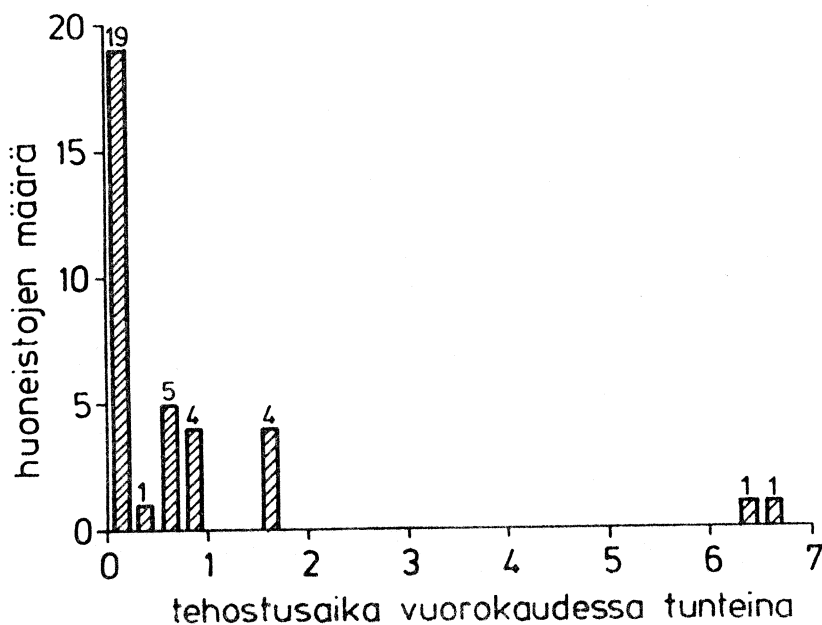
### 6.1 Tehostusilmanvaihdon käyttötiheys

Talon keskuspoistopuhallin on mitoitettu niin, että poistoilmavirran lisäys osassa huoneistoja vaikuttaa vain vähän muiden huoneistojen normaaliin poistoilmavirtaan. Samanaikaisten tehostushuoneistojen määränä on suunnittelussa käytetty 37 % huoneistojen määrästä eli 13 huoneistoa 35:stä. Seurannassa oli yhtenä tavoitteena selvittää, vastaako käyttö suunnitteluperiaatetta.

Tehostuksen käyttöä seurattiin siten, että tiedonkeruulaite tarkisti 2 minuutin välein kaikista huoneistoista, onko poistopuhallin käynnissä vai ei. Havainnoista laskettiin tunnin välein talletettavaksi suurin tehostajien määrä tunnin aikana sekä huoneistokohtainen tehostuksen käyttöaika prosentteina tunnista.

Tulokset koko talon osalta kuukausittain ovat liitteessä 7/5. Vuoden ja neljän kuukauden aikana suurin tehostajien määrä oli 9 eli 26 % huoneistojen kokonaismäärästä. Suunnitteluperiaate on siis ollut tehostuksen samanaikaisuuden suhteen varmalla puolella.

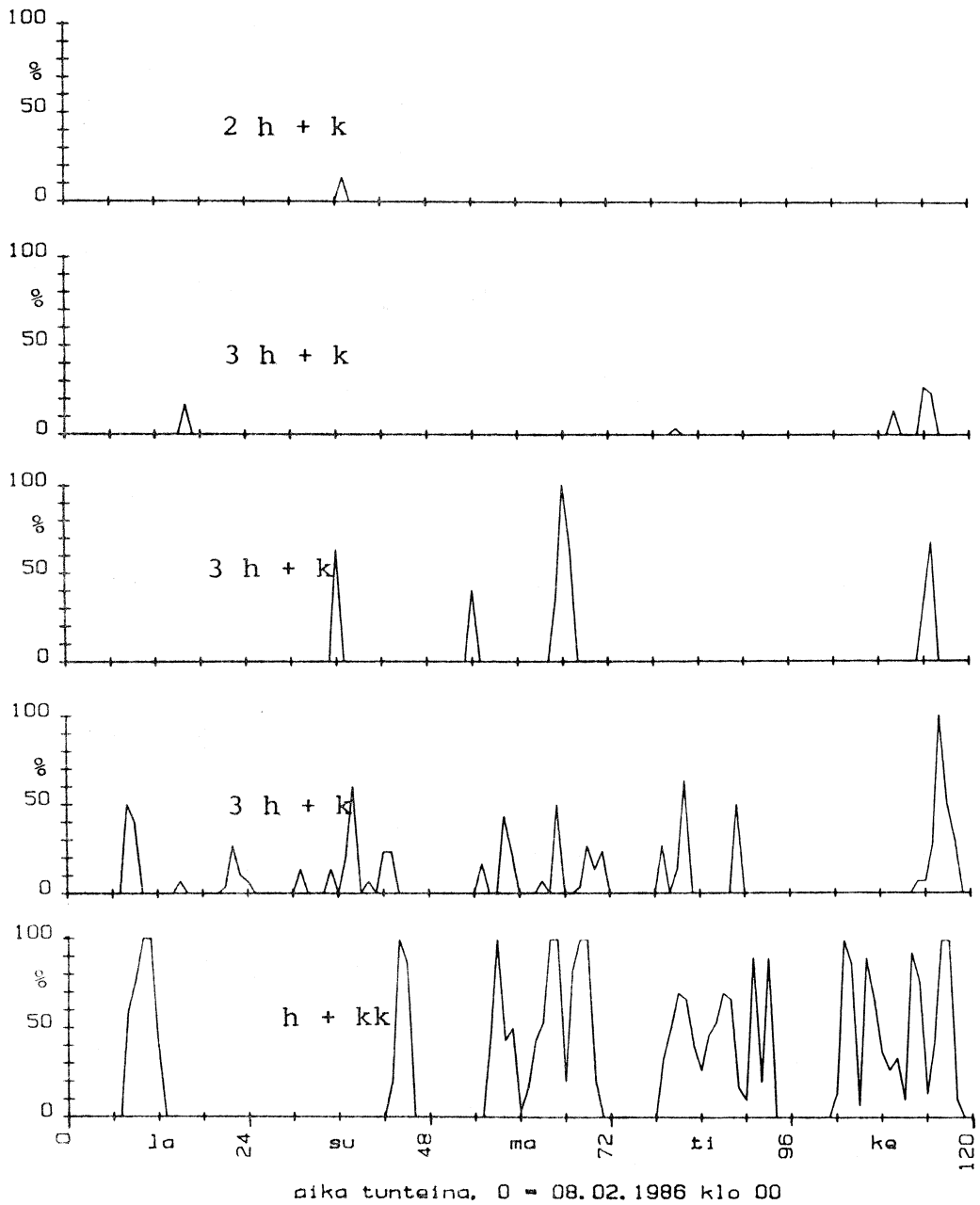
Tehostuksen käyttöaika osoittaa lievää lisääntymistä seurannan aikana. Viimeisinä kuukausina tehostuspuhaltimia on ollut käytössä keskimäärin 1,2, mikä vastaa keskiarvohuoneistossa 50 minuutin tehostusaikaa vuorokaudessa. Keskiarvohuoneistoa ei todellisuudessa ole, vaan huoneistokohtaiset tehostuksen käytön erot ovat hyvin suuria, kuva 18. Kuvan kuukautena 19 huoneistoa on käyttänyt tehostusta vähemmän kuin 15 minuuttia vuorokaudessa. Joukosta erottuu kaksi ilmanpoiston suurkuluttajaa, joiden tehostusajat ovat noin 6,5 tuntia vuorokaudessa.



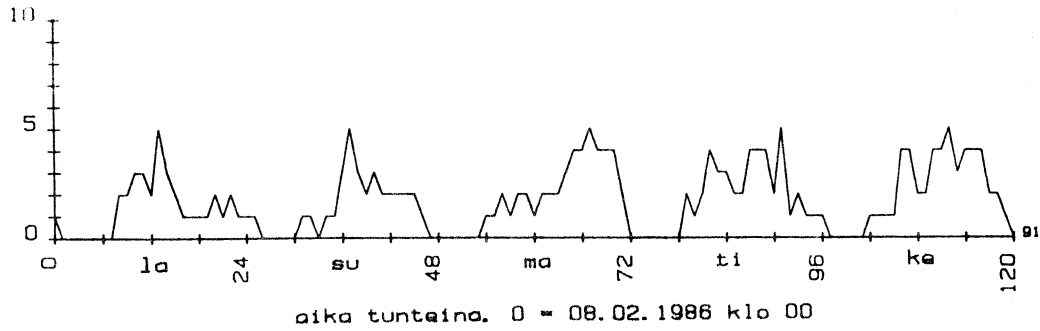
Kuva 18. Liesikuvun poistoilmavirran tehostusajan jakautuma 35 huoneistossa maaliskuussa 1987. Kahdessa huoneistossa tehostusta ei käytetty ollenkaan.

Tehostuksen käyttö jakautuu ajallisesti koko päivälle, kuvat 19 ja 20. Tehostustarvetta olisi selvästi vaikea tyydyttää keskitetyllä kello-ohjauksella.

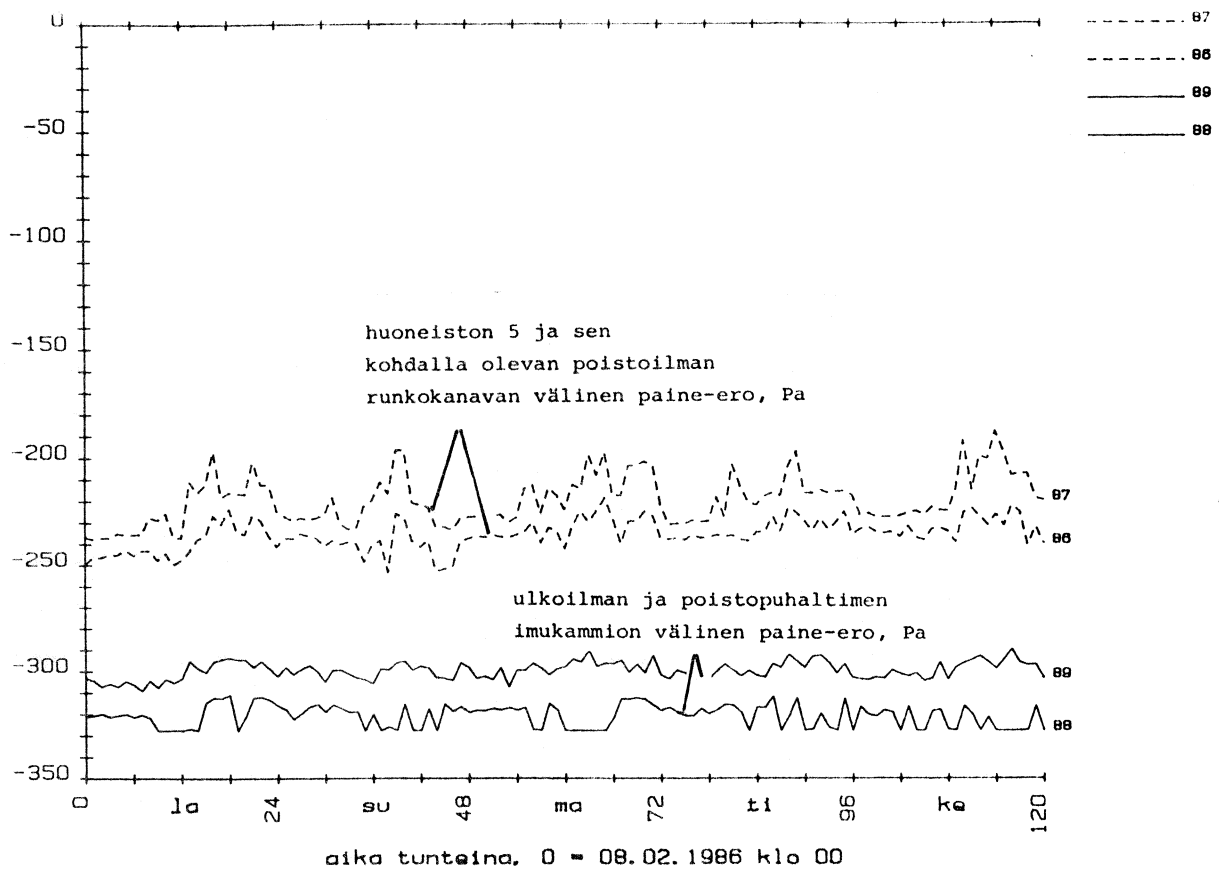
Keskitetyssä kello-ohjauksessa tyypilliset tehostuksen käyttäjät ovat 4 - 6 tuntia päivässä. Tehostuksen tarpeen kannalta suurin osa tästä ajasta menee hukkaan.



Kuva 19. Poistoilmavirran tehostuksen käyttöaika prosentteina tunneittain viidessä huoneistossa. 100 % vastaa jatkuvaa tehostusta kyseisen tunnin aikana.



Kuva 20. Samanaikaisten tehostusten enimmäismäärät tunneittain 8. - 12.2.1986.



Kuva 21. Ilmanvaihtokanaviston paine-erojen vaihtelurajat 8. - 12.2.1986. Havaintojen lukumäärä oli 30 tunnissa. Näistä on esitetty pienin ja suurin.

## 6.2 Poistoilmavirtojen pysyvyys

Poistoilmakanavistoon on valittu suuri painetaso, jotta tehostustilanteen lisääntyvä ilmavirta ei aiheuta suuria muutoksia poistokanaviston painetasoon ja siten muiden asuntojen perusilmavirtaan. Perusilmavirralla tarkoitetaan poistoilmavirtaa silloin, kun tehostus ei ole käytössä.

Perusilmavirtaa muiden huoneistojen tehostaessa mitattiin talon valmistumisvaiheessa (kuva 16). Seuraavassa tarkastellaan perusilmavirtaa huoneistossa 5 poistokanaviston paine-eron perusteella. Perusilmavirta on verrannollinen huoneiston ja poistokanaviston välisen paine-eron potenssiin 0,5.

Paine-eron vaihtelusta poistokanavistossa on esimerkki viiden päivän jaksolta kuvassa 21. Huoneistossa 5 poistoilman pääkanavan alipaine on ollut 185 - 259 Pa. Jos keskiarvopainetta 228 Pa vastaavaa poistoilmavirtaa kuvataan arvolla 100 %, on poistoilmavirran minimiarvo  $(185/228)^{0.5} \cdot 100 \% = 90 \%$  ja maksimiarvo 107 %.

Koko vuoden ja neljän kuukauden jaksolla esiintynyt pienin poistoilmavirta huoneistossa 5 on 80 % keskiarvosta ja suurin 115 % keskiarvosta (saadaan liitteen 7/5 paine-eroista, kun poistopuhaltimen pysäytyksestä johtuva pieni hetkellinen alipaine helmikuussa 1986 jätetään huomiotta).

Jos tarkastellaan ilmavirtojen hetkellisarvojen sijasta tuntikeskiarvoja, saadaan ilmavirran pysyvyydelle arvio paineen tuntikeskiarvon hajonnan (liite 7/5) perusteella. Huoneiston 5 poistoilmavirta on 95 % todennäköisyydellä välillä 95 - 105 % keskiarvosta, mikäli paine-ero on normaalijakautunut.

Ilmavirran pysyvyys on siis hyvä ja poistokanaviston alipaine riittävän suuri. Painetason merkittävään alentamiseen ei kuitenkaan ole perusteita.

## 7 LÄMMÖN TALTEENOTTO

7.1 Talteen saatavan energian laskentaperiaate

Poistoilmasta tuloilmaan siirtynyt energia saadaan selville lämmönsiirtimen molemmilta puolilta mitatuista tuloilman lämpötiloista ( $T_2$  ja  $T_3$  kuvassa 8) kun tuloilmavirta tunnetaan. Lämpötila  $T_2$  sähköpatterin jälkeen on kuitenkin vaikea mitata tarkasti, joten se on seuraavissa laskelmissa laskettu ulkoilman lämpötilasta ulkosäleikössä ( $T_1$ ) lisäämällä siihen ilman lämpeneminen sähköpatterissa ja ulkoilmakanavassa. Ilman lämpeneminen sähköpatterissa lasketaan käytetyn sähköenergian perusteella ja lämpeneminen ulkoilmakanavassa kanavalle mitatun lämpötilahyötysuhteen avulla.

Tulokset käsiteltiin kuukausittain. Poistoilmasta tuloilmaan siirtynyt energia laskettiin kaavasta

$$Q = q_{mt}c_p(T_3 - T_1 - \epsilon_u(T_h - T_1))t - Q_{sä}, \quad (3)$$

missä

$q_{mt}$  on tuloilman massavirta (kg/s)

$c_p$  tuloilman lämpökapasiteetti (kJ/kgK)

$T_3$  tuloilman lämpötila lämmön talteenoton jälkeen ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_1$  tuloilman lämpötila ulkosäleikössä ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_h$  huoneilman lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\epsilon_u$  ulkoilmakanavan lämpötilahyötysuhde (1)

$t$  aika (h)

$Q_{sä}$  sähkölämmityspatterin energia (kWh)

Tuloilman lämpötilahyötysuhde lämmönsiirtimelle laskettiin kaavasta

$$\epsilon_t = (T_3 - T_2) / (T_5 - T_2). \quad (4)$$

Tuloilman lämpötilahyötysuhde koko järjestelmälle on laskettu kaavasta

$$\epsilon_{tj} = (T_3 - T_2) / (T_5 - T_1). \quad (5)$$

Tämä hyötysuhde poikkeaa pelkän lämmönsiirtimen hyötysuhteesta siinä, että nimittäjässä on tuloilman lämpötila ulkosäleikössä eikä ennen lämmönsiirrintä. Määrittelytavan tarkoitus on kuvata ulkoilmakanavan, sähköpatterin ja lämmönsiirtimen muodostaman kokonaisuuden hyvyttä. Ulkoilman lämpeneminen ennen lämmönsiirrintä nimittäin vähentää lämmöntalteenottoenergiaa ja on siten haitallista. 100 % hyötysuhdetta vastaa tilanne, jossa tuloilma lämpenee poistoilman lämpötilaan.

Ulkoilmakanavan lämpötilahyötysuhde määritettiin jaksoilta, jolloin sähköpatteri ei ole toiminnassa. Huoneistojen 6, 9 ja 10 hyötysuhteet ovat 0,9 %, 6,8 % ja 5,9 %. Ulkoilmakanavien pituudet ovat vastaavasti 0,8 m, 4,5 m ja 4,5 m. Kanavat on eristetty vähintään 30 mm mineraalivillaeristeellä.

Poistoilman mukaan laskettu hyötysuhde laskettiin kaavasta

$$\epsilon_p = \epsilon_{tj} q_{mt} / q_{mp}, \quad (6)$$

missä  $q_{mp}$  on poistoilman massavirta (kg/s). Tämä hyötysuhde on 100 %, jos poistoilma jäähtyy lämmönsiirtimessä ulkoilman lämpötilaan ja asunnossa ei kehity merkittävästi kosteutta. Kosteuden kehitys lisää hyötysuhdetta, joka siis voi olla yli 100 %. Poistoilman mukaan laskettu hyötysuhde kuvaa sitä, kuinka suuri osa kokonaisulkoilmavirran lämmittämiseen tarvittavasta energiasta saadaan poistoilmasta (kokonaisulkoilmavirta on kanavien kautta tulevan ilmavirran ja rakenteiden kautta tulevan ulkoilmavirran summa).

Haittapuolena kaavan (6) käytössä tässä tapauksessa on se, että poistoilman massavirta on mitattu mittarenkaasta ilman-

vaihtokoneen jälkeen, jolloin mitatussa poistoilmavirrassa on mukana koneen ilmavuoto tulopuolelta poistopuolelle. Koneiden ilmavuotoa ei ole mitattu. Yksi vuoden vertailuarvo saadaan tyyppihyväksytyjen ristivirtalämmönsiirrinkoneiden testistä (Heinonen 1987), jossa vuoto oli 100 Pa:n paine-erolla 0,8 - 1,7 l/s, mikä vastaa 2,5 - 5 prosenttia seurantahuoneistojen poistoilmavirrasta. Tulo- ja poistopuolen välinen paine-ero oli kolmessa seurantahuoneistossa 55, 85 ja 80 Pa.

Poistoilman mukaan laskettu hyötysuhde kuvanee parhaiten lämmöntalteenotolla saatua suhteellista hyötyä. Se laskettiin kuukausittain ja lisäksi koko vuodelle. Poistoilmavirtana käytettiin ilmanvaihtokoneen jälkeen mitattua poistoilmavirtaa ottaen huomioon tehostuksen aiheuttama lisäys, mikä oli huoneistossa 10 kuukausittain noin 4 % ja huoneistoissa 6 ja 9 alle 1 %.

Koko talon lämmöntalteenottolaitteiden talteen ottamalle energialle saatiin arvio poistoilman pääkanavista läheltä keskuspoistopuhallinta mitatuista poistoilman lämpötiloista. Arvio ei ole tarkka, koska poistoilman kosteutta ei tunneta, poistoilma ehtii jäähtyä katolla kulkiessaan ja poistokanavat vuotavat. Nämä epätarkkuudet vaikuttavat talteen saadussa energiassa vastakkaisiin suuntiin.

## 7.2 Lämmön talteenotolla saatu energia

Poistoilmasta saatu energia vuonna 1986 oli seuratuissa kolmessa huoneistoissa 1940 - 2670 kWh (taulukko 6). Tässä ei ole mukana kesä-, heinä- ja elokuussa talteen saatua energiaa, koska kesällä sitä ei voida käyttää hyväksi ainakaan täysimääräisesti (menettelyä tukevat kesäajan huoneistolämpötilat, liite 7). Poistoilman mukaan laskettu vuosihyötysuhde oli 35 - 45 %. Huoneiston 9 muita huononnan hyötysuhteen syytä ei ole selvitetty, todennäköisin syy on ilmavuoto ilmanvaihtokoneessa.

