



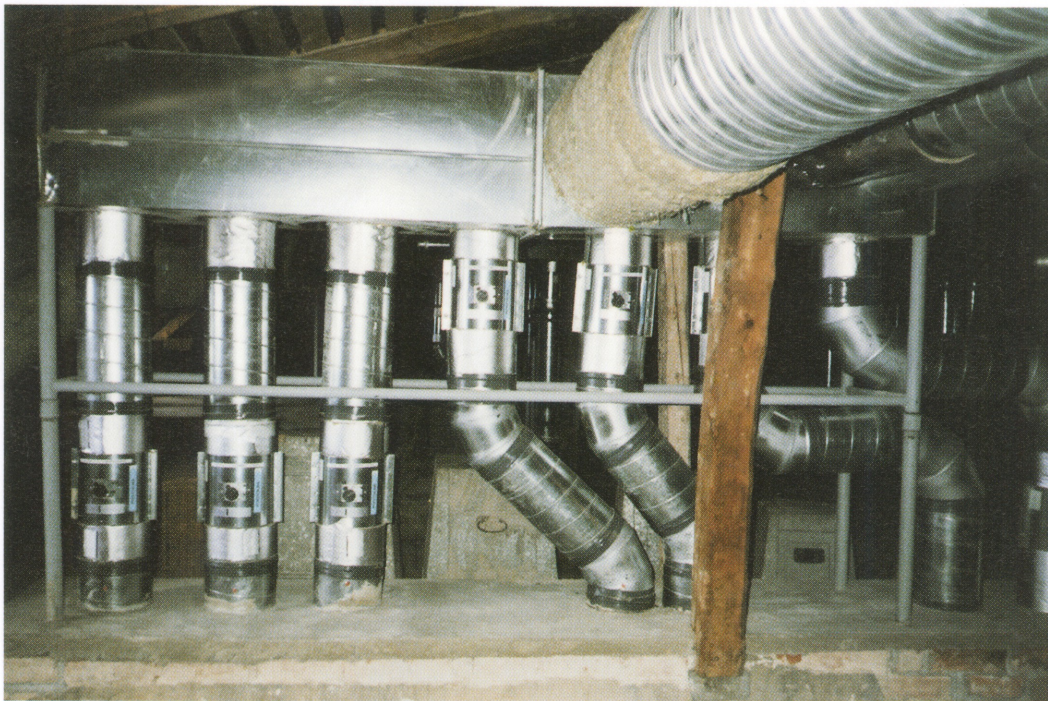
RAKET

RAKENNUSTEN ENERGIANKÄYTÖN
TUTKIMUSOHJELMA

1654

Marja-Liisa Pallari, Jorma Heikkinen, Juha Gabrielsson,
Veijo Matilainen & Anneli Reisbacka

Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut



VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
ESPOO 1995

Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut

Marja-Liisa Pallari & Jorma Heikkinen

VTT Rakennustekniikka

Juha Gabrielsson

Climaconsult Oy

Veijo Matilainen

Enertec Oy

Anneli Reisbacka

Työtehoseura



ISBN 951-38-4809-4
ISSN 1235-0605
Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1995

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (90) 4561, telekopio (90) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (90) 4561, telefax (90) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 0 4561, telefax + 358 0 456 4374

VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka, Lämpömiehenkuja 3, PL 1804, 02044 VTT
puh. vaihde (90) 4561, telekopio (90) 455 2408

VTT Byggnadsteknik, Byggnadsfysik, hus- och brandteknik, Värmemansgränden 3, PB 1804, 02044 VTT
tel. växel (90) 4561, telefax (90) 455 2408

VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology, Lämpömiehenkuja 3,
P.O.Box 1804, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 0 4561, telefax + 358 0 455 2408

Kansikuva: Marja-Liisa Pallari

Tekninen toimitus Maini Manninen

VTT OFFSETPAINO, ESPOO 1995

Pallari, Marja-Liisa, Heikkinen, Jorma, Gabrielsson, Juha, Matilainen, Veijo & Reisbacka, Anneli. Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut [Retrofitting of ventilation in high-rise residential buildings]. Espoo 1995, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1654. 107 s. + liitt. 6 s.

UDK 69.059.1:697.9:728.22

Avainsanat residential buildings, apartment buildings, ventilation, HVAC, renovating, interviews, multistorey buildings, duets, vents, control, indoor air, air flow, air intakes, air quality, air contaminants, odors, exhaust air, simulation, recommendations

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli esittää ilmanvaihdon korjausratkaisut 1950 - 1970-lukujen asuinkerrostaloille. Rakennuksiin liittyvän tilastollisen aineiston perusteella valittiin koesuunnittelun ja simuloinnin kohteeksi kolme asuinkerrostaloa. Käyttäjäkyselyn mukaan noin puolet kaikista haastatelluista ilmoitti tarvitsevansa nykyistä tehokkaampaa ilmanvaihtoa. Suuri osa asukkaista haluaisi itse säätää ilmanvaihtoa tarpeen mukaan. Hajujen leviäminen sekä huoneiston sisällä että naapurihuoneistoista koettiin suurimmaksi ilman laatua pilaavaksi tekijäksi.

1950-luvun talon painovoimaisen ilmanvaihdon poistoilma virtasi ajoittain väärään suuntaan. Painovoimaisen järjestelmän käytettävissä olevasta paine-erosta suurin osa kului ulkoseinissä, joten poistoilmaventtiilien merkitys ilmanvaihdon säätölaitteena jäi vähäiseksi ja siten takaisinvirtausta tapahtui helposti.

1960-luvun asuinkerrostalon koneellisen poistoilmanvaihdon rakennuksessa olivat poistoilmavirratt ja paine-erot kohtalaisen hyvin hallinnassa. 1970-luvun rakennus oli hatara, joten painesuhteet eivät olleet hallinnassa eikä ilmanvaihtokaan ollut kaikissa asunnoissa riittävä.

Laskelmien mukaan painovoimaisen ilmanvaihdon sekä ulko- että poistoilmaventtiilien tulisi olla automaattisesti säätyviä, jotta ilmanvaihto ei olisi liian suuri talvella ja liian pieni välikausina. Kesällä joudutaan turvautumaan ikkunatuuletukseen. Painovoimaisen ilmanvaihdon lupaava ja helposti toteutettavissa oleva korjausratkaisu on pienipaineinen puhallin hormiryhmän päähän asennettuna.