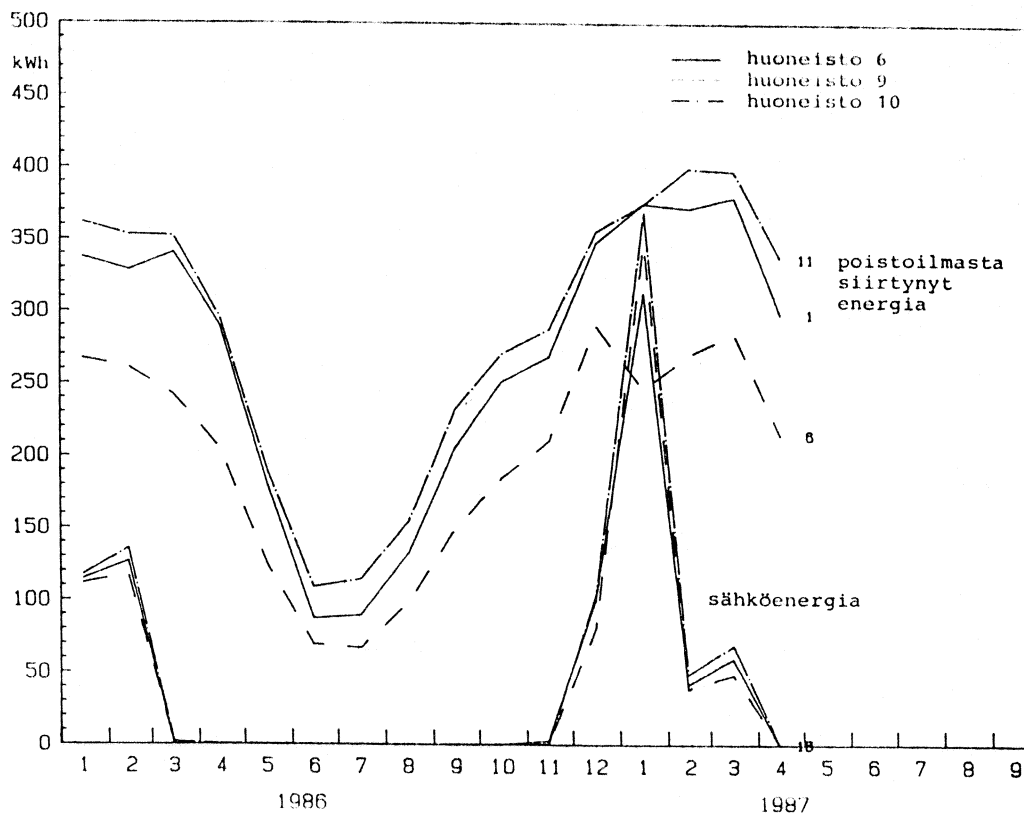


Taulukko 6. Ilmavirrat, poistoilmasta tuloilmaan siirtynyt energia (LTO-energia), poistoilman mukaan laskettu hyötysuhde ja tuloilman sähkölämmitysenergia vuonna 1986, kun kesäkuukaudet jätetään huomiotta.

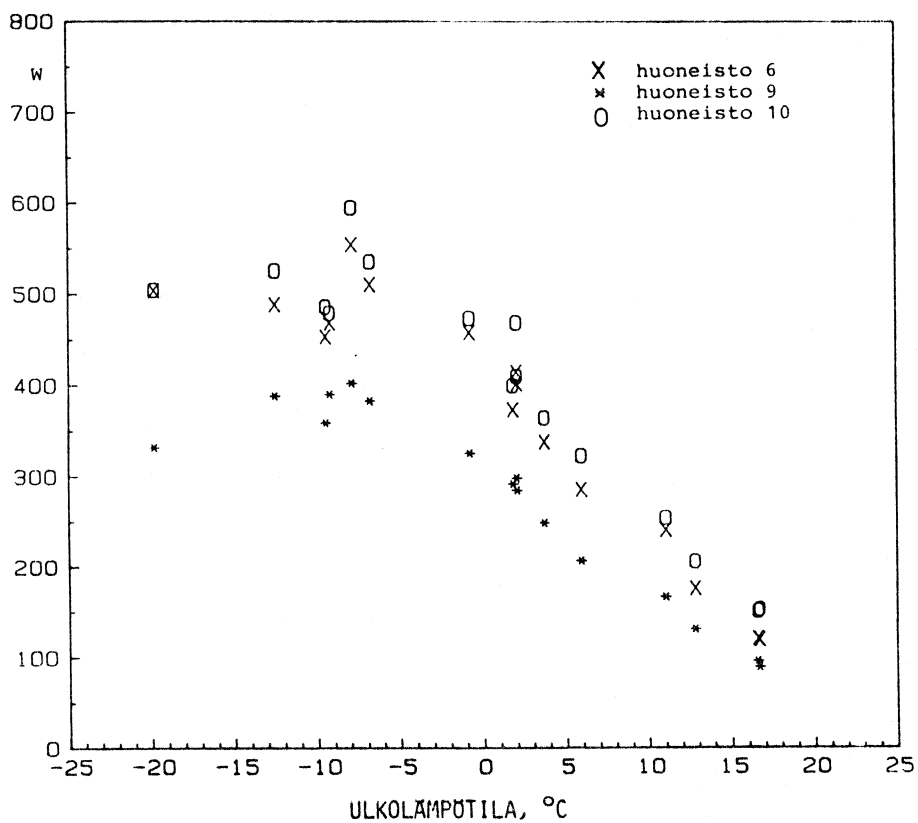
Huoneisto	Poisto- ilma l/s	Tulo- ilma l/s	Tulo-/ poisto- ilma	LTO- energia kWh	Hyöty- suhde %	Säh- kö kWh
6	36	26	0,72	2 550	42	343
9	32	23	0,72	1 940	35	309
10	32	25	0,78	2 670	45	359

Poistoilmasta saatu energia on suurimmillaan noin 400 kWh kuukaudessa huoneistoa kohti (kuva 22). Ulkolämpötilan laskiessa noin alle  $-8^{\circ}\text{C}$  talteen saatava energia ei enää lisäännä (kuva 23) vaan pysyy likimain vakiona. Tämä on seurausta ulkoilman esilämmityksestä sähköllä ennen lämmönsiirrintä ja samanaikaisesta lämmönsiirtimen jäätyminen estosta (vertaa kuvia 23 ja 31). Sähköenergian tarve lisääntyy voimakkaasti huippupakkasilla: tammikuussa 1987 sähkölämmitysenergia oli lähes yhtä suuri kuin talteen saatu energia (kuva 22).

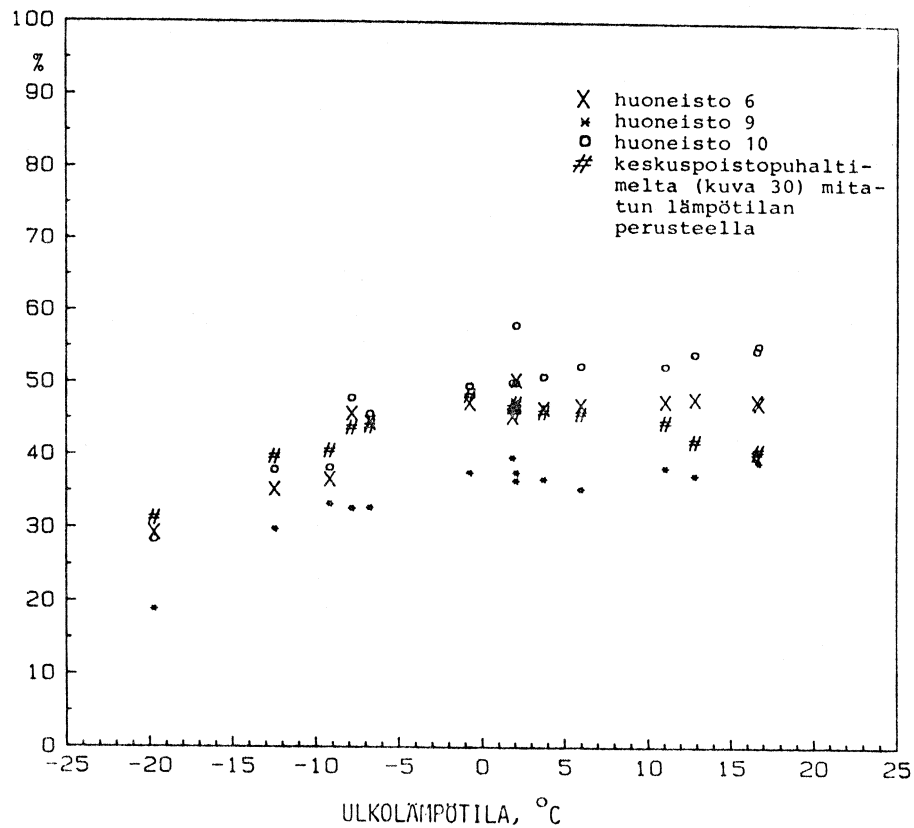
Poistoilman mukaan laskettu hyötysuhde (kuva 24) pienenee ulkolämpötilan laskiessa tuloilman esilämmityksen takia. Lämmönsiirtimelle mitattu tuloilman lämpötilahyötysuhde (kuva 25) riippuu vain vähän ulkolämpötilasta ja on tasoltaan lähellä valmistajan ilmoittamia arvoja (68 - 72 %) lukuunottamatta huoneistoa 9.



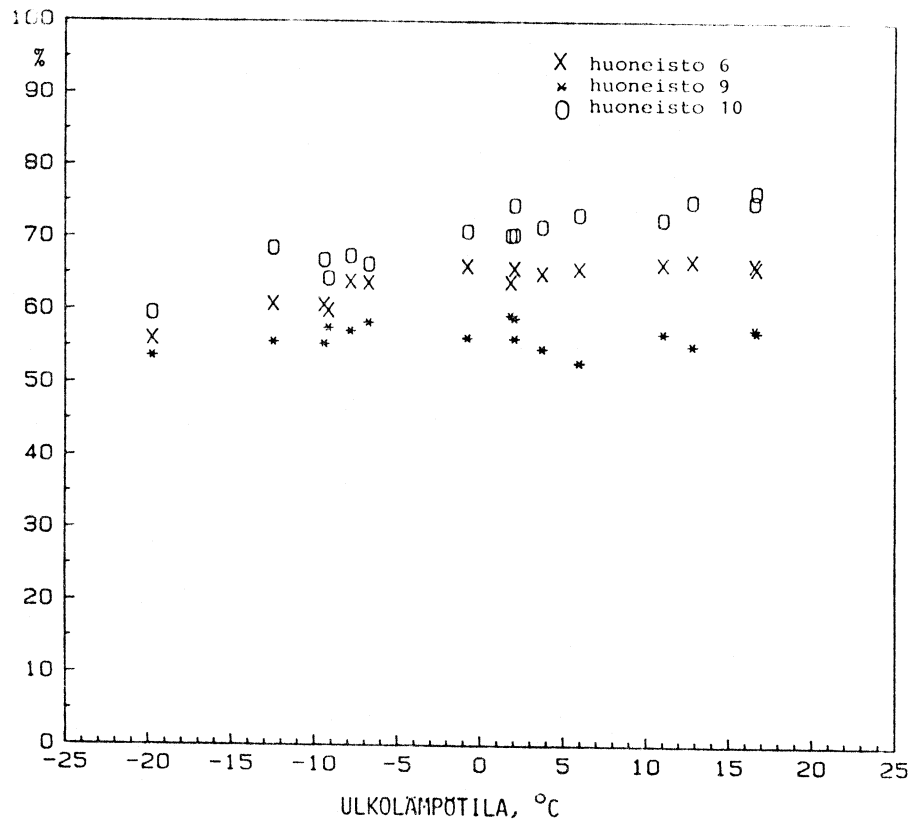
Kuva 22. Poistoilmasta tuloilmaan siirtynyt energia ja tuloilman sähkölämmitysenergia kuukausittain.



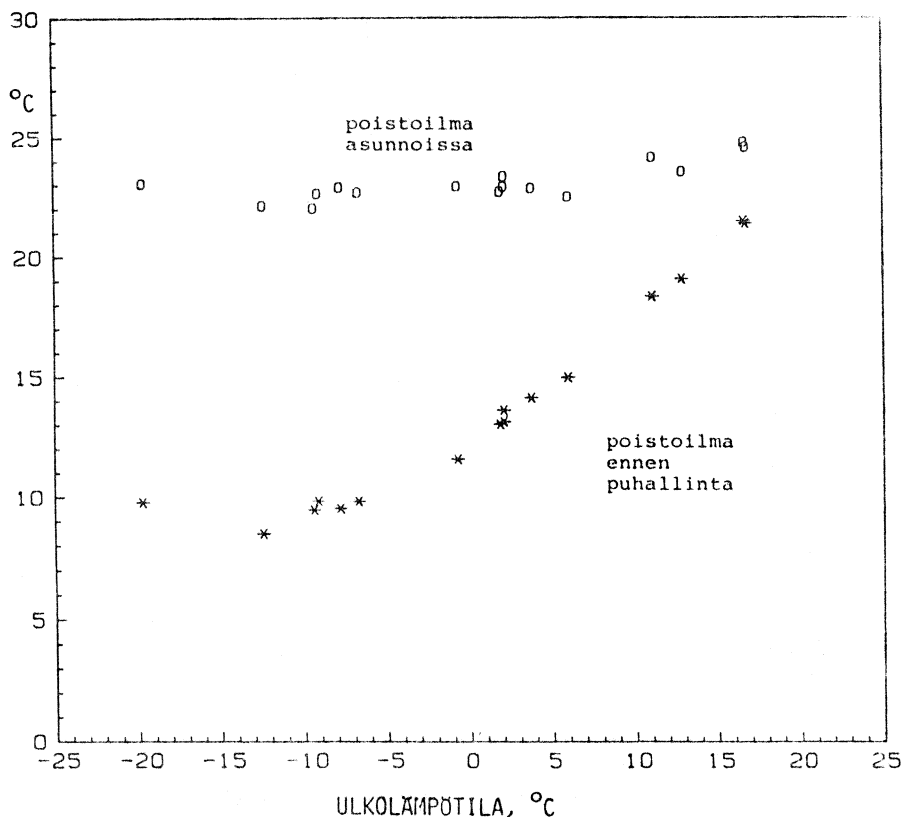
Kuva 23. Poistoilmasta tuloilmaan siirtyneen lämpötehon kuukausikeskiarvot ulkolämpötilan funktiona.



Kuva 24. Poistoilman mukaan laskettu lämmön talteenoton hyötysuhde, kuukausikeskiarvot.



Kuva 25. Lämmöntalteenoton lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhde tuloilman mukaan, kuukausikeskiarvot.



Kuva 26. Poistoilman lämpötila asunnoissa (7 huoneiston perusteella) ja ennen keskuspoistopuhallinta (mitattu viidestä kaikkiaan kymmenestä pääkanavasta).

Poistokanavista mitattujen lämpötilojen mukaan (kuukausikeskiarvot kuvassa 26) poistoilman mukaan laskettu hyötysuhde on 44 % ja talteen saatu energia 88 050 kWh vuonna 1986, kun kesäkuukaudet jätetään huomiotta. Tästä tulee huoneisto kohti keskimäärin 2 520 kWh. Nämä lukuarvot ovat lähellä mittaushuoneistojen 6 ja 10 tuloilmapuolelta mitattuja talteenottoenergian määriä.

Poistoilmasta saadun energian määrä on siis vuodessa noin 88 000 kWh/a. Rakennuskuutiometriä kohti se on 10,3 kWh/m<sup>3</sup>a ja huoneistoalaa kohti 42 kWh/m<sup>2</sup>a.

### 7.3 Talteen otetun energian rahallinen arvo

Lämmön talteenotolla saatu rahallinen säästö koko talossa verrattuna koneelliseen poistoilmanvaihtoon esitetään taulukossa 7. Vertailujärjestelmässä on yhtä suuri poistoilma-

virta kuin tutkittavassa järjestelmässä ja ulkoilman lämmitykseen ulkolämpötilasta sisälämpötilaan tarvittava energia otetaan kaukolämpöverkostosta.

Kun poistoilmasta saadaan talteen Lammasmäessä noin 88 000 kWh energiaa ja ilmanvaihtokoneissa tuodaan tuloilmaan 17 000 kWh sähköenergiaa, tarvitaan kaukolämpöenergiaa 105 000 kWh vähemmän kuin koneellisessa poistossa. Sähköä tarvitaan 17 000 kWh enemmän. Kaukolämmön hinta Hämeenlinnassa oli vuonna 1986 0,095 mk/kWh ja sähkön hinta 0,308 mk/kWh.

Taulukko 7. Poistoilmasta talteen saatu energia ja sen rahallinen arvo 1986. Käytetty sähköenergia on laskettu 10 huoneiston koneen kulutuksesta vähentämällä poistopuhaltimien ja valaisimen energia.

Korvattu kaukolämpö		Tarvittu sähköenergia		Säästö	
kWh	mk	kWh	mk	kWh	mk
105 000	9 975	17 000	5 235	88 000	4 740

Lämmön talteenotolla saatava välitön rahallinen hyöty verrattuna koneelliseen poistoilmanvaihtoon on vajaat 5 000 markkaa vuodessa. Nykyisillä energian hinnoilla sekä kaukolämmön ja sähkön hintasuhteilla vuosisäästö on pieni verrattuna investointikustannuksiin.

## 8 TULOILMAN LÄMMITYS

8.1 Tuloilman lämmitys ja lämpeneminen kanavistossa

Käytetyt tuloilmaelimet soveltuvat alilämpöisen, huoneilman lämpötilaa kylmemmän tuloilman vedottomaan sisäänpuhallukseen. Valmistajan tietojen mukaan puhallussuihku pysyy vakaana vielä 12 °C:n alilämpötilalla, jolloin puhallussuihkun heittopituus on 18 % pienempi kuin huoneenlämpöisellä tuloilmalla. Tavoitteena on tuloilman sekoittaminen huoneilmaan oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella lähellä kattoa.

Matala tuloilman lämpötila mahdollistaa tuloilman käytön huoneen jäähtytykseen, joskin saatava jäähdytysteho on vaatimaton pienten ilmavirtojen takia. Kaukolämmitystalossa on tärkeää myös jättää tuloilman lämmittäminen sähköllä mahdollisimman vähäiseksi. Apuna lämmittämisessä voidaan käyttää huoneesta kanaviin siirtyvää lämpöä, mikä riittää nostamaan pienten ilmavirtojen (taulukko 8) lämpötilaa.

Taulukko 8. Ilmavirrat seurantahuoneistoissa 7. - 10.10.1985 (l/s). Kokonaisilmavirrat koneella on mitattu mittarenkaista ja tilakohtaiset ilmavirrat paine-eron perusteella tai anemometritorvella (huoneisto 6).

Huoneisto	Tuloilma huoneisiin			Tuloilma koneella	Poistoilma koneella
	oh	mh 1	mh 2		
6	9	5	5	26	38
9	12	7		23	33
10	9	7	7	24	32

Kuvissa 28 - 30 ovat tuloilman lämpötilat huoneistoissa 6, 9 ja 10 viiden vuorokauden talvijaksolla (ulkolämpötila kuvassa 27). Sisäänpuhalluslämpötiloista on esitetty mini- ja maksimiarvot 30 havainnosta tunnin aikana. Lämmöntalteenoton jälkeen mitatusta tuloilman lämpötilasta on esitet-

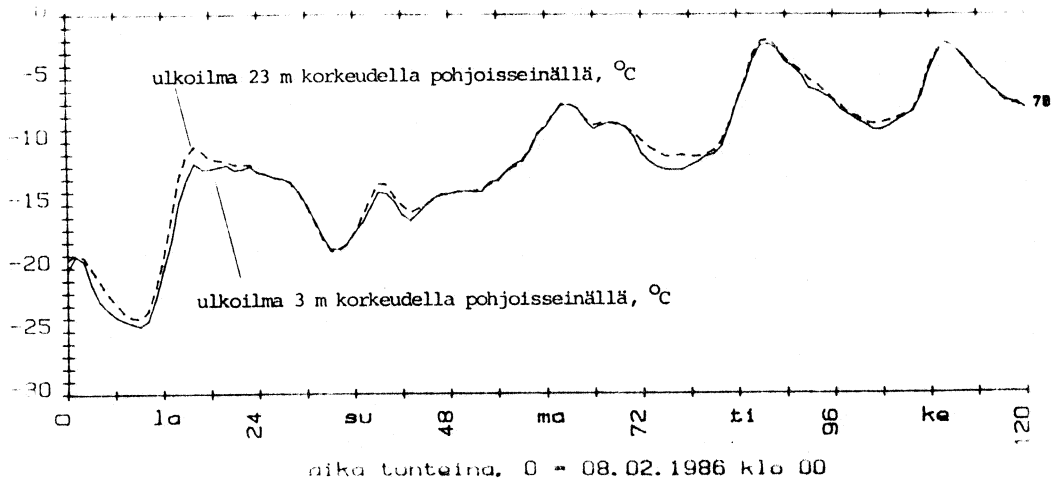
ty lisäksi tuntikeskiarvot. Ilmanvaihtokojeelta lähtevän ilman lämpötila on tätä noin 0,5 °C korkeampi tuloilmapuhaltimessa tapahtuvan ilman lämpenemisen takia. Mittauspaikat käyvät ilmi tarkemmin kuvasta 8.

Sisäänpuhalluslämpötilojen hetkelliset minimiarvot kolmessa seurantahuoneistossa ovat 13, 14 ja 14 °C. Lämpötilan vaihteluvälit tunnin aikana ovat suurimmillaan 2, 5 ja 3 °C ja ne esiintyvät silloin, kun ilmanvaihtokoneen tuloilmapatteri lämmittää. Patteri on sähkölämmitteinen ja tuloilman lämpötilan säätö toimii on-off-periaatteella. Tuloilman lämpötilan vaihteluvälit koneella ovat vastaavasti enimmäkseen 6, 11 ja 8 °C. Tuloilmakanavisto siis tasaa tuloilman lämpötilan vaihtelut noin puoleen: sitä paremmin mitä pitempi tuloilmakanava on ja mitä pienempi tuloilmavirta on. Suuri kanaviston lämpökapasiteetti, esimerkiksi ontelolaatan lämpökapasiteetti, lisää vielä kanaviston kykyä tasaata lämpötilaeroja. Esimerkki tuloilman tehokkaasta lämpenemisestä on huoneiston 10 makuuhuone 2.