Koneellisen poistoilmanvaihdon lupaava korjausratkaisu on siirtyminen keskitetystä kello-ohjauksesta venttiilitehosteiseen järjestelmään, jolloin asukas voi säätää ilmanvaihtoa tarpeen mukaan. Edellytyksenä on, että poistoilmakanavat ovat riittävän väljät. Tiiviissä rakennuksessa voidaan koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaa parantaa asentamalla tyyppihyväksytyt ulkoilmaventtiilit. Tiiviiseen rakennukseen voidaan asentaa myös lämmön talteenotolla varustettu koneellinen tuloilmajärjestelmä.

Huoneistokohtaiset lämmöntalteenottokoneet soveltuvat ilmanvaihdon korjausratkaisuksi kaikkiin rakennuksiin. Energiansäästön edellytyksenä on, että ulkoseinät ja välipohjat ovat riittävän tiiviit. Järjestelmän yleistymistä hidastaa katolle johdettavilta jäteilmakanavilta vaadittava ehdoton vuotamattomuus, mikä nostaa kanavoinnin hintaa. Halvempi vaihtoehto on johtaa jäteilma ulos suoraan huoneiston seinästä. Tämä ratkaisu voi yleistyä, jos käyttökokemukset toteutetuissa koerakennuksissa osoittautuvat hyviksi.

Pallari, Marja-Liisa, Heikkinen, Jorma, Gabrielsson, Juha, Matilainen, Veijo & Reisbacka, Anneli. Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut [Retrofitting of ventilation in high-rise residential buildings]. Espoo 1995, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1654. 107 p. + app. 6 p.

UDC 69.059.1:697.9:728.22

Keywords residential buildings, apartment buildings, ventilation, HVAC, renovating, interviews, multistorey buildings, duets, vents, control, indoor air, air flow, air intakes, air quality, air contaminants, odors, exhaust air, simulation, recommendations

ABSTRACT

The objective of this study was to present some renovation solutions for the ventilation system in multistorey buildings of the 1950s - 1970s. Three buildings have been chosen on a statistical basis for the follow-up study. According to the questionnaire to the occupants, about half of the interviewees said that they would like to improve current ventilation rates. The majority of the occupants wanted to control the ventilation rate themselves. The main factor in decreasing the indoor air quality was the spread of odours both inside an apartment and from the neighbourhood.

In the multistorey building of the 1950s with natural ventilation system, the exhaust air flow was occasionally reversed. In the natural ventilation system most of the available pressure difference was wasted through the outer walls, so the pressure difference over the exhaust vents remained insignificant and the reflow occurred easily.

In the multistorey building of the 1960s with the exhaust ventilation system, the exhaust airflow rates and the pressure differences were under fairly good control. The building of the 1970s was leaky, which meant that pressure differences were not under control and the ventilation rate was insufficient in some apartments.

According to computational simulations, both the supply and exhaust vents in a natural ventilation system should be controlled automatically, so that the ventilation flow rate is not too high in winter and too low in summer. In summer one has to resort to window ventilation. A promising and feasible renovation solution for the natural ventilation system could be a low-pressure fan mounted over the duct-work on the roof.

A promising renovation solution in the exhaust ventilation system is to change the centralized clock-controlled system to a vent-assist system, in which case the occupant can adjust the ventilation flow rate if necessary. This requires that the exhaust ducts are loose enough. The functioning of the exhaust ventilation system in an airtight building can be improved by installing type-approved outdoor air inlets. Also, a mechanical air supply system with a heat recovery unit can be installed in the airtight building.

Air handling units with heat recovery that are installed in individual apartments can be a renovation solution for the ventilation system in any building. Energy saving calls for outer walls and the partitions that are sufficiently airtight. The generalization of this system is restricted by the requirements of absolute airtightness of waste air ducts that run above the roof, which raises the price of ductwork. A more economical

alternative is to expel the exhaust air through the outer wall. This solution may gain wide acceptance, if the experiences in test buildings prove to be good.

ALKUSANAT

Tutkimuksessa selvitettiin 1950 - 1970-luvuilla toteutetun rakennuskannan ominaisuuksia sekä eri ilmanvaihtoratkaisujen yleisyys. Tilastollisen aineiston perusteella valittiin Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimiston (ATT) eri vuosikymmenien rakennuskannasta kolme kerrostaloa, joissa tehtiin ilmanvaihtoon liittyviä mittauksia sekä käyttäjäkysely. Näiden pohjalta ideoitiin ilmanvaihdon korjausratkaisut. Painovoimaisen ilmanvaihdon rakennukselle tehtiin tietokonelaskelmia, joiden tuloksena saatiin mm. tuotekehitysideoita.

Tutkimus toteutettiin yhteistyöprojektina. Päättökijana oli diplomi-insinööri Marja-Liisa Pallari VTT Rakennustekniikasta, tutkimuksen projektipäällikkönä oli diplomi-insinööri Jorma Heikkinen (VTT) ja mittauksista vastasi Antti Mäkelä (VTT). Ilmanvaihtosuunnitelmista vastasivat Veijo Matilainen Enertec Oy:stä ja Juha Gabrielsson Climaconsult Oy:stä. Projektissa olivat mukana Climaconsult Oy:stä myös Pekka Saaristo ja Hans Wiljanen. Asukashaastattelusta vastasi toimistopäällikkö Anneli Reisbacka Työtehoseurasta.

Tutkimus on osa rakennusten energiankäytön kuusi vuotta (1993 - 1998) kestävästä tutkimusohjelmaa (RAKET), jonka pääasiallisena rahoittajana toimii kauppa- ja teollisuusministeriö. Tutkimuksen aihe liittyy läheisesti myös valtakunnalliseen REMONTTI-tutkimusohjelmaan, jonka ohjelmapäällikkönä toimii Risto Mäkinen. Häneltä saatiin hyödyllisiä kommentteja projektin eri vaiheissa.

Parhaat kiitokset kaikille projektiin osallistuneille.