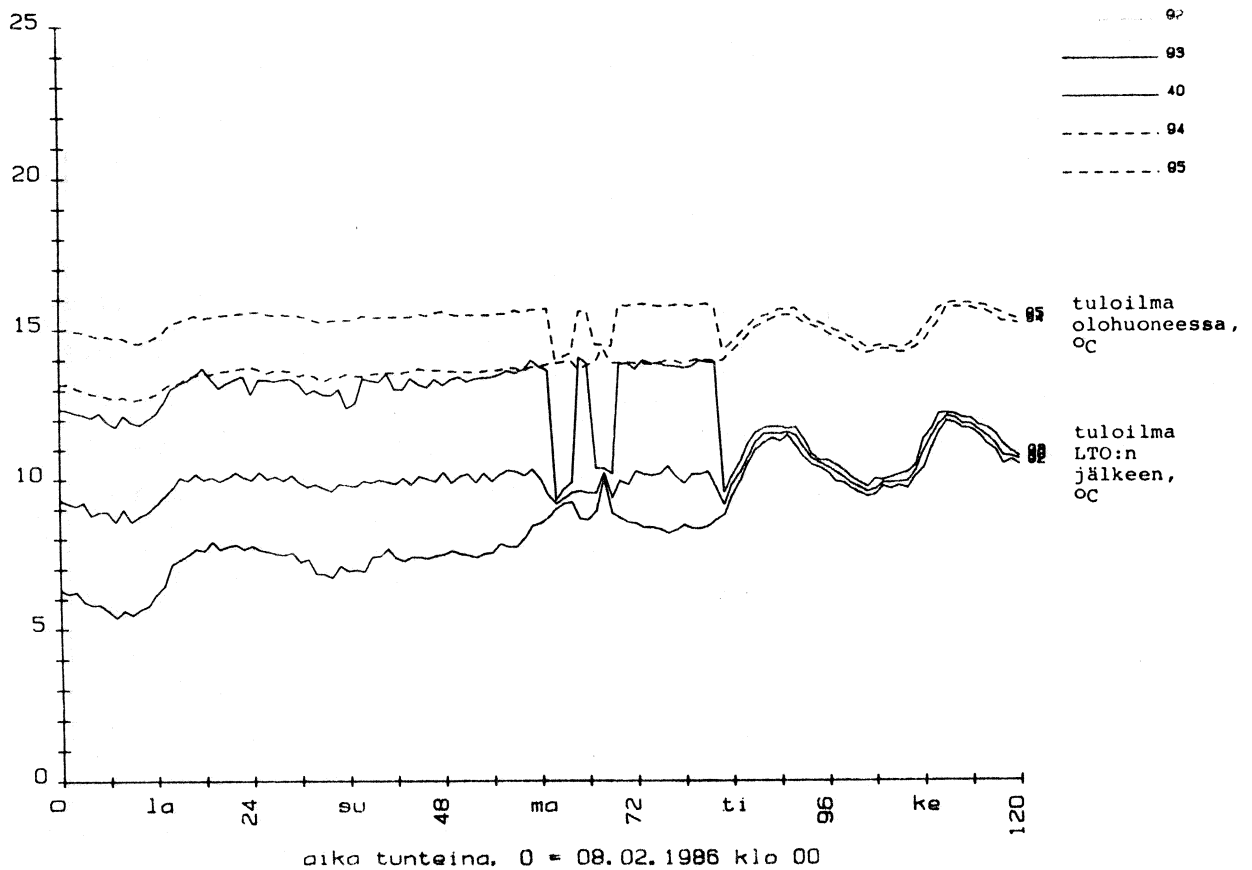
Lämpötilan ajallinen vaihtelu koneella patterin lämmittäessä on suuri. Syynä on patterin on-off-säädön lisäksi säätimen lämpötila-anturin suuri aikavakio (seurantamittausten termistori-anturin aikavakio on noin 1 sekunti). Patteria ohjaava termostaatti säädetään tehtaalla pysyvästi siten, että lämmitys alkaa tuloilman lämpötilan laskiessa alle 10,5 °C:seen ja loppuu lämpötilan noustessa 12,5 °C:seen.

Tuloilman lämpötilan tuntikeskiarvo koneella patterin lämmittäessä on seurantahuoneistoissa noin 10, 12 ja 15 °C eli termostaattien asetuksissa on melkoisia eroja. Samat lämpötila-arvot pätevät talvella myös kuukauden keskilämpötiloihin (liite 7).

Kanaviston lämpötekniisiä ominaisuuksia (lämpökonduktanssi ja lämpökapasiteetti) voidaan siis käyttää hyväksi tuloilman lämmityksessä. Pitkillä kanavilla voitaisiin vähentää sähkölämmityksen osuutta ja ehkä parantaa myös lämpöoloja.

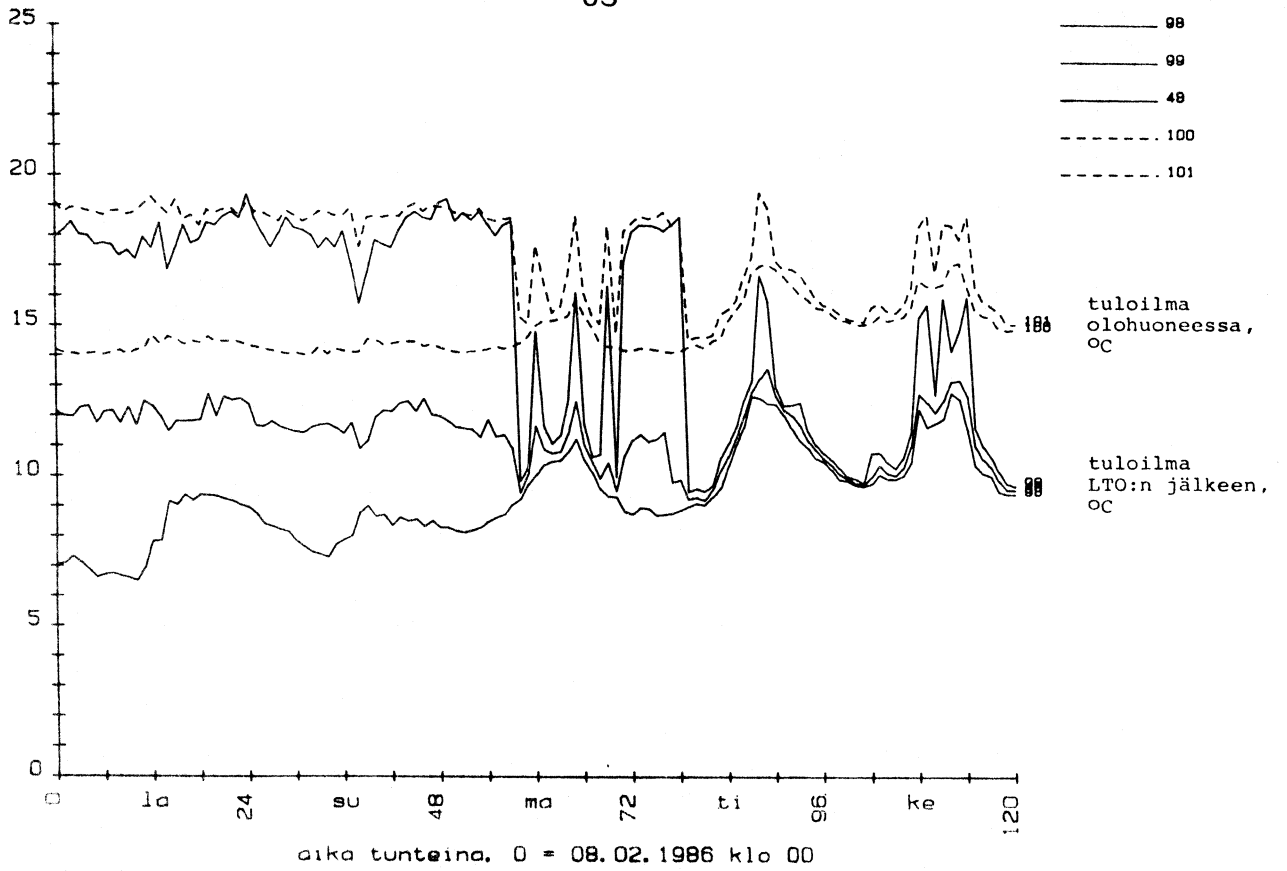


Kuva 27. Ulkoilman lämpötilan tuntikeskiarvo 8. - 12.2.1986.

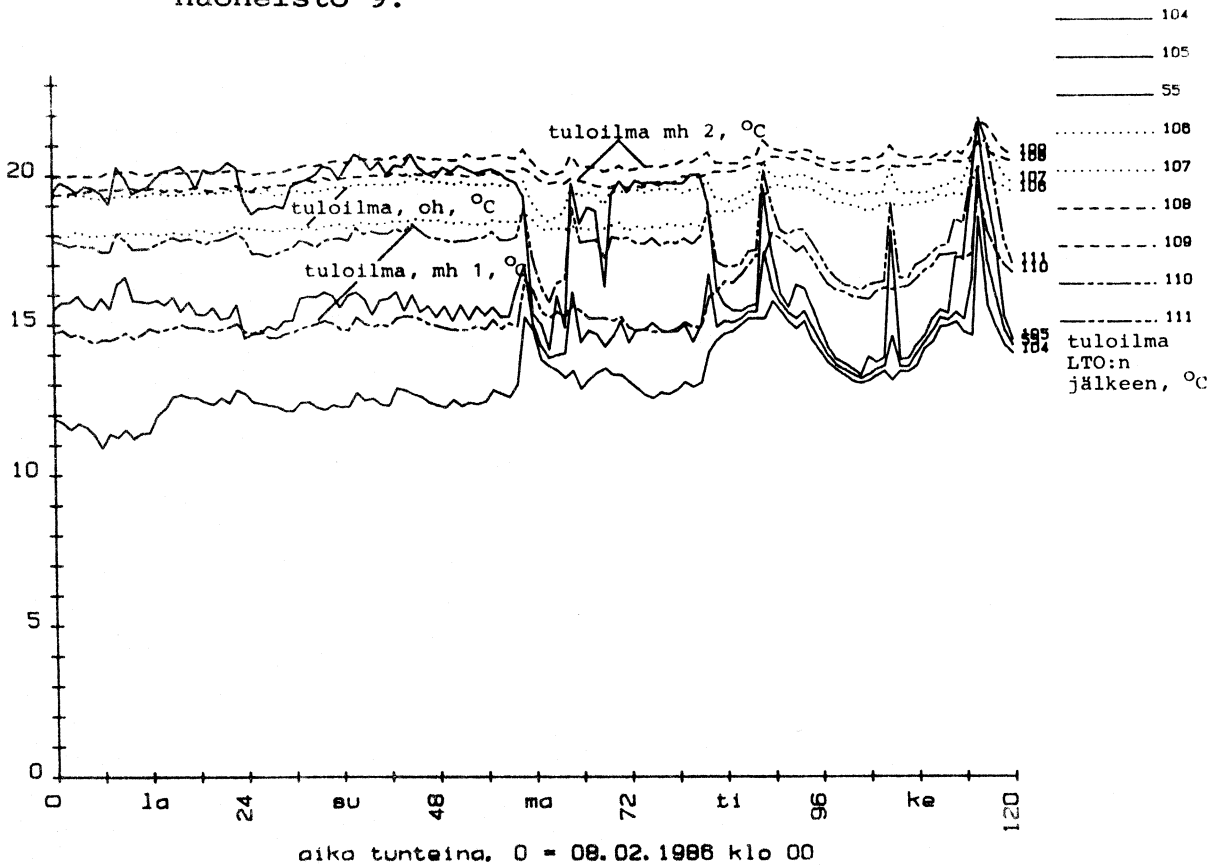


Kuva 28. Tuloilman lämpötilan vaihtelurajat ilmanvaihtokoneella (LTO:n jälkeen) ja sisäänpuhalluksessa, huoneisto 6. Kuvassa on tunnin aikana tehdyistä 30 havainnosta pienin, suurin ja LTO:n jälkeisestä lämpötilasta myös keskiarvo.





kuva 29. Tuloilman lämpötilan vaihtelurajat ilmanvaihtokoneella (LTO:n jälkeen) ja sisäänpuhalluksessa, huoneisto 9.



Kuva 30. Tuloilman lämpötilan vaihtelurajat koneella (LTO:n jälkeen) ja sisäänpuhalluksessa, huoneisto 10.

## 8.2 Ilmanvaihtokoneen sähköteho

Ilmanvaihtokoneen sähkötoiminen tuloilmapatteri (nimellisteho 1 200 W) alkaa lämmittää tuloilmaa ulkolämpötilan laskiessa noin  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n alapuolelle (kuvat 27 - 30). Patteri pitää tuloilman lämpötilan ennen lämmönsiirrintä noin  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa. Poistoilmasta saatava lämpöteho (kuva 23) on vakio tätä kylmemmällä säällä.

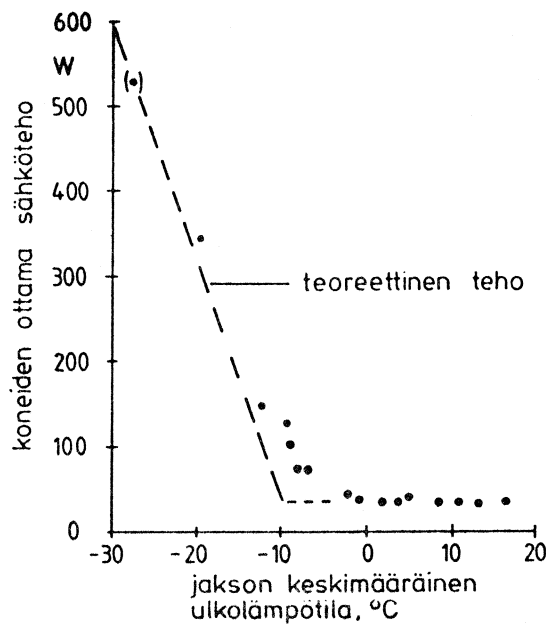
Tavallista kylmempänä tammikuuna vuonna 1987 ( $-19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ilmanvaihtokoneet kuluttivat sähköä noin 9 MWh eli yli puolet edellisen vuoden kulutuksesta (liite 6). Sähköntuotannon kannalta kiinnostaa koneiden ottama sähkön huipputeho, koska teho lisääntyy voimakkaasti ulkolämpötilan laskiessa. Huipputehoa ei mitattu, mutta jotakin voidaan päätellä pakkasjaksolta mitatuista keskiarvotehoista, taulukko 9.

Taulukko 9. Ilmanvaihtokoneiden keskiteho ajalla 31.12.1986 - 13.1.1987. Ulkoilman lämpötilan keskiarvo oli  $-27,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja vaihteluväli  $-12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ... $-35,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Koneen sähköpatterin nimellisteho on 1 200 W. Laskennallinen teho vastaa suunnitteluilmapvirtaa.

Huoneisto	Koneen sähköteho, W	Laskennallinen teho, W
1	345	660
2	468	552
3	215	389
4	263	605
5	876	552
6	679	660
7	428	552
8	419	389
9	804	605
10	812	552
Keskiarvo	531	532

Tehojen vaihtelu huoneistoittain on suuri, mikä viittaa termostaattien asetusarvojen eroihin. Myös ilmavirroilla on suuri vaikutus sähkötehoihin. Seurantahuoneistot 6, 9 ja 10 kuluttavat sähköä hieman enemmän kuin suunnitteluilmavirtojen ja lämpötilan asetusarvojen perusteella pitäisi. Seurantahuoneistoista kahdessa (9 ja 10) havaittiin lämpötilaseurannan perusteella patterin ottavan täyden tehon 1 200 W, kun ulkolämpötila oli alle  $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Kymmenenen huoneiston koneiden sähköteho on keskimäärin lähellä laskennallista tehoa (taulukko 9 ja kuva 31). Keskimääräinen sähköteho konetta kohti on noin 600 W ulkolämpötilalla  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , jota käytetään Hämeen läänissä lämmityslaitteita mitoitettaessa.



Kuva 31. Ilmanvaihtokoneiden ottama keskimääräinen sähköteho kuukauden jaksoilla (suluissa oleva piste koskee 14 vuorokauden jaksoa).

## 9 LÄMPÖOLOLOT

### 9.1 Huonelämpötilat

Jatkuvan seurannan perusteella huonelämpötilat ovat korkeita: talvikuukausina keskiarvo on noin 22 °C ja kesäkuukausina 24 °C. Seitsemän mittaushuoneiston lämpötilat ovat liitteessä 7 ja niiden keskiarvot liitteessä 6.

Tammikuun 1987 pakkasjaksolla mitattiin 15 huoneiston huonekohtaiset lämpötilat, taulukko 10. Ylimmässä kerroksessa huonelämpötilat ovat matalia huonosti säädetyn lämpöjohtoverkoston takia. Esimerkiksi huoneistossa 31 pattereiden keskikohdan pintalämpötilat olivat eri huoneissa 40 - 45 °C. Kun menoveden lämpötila lämmönjakohuoneessa oli 65 °C, on pääteltävissä, että huoneiston 31 pattereiden vesivirta oli liian pieni. Mittauksen jälkeen patteriverkosto on säädetty uudelleen helmikuussa 1987.

Korkeuksien 1,1 ja 0,1 m lämpötilaerot ovat pieniä verrattuna viihtyisyysnormien (mm. ISO 7730 1984) maksimiarvoon 3 °C eli lämpötilajakautuma huoneessa on tasainen.

Sisäänpuhalluslämpötilat ovat joissakin huoneistoissa matalia, yleensä matalampia kuin seurantahuoneistoissa 6, 9 ja 10.

Taulukko 10. Huoneilman lämpötilat 0,1 ja 1,1 m korkeudella keskellä huonetta ja sisäänpuhalluslämpötila olohuoneessa (°C) 14. - 15.1.1987. Huoneistojen 6 - 20 mittauksessa ulkolämpötila oli -18 °C ja muissa -24 °C.

Nro	oh 0,1	oh 1,1	mh 1 0,1	mh 1 1,1	mh 2 0,1	mh 2 1,1	oh sp
6	21,6	22,5	21,3	22,0	22,7	23,1	12,5
7	19,5	20,3	20,0	20,6			9,5
8	21,2	22,1					12,9
9	23,8	24,4	21,7	22,5			12,4
10	23,6	24,0	19,9	20,9	21,3	21,9	19,1
16	19,7	20,7	19,8	20,5	19,6	20,3	13,2
17	18,1	20,5	20,1	20,6			
18	19,9	21,0	19,9	20,8			12,4
19	21,6	22,5	21,3	22,0			11,5
20	22,3	23,5	22,7	23,0	21,9	22,5	17,4
31	17,0	17,6	18,0	18,5	16,9	17,6	11,8
32	16,3	17,2	17,5	18,0			11,9
33	19,1	19,4					11,9
34	18,8	19,5	19,2	19,7			13,5
35	20,8	21,4	20,9	21,5	20,2	21,2	14,7

## 9.2 Tuloilman heittokuviot ja ilman liike

Rakennuksen valmistuttua mitattiin tuloilmaelimiä heittokuviot kahdeksasta tyhjästä huoneesta. Tuloksia on liitteessä 3. Tuloilmasuihkujen heittopituudet olivat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta huoneen vapaata pituutta suurempia ja suihku pysyi oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella. Ilman nopeudet oleskeluvyöhykkeellä olivat alle 0,1 m/s.

Oleskeluvyöhykkellä tarkoitetaan sitä huonetilan osaa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista.

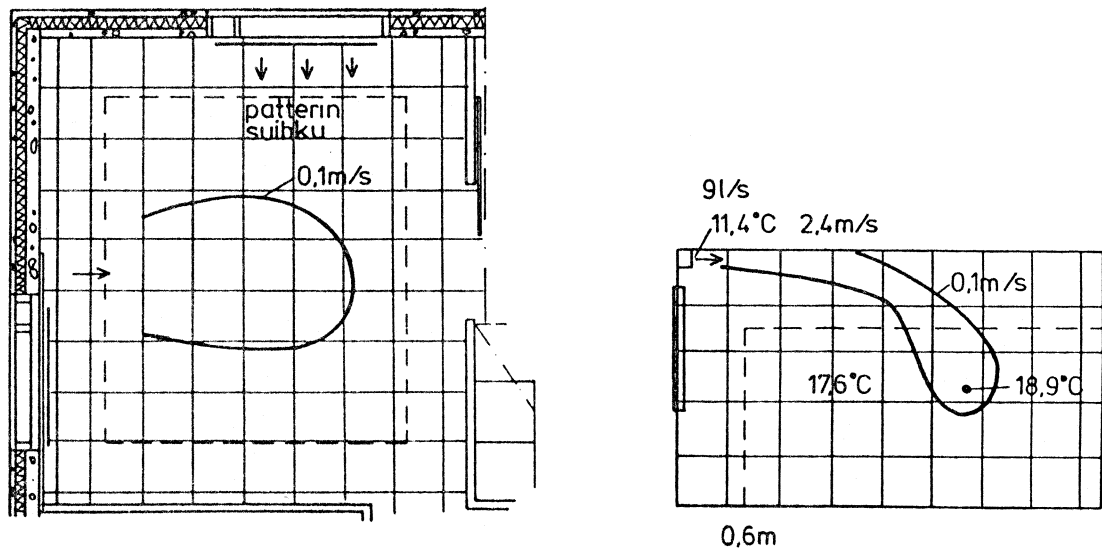
Yksiössä (huoneisto 8) makuusyvennykseen puhaltavan venttiilin suihku törmäsi seinään, koska venttiili oli asennettu

suunniteltua lähemmäksi seinää. Tästä voi aiheutua vetoa ja siitä syystä yksiöiden venttiilit on käännetty myöhemmin puhaltamaan huoneeseen päin.