Espoo, huhtikuu 1995

Marja-Liisa Pallari

Jorma Heikkinen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
ALKUSANAT.....	5
1 JOHDANTO.....	9
2 ASUNTORAKENTAMINEN JA ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT 1950 - 1970-LUVUILLA	11
2.1 ASUNTOTUOTANTO JA ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT	11
2.2 PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO	13
2.3 KONEELLINEN POISTOILMANVAIHTO.....	16
2.4 ILMANVAIHDON MÄÄRÄYKSET JA NORMIT SEKÄ NIIDEN TOTEUTUMINEN.....	19
2.5 KORJAUSRAKENTAMISEN TARVE	26
2.6 KOEKOHTEIDEN VALINTA	28
3 PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO 1950-LUVUN ASUINKERROSTALOSSA.....	30
3.1 KOEKOHDE	30
3.1.1 Asukaskysely.....	30
3.1.2 Mittaukset	31
3.1.3 Johtopäätökset.....	34
3.2 KORJAUSVAIHTOEHDOT.....	35
3.2.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon peruskorjaus	35
3.2.2 Painovoimaisesta koneelliseen poistoilmanvaihtoon.....	37
3.2.3 Painovoimaisesta täysin koneelliseen ilmanvaihtoon	40
3.2.4 Ongelmalliset järjestelmät.....	45
3.2.5 Tietokonesimuloinnit	47
3.3 YHTEENVETO JA KORJAUSVAIHTOEHTOJEN KUSTANNUKSET.....	66
4 KONEELLINEN POISTOILMANVAIHTO 1960-LUVUN ASUINKERROSTALOSSA.....	69
4.1 KOEKOHDE	69
4.1.1 Asukaskysely	69
4.1.2 Mittaukset	70
4.1.3 Johtopäätökset.....	72
4.2 KORJAUSVAIHTOEHDOT.....	72
4.2.1 Koneellisen poiston peruskorjaus	72

4.2.2	Koneellisen poiston venttiiliohjaus.....	74
4.2.3	Koneellisesta poistosta täysin koneelliseen ilmanvaihtoon.....	75
4.3	YHTEENVETO JA KORJAUSVAIHTOEHTOJEN KUSTANNUKSET	78
5	KONEELLINEN POISTOILMANVAIHTO 1970-LUVUN ASUINKERROSTALOSSA.....	80
5.1	KOEKOHDDE	80
5.1.1	Asukaskysely	80
5.1.2	Mittaukset	81
5.1.3	Johtopäätökset.....	83
5.2	KORJAUSVAIHTOEHDOT.....	83
5.2.1	Ilmanvaihdon venttiiliohjaus.....	83
6	KOKEMUKSIA ILMANVAIHDON KORJAUKSISTA	88
6.1	NYKYISTEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSTEN SOVELTAMINEN KORJAUSRAKENTAMISESSA	88
6.2	KOKEMUKSIA SUOMESTA	90
6.3	KOKEMUKSIA RUOTSISTA.....	91
6.4	KOKEMUKSIA KESKI-EUROOPASTA	95
6.5	JOHTOPÄÄTÖKSET	97
7	ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIEN KORJAUSTEN EDELLYTYSTEN KEHITTÄMISTARPEET	99
7.1	KUNTOARVIO.....	99
7.2	KOMPONENTTIEN TUOTEKEHITYS	99
7.3	MUUT KEHITYSTARPEET.....	99
8	YHTEENVETO.....	100
8.1	ASUNTOJEN ILMANVAIHDON TOIMINTA	100
8.2	PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON KORJAUS.....	101
8.3	KONEELLISEN POISTOILMANVAIHDON KORJAUS	103
8.4	LÄMMÖN TALTEENOTTOLAITTEEN ASENTAMINEN	104
8.5	JATKOTUTKIMUKSEN TARVE.....	104
	LÄHDELUETTELO	105
	LIITTEET	
	ASUKKAIDEN MIELIPITEET ILMANVAIHDOSTA KOLMESSA ASUINKERROSTALOSSA.....	A/4
	SIMULOINTILASKELMIEN VIRTAAUS-FUNKTIOIDEN LASKENTAPERUSTEET	B/2

1 JOHDANTO

Hyvin toimiva ilmanvaihtojärjestelmä huolehtii osaltaan sisäilman laadusta sekä rakenteiden kunnosta. Suomen oloissa vietetään sisätiloissa noin 90 % ajasta, joten sisäilman laadulla on suuri merkitys ihmisen terveyteen ja hyvinvointiin. Ilmanvaihtojärjestelmän on poistettava sisäilmaan tuotetut epäpuhtaudet, kuten sisustusmateriaaleista haihtuvat orgaaniset yhdisteet sekä ihmisen aineenvaihdunnan tuotteet (hajut, kosteus ja hiilidioksidi). Ilmanvaihto-järjestelmän on ylläpidettävä rakennuksessa sellaiset painesuhteet, että sisäilman kosteus ei tunkeudu rakenteisiin.

Viimeaikaisten tutkimusten mukaan asuntojen ilmanvaihto on riittämätön eikä täytä nykyisiä määräyksiä suurimmassa osassa asuntokantaa (Ruotsalainen et al. 1990). On arvioitu, että 40 % suomalaisista kärsii huonosta sisäilmasta (Mannila 1993). Esimerkiksi 20 - 30 vuotta vanhoista koneellisen poiston kerrostaloista neljä viidesosaa on sellaisia, joissa ei täyty ilmanvaihdon vähimmäisvaatimus 0,5 l/h (Dyhr 1993).

Asuintoiminnot ovat muuttuneet muutamassa vuosikymmenessä. Kotitalouskoneet asunnoissa ovat lisääntyneet, mikä aiheuttaa uusia vaatimuksia ilmanvaihdolle. Esimerkiksi pyykinpesu ja pyykin kuivaus kylpyhuoneissa on yleistynyt yhdessä lisääntyneen suihkussa käynnin kanssa.

Ilmanvaihdon korjaukseen tulee paineita myös asukkaiden taholta, jotka haluavat itse vaikuttaa ilmanvaihdon tehostusaikeihin. Keskitetty kello-ohjaus oletettuina ruoanlaittoaikoina ei palvele kaikkien asukkaiden tarpeita. Toisaalta yhden hengen talouksien osuus kasvaa, mistä syystä ilmanvaihdon tarve vähenee.

Markkinoille tulevien ilmanvaihtokomponenttien ja -laitteiden laatu ja toimintavarmuus on parantunut vuoden 1983 jälkeen, jolloin otettiin käyttöön ilmanvaihtokomponenttien vapaaehtoinen tyyppihyväksyntämenettely. Tyyppihyväksytyt tuotteet ovat jatkuvan laadunvalvonnan piirissä.

Markkinoille on tullut huoneistokohtaisia ilmanvaihtokoneita, joilla voidaan korjata vanhojen asuinkerrostalojen ilmanvaihto nykyisten ilmanvaihtomääräysten mukaiseksi. Huoneistokohtaiset laitteet eivät tarvitse välttämättä kerrosten läpi menevää kanavointia. Niiden yleistymisen esteenä ovat kuitenkin olleet nykyiset rakentamismääräykset, joiden mukaan jäteilma on kanavoitava katon kautta ulos. Juuri valmistuneen tutkimuksen mukaan jäteilman seinästä ulos puhaltamisella ei kuitenkaan näytä olevan negatiivista vaikutusta tuloilman laatuun, jos jäteilma- ja ulkoilma-aukko ovat riittävän etäällä toisistaan tai jos jäteilman lähtönopeus on riittävän suuri (Siitonen et al. 1994).