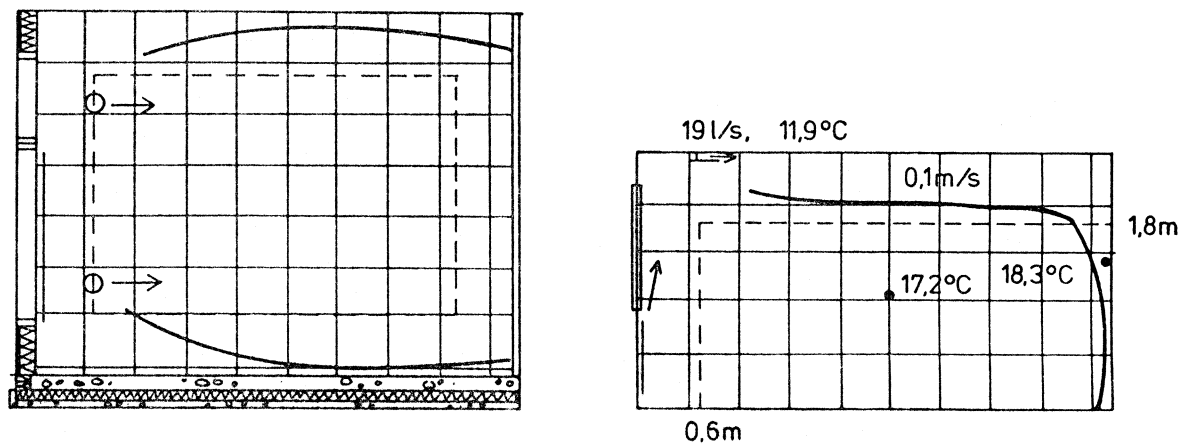
Kuvissa 32 ja 33 on tammikuun 1987 pakkasjaksolla mitattuja heittokuvioita, jotka voivat aiheuttaa vetoa. Muissa huoneissa (samat huoneet kuin taulukossa 10) ei löydetty oleskeluvyöhykkeeltä yli 0,1 m/s nopeuksia. Kuvan 32 tapauksessa suihku laskeutuu oleskeluvyöhykkeelle matalan sisäänpuhalluslämpötilan ja sivuseinällä olevan patterin konvektiovirtauksen takia. Kuvan 33 tapauksessa suihkun pituus ylittää huoneen pituuden, koska ilmavirta on suuri ja patterin konvektiovirtaus yhtyy sisäänpuhallussuihkuun. Molemmissa tapauksissa suihkun lämpötila on huonelämpötilaa korkeampi, mikä vähentää vetoriskiä.

Sisäänpuhalluksen suunnittelussa on lämmityspattereiden ilmavirtaukset syytä ottaa huomioon. Vedottomuuden kannalta on yleensä turvallisinta suunnata sisäänpuhallussuihku patterin virtauksen kanssa samansuuntaiseksi. Näin muodostuvan yhdistelmäsuihkun heittopituus voi tosin tulla suurilla ilmavirroilla huoneen pituutta suuremmaksi, kuten kuvan 33 tapauksessa.

Vetoa mahdollisesti aiheuttavia tarpeettoman suuria ilmavirtoja on syytä välttää. Lammasmaässä esimerkiksi kaksioiden olohuoneiden ilmavirrasta osa voitaisiin hyvin siirtää makuuhuoneisiin.



Kuva 32. Sisäänpuhallussuihku huoneiston 31 olohuoneessa 15.1.1987. Ulkolämpötila  $-24^\circ\text{C}$ . Patterin ilma-suihku painaa sisäänpuhallussuihkua alas.



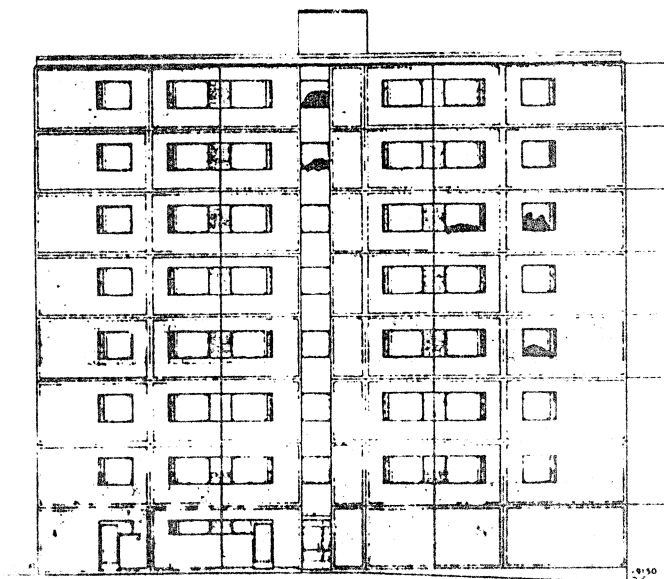
Kuva 33. Sisäänpuhallussuihku huoneiston 32 olohuoneessa 15.1.1987. Ulkolämpötila  $-24^\circ\text{C}$ . Ilmavirta on mitoitettu tavallista suuremmaksi.

## 10 ULKOVAIPAN PAINE-ERO

Ulkovaipan paine-eroa mitattiin kertamittauksin ja jatkuvala seurannalla. Seurantatulosten luotettavuus osoittautui heikoksi mittausletkuihin muodostuneen jään takia, mistä syystä seuraavassa esitetään vain kertamittausten tuloksia.

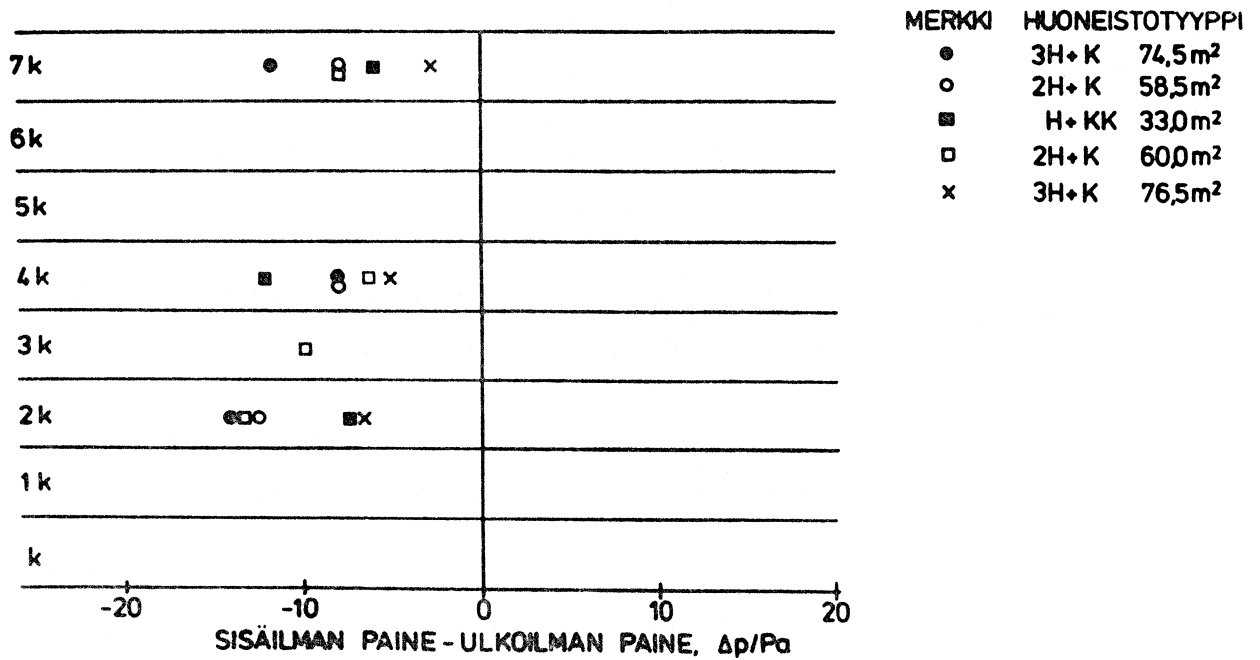
Sisäpuolinen ylipaine aiheuttaa yleensä ikkunaväliä huurtumista. Huurtumista seurattiin näkohavainnoin 20.1 - 24.3.1987 seitsemän kertaa, jolloin ulkolämpötila oli 0...-14 °C. Huurtuneita ikkunoita oli asuinhuoneissa enimmillään kolme, kuva 34. Ikkunoiden huurtumisen syynä on joissakin huoneistoissa ollut tuloilmavirran pieneneminen säätöpellin lukituksen petettyä. Säätöpeltien lukitus on myöhemmin varmistettu.

Myös ylimmän kerroksen huoneistot ovat olleet alipaineisia pakkasella, kuvat 35 ja 36. Rakennuksen sisäinen ja ulkoinen tiiviys, poistoilmavirran ylimäärä ulkoilmavirtaan verrattuna ja ilmanvaihdon ilmavirtojen pysyvyys riittävät siis yhdessä alipaineisuuden pysyvyyteen.

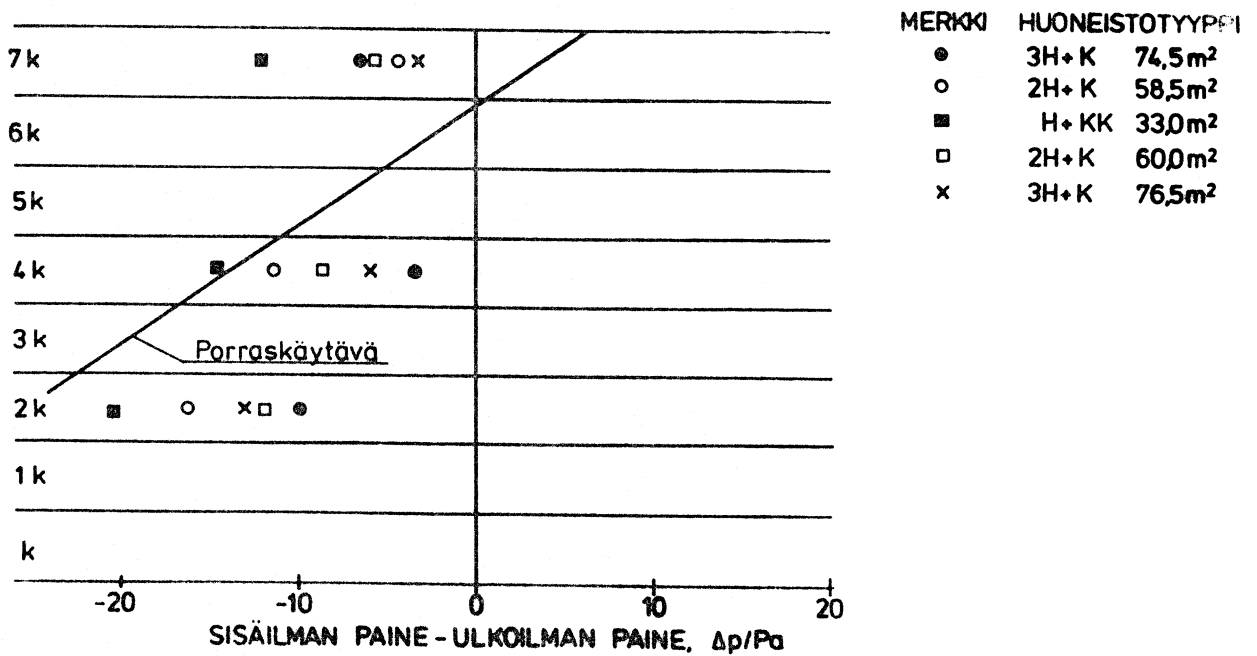


Kuva 34. Huurtuneet ikkunat 20.1.1987. Muilla julkisivuilla ikkunat olivat kirkkaat. Ulkolämpötila -4 °C.





Kuva 35. Ulkovaipan paine-ero 7.1.1986. Ulkolämpötila -19...-21 °C.



Kuva 36. Ulkovaipan paine-ero 14. - 15.1.1987. Ulkolämpötila -18...-24 °C.

## 11 ÄÄNITEKNISET KORJAUKSET

Suomen Puhallintehdas Oy:n tekemät korjaukset syksyllä 1986 olivat:

1. Liesikupujen kuristusläpät vaihdettiin toisenmallisiin, joiden aiheuttama ääni on valmistajan mukaan noin 4 dB(A) pienempi Lammasmäen suurimmalla painehäviöllä (noin 120 Pa).
2. Koneiden edessä olevat keittiökaapiston ovet tiivistettiin tarpeen mukaan ja verhoitiin sisäpuolelta vaimennusmatolla.
3. Kaapistojen yläsokkelit tiivistettiin joissakin huoneistoissa koneen kohdalta tiivistysmassalla.

Ilmanvaihdon äänitasot mitattiin korjausten jälkeen samoista huoneistoista kuin ennen asukkaiden sisään muutttoa. Mittausmenetelmä ja laitteet olivat samat, joten tulokset ovat hyvin vertailukelpoisia. Uudet äänitasot ovat liitteessä 5 ja vanhat kohdassa 4.4. Ääntä on vaimentanut mittausten välisenä aikana korjausten lisäksi kalustus, minkä vaikutus on yleensä noin 2 - 4 dB(A).

Korjauksilla tavoiteltiin ensisijaisesti keittiön äänitason pienenemistä, joten se kuvanee korjausten onnistumista, taulukko 11. Äänitaso on vaimentunut keittiöissä 0 - 9 dB(A), keskiarvovaimennus on 5 dB(A). Huoneistokohtaiset erot vaimennuksen suuruudessa samoin kuin samanlaisten huoneistojen äänitasoerot ovat yllättävän suuria. Syynä voivat olla kalustuksen erot, korjausten yksilöllisyys (toimenpiteissä 1 ja 2) sekä ilmanvaihtokoneiden ja kuristinläppien yksilöerot. Koneiden tai asennuksen yksilöeroihin viittaavat myös suuret äänitasoerot rakennuksen valmistumisvaiheessa. Koneen ääni voi lisäksi muuttua jostakin tilapäisestä syystä. Näin kävi huoneiston 34 kohdalla taulukon 11 mittauksissa: myöhemmin tehdyissä

tarkistusmittauksissa äänitaso oli vain 35 - 37 dB(A).

Taulukko 11. Keittiön tai yksiöissä olohuoneen äänitaso ja sen muutos kalustuksen ja korjausten jälkeen. Muutos on laskettu alimman huoneessa mitatun äänitason mukaan.

Huoneisto	Äänitaso dB(A)	Muutos, dB(A)
1	30 - 32	-5
2	34 - 38	-6
3 (yksiö)	31 - 34	0
4	32 - 35	-8
5	34 - 35	-1
16	31 - 33	-6
17	37 - 38	-5
18 (yksiö)	30 - 35	-4
19	37 - 38	-5
20	36 - 37	-4
31	34 - 36	-7
32	33 - 34	-9
33 (yksiö)	29 - 34	-4
34	38 - 41	-4
35	37 - 39	-3
Keskiarvo		-5

Asuinhuoneiden suuret äänitasot (liite 5) esiintyivät huoneissa, joissa tuloilmaventtiilit oli asennettu virheellisesti ilman tiivisteellistä ulkoliitintä (venttiilityyppi CTVK). Asennusvirhe korjattiin seurantamittausten jälkeen syksyllä 1987. Suomen Puhallintehtaan mittausten mukaan äänitaso pieneni kyseisissä huoneissa samalle tasolle kuin muissakin asuinhuoneissa, mikä onkin luonnollista venttiilityyppien CTVK ja CTVA rakenteen samankaltaisuuden vuoksi.

Suomen rakentamismääräysten äänitasorajat alittuvat korjausten jälkeen asuinhuoneissa lukuun ottamatta yksiöitä, joissa äänitaso 30 dB(A) joissakin kohdin ylittyy. 35 dB(A):n raja ylittyy noin puolessa keittiöistä. Ylitykset ovat perusilmanvaihdon enintään 4 dB (huoneisto 34 on jätetty uusintamittausten perusteella huomiotta). Tehostetulla ilmanvaihdon keittiöiden äänitaso on noin 45 dB(A).

## 12 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN HUOLTO

### 12.1 Venttiilien ja ilmanvaihtokoneen likaantuminen

Ilmanvaihtojärjestelmän komponenttien likaantumista arvioitiin elokuussa 1986, jolloin järjestelmä oli ollut käytössä 10 kuukautta. Likaantuminen arvioitiin silmämääräisesti käyttäen asteikkoa: 0 puhdas, 1 vähän likainen, 2 likainen, 3 hyvin likainen.

29 poistoventtiilistä 2 luokiteltiin vähän likaantuneeksi ja loput puhtaiksi. Kaikki 63 tuloilmaventtiiliä luokiteltiin puhtaiksi, mutta 18 venttiilin kohdalta oli katto tai seinä vähän likaantunut.

Ilmanvaihtokoneen sisäosat luokiteltiin 21 asunnosta 20:ssä vähän likaiseksi ja yhdessä likaiseksi. Lämmöntalteenoton lämmönsiirrin oli vähän likainen (rasvoittunut) kahdessa huoneistossa ja muissa puhdas. Rasvaa näyttää kulkeutuvan koneen sisälle rasvasuodattimen ohi. Liesikuvulta tuleva rasva tarttuu ennen kaikkea koneen lauhdealtaan (kuva 3) alapintaan. Yhdestä huoneistosta rasvasuodatin puuttui kokonaan. Ilmanvaihtokone ei ollut kuitenkaan muita likaisempi.

Rasvasuodattimista (yhteensä 20 kappaletta) 3 oli likaisia, 8 vähän likaisia ja 9 puhtaita. Ilmanvaihtokoneen sisällä olevien ilmansuodattimien puhtautta selvitellään kohdassa 12.2.

### 12.2 Ilmansuodattimet ja ilmavirtojen pysyvyys

Ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmansuodattimien (kuva 37) huolto (pesu tai vaihto) tulee tarpeelliseksi, kun ilmavirrat pienenevät ilmansuodattimien likaantumisen takia liikaa. Rakennuksen painesuhteiden kannalta on lisäksi tarpeellista, että tuloilmavirta pienenee suunnilleen saman verran tai enemmän kuin poistoilmavirta.

Huoneistokohtaisten ilmavirtojen muutokset ilmansuodattimien likaantuessa ovat melko pieniä, taulukko 12. 10 kuukauden käyttöaika on pienentänyt poistoilmavirtoja enintään 3 l/s, mikä on 9 % poistoilmavirrasta. Kyseisen poistoilmansuodattimen yli mitattiin paine-ero 64 Pa (kuva 37), joka oli suurin mitatuista. Tuloilmavirtojen suurin pieneneminen oli 4 l/s, jolloin tuloilmansuodattimen paine-ero oli niin ikään suurin, noin 20 Pa.

Taulukko 12. Huoneistokohtaiset kokonaisilmavirrat, l/s ja kuitusuodattimien likaantuminen (ko. ilmavirran jälkeen suluissa). Likaantuminen on arvioitu silmämääräisesti käyttäen asteikkoa: 0 puhdas, 1 vähän likainen, 2 likainen, 3 hyvin likainen.

Päivämäärä Suodattimien vaihdosta kulunut	11.10.1985 0 kk		14.8.1986 10 kk		14.1.1987 2 kk	
	Huoneisto	Poisto	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto
6	38	26	36 (2)	25 (2)	35	27
7	28	21	28 (1)	22 (1)	28	23
8	-	19	- (1)	19 (1)	20	21
9	33	23	30 (2)	22 (2)	35	23
10	32	24	32 (2)	26 (1)	32	28
16	36	26	32 (2)	25 (2)	32	26
17	28	23	28 (1)	21 (1)	29	21
18	-	18	- (2)	17 (2)	21	15
19	31	22	29 (1)	19 (1)	30	19
20	28	23	27 (1)	23 (1)	29	23
31	33	28	31 (1)	24 (2)	32	25
32	31	23	29 (1)	21 (1)	29	22
33	-	18	- (1)	20 (2)	23	21
34	30	24	31 (2)	22 (2)	32	21
35	29	24	28 (1)	24 (1)	28	22

Poistoilmansuodattimen sijainnin takia (kuva 37) pesuhuoneen ja vaatehuoneen poistoilmavirrat pienenevät absoluuttisesti hieman enemmän kuin kokonaispoistoilmavirta. Tästä on laskennallinen esimerkki kuvassa 38. Laskelman mukaan huoneis-

ton kokonaispoistoilmavirran pieneneminen 3 l/s merkitsee pesuhuoneen poiston pienenemistä noin 4 l/s, mikä on 25 % nimellisilmavirrasta.

Ilmanvaihtojärjestelmän riittävän suurten painetasojen (kuva 37) ansiosta kokonaisilmavirrat ja rakennuksen painesuhteet pysyvät vakaina ilmansuodattimien likaantumisesta huolimatta. Suodattimien huolto kaksi kertaa vuodessa näyttää riittävältä. Jos sallitaan muutamassa pesuhuoneessa ilmavirran väheneminen vaihtojakson loppuvaiheessa noin 25 % voidaan huoltoväliksi valita jopa yksi vuosi. Tuloilmansuodattimien likaantumisessa ei ole merkittäviä huoneistokohtaisia eroja (lähes yhtä suuret pölypitoisuudet ja ulkoilmavirrat), joten niidenkin puolesta yksi vuosi voisi riittää.

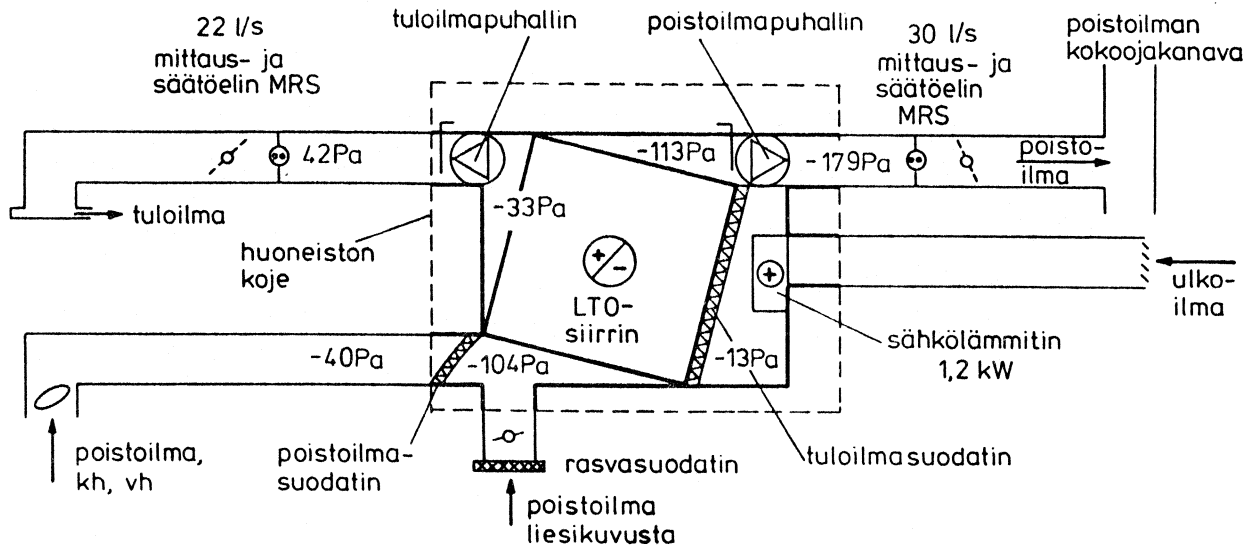
Sopiva huollon ajankohta on syksyllä, jolloin voidaan poistaa koneen ulkoilmapuolelle sähköpatterin läheisyyteen kerntyneet hyönteiset. Mahdollinen toinen huoltoajankohta voidaan valita vapaammin.

### 12.3 Ilmansuodattimien pestävyys

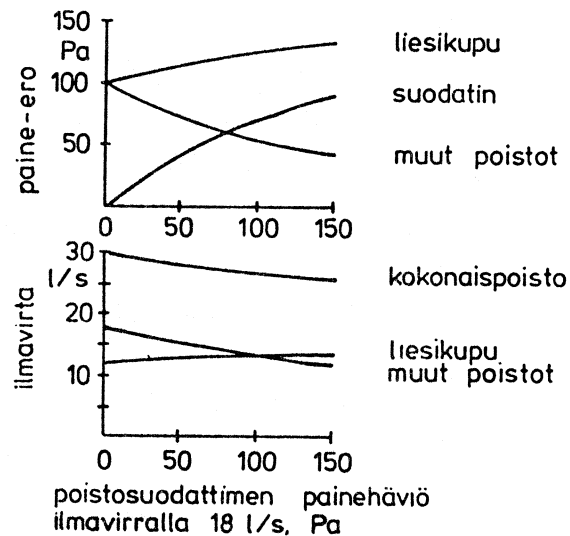
Kiinteistö Oy Lammasmäen huoltomies on pessyt viereisen ilmalämmitystalon kuitusuodattimet talopesulan koneessa. Sama käytäntö tuntuu luonnolliselta myös Lammasmäessä. Pesun vaikutusta ilmansuodattimien ominaisuuksiin ei kuitenkaan ole tunnettu.

Laboratoriokokeissa testattiin ilmansuodatinmateriaalin punnituserotusaste ja pölynpidätyskyky neljän konepesukerran jälkeen. Tulokset ovat liitteessä 4. Kummassakaan ominaisuudessa ei tapahtunut merkittävää muutosta pesun johdosta.

Tulosten perusteella kyseisiä ilmansuodattimia voi pestä koneessa. Ominaisuudet heikkenevät vasta, kun suodattimet alkavat pesun johdosta näkyvästi kulua.



Kuva 37. Paine ilmanvaihtokoneen eri osissa huoneeseen verrattuna ennen ilmansuodattimien vaihtoa. Tässä huoneistossa poistoilmansuodattimien painehäviö oli suurin 21 mitatusta.



Kuva 38. Poistoilmavirtojen muutokset poistoilmansuodattimen likaantuessa. Laskennallinen tarkastelu. Puhtaalla suodattimella liesikuvun ilmavirta on 12 l/s ja muut poistoilmavirrat 18 l/s.

## 13 ASUKASHAASTATTELU

### 13.1 Haastattelumenetelmä ja vertailuaineisto

Tutkimusmenetelmänä käytettiin henkilökohtaista haastattelua. Kiinteistössä asui 35 taloutta, joista saatiin haastateltua 18 taloutta (51 %). Haastattelutilanne oli poikkeuksetta myönteinen ja asiallinen.

Tuloksia verrattiin viereisissä kaupungin vuokrataloissa vuonna 1983 saatuihin haastattelutuloksiin. Naapuritalojen ilmanvaihtojärjestelmät ovat koneellinen poisto sekä ilmalämmitykseen liitetty koneellinen tulo ja poisto. Käyttöajoilla painotetut ilmanvaihtokertoimet ovat naapuritaloissa noin  $0,4 \text{ h}^{-1}$  ja Lammasmäessä  $0,66 \text{ h}^{-1}$ .

### 13.2 Taustatiedot

Yhden henkilön talous oli pienin ja viiden henkilön talous oli suurin. Yhden henkilön talouksien osuus oli 11 %, kahden henkilön 22 %, kolmen henkilön 33 %, neljän henkilön 22 % ja viiden henkilön talouksien osuus 11 %. Asukkaista oli alle kouluikäisiä (0 - 6-vuotiaita) 24 %, kouluikäisiä (7 - 17) 13 %, aikuisia (18 - 64) 58 % ja vanhuksia (yli 65) 5 %.

Edellisten asuntojen yleisin huoneluku oli 2 h + k (76 %) ja pinta-ala 51 - 70 m<sup>2</sup> (71 %). Nykyisten asuntojen yleisin huoneluku haastatelluilla talouksilla oli 3 h + k (61 %) ja pinta-ala 71 - 90 m<sup>2</sup> (61 %).

Edellisen asunnon ilmanvaihto oli ollut painovoimainen 53 %:ssa ja koneellinen poistoilmanvaihto 47 %:ssa talouksia.



### 13.3 Ilman raikkaus

Lähes kahdessa kolmasosassa (61 %) asunnoista ilman raikkaus koettiin hyväksi tai erittäin hyväksi. Kolmasosa (28 %) talouksista piti asuntonsa raikkautta kohtalaisena ja yksi talous (6 %) erittäin huonona. Prosenttijakauma on lähes sama kuin aikaisemmin tutkittujen Kiinteistö Oy Lammasrinteen ja Katumajärven (taulukko 13).

Kaksi kolmasosaa talouksista piti nykyisen asunnon ilman raikkautta parempana ja yksi viidesosa huonompana verrattuna edelliseen asuntoon. Talouksista 78 % katsoi eron johtuvan koneellisesta ilmanvaihdosta.

### 13.4 Pölyisyys

Lähes kolme neljäsosaa (72 %) talouksista katsoi asuntonsa tulevan herkästi ja usein pölyiseksi. Niistä 44 % arvioi pölyisyyden aiheuttajaksi ilmanvaihdon ja loput 56 % oli eri mieltä tai ei osannut ottaa asiaan kantaa. Edelliseen asuntoonsa verrattuna kolmasosa katsoi nykyisessä asunnossaan pölyä esiintyvän enemmän ja kolmasosa vähemmän ja yksi kolmasosa ei havainnut eroa tai ei osannut ilmaista kantansa. Kolmasosa talouksista katsoi ilmanvaihdon vaikuttavan asunnon hoitoon kielteisesti, oli siivottava useammin.

### 13.5 Ilman kosteus

Lähes kaksi kolmasosaa (61 %) piti asuntonsa ilman kosteutta liian kuivana ja loput (39 %) sopivana. Vertailuna voidaan mainita, että Kiinteistö Oy Lammasrinteen talouksista 55 % ja Kiinteistö Oy Katumajärven talouksista 44 % piti asuntonsa ilman kosteutta liian kuivana ja loput sopivana (taulukko 13). Kosteustuntemuksiin ovat Lammasmäessä voineet vaikuttaa edeltäneet erityisen kylmät talvet, jolloin ulkoilman kosteus oli vähäinen. Myös suurempi ilmanvaihto vähentää kosteutta.

### 13.6 Ikkunoiden huurtuminen ja jäätyminen

Puolessa talouksista ei ollut havaittu ikkunoiden huurtumista ja jäätymistä ja puolessa ilmiötä esiintyi talvella. Kiinteistö Oy Lammasrinteen ja Katumajärven talouksista 80 %:ssa ei ollut havaittu ikkunoiden huurtumista ja jäätymistä (taulukko 13). Haastattelutulos ikkunoiden huurtumisesta on ristiriidassa luvun 10 tulosten kanssa. Asukkaat ovat saattaneet tarkoittaa ikkunoiden sisäpuolen huuruuntumista kovilla pakkasilla.

### 13.7 Tuuletus

Kaikissa talouksissa asuntoa tuuletettiin sekä ikkunoiden että parvekkeen oven kautta. Kesällä ikkunoita pidettiin jopa jatkuvasti auki, sen sijaan talvella harkiten.

Puolessa talouksista tuuletettiin nyt harvemmin kuin edellisessä asunnossa ja kymmenesosassa (11 %) tuuletustarve oli lisääntynyt edelliseen asuntoon verrattuna. Talouksista 28 %:ssa ei ollut tarvinnut muuttaa tuuletustottumuksia ja loput (11 %) eivät osanneet ilmaista mielipidettään. Tulokset ovat lähes samat kuin aikaisemmin tutkitussa Kiinteistö Oy Katumajärvässä (taulukko 13).

### 13.8 Ilmanpoiston tehokkuus

Puolet talouksista ilmoitti keittiön käryjen ja hajujen poistuvan hyvin liesikuvun kautta ja puolet oli sitä mieltä, että tulos on kohtalainen.

Ilmanpoiston tehostusmahdollisuutta käytettiin aina ruoanlaiton aikana noin kahdessa kolmasosassa ja joskus yhdessä kolmasosassa talouksista. Tehostettu ilmanvaihto oli käytössä keskimäärin 1 t 25 min vuorokaudessa (mittaustulos oli 50 minuuttia, kohta 6.1). Yli puolessa (56 %) talouksista ei ollut havaittu hajujen, savujen ja käryn leviämistä asunnon sisällä huoneesta toiseen (sen sijaan loput (44 %)

talouksista oli havainnut). Talouksista 78 %:ssa ei ollut havaittu hajujen ja käryjen leviämistä omaan asuntoonsa naapurihuoneistosta. Vertailukiinteistöissä Kiinteistö Oy Lammasrinne ja Katumajärvi haju- ja käryhaittoja oli esiintynyt enemmän (taulukko 13).

### 13.9 Vetoisuus

Yli puolessa (56 %) talouksista ei ollut havaittu asunnossa vetoisuutta. Lähes puolessa (44 %) aistittiin vetoisuus. Sisään puhallettavan ilman liike ei häirinnyt 56 %:ssa talouksista ja patteriverkoston säädön jälkeen tähän ryhmään liittyi lisää 11 % talouksista. Niistä 22 % taloudesta joissa ilmeni häiriötä ilman liikkeestä, piti puolet häiriötä kohtalaisena ja puolet runsaana.

### 13.10 Ilmanvaihdosta aiheutuvat äänet

Lähes kahdessa kolmasosassa (61 %) talouksista ei ollut havaittu ilmanvaihtokojeen aiheuttavan äänihaittoja. Talouksista 11 %:ssa oli aluksi kärsitty äänihaitoista, mutta oli sitten totuttu. Ilmanvaihtokojeen ääni häiritsi 28 %:ssa talouksia vähän tai kohtalaisesti. Suurimmassa osassa (83 %) talouksista ei pidetty venttiilien ääntä häiritsevänä, 17 %:ssa se häiritsi joskus vähän, kohtalaisesti tai paljon. Haastattelun jälkeen on asuinhuoneiden äänitasoa pienennetty korjaamalla venttiilien asennusvirhe.

### 13.11 Huolto

Liesikuvun rasvasuodatin pestiin kerran kuukaudessa 47 %:ssa talouksista, useammin kuin kerran kuukaudessa 25 %:ssa ja harvemmin kuin kerran kuukaudessa 28 %:ssa talouksista. Pesun suoritti kolmessa neljäsosassa talouksia perheenemäntä ja muissa isäntä. Venttiilit puhdistettiin kerran kuukaudessa 25 %:ssa talouksista, harvemmin kuin kerran kuukaudessa 50 %:ssa ja useammin kuin kerran kuukaudessa 12 %:ssa talouksista. Talouksista 12 %:ssa ei ollut puhdistettu

venttiilejä lainkaan. Puhdistuksen suoritti 50 %:ssa talouksia emäntä, 38 %:ssa isäntä ja 13 %:ssa talouksia huoltomies.

Ilmanvaihtokojeen sisällä olevat ilmansuodattimet ilmoitti 71 % talouksista puhdistettavan kerran vuodessa, 6 % kaksi kertaa vuodessa ja 23 % talouksista ei tiennyt puhdistustiheyttä.

Talouksista 33 %:ssa haluttaisiin itse puhdistaa kojeen sisällä olevat ilmansuodattimet, 50 %:ssa ei haluttaisi ja 17 % ei osannut sanoa mielipidettä. Suurin osa (89 %) talouksista kääntyisi huoltomiehen puoleen ilmanvaihdon ongelmassa, loput (11 %) eivät osanneet ilmoittaa, kenen puoleen kääntyisivät. Huoltomiehen käynti häiritsi 11 %:a, suurinta (89 %) osaa se ei häirinnyt.

Talouksista 38 % ilmoitti, ettei ilmanvaihtojärjestelmään ollut tehty korjauksia. Korjauksia oli suoritettu 31 %:ssa talouksia ja loput 31 % talouksista ei tiennyt korjauksista. Ilmanvaihtolaitteiden korjaustarvetta ei ollut suurimmalla osalla (88 %) talouksia. Talouksista 12 % ilmoitti olevan mm. venttiilien puhdistustarvetta ja aikakytkimen toimintahäiriöitä.

Taulukko 13. Asukkaiden mielipiteitä sisäilmastosta saman alueen asuinkiinteistöissä, joissa on erilaiset ilmanvaihtojärjestelmät. Haastattelut Lammasrinteessä ja Katumajärvässä on tehty vuonna 1983.

Arvioitava ominaisuus	Mielipiteiden yleisyys %		
	Lammasrinne (koneell. poisto)	Katumajärvi (ilmaläm- mitys)	Lammasmäki (kon. tulo ja poisto)
<u>Ilman raikkaus:</u>			
erittäin hyvä	5	8	11
hyvä	40	52	50
kohtalainen	40	36	28
erittäin huono	5	4	6
ei tietoa	10		6
<u>Ilman kosteus:</u>			
liian kuiva	55	44	61
sopivaa	25	52	39
liian kosteaa	10		
ei osaa sanoa	10	4	
<u>Ikkunoiden huurtumi- nen ja jäätyminen:</u>			
ei ole esiintynyt talvella	80	80	50
kesällä	5	16	50
ei tietoa	5		
ei tietoa	10	4	
<u>Tuuletus nyt ja edel- lisessä asunnossa:</u>			
yhtä usein	20	20	28
nyt harvemmin	10	56	50
nyt useammin	35	16	11
ei osaa sanoa	35	8	11
<u>Hajujen leviäminen:</u>			
<u>Asunnon sisällä:</u>			
ei ole esiintynyt	15	36	56
on esiintynyt	75	60	44
ei tietoa	10	4	
<u>Asunnosta toiseen:</u>			
ei ole esiintynyt	50	56	78
on esiintynyt	40	40	22
ei tietoa	10	4	

## 14 ARVIO JÄRJESTELMÄSTÄ

### 14.1 Vertailu vaihtoehtoisiin järjestelmiin

Asuinkerrostaloissa ilmanvaihdon vaihtoehtoina ovat koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä sekä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Molemmat järjestelmät voivat olla huoneistokohtaisia, keskitettyjä tai näiden välimuotoja, kuten kokeiltavana ollut järjestelmä.

Keskitettyyn tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään verrattuna etuja (+) ja haittoja (-) kokeiltavana olleessa järjestelmässä ovat

- + ulkoilmakanavien lyhyys, jolloin säästetään tilaa ja kustannuksia
- + liesikuvun poistoilmavirtojen tehostusmahdollisuus tarpeen mukaan
- + huoneistokohtaisten ilmavirtojen hyvä ajallinen pysyvyys
- + huoneistojen ulkoilmavirtojen vähäinen vaikutus toisiinsa
- + ulkoilman suodatus ja suodattimien vaihtomahdollisuus huoneistokohtaisesti yksilöllisten tarpeiden mukaan
- ilmanvaihtokoneen ääni keittiössä
- huoltokohteiden lisääntyminen etenkin suuressa talossa
- suuri sähkön huipputeho
- kylmien poistoilmakanavien lämpöhäviö.

Tavanomaiseen koneelliseen poistoilmanvaihtojärjestelmään verrattuna etuja ja haittoja edellisten lisäksi ovat

- + huonekohtaisten ulkoilmavirtojen toteutuminen vähintään suunniteltuina riippumatta säästä ja rakennuksen tiivyydestä
- + ulkoilman vedoton sisäänpuhallus
- + ulkoilman suodatus

- + lämmön talteenotto poistoilmasta
- korkeampi hankintahinta ja
- suurempi huollon tarve.

Hankintahinta ja huollon tarve kasvavat uusien ilmanvaihtomääräysten myötä myös koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä, kun liesikupu ja ulkoilmaventtiilit tulevat kuulumaan ohjeiden mukaiseen varustukseen.

#### 14.2 Parannusehdotuksia

Järjestelmän oli koerakennetussa muodossaan toimintavarma ja sen komponentit kokeiltuja.

Pahin puute järjestelmässä on ilmanvaihtokoneen liian kova ääni keittiössä. Merkittävä parannus edellyttää koneen vaipan äänieristyksen parantamista sekä puhaltimien kiinnityksen muuttamista joustavammaksi. Koneesta on tullut vuoden 1987 aikana uusi malli, jonka äänitekniikkaa on valmistajan tietojen mukaan parannettu.

Koneen poistoilmapuhallin ilmanpoiston tehostuslaitteena voitaisiin korvata säätöpellillä, sillä keskuspoistopuhaltimen paine-ero (yli 200 Pa nousukanavissa) riittää tehostusilmavirran saavuttamiseen. Kone tulisi yksinkertaisemmaksi ja tehostusilmanvaihdon ääni pienenesi.

Poistoilmakanavien sijoitus kylmään tilaan vähentäisi lämmönhukkaa talosta kylmiin poistokanaviin. Kanavapinnan lämpöhäviö vastaa pinta-alaltaan noin kaksinkertaista ulkoseinäpintaa, koska kanavien lämmöneriste on 30 mm ja seinien 120 mm ja kanavien lämpötila on likimain sisälämpötilan ja ulkolämpötilan puolella välissä. Myös poistokanavien niputus ja yhteinen eristys auttaisi.

Sähkön suurella huipputeholla voi olla valtakunnallista merkitystä, jos laitteita asennetaan suuria määriä. Tämän takia jokin muu vaihtoehto lämmöntalteenoton jäätyksen

estämiseksi ja ulkoilman lämmittämiseksi olisi tarpeen. Tuloilman lämpenemistä huoneiston kanavissa voisi käyttää suunnitellusti hyväksi, koekohteessa mitatut lämpötilan nousut kanavistossa ovat tuntuvia. Tuloilman lämpötilan laskeminen koneella alemmaksi edellyttää nykyistä parempaa lämpötilan säädön tarkkuutta.

Järjestelmän suunnittelua ja asennusta varten tulisi tehdä selkeät ohjeet. Suunnitelmissa pitäisi määrittää kanavistojen painetasot ja ilmavirran säätöelimien asetusarvot. Huoneiston kokonaisilmavirtojen mittaus tulisi olla helppoa. Asennus- ja säätötyön ohjaus ja valvonta pitäisi liittää kiinteästi järjestelmän toimitukseen.



## LÄHDELUETTELO

Asuinkerrostalon lämmöntalteenoton seurantatutkimus. 1985. Helsinki, kauppa- ja teollisuusministeriö, energiasasto, Sarja D:77. 84 s.

Heikkinen, J., Korkala, T., Luoma, M., Salomaa, H. 1987. Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnat ja häiriöalttius. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 737. 127 s. + liitt. 25 s.

Heinonen, M. 1987. Pientalon ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteiden toiminta. Diplomityö. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, koneinsinööriosasto. 124 s.

Huonekohtaisella ilmankierrätyksellä toimivan kerrostalon ilmalämmitysjärjestelmän seuranta. 1983. Helsinki, kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiasasto, Sarja D:19. 64 s + liitt. 34 s.

Ilmalämmitteinen asuinkerrostalo, koerakentamisprojekti. 1983. Helsinki, Puolimatka-yhtymä Oy. 107 s.

ISO 7730. 1984. Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Organization for Standardization. 19 s.

NORDTEST BYGG 471/84. 1985. Forslag til generell metode for tetthetsproving av bygninger. Trondheim, Norges byggforskningsinstitut, 9 s.

RakMK C1 1984. Ääneneristys, määräykset 1985. Helsinki, ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1.

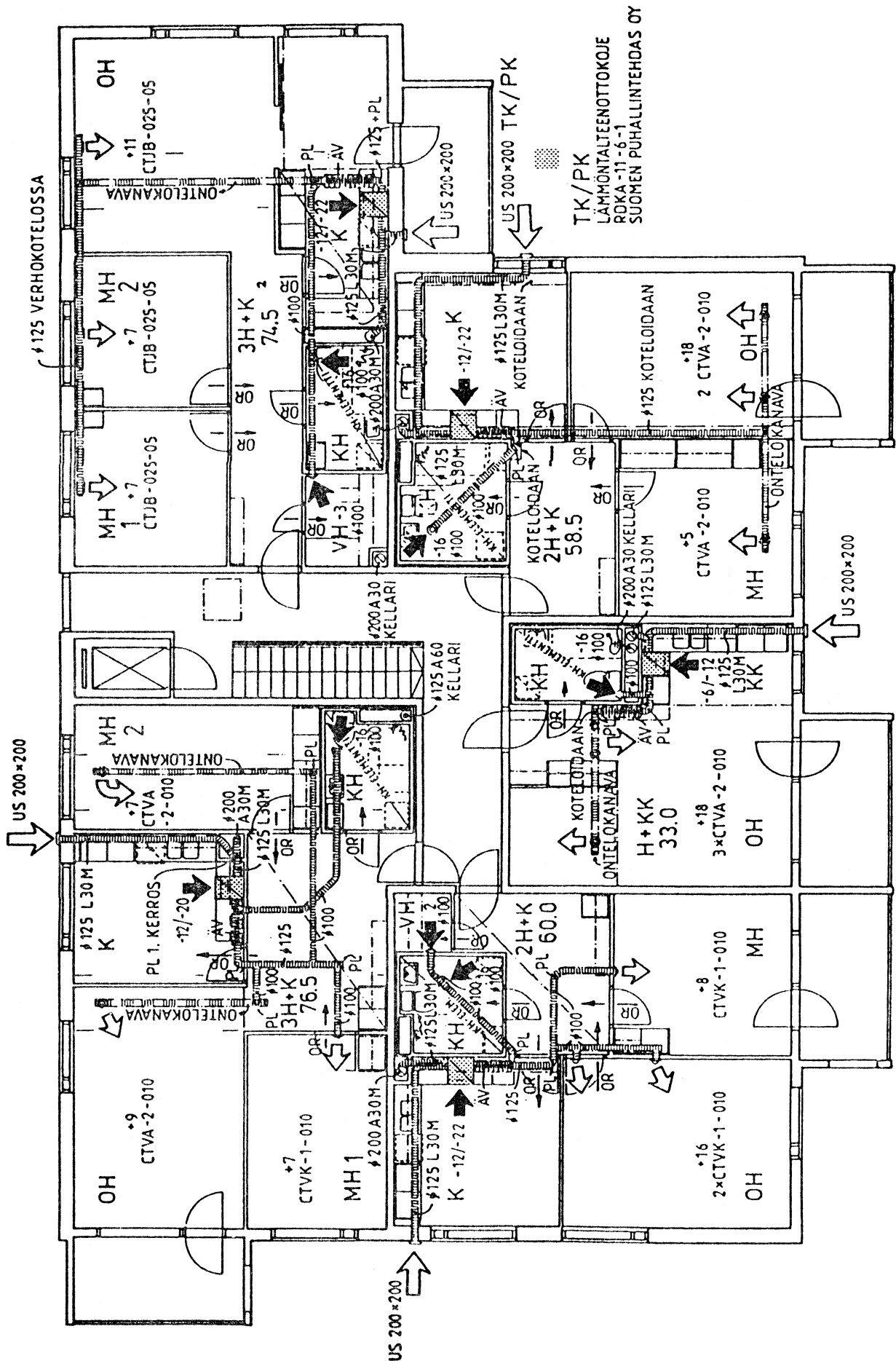
RakMK D2 1978. Rakennusten ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. Helsinki, sisäasiainministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2.