Asuinrakennusten uudistuotannon on ennustettu vähenevän samalla, kun voimavaroja suunnataan asuntojen korjausrakentamiseen. Ilmanvaihdon peruskorjausta tai perusparannusta tehdään kuitenkin suhteellisen vähän tai se tehdään muun saneeraustyön yhteydessä. Harvoin tehdään pelkkä ilmanvaihtojärjestelmän kor-

jaus. Tähän on ollut syynä mm. se, että ilmanvaihdon korjausrakentamisesta ei ole ollut koottua tietoa tai ohjeita. Ei ole ollut yleisesti tiedossa, mitä tiiviysvaatimuksia eri ilmanvaihtojärjestelmät edellyttävät rakennukselta tai kanavistolta. Ilmanvaihtojärjestelmän korjauksesta päättävät tahot, esimerkiksi asuinkerrostalojen isännöitsijät, tarvitsevat ilmanvaihtojärjestelmiin liittyvää tietoa päättäessään ilmanvaihdon korjausrakentamisesta.

Tässä raportissa on esitetty kahden asuinkerrostalon ilmanvaihtojärjestelmän korjauksen malliratkaisut ja niiden rakennukselle asettamat vaatimukset. Malliratkaisujen pohjana oli kolme rakennusta, joissa tehtiin ilmanvaihtoon liittyviä mittauksia ja asukaskysely. Ilmanvaihdon korjauksen malliratkaisut on esitetty:

- 1950-luvun 3-kerroksiselle painovoimaisen ilmanvaihdon rakennukselle
- 1960-luvun 7-kerroksiselle koneellisen poiston rakennukselle.

1970-luvulla rakennetun 8-kerroksisen koneellisen poiston rakennusta on tiivistettävä ennen kuin sen ilmanvaihtoa voidaan parantaa.

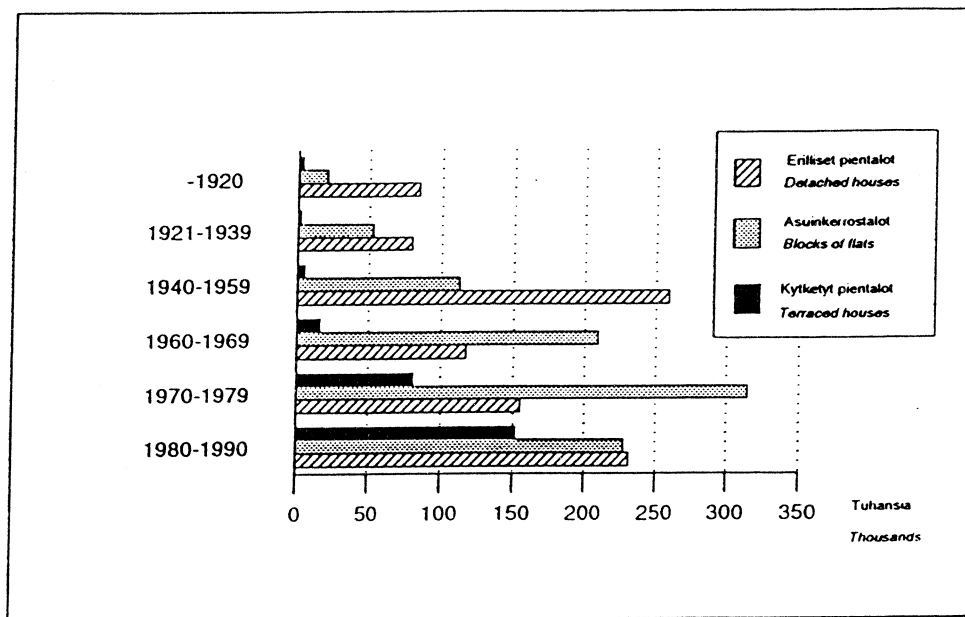
Painovoimaisen ilmanvaihdon korjausratkaisujen toimivuutta tarkasteltiin tietokonesimuloinnein. Laskelmien tarkoituksena oli selvittää ilmanvaihdon pysyvyys vuositasolla, energiankulutus ja paineolot sekä tuottaa ilmanvaihtokomponenttien suoritusarvovaatimuksia tuotekehityksen pohjaksi.

2 ASUNTORAKENTAMINEN JA ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT 1950 - 1970-LUVUILLA

2.1 ASUNTOTUOTANTO JA ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT

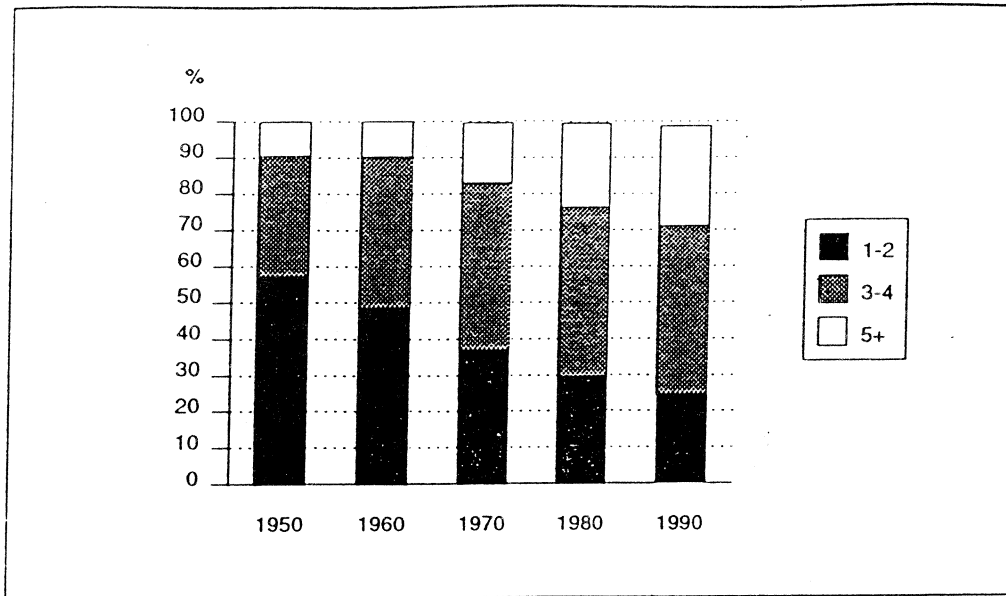
1950-luvun loppupuolelle asti rakentaminen oli käsityötä, joka tapahtui rakennustyömaalla. Sen jälkeen alkoi elementtipohjainen rakentaminen. Alussa rakennuselementit valettiin työmaalla (Mäkiö et al. 1990), mutta 1960-luvun alkupuolella alkoi elementtien teollinen valmistaminen (Aikkila et al. 1989).