RakMK D2 1987. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 1987. Helsinki, ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2.

Sinisalo, R., Sivonen, J.. 1985. Konellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon vaikutus painesuhteisiin asuinkerrostalossa. Insinööritö. Tekniska läröverket i Helsingfors. 71 s.

Suomen Puhallintehtas Oy. 1983. Tuoteluettelo 11. Osa M 32.

HUONEJÄRJESTYS, ILMAVIRRAT (l/s) JA ILMANVAIHTOKANAVISTO



## RAKENNUKSEN KOKONAISPOISTOILMAVIRRAT

Mitattu 11.10.1985.

## Asuntojen poistoilmavirrat

Mittaus- elin ku- vassa 4	Palvelualue	Mitat- tu l/s	Suunni- teltu l/s	Poikkeama %
M1	1-4 krs 74,5 m <sup>2</sup>	127	124	+ 2
M2	5-7 krs 74,5 m <sup>2</sup>	135	93	+ 45
M3	1-4 krs 58,5 m <sup>2</sup>	138	112	+ 23
M4	5-7 krs 58,5 m <sup>2</sup>	79	84	- 6
M5	5-7 krs 33,0 m <sup>2</sup>	68	66	+ 3
M6	1-4 krs 33,0 m <sup>2</sup>	93	88	+ 6
M7	5-7 krs 60,0 m <sup>2</sup>	77	90	- 14
M8	1-4 krs 60,0 m <sup>2</sup>	159	120	+ 33
M9	5-7 krs 76,5 m <sup>2</sup>	79	84	- 6
M10	1-4 krs 76,5 m <sup>2</sup>	148	112	+ 32
Yhteensä		1103	973	+ 13

## Muut poistoilmavirrat, puolitetty ilmavirta

Mittaus- elin	Palvelualue	Mitat- tu l/s	Suunni- teltu l/s	Poikkeama %
M11	tekniset tilat	66	57	+ 16
M12	kellarivarastot	22	20	+ 10
M13	saunaosasto	102	94	+ 9
Yhteensä		190	171	+ 11

## Muut poistoilmavirrat, täysi ilmavirta

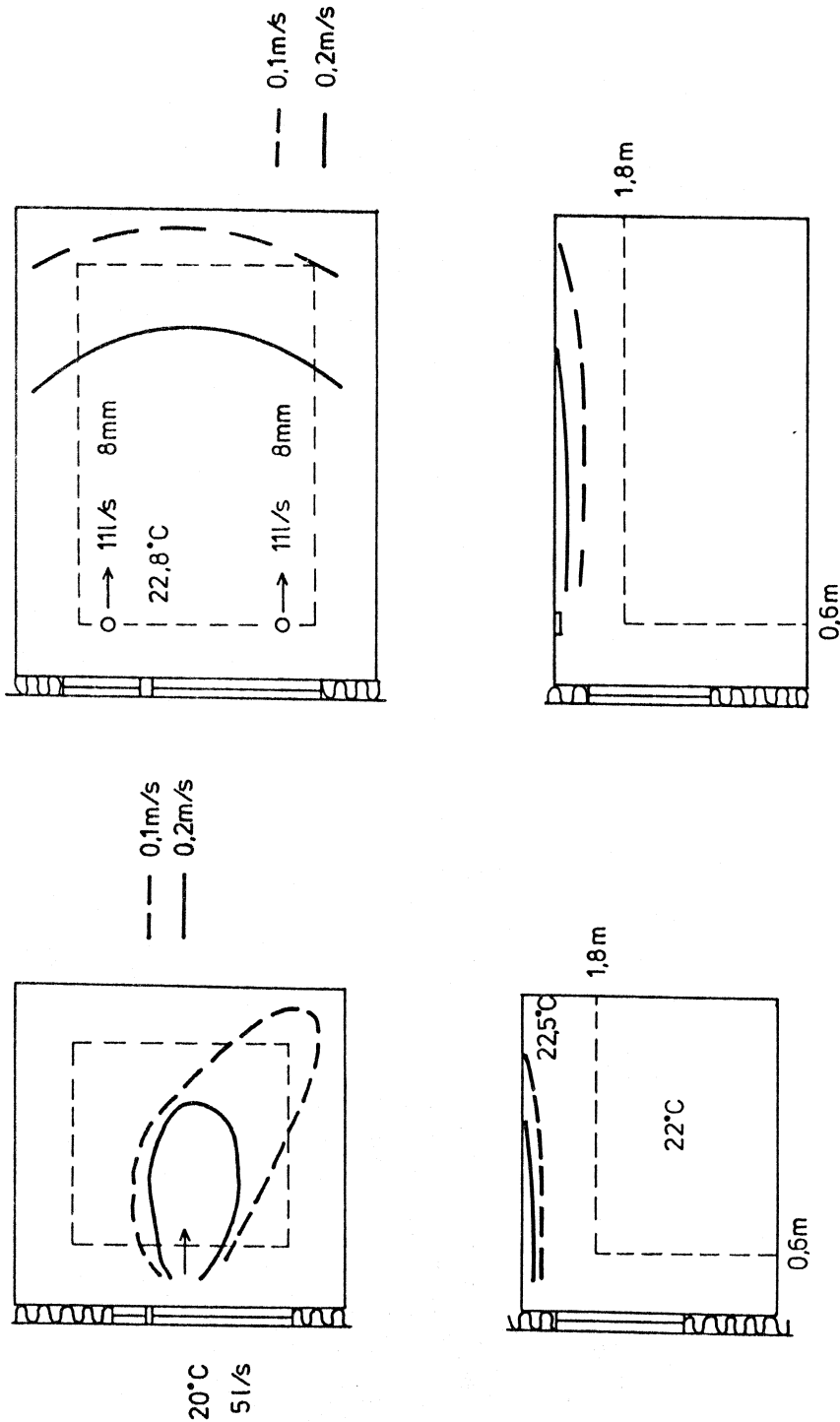
Mittaus- elin	Palvelualue	Mitat- tu l/s	Suunni- teltu l/s	Poikkeama %
M11	tekniset tilat	134	113	+ 19
M12	kellarivarastot	45	41	+ 10
M13	saunaosasto	210	188	+ 12
Yhteensä		389	342	+ 14

TULOILMASUIHKUJEN HEITTOKUVIOT LOKAKUUSSA 1985

Ulkolämpötila 10 °C.

Venttiilin kohdalle on merkitty ilmavirta (l/s), avaus (mm) ja sisäänpuhalluslämpötila (°C).

Huoneisto 6, makuuhuone 2 (vasen kuva) ja huoneisto 7 olohuone (oikea kuva)

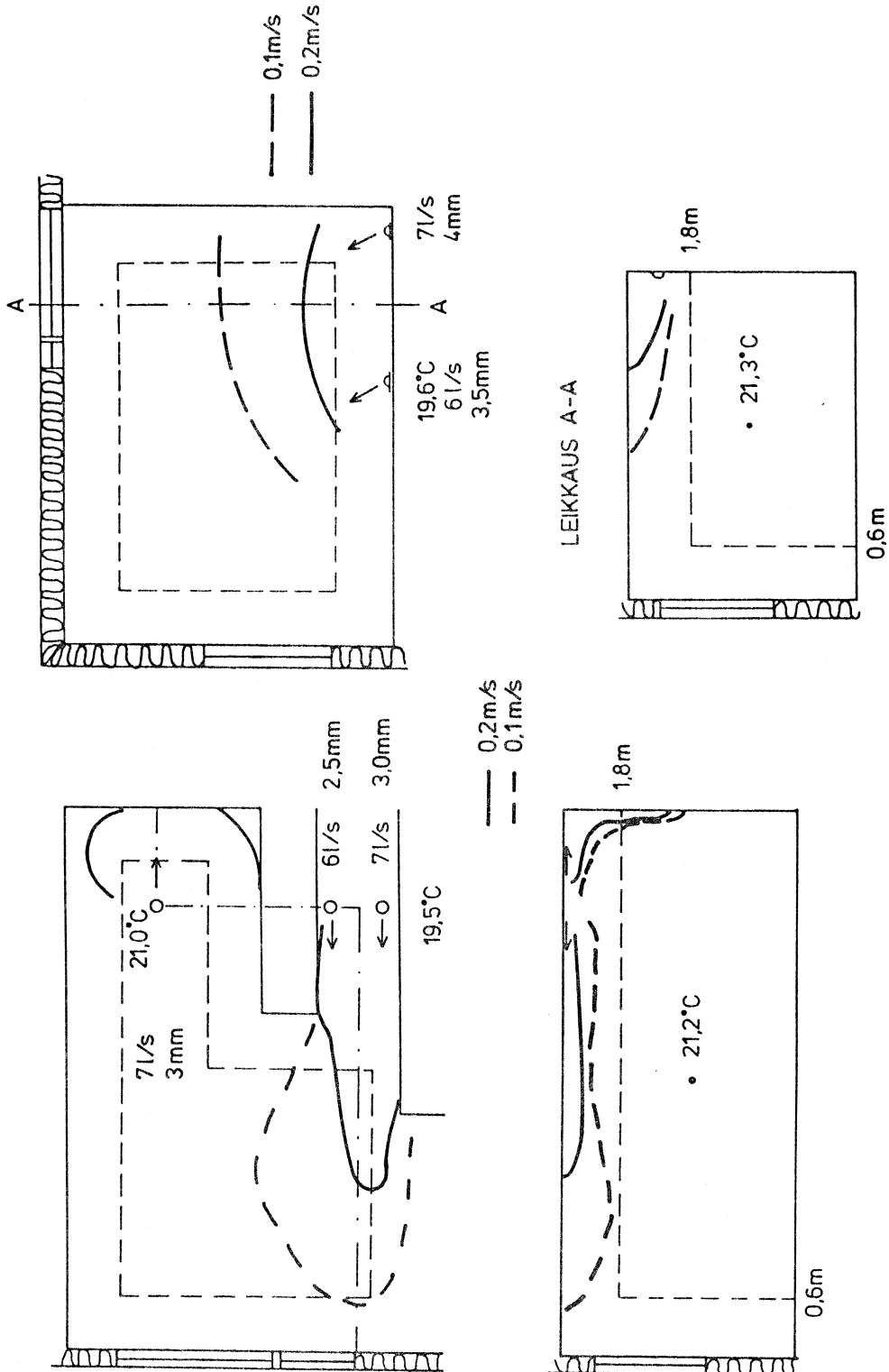


TULOILMASUIHKUJEN HEITTOKUVIOT LOKAKUUSSA 1985

Ulkolämpötila 10 °C.

Venttiilin kohdalle on merkitty ilmavirta (l/s), avaus (mm) ja sisäänpuhalluslämpötila (°C)

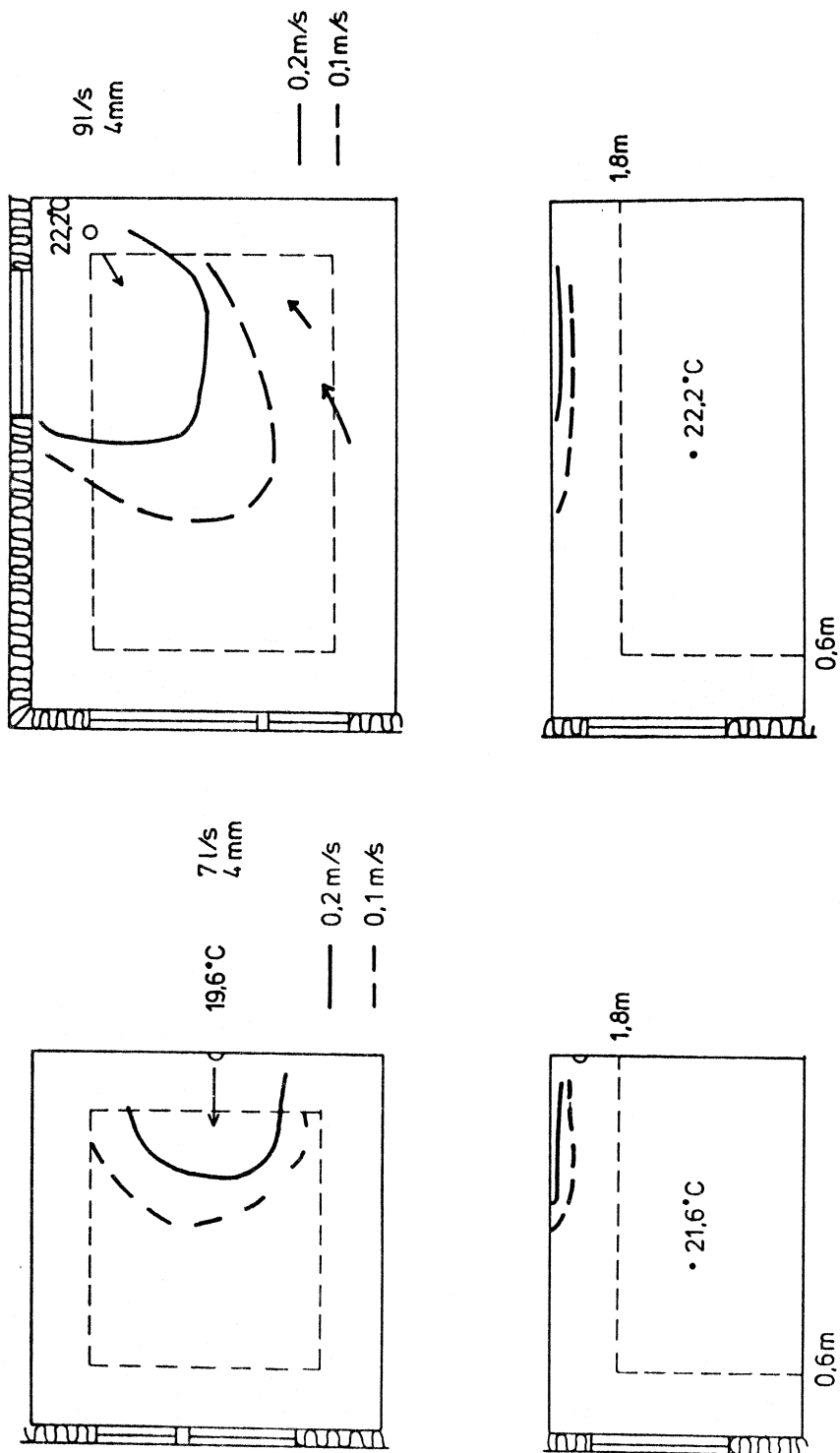
Huoneisto 8, olohuone (vasen kuva) ja huoneisto 9 olohuone (oikea kuva)



## TULOILMASUIHKUJEN HEITTOKUVIOT LOKAKUUSSA 1985

Ulkolämpötila 10 °C.

Venttiilin kohdalle on merkitty ilmavirta (l/s), avaus (mm) ja sisäänpuhalluslämpötila (°C).

Huoneisto 9, makuuhuone (vasen kuva) ja huoneisto 10 olohuone (oikea kuva)





## ILMANSUODATTIMIEN PESUNKESTÄVYYSKOE

Ilmanvaihtokojeessa FLÄKT RDKA-11-6 käytetyn suodatinmateriaalin testaustulokset.

Materiaalin pinta-ala	:	0,29 m <sup>2</sup>
Tehollinen virtausnopeus:		0,37 m/s
Testipöly	:	SFS 5150 (EUROVENT 4/5)
Testipölyn pitoisuus	:	200 mg/m <sup>3</sup>
Keskimääräinen punnitus- erotusaste	:	Koe 1 84 %
		Koe 2 85 %
		Koe 3 85 %
		Koe 4 84 %

Kokeiden erittely

Koe 1: Puhdas suodatin

Koe 2: Suodatin pesty käsin (huuhtelu)

Koe 3: Suodatin pesty koneessa yhden kerran

Koe 4: Suodatin pesty koneessa 3 kertaa kokeen 3 jälkeen.

Konepesu: Hienopesuohjelma, 40 °C, lyhyt linkous, pesuaineena 1 dl pesupulveria.

Konepesujen jälkeen oli havaittavissa suodatinaineen mekaanista kulumista.

Suodattimen massa ennen kokeita

Koe 1: 1442 g

Koe 2: 1453 g

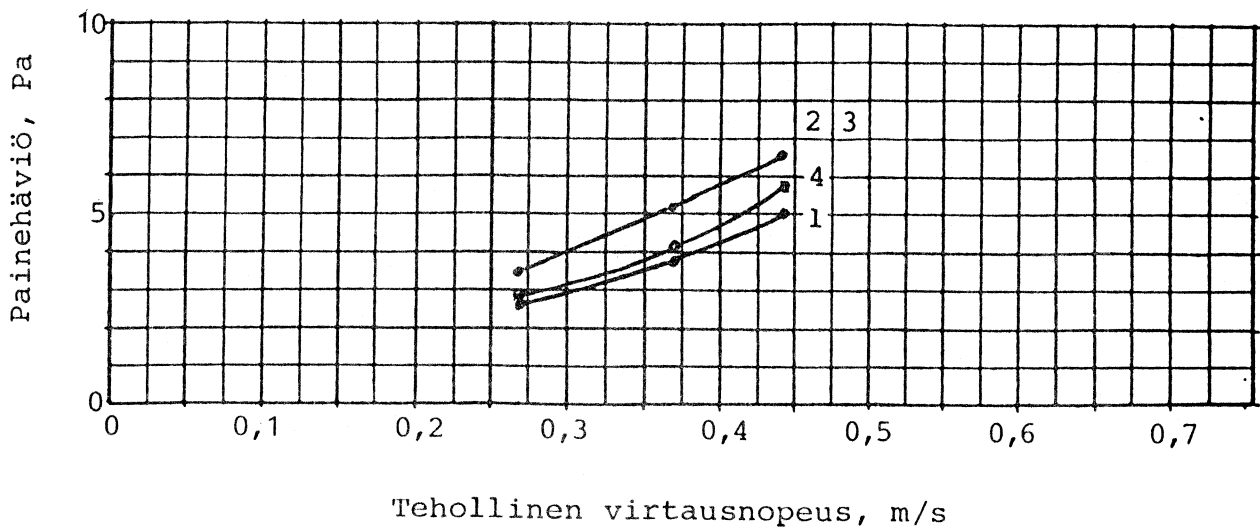
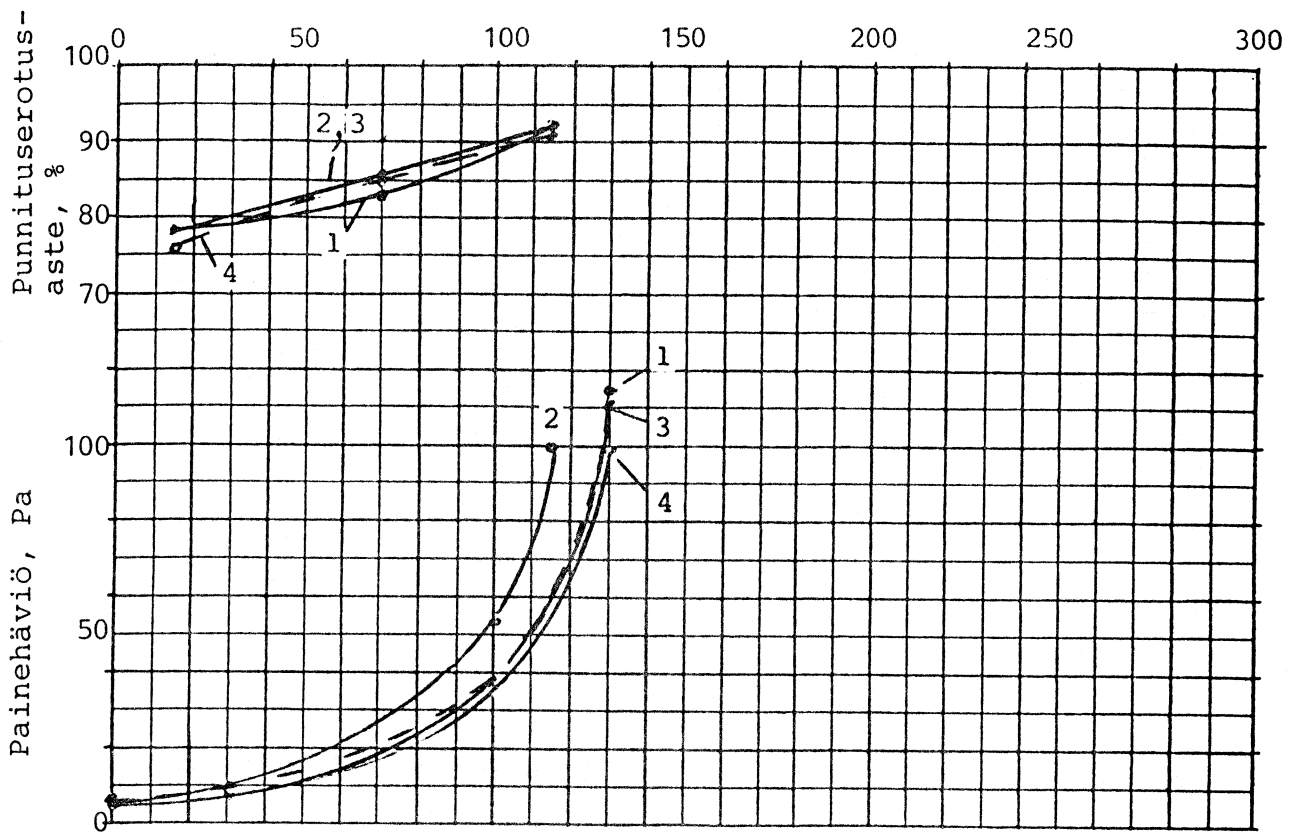
Koe 3: 1441 g

Koe 4: 1436 g.

Testausajankohta: lokakuu 1986

## ILMANSUODATTIMIEN PESUNKESTÄVYYSKOE

Syötetty pölymäärä, g



## ILMANVAIHTOMELUN MITTAUS, dB(A), 15.1.1987

ILMANVAIHTOMELUN TOISTOMITTAUS / KIINT. OY LAMMASMÄKI 15.1.1987 klo 10 - 15.15

1 = NORMAALI ILMANVAIHTO, VÄLIOVET KIINNI  
 2 = TEHOSTETTU " ; " "  
 3 = NORMAALI " ; " AUKI

Huoneisto	K			OH			MH1			MH2		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	31-32	43-45	31-32	26-27*	28-29	26-27*	23-24*	23-24*	24-25*	24-25*	24-25*	25-26*
2	34-38	44-45	34-38	25-26*	27-28*	26-27*	24-25*	24-25*	25-26*	-	-	-
3	-	-	-	31-34	37-43	-	-	-	-	-	-	-
4	32-34	44-46	32-34	30-32	31-33	30-32	29-30	29-31	29-30	-	-	-
5	34-35	45-46	34-35	26-27*	27-28	26-27*	34-35	34-35	34-35	26-27*	27-28	27-28
16 a)	31-33	41-44	-	24-25*	28-30	-	24-25*	24-25*	-	25-26*	25-26*	-
17	37-38	47-49	-	26-27*	27-28	-	27-28	28-29	-	-	-	-
18	-	-	-	30-35	36-42	-	-	-	-	-	-	-
19	37-38	45-46	-	37-38	38-39	-	32-33	33-34	-	-	-	-
20	36-37	44-45	-	25-26*	27-28	-	25-26*	25-26*	-	24-25*	24-25*	-
31	34-36	43-46	-	25-26*	30-31	-	23-24*	25-26*	-	24-25*	24-25*	-
32	33-34	44-45	-	25-26*	27-28	-	24-25*	24-25*	-	-	-	-
33	-	-	-	29-34	38-44	-	-	-	-	-	-	-
34	38-41	44-45	-	28-30	29-31	-	29-30	30-31	-	-	-	-
35	37-39	43-44	-	26-27*	26-27*	-	26-27*	27-28	-	25-26*	25-26*	-

a) Keittiön ja eteisen välinen ovi poistettu

\* Taustamelu hallitsevaa ilmanvaihtomeluun verrattuna

## ENERGIANKULUTUS JA SEN JAKUTUMINEN KUUKAUSITTAIN

KIINTEISTÖ OY LAMMASMÄKI, Energiankulutusseuranta.

Kaukauti	Ulkolämpötila °C	Sisälämpötila °C	Kaukolämpö MWh	Lämmön vesi m <sup>3</sup>	Lämmön vesi MWh	Kellarin lämm.	Huoneisto- tosähkö MWh	Kiint. sähkö MWh	Saatto- lämm. MWh	LTO-2) kojeet MWh	Kaukolämpö, normitettu MWh
11.85	-1,9	22,6	38,88	144	7,08	8,52	6,836	4,745	(0,621)	0,324	36,67
12.85	-7,1	22,1	46,04	152	7,72	9,65	7,680	5,740	0,643	0,554	42,23
1.86	-9,4	21,8	48,87	156	8,02	10,03	7,475	7,078	0,632	0,970	44,94
2.86	-12,4	21,9	47,88	146	7,62	10,00	6,497	6,800	0,559	1,001	42,13
3.86	-0,7	22,7	38,86	170	8,74	7,91	6,698	4,743	0,621	0,279	41,82
4.86	2,1	22,7	33,10	164	8,28	6,83	6,069	4,130	0,623	0,268	33,70
5.86	11,1	23,9	19,80	158	7,84	3,40	5,413	4,223	0,636	0,269	21,30
6.86	16,6	24,5	6,88	133	6,27	0,19	4,809	3,923	0,620	0,259	7,05
7.86	16,7	24,3	6,25	127	5,58	0,15	4,589	3,958	0,646	0,282	6,33
8.86	12,9	23,3	10,37	142	6,23	1,01	5,384	4,390	0,652	0,271	9,77
9.86	6,0	22,3	18,76	133	5,95	3,20	6,006	4,273	0,627	0,266	16,48
10.86	3,8	22,6	25,17	139	6,45	4,57	6,670	4,483	0,640	0,278	25,47
11.86	4,9	22,5	27,40	139	6,69	4,92	7,030	4,510	0,613	0,302	33,40
12.86	- 9,1	22,4	45,84	144	7,29	9,03	7,776	6,535	0,599	0,777	39,84
1.87	-19,6	22,8	63,83	147	7,53	13,03	8,146	13,045	0,576	2,574	46,30
2.87	- 7,8	22,6	41,94	131	6,80	8,81	6,911	5,073	0,527	0,509	41,59
3.87	- 6,7	22,4	44,14	147	7,69	9,62	7,288	5,548	0,582	0,658	39,51
4.87	2,1	23,1	31,13	140	7,34	6,71	5,929	3,805	0,578	0,253	31,70
1.-12.86	3,5	22,9	329,18	1751	84,96	61,24	74,416	58,643	7,467	5,222	322,23
5.86-4.87	2,6	23,0	341,51	1680	81,66	64,64	75,945	63,766	7,296	6,698	318,74

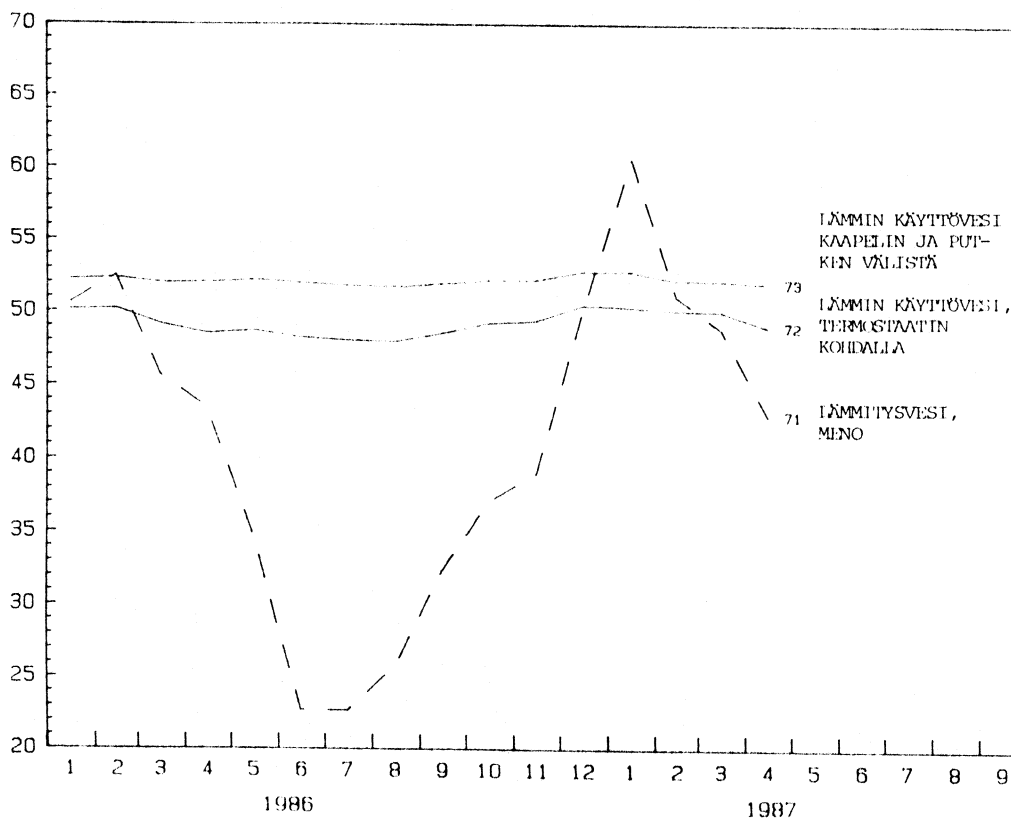
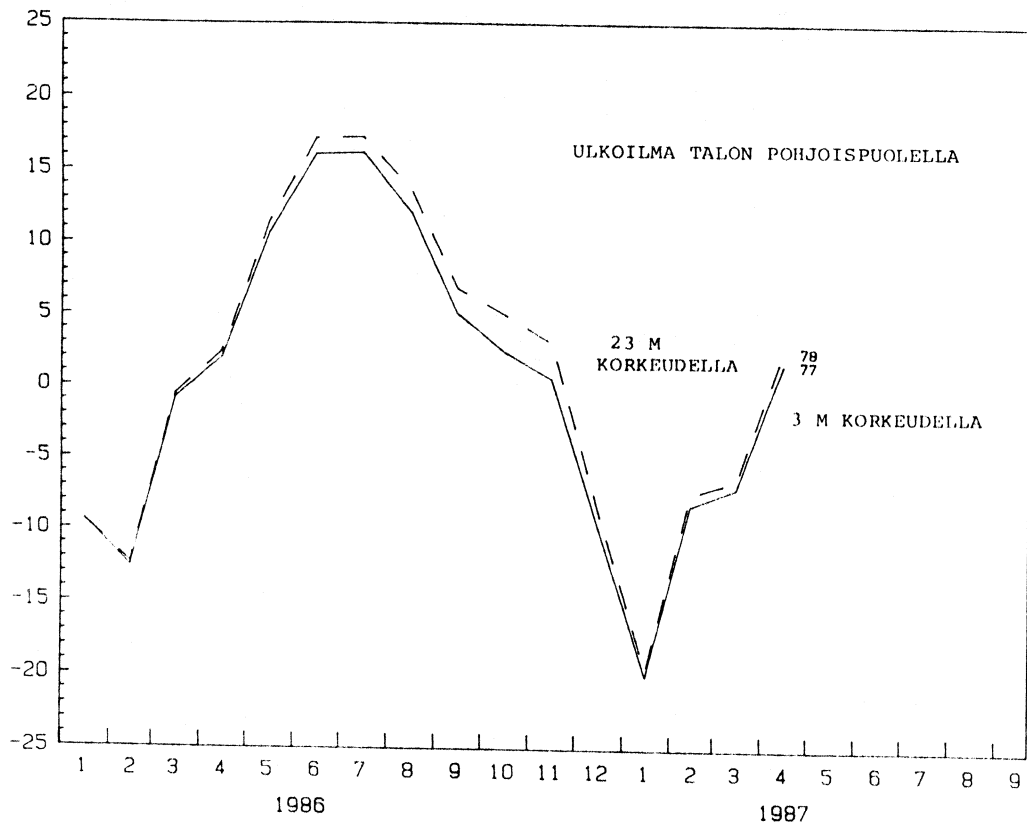
1) 7 huoneiston (76,5 m<sup>2</sup> huoneistot 1...7 kerros) perusteella

2) 10 huoneiston kojeet (1. ja 2. kerros)

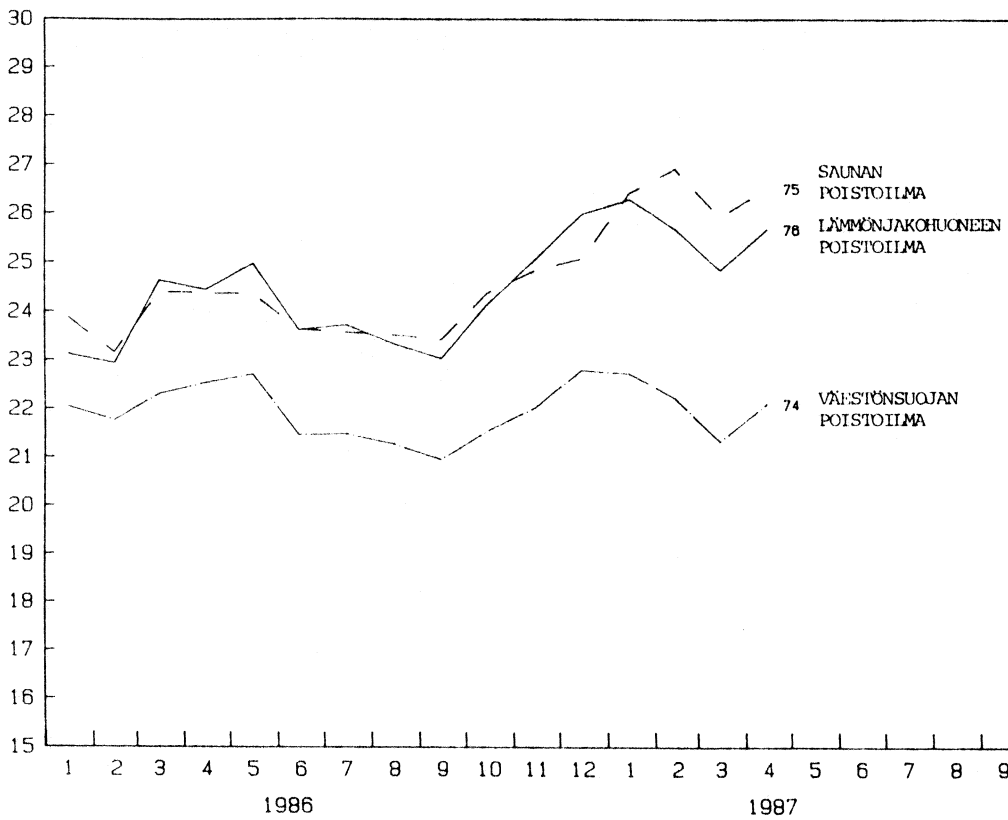
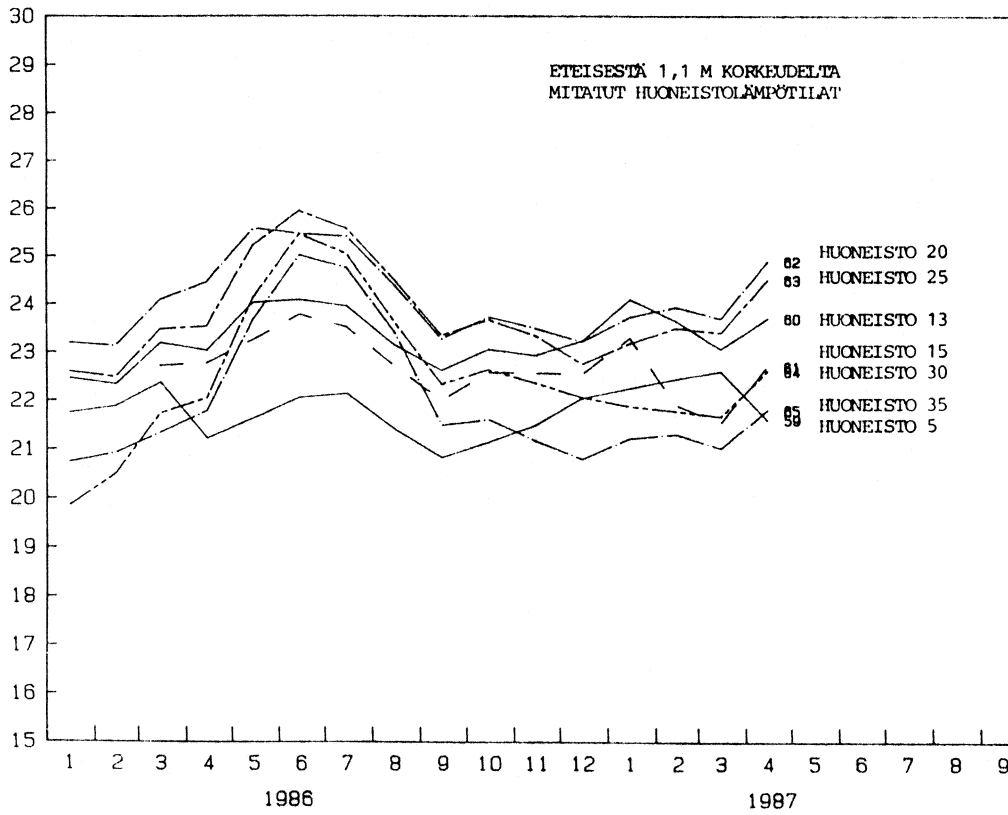
3) Muunnettu RakMk D5:n ulkolämpötilaan ilmastovyöhykkeellä II.

Lämpimän veden osuus jätetty muuttamatta.

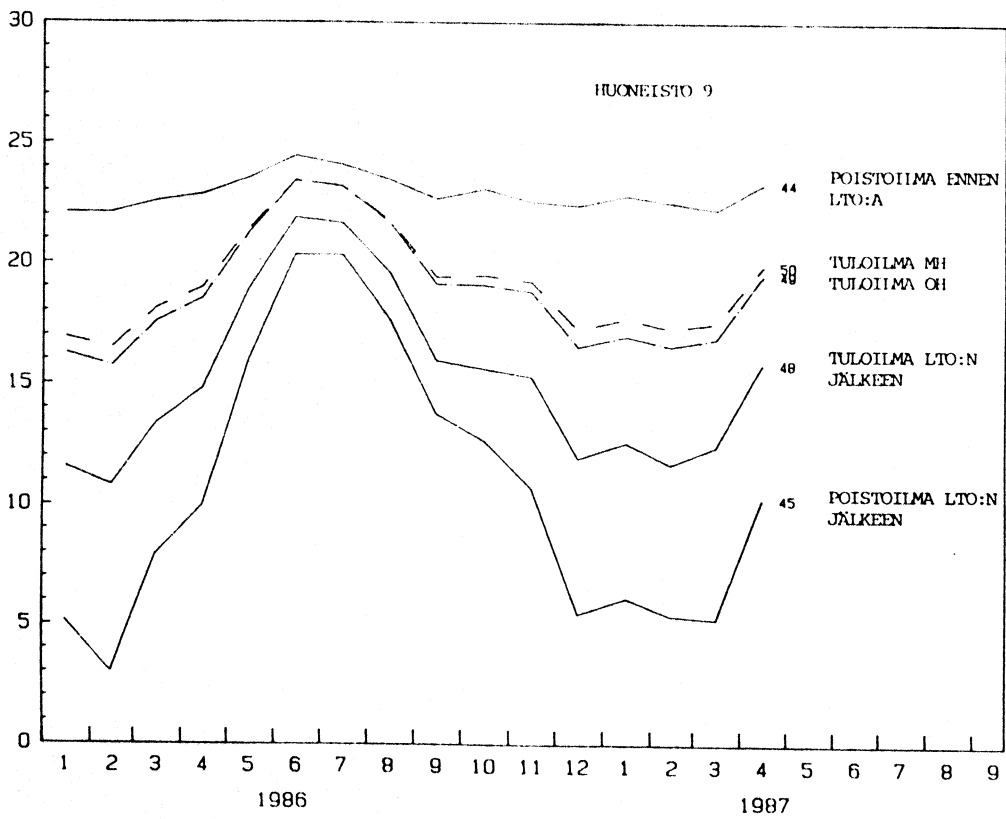
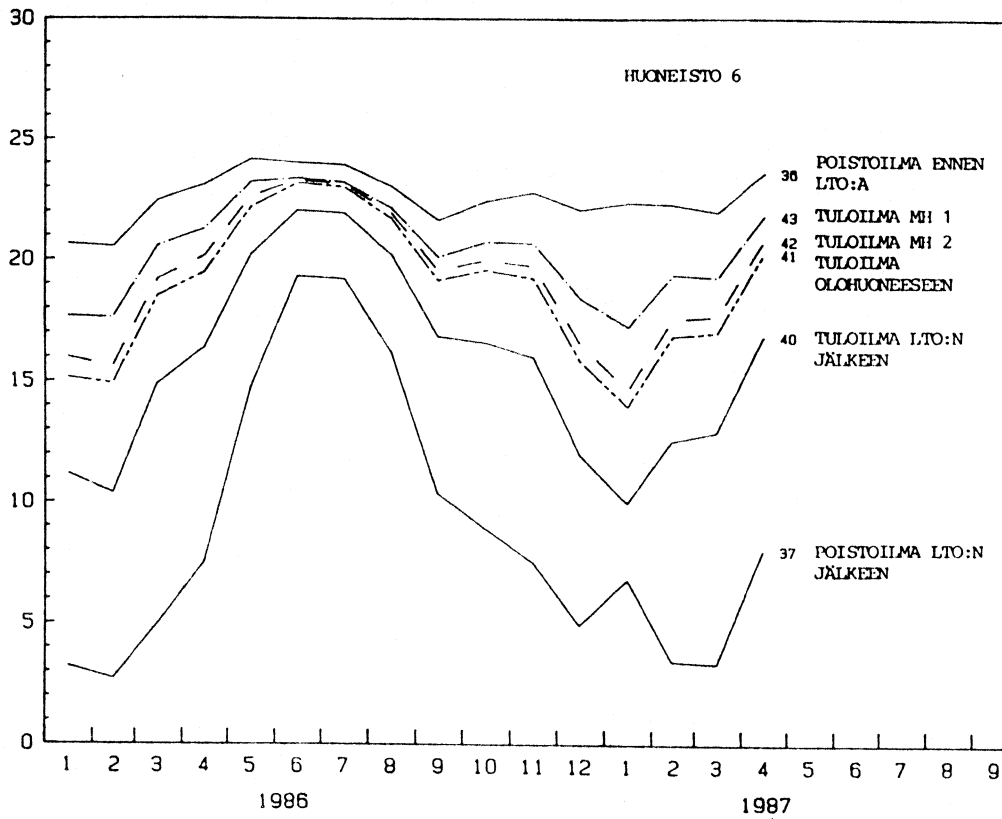
LÄMPÖTILOJEN KUUKAUSIKESKIAARVOJA , °C