Ennen vuotta 1960 rakennettiin pääasiassa erillisiä pientaloasuntoja. Vuosina 1960 - 1970 asuntotuotanto keskittyi kerrostalorakentamiseen ja pientalorakentaminen väheni. 1970-luvulta lähtien pientalojen ja kytkettyjen pientalojen osuus rakennuskannassa alkoi jälleen kasvaa. Vuosien 1980 - 1990 rakennustuotannossa enää yksi kolmannes oli kerrostaloasuntoja (kuva 1).



Kuva 1. Eri vuosikymmenillä rakennettujen asuntojen lukumäärä talotyyppien mukaan (Rakentaminen ja asuminen 1992).

Asuntojen huoneluku on vuosien mittaan kasvanut. 1950-luvun rakennuskannan asunnoista yli puolet oli pieniä, yhden tai kahden huoneen asuntoja. 1990-luvun rakennuskannan asunnoista näiden osuus oli enää noin 20 % (kuva 2).



Kuva 2. Asuntokanta huoneluvun mukaan eri vuosikymmenillä (Rakentaminen ja asuminen 1992).

Painovoimainen ilmanvaihto oli yleinen asuintaloissa 1950-luvun alkuun saakka. Koneellinen poistoilmanvaihto yleistyi vuoden 1953 jälkeen, kun yhteiskanavajärjestelmä hyväksyttiin rakennushallituksen rakennuttamiin kohteisiin. 1950-luvulla yli 3-kerroksisiin asuinkerrostaloihin asennettiin lähes aina koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä (Mäkiö et al. 1990). 3-kerroksisiin ja sitä matalampiin rakennuksiin asennettiin yleensä painovoimainen ilmanvaihto vielä 1960-luvun lopulla. Taulukossa 1 on esitetty eri ilmanvaihtojärjestelmien osuus rakennuskannasta eri vuosikymmenillä.

Taulukko 1. Asuinkerrostalojen ilmanvaihtojärjestelmien yleisyys eri aikakausina (Koskela & Väisänen 1984).

Rakentamisvuosi	Ilmanvaihtojärjestelmä, % rakennustilavuudesta		
	Painovoimainen poisto	Koneellinen poisto	Koneellinen sisänpuhallus ja poisto
-1939	80	20	-
1940 - 1959	80	20	-
1960 - 1969	29	71	-
1970 - 1979	6	91	3

1950-luvun alussa asuinkerrostalojen koneellisessa poistoilmanvaihdossa käytettiin sekä erilliskanava- että yhteiskanavajärjestelmiä. Verrattain harvinaisessa erilliskanavajärjestelmässä kullakin poistoilmaventtiilillä oli oma nousukanava ullakolle, jossa kanavat yhdistettiin ryhmittäin ja johdettiin huippumuriin. Tämä kanavointitapa on taas tulossa käyttöön, koska se mahdollistaa ilmavirran muuttamisen venttiileistä. Halvemmassa ja yleisessä yhteiskanavajärjestelmässä eri kerrosten huoneiden poistoilma johdettiin yhteisiin nousukanaviin, jotka liitettiin ullakolla kokoojakanaviin ja sieltä poistoilmapuhaltimelle (Mäkiö et al. 1990). Poistoilmapuhallinta ohjattiin yleensä suuremmalle kierrosnopeudelle oletettuina ruoanlaittoaikoina.

1940-luvulla ja 1950-luvun alussa ilmakehanavat valmistettiin tiilestä tai erikoislaatoista 2 - 3-kerroksisissa asuinkerrostaloissa. Korkeammassa taloissa käytettiin levy- tai asbestisementtikanavia, jotka veivät vähemmän lattiapinta-alaa. Betonirunkoisissa rakennuksissa ilmanvaihtokanavat valettiin betonista tai koottiin kerroksen korkuisista kanavaelementeistä. 1950-luvun alussa alettiin työmaalla valmistaa suorakaiteen muotoisia, kahden metrin mittaisia kanavaosia sinkitystä pellistä. Kanavat olivat pitkittäissaumattuja eikä kanavien liitoskohdissa yleensä käytetty tiivisteitä. 1960-luvun alussa alettiin peltikanavia valmistaa teollisesti, sekä suorakaidekanavia että pyöreitä kierresaumakanavia (Mäkiö et al. 1990).

2.2 PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO

Painovoimaisen ilmanvaihdon käyttövoimana ovat ulko- ja sisäilman tiheyseroista johtuva ns. terminen paine-ero sekä tuulen aiheuttama paine-ero. Nämä paine-erot vaikuttavat rakennuksen aukkoihin, rakoihin, ikkunoihin ja hormeihin. Mitä suurempi on lämpötilaero, sitä suuremmaksi terminen paine-ero muodostuu. Tuulen vaikutus ilmanvaihtoon riippuu rakennuksen muodosta ja tiiviydestä, tuulen suunnasta ja nopeudesta sekä ympäröivän maaston muodosta. Paine-erojen kasvaessa myös ilmanvaihto kasvaa. Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminnasta ja mitoituksesta ovat tarkemmin kertoneet Korkala & Karvonen (1987).

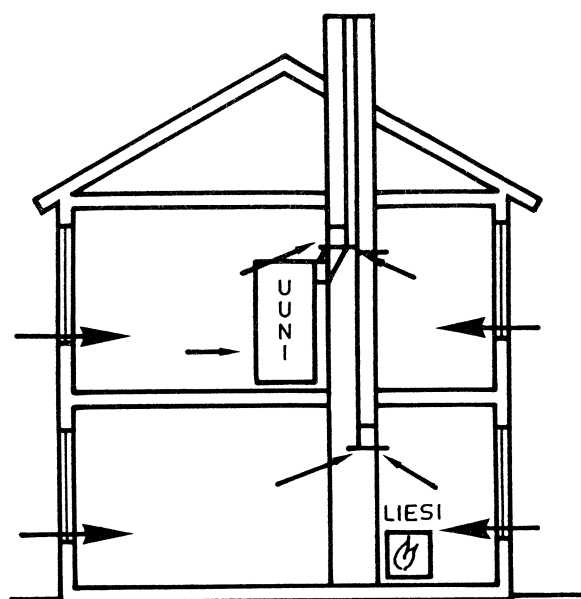
Toimintaperiaatteista johtuen painovoimaisen ilmanvaihdon ilmavirrat vaihtelevat ulkolämpötilan, tuulen nopeuden ja tuulen suunnan mukaan. Tuulisena talvipäivänä ilmanvaihto voi olla moninkertainen suunnitteluarvoon verrattuna. Kesällä ilmanvaihto voi olla olematon.