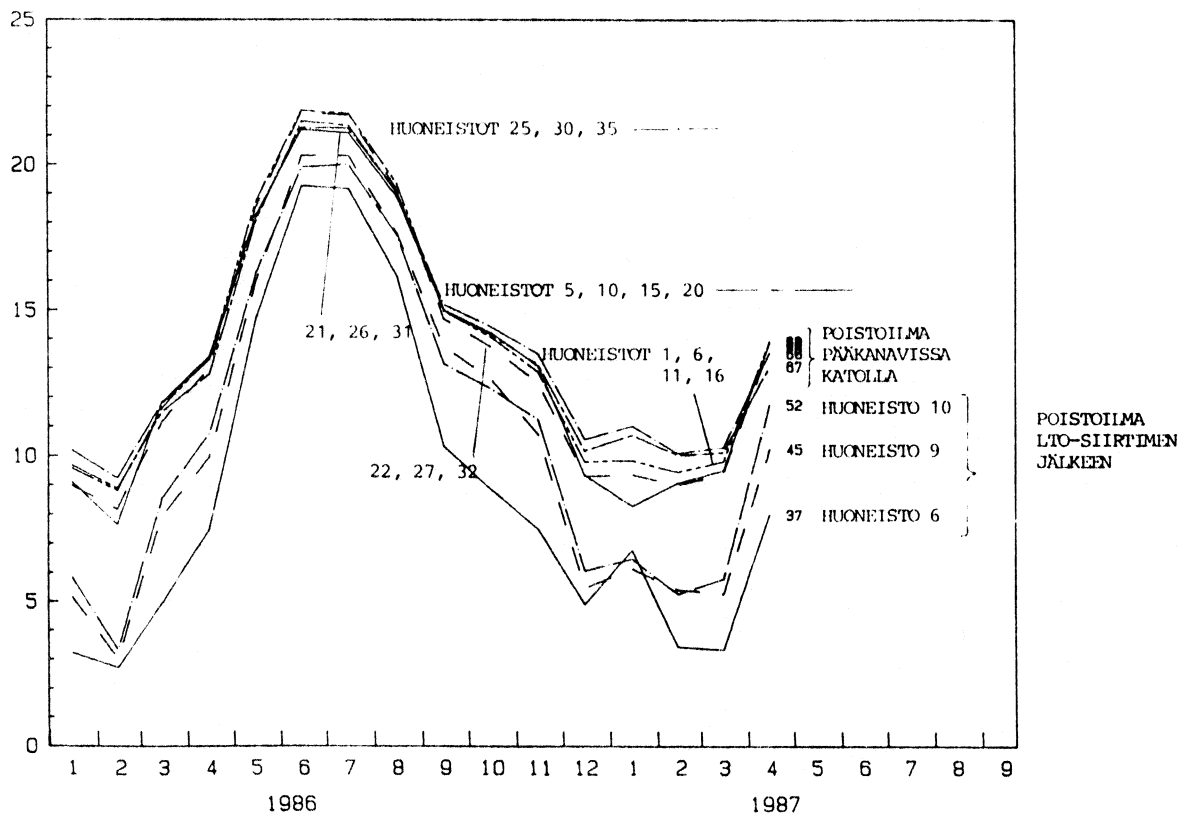
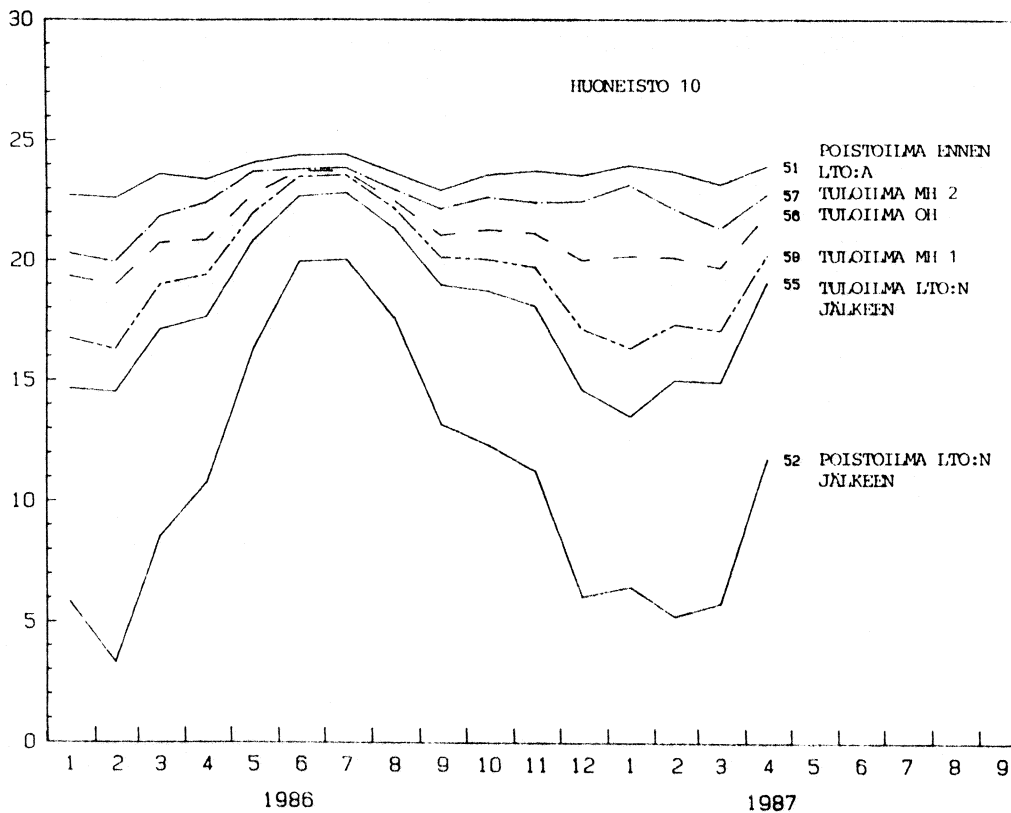
LÄMPÖTILOJEN KUUKAUSIKESKIAARVOJA , °C



LÄMPÖTILOJEN KUUKAUSIKESKIAARVOJA , °C

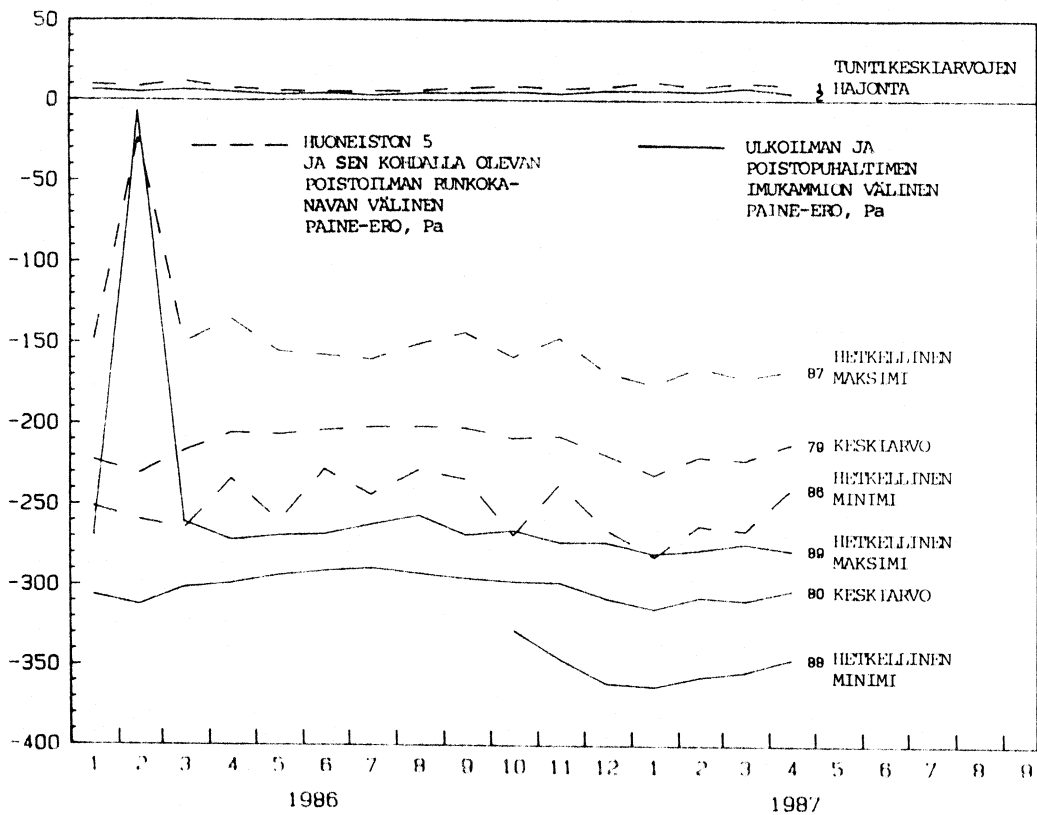
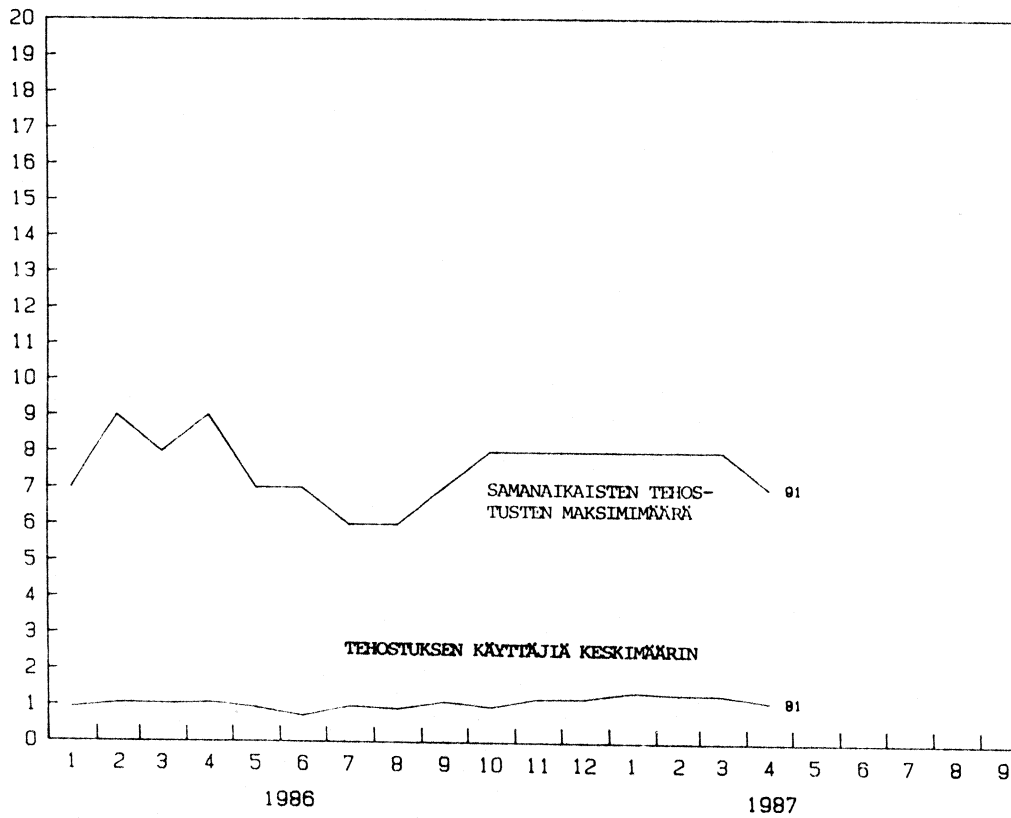


LÄMPÖTILOJEN KUUKAUSIKESKIAARVOJA , °C





ILMANPOISTON TEHOSTUKSEN KÄYTTÖ JA POISTOILMAKANAVISTON PAININE





Julkaisija



Valtion teknillinen tutkimuskeskus  
Vuorimiehentie 5  
02150 Espoo  
puh. (90) 4561, teleksi 125175

Julkaisun sarja, numero ja raporttikoodi

VTT Tiedotteita 824

FI+VTTTIED-88/824

Julkaisuaika

Tammikuu 1988

Projektinnumero

LVIT16051

Tekijät  Heikkinen, Jorma	Projektin nimi Kerrostalon asuntokohtainen ilmanvaihto	
Nimeke  ASUNTOKOHTAISET ILMANVAIHTOKONEET KERROSTALOSSA	Toimeksiantaja  Puolimatka-yhtymä Oy, ympäristöministeriö	
Tiivistelmä  <p>Asuntokohtaisten ilmanvaihtokoneiden teknistä toimivuutta ja käyttöä tutkittiin Hämeenlinnassa kaupungin vuokratalossa kahden vuoden ajan. Talossa on seitsemän asuinkerrosta ja 35 asuntoa. Jokaisen asunnon keittiössä on ilmanvaihtokone, jossa on tulo- ja poistoilmapuhallin. Poistopuhallinta käytetään vain ilmanpoiston tehostukseen. Asukas voi tehostaa liesikuvun ilmanpoistoa esimerkiksi ruoanlaiton ajaksi. Perusilmanpoistosta huolehtii yhteisessä poistokanavistossa oleva puhallin.</p> <p>Asukkaat tehostivat ilmanpoistoa keskimäärin 50 minuuttia päivässä. Tehostusajat ja tehostusajankohdat vaihtelivat huoneistoittain voimakkaasti, mikä osoittaa huoneistokohtaisen tehostusmahdollisuuden tarpeelliseksi.</p> <p>Ilmavirrat säilyivät vakaina säästä ja tehostuksen käytöstä riippumatta riittävän suurten kanavistopaineiden takia. Rakennus oli niin tiivis, että ilmanvaihtojärjestelmä pystyi pitämään sen alipaineisena ja ikkunavälit huurteettomina myös kovilla pakkasilla.</p> <p>Ilman puhallus huoneisiin onnistui vedottomasti mittausten perusteella. Silti osa asukkaista tunsu vetoa. Tuloilma puhallettiin huoneisiin alimmillaan noin 10 °C lämpöisenä. Pitkät tuloilmakanavat tasasivat tuloilman lämpötilanvaihteluja hyvin. Kanaviston lämpötilaa taasaavia ominaisuuksia voitaisiin käyttää suunnitellusti hyväksi.</p> <p>Ilmanvaihtokoneen ääni keittiössä oli joissakin huoneistoissa liian kova. Haitta korostui yksioissa, joissa asuintila ja keittiö ovat yhtä tilaa. Ääni saatiin pienemmään korjauksilla, mutta järjestelmän jatkokehityksessä äänitekniset parannukset ovat aiheellisia. Suurin osa asukkaista ei havainnut ilmanvaihtokoneen aiheuttavan äänihaittoja.</p> <p>Poistoilman lämmöstä vajaa puolet saatiin siirtymään tuloilmaan ilmanvaihtokoneiden lämmönsiirtimissä.</p> <p>Ilmanvaihtokoneiden sopiva huoltoväli on puoli vuotta, mutta se voidaan pidentää vuoteen ilman merkittävää haittaa. Ilmansuodattimet kestivät konepesua ainakin 3 – 4 pesukertaa.</p>		
Toimintayksikkö LVI-tekniikan laboratorio, Lämpömiehenkuja 3, 02150 Espoo		
ISSN ja avainnimeke 0358-5085 Tiedotteita – Valtion teknillinen tutkimuskeskus		
ISBN 951-38-3064-0	Kieli suomi, svenskt ref., Engl. abstr.	
Luokitus (UDK) 697.94.032.2	Avainsanat hvac, ventilation, apartment buildings, residential buildings, air conditioning equipment, exhaust systems, air flow control	
Myynti: Valtion painatuskeskus Kirjakaupat Helsingissä: Annankatu 44 Eteläesplanadi 4 Puh. (90) 17341 Puh. (90) 662801 Postimyynti: PL 516, 00101 Helsinki Puh. (90) 56601	Sivuja 88 s. + liitt. 14 s.	Lisätietoja
Hintana 76 mk		





Utgivare Statens tekniska forskningscentral  
Bergsmansvägen 5  
02150 Esbo  
tel. växel (90) 4561  
telex 122972 vttha sf

Publikationens namn, nummer och rapportkod

VTT Meddelanden 824

FI+VTTTIED-88/824

Datum

Januari 1988

Projektnummer

LVIT16051

Författarna  Heikkinen, Jorma	Projektets namn Kerrostalon asuntokohtainen ilmanvaihto	
	Uppdragsgivare Puolimatka-yhtymä Oy, miljöministeriet	
Namn  LÄGENHETBASERA VENTILATIONSAGGREGAT I FLERVÅNINGSHUS		
Referat <p>Funktionen av ett ventilationssystem med mekanisk till- och frånluft har uppföljts under två år i ett flerbostadshus i Tavastehus, Finland. Huset har 35 lägenheter och sju våningar. Takfläkten i den gemensamma avluftskanalen svarar för basventilationen. Varje lägenhet har ett ventilationsaggregat med till- och frånluftsfläkt över spiskåpan i köket. Aggregatets frånluftsfläkt träder i funktion endast vid forcering av frånluftsflödet från spiskåpan.</p> <p>Invånarna forcerade kökventilationen 50 minuter per dygn i medeltal. Forceringstiderna och också deras utsträckningar varierade mycket i olika lägenheter. Forceringsmöjligheten visade sig vara nödvändig.</p> <p>Luftflödena var stabila oberoende av vädret eller forceringen därför att trycket i kanalerna var tillräckligt högt. Byggnaden var lufttät både invändigt och utvändigt så att ventilationsflödena kunde behålla svagt undertryck inne också vid kallt väder.</p> <p>Lufthastigheterna i vistelsezonen var låga. Trots det kände några invånare drag. Tilluftstemperaturen vid tilluftsdonet var som lägst 10 °C. Långa kanaler jämnade och höjde tilluftstemperaturen så att kanalerna kan utnyttjas som förvärmare av tilluften.</p> <p>Ljudnivån i köket var hög i några lägenheter. Olägenheten betonades i enrumslägenheterna där köket och vardagsrummet var i samma utrymme. Ljudnivån minskades genom reparationer men ljudtekniska förbättringar är nödvändiga. De flesta av invånarna observerade inget buller.</p> <p>Ventilationsvärmeväxlaren sparade nästan hälften av skillnaden i energi-innehållet mellan avluften och uteluften.</p> <p>En lämplig serviceperiod av ventilationsaggregatet är sex månader men kan förlängas till ett år utan väsentliga nackdelar. Luftfiltren kan tvättas i maskin åtminstone 3 – 4 gånger.</p>		
Verksamhetsenhet VVS-tekniska laboratoriet, Värmemansgränden 3, 02150 Esbo		
ISSN och nyckelnamn 0358-5085 Tiedotteita - Valtion teknillinen tutkimuskeskus		
ISBN 951-38-3064-0	Språk finska, svenskt ref., English abstr.	
Klass (UDK) 697.94.032.2	Nyckelord hvac, ventilation, apartment buildings, residential buildings, air conditioning equipment, exhaust systems, air flow control	
Försäljning  Statens tryckericentral PB 516 00101 Helsingfors tel. växel (90) 56601	Sidor 88 s. + bil. 14 s.	Obs.
	Pris FIM 76	





Authors  Heikkinen, Jorma	Name of project Kerrostalon asuntokohtainen ilmanvaihto			
Title  VENTILATION UNITS IN EACH FLAT IN A RESIDENTIAL BUILDING	Commissioned by Puolimatka-Group Oy, Ministry of Environment			
Abstract <p>A mechanical supply and exhaust ventilation system with ventilation units in every dwelling has been monitored during two years period. The house has 35 dwellings in seven stories. The central exhaust system is equipped with a fan which is to provide the basic exhaust air flow rate. The exhaust fan of the ventilation unit in the kitchen is used to force the exhaust air flow rate from the kitchen hood when needed.</p> <p>The residents forced the kitchen ventilation 50 minutes per day in the mean. There were great differences in times of forcing as well as in duration of forcing. Individual control of kitchen ventilation seems to be necessary.</p> <p>The air flow rates in the ventilation system were stable irrespective of weather conditions or use of forcing because of high pressure in the ducts. The house was airtight enough, internally and externally, for the ventilation system to keep a slightly lower pressure in dwellings than in the ambient air in most weather conditions. This is essential to prevent moisture damages and inconvenience of moisture between window glasses.</p> <p>The air velocity in the occupied zone was well below comfort limits. Some residents still feel draught. The minimum temperature of supply air to the living-rooms in winter was about 10 °C. The heat transfer in the supply air ducts was able to raise the supply air temperature considerably as well as to smooth the supply air temperature variations.</p> <p>The noise level in the kitchen was too high in some flats because of the ventilation unit. The inconvenience was stressed in one-room residences where the living room and kitchen are combined. Most of residents did not feel any inconvenience because of ventilation noise. About half of the exhaust air energy was recovered in the heat exchanger of the ventilation unit. The suitable service interval of the ventilation units is six months but even one year service interval seems to be reasonable. The air filters can be washed in a machine at least 3 to 4 times.</p>				
Activity unit Laboratory of Heating and Ventilating, Lämpömiehenkuja 3, SF-02150 Espoo, Finland				
ISSN and series title 0358-5085 Tiedotteita - Valtion teknillinen tutkimuskeskus				
ISBN 951-38-3064-0	Language Finnish, svenskt ref., Engl. abstr.			
Class (UDC)  697.94.032.2	Key words  hvac, ventilation, apartment buildings, residential buildings, air conditioning equipment, exhaust systems, air flow control			
Sold by Government Printing Centre P.O. Box 516 SF-00101 HELSINKI phone internat. + 358 0 56601	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="725 1926 1172 2008">           Pages            88 p. + app. 14 p.         </td> <td data-bbox="1180 1926 1473 2068" rowspan="2">           Note         </td> </tr> <tr> <td data-bbox="725 2008 1172 2068">           Price            FIM 76         </td> </tr> </table>	Pages 88 p. + app. 14 p.	Note	Price FIM 76
Pages 88 p. + app. 14 p.	Note			
Price FIM 76				