Ennen 1920-lukua rakennetuissa kerrostaloissa oli yleensä uunilämmitys ja kaasutai puuliesi. Uunin lämmitys ja puulieden käyttö lisäsivät ilmavirtausta savu- hormeissa, jolloin myös huoneiston ilma vaihtui (kuva 3). Uuneissa oli usein nk. kaksoispelti, joten ilmanvaihto toimi, vaikka uunia ei käytetty. Asukkailla oli mahdollisuus vaikuttaa ilmanvaihtoon teippaamalla ikkunaraot talvikaudeksi umpeen liimapaperilla ja sulkemalla ulkoilma-aukot.

Tänä päivänä ei uunia enää käytetä lämmitykseen kerrostaloissa. Uuni on usein purettu tai se on käyttökiellossa savupiipun huonon kunnon takia. Uunin purkamis-

sen yhteydessä savuhormit on usein muurattu umpeen, jotta välttyttäisiin ilman takaisin virtauksesta, mistä aiheutuu hajuhaittoja. Puuliedet on vaihdettu joko kaasu- tai sähköliesiin. Rakennukseen on asennettu keskuslämmitys ja lämpö tuotetaan omalla kattilalaitoksella tai on liitetty kaukolämpöverkkoon.

Ennen 1920-lukua rakennetuissa rakennuksissa ulkoilma saatiin joko ikkunaraoista tai erillisistä ulkoilma-aukoista. Tämän ikäisten rakennusten ikkunat on yleensä jo vaihdettu uusiin. Mikäli alkuperäisiä ikkunoita on jäljellä, on ne usein tiivistetty. Ulkoilma-aukot on usein suljettu pysyvästi joko seinäpintojen likaantumisen tai vedon takia. Ulkoilma-aukot ovat myös voineet jäädä tapetoinnin alle. Edellä mainitut toimenpiteet ovat poistaneet edellytykset painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnalta.



Kuva 3. Uunilämmitteisen talon ilmanvaihto.

Vanhoissa keskuslämmitteisissä taloissa käytettiin 1920 - 1950 -luvulla painovoimaista ilmanvaihtoa, missä keittiössä, kylpyhuoneessa, WC:ssä ja mahdollisesti myös muissa huoneissa oli poistoilmaventtiilit (kuva 4).

Poistoilmaventtiilit olivat usein säädettäviä. Venttiileitä säädettiin pienemmälle ilmavirralle kylmällä ja tuulisella säällä, jotta huonelämpötila ei laskisi liian alhaiseksi ylisuuren ilmanvaihdon vuoksi. Tuloilma saatiin joko ikkunaraoista tai ulkoilma-aukoista. Ulkoilmaventtiilit sijaitsivat usein makuuhuoneissa ja olohuoneessa. Ruoan säilytykseen tarkoitetuissa kylmäkomoeroissa oli myös ulkoilmaventtiilit, joita ei ollut tarkoitettu huoneiston korvausilma-aukoiksi, vaan kylmäkomeran lämpötilan säätöön.

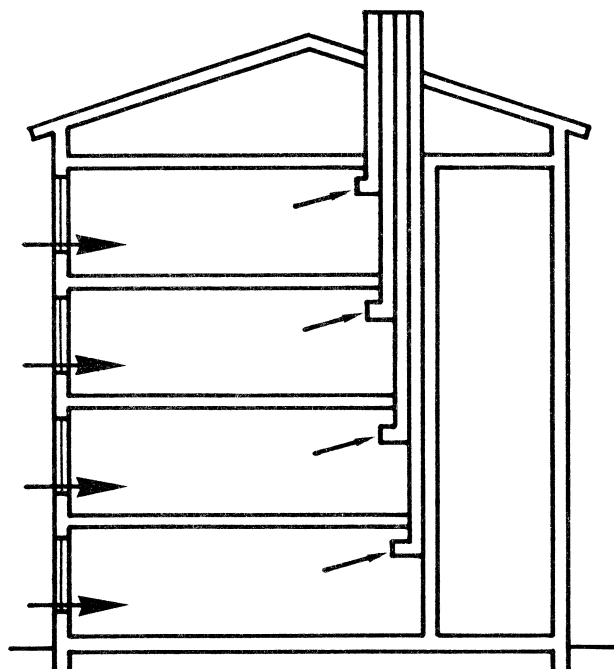
Keskuslämmitteisissä taloissa on nykyisin öljylämmitys tai ne on liitetty kauko-
lämpöverkkoon. Ilmanvaihtoa ei yleensä säädetä. Koska sisälämpötilaa säädetään
lämmitysverkoston automaattisilla säätölaitteilla, ei ilmanvaihdon säätöä katsota
tarpeelliseksi tai ei tiedetä sen tarpeellisuudesta. Ilmanvaihto ei toimi, jos ulkoil-
maventtiilit on suljettu tai ikkunat on tiivistetty.

Vanhoissa kerrostaloissa painovoimaisen ilmanvaihdon hormit ovat yleensä joko
tiilestä muurattuja tai valettu betonista. Hormit on tehty mahdollisimman suoriksi,
vaakavetoja ja mutkia vältellen. Samaan hormiryhmään yhdistetyt huonetilat
sijaitsevat vierekkäin.

Yleisesti on käytetty erillishormiratkaisua, missä jokaisen tilan poistoilmakanava
vietiin erikseen vesikatolle asti. Vanhemmissa taloissa käytettiin joskus yhteis-
kanavointia, missä eri kerroksien poistoilmaventtiilit liitettiin samaan yhteiseen
kanavaan. Tällöin riskinä oli kerrosten välinen ilmavirtaus. Hormien rakenteesta
johtuen niiden tiiviys on usein huono. Erityisesti vanhojen hormien saumaustaastit
ovat vuosien mittaan murentuneet ja hormien väliseinistä ovat tiilet voineet irrota.

Kanavat on suunniteltu niin pienelle alipaineelle, että kanavasta toiseen tapahtuva
ilmavuoto on pientä. Kanavan muuttaminen ylipaineiseksi esimerkiksi liesituu-
letinta käyttäen lisää kanavien välistä vuotoa. Vaarana on tällöin poistoilman
tunkeutuminen ylipaineisista kanavista huoneistoihin.

Vanhoissa rakennuksissa on korjausrakentamisen kannalta ongelmana se, että
hormit eivät aina vastaa hormipiirustuksia. Jo rakennusaikana tai myöhemmin
korjaustöissä on voitu tehdä varsin suuriakin muutoksia suunniteltuihin
hormeihin, eikä piirustuksia ole päivitetty.



Kuva 4. Keskuslämmitteisen talon ilmanvaihto.

2.3 KONEELLINEN POISTOILMANVAIHTO

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa käyttövoimana on poistopuhaltimella aikaan saatu alipaine kanavistossa. Poistopuhaltimen käyntiaikoja ohjataan yleensä kellolla. Kone toimii energian säästämiseksi 1/2-teholla suurimman osan ajasta, mutta aamulla, illalla ja joissakin tapauksissa myös keskipäivällä kone toimii 1/1-teholla noin pari tuntia kerrallaan. Tilakohtaiset poistoilmavirrat ovat suunnitteluohjeiden mukaisia vain 1/1-teholla. Pienemmällä teholla ei voida poistaa esim. ruoanlaiton hajuja tehokkaasti.

Poistoilmaventtiilit ovat koneellisen poiston venttiilejä, joita säätämällä venttiilin paine-ero ja poistoilmavirta saadaan mitoitettun suuruisiksi. Poistoilmaventtiilien säätöasennot muuttuvat kuitenkin herkästi esimerkiksi venttiileitä puhdistettaessa, jolloin ilmanvaihtolaitos ei enää toimi suunnitellulla tavalla.

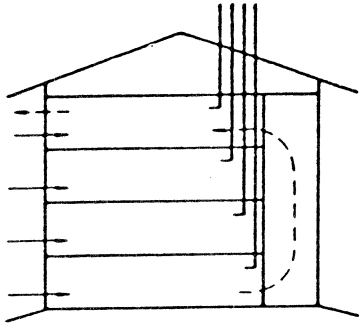
Koneellisessa poistossa ulkoilma otetaan yleensä rakennuksen satunnaisten epätiiviyshölkien kautta. Ulkoilmaventtiilien käyttö ilman sisäänottoon on ollut 1980-luvun lopulle saakka melko harvinaista. Kun ulkoilma otetaan rakennukseen suunnittelelmattomasti, on puhtaan ilman jako huoneiston sisällä sattumanvaraista. Huoneiston muoto ja huonejärjestelyt vaikuttavat siihen, tuleeko ulkoilmaa lainkaan esimerkiksi makuuhuoneisiin.

Myös ulkoilmaventtiilien käyttöön liittyy ongelmia. Markkinoilla ei ole ollut vedottomasti toimivia ulkoilmaventtiilejä. Vanhemmissa ulkoilmaventtiileissä ei ole suodatinta. Ulkoiset olosuhteet vaikuttavat siihen, tuleeko huoneistoon ulkoilman mukana pölyä, melua tai kaasumaisia päästöjä.

Vuoden 1978 rakentamismääräyksissä (osa D2) suositeltiin ilmavirtojen puolittamista, kun ulkolämpötila laskee 15 °C alle paikkakunnan mitoituslämpötilan. Tätä ilmavirtojen puolittamismahdollisuutta on yleisesti käytetty siten, että asuntojen ilmanvaihtolaitoksia käytetään suurimman osan aikaa puolella teholla. Puhaltimet pidetään täydellä teholla yleensä vain parin tunnin ajan aamuin ja illoin. Nämä tehostusajat eivät yleensä noudata asukkaiden tottumuksia. Ruoanlaittoajat vaihtelevat asukkaiden mukaan.

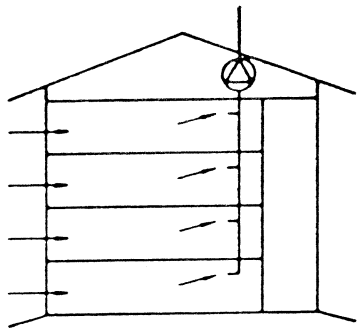
Poistoilman lämpö voitaisiin siirtää lämpöpumpulla lämpimään käyttöveeseen, mutta lämmön talteenoton toteutukset ovat verrattain harvinaisia. Lämmön talteenoton mahdollisuuksia tarkastellaan lähemmin Korjausrakentamisen lämmön-talteenottoratkaisut -projektissa vuosina 1994 - 1995.

Kuvassa 5 on esitetty eri ilmanvaihtojärjestelmien erityispiirteitä.



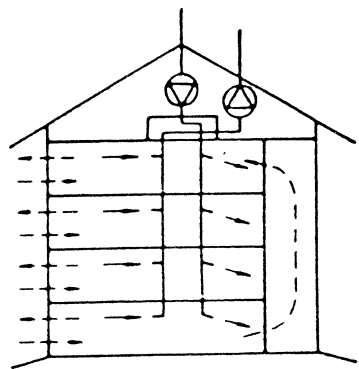
Painovoimainen ilmanvaihto

- käyttövoimana tuuli ja ilman tiheuserot
- ilmanvaihto hallitsematonta ilman käyttäjän säätötoimenpiteitä tai automaattisia säätölaitteita
- virtauksia herkästi myös huoneistosta ulos ja porraskäytävän kautta huoneistosta toiseen.



Koneellinen poistoilmanvaihto

- kokonaisilmamäärät yleensä hyvin hallinnassa
- ilman sisäänotto useimmiten suunnittelematta, paikallinen tehokkuus harvoin optimaalinen
- läpivirtauksia vain hatarissa rakennuksissa, ulospäin virtausta joskus talvella
- ilmanvaihdon tehostusta ohjaa kello, ei asukkaiden tarve.



Täysin koneellinen ilmanvaihto

- ilmanvaihto hallittu
- tuuletus tarpeetonta, jos järjestelmä on toimiva
- ulkovaipan epätiviys aiheuttaa herkästi läpivetoa ja energiahukkaa.

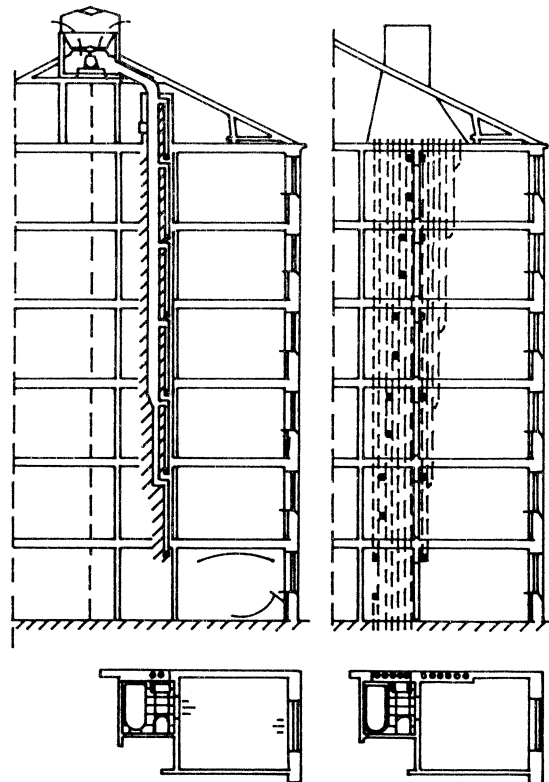
Kuva 5. Ilmanvaihtojärjestelmien erityispiirteitä (Railio 1980).

2.4 ILMANVAIHDON MÄÄRÄYKSET JA NORMIT SEKÄ NIIDEN TOTEUTUMINEN

Vuonna 1940 julkaistiin Rakentajain kalenterissa Helsingin kaupungin rakennustarkastajan laatimat sekä painovoimaista että koneellista poistoilmanvaihtoa koskevat määräykset. Nämä määräykset olivat perusohjeena koko maassa ja niitä julkaistiin vuosittain (Mäkiö et al. 1990).

Kanavointitavaksi suositeltiin painovoimaisessa järjestelmässä erilliskanavointia, missä jokaisen poistovenyttiin hormi vietiin erillisenä ullakolle asti. Koneellisessa poistossa voitiin käyttää yhteiskanavaa, mutta kustakin huoneesta lähtevä poistokanava tuli liittää yhteiseen poistohormiin vasta seuraavan kerroksen poistovenyttiin kohdalla (kuva 6). Tarkoituksena oli estää äänien kulkeutuminen hormia pitkin huoneistosta toiseen (Rakentajain kalenteri 1940).

Asuintalon ilmanvaihtojärjestelmä



Kuva 6. Ilmanvaihtohormien kanavointisuositus vuoden 1940 Rakentajain kalenterin mukaan (Rakentajain kalenteri 1940).

Rakentajain kalenterissa annettiin ohjeavot eri tilojen poistohormien vähimmäispinta-alasta, ilman virtausnopeudesta kanavassa ja tilojen ilmanvaihtuvuudesta (taulukko 2).

Taulukko 2. Suositus asuintalojen ilmanvaihtoluvuksi sekä ilmanvaihtokanavien mitoitusperusteet vuoden 1940 Rakentajain kalenterin mukaan (Rakentajain kalenter, 1940).

Ilmanvaihtokanavien mittoja	
A. Kanavat luonnollisessa ilmanvaihtojärjestelmässä	
1.	Kanavan poikkileikkausala vähintään 1/1 000 lattiapinta-alasta
2.	Keittiö, keittokomero ja avonainen takka vähintään 15 x 23 cm (345 cm ²) Muut tilat vähintään 15 x 15 cm (225 cm ²)
B. Poistoilmakanava koneellista imuria käytettäessä	
1.	Ilman nopeus sivukanavissa 1,0 - 1,5 m/s Pääkanavissa, keskikokoisissa 1,5 - 2,5 m/s Pääkanavissa, suurissa 2,5 - 3,0 m/sek
2.	Keittiö, keittokomero ja avoin takka vähintään 13 x 20 cm (260 cm ²) Muut tilat vähintään 13 x 13 cm (169 cm ²)
Asuintalojen ilmanvaihtolukuja	
HUONE	ILMANVAIHTOLUKU (1/h)
Asuinhuone	1 - 1,5
Keittiö	5 (vähintään 30,6 dm ³ /s)
Keittokomero	8 (vähintään 30,6 dm ³ /s)
Kylpy- ja suihkuhuone	8

Rakentajain kalenterin (1940) mukaan tuli sekä painovoimaisessa että koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä huolehtia asuinhuoneiden riittävästä raittiin ilman saannista. Tähän suositeltiin käytettäväksi ns. aeroradiaattoreita, joilla ulkoilma ohjattiin patterin läpi.

Vuonna 1954 tulivat voimaan normaalimääräyskomitean laatimat lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeet, joista vuonna 1966 ilmestyi joiltakin osin muutettu uusintapainos. Nämä olivat yleisenä mitoitusohjeena 1970-luvulle asti (Mäkiö & al. 1990). Taulukossa 3 on esitetty normaaliohjeiden mukainen ilmanvaihdon mitoitus.

Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä oli vuoden 1954 normaaliohjeiden mukaan huolehdittava raittiin ilman saannista ja siirtoilmareiteistä. Makuuhuonei-

siin suositeltiin laitettavaksi vähintään 30 cm²:n suuruiset raitisilmakanavat, joissa oli tiiviisti sulkeutuvat venttiilit. Ruokakomeroiden ilmanvaihto tuli hoitaa kahdella eri korkeudelle sijoitettavalla, halkaisijaltaan 50 mm:n putkella. WC:n poistokanava voitiin varustaa säleiköllä, muut poistokanavat tuli varustaa poistoilmaventtiilillä. Keittiöiden ja keittokomeroiden muurattujen poistoilmakanavien oli oltava kooltaan vähintään 330 cm² ja kylpy- ja WC-huoneiden poistoilmakanavien vähintään 200 cm². Jos poistokanavat tehtiin sisäpinnoiltaan riittävän sileiksi, esim. metalli-, eterniitti- tai vastaavasta levystä, voitiin kanavien poikkipinta-aloja muurattuihin verrattuna pienentää 25 %.

Taulukko 3. Ilmanvaihdon mitoitus normaaliohjeiden mukaan (Lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeet 1954 ja 1966).

Vähimmäisilmanvaihtomäärät						
Seuraavassa esitetään tarvittavat vähimmäisilmanvaihtomäärät tärkeimmissä tapauksissa. Mikäli eri sarakkeiden arvoilla saadaan erisuuruiset ilmamäärät, valitaan vähimmäisilmanvaihtomääräksi suurin arvo. Arvot ovat voimassa soveltuvasti sekä painovoimaisille että koneellisille ilmanvaihtolaitoksille.						
	dm ³ /s/henkilö		dm ³ /s/lattia-m ²		dm ³ /s	
	1954	1966	1954	1966	1954	1966
Asuinhuoneet	5,6	-	0,8	-	-	6,9 ^{a)} 12,5 ^{b)}
Keittiöt ja keittokomerot	-	-	-	-	27,8	22,2
Kylpy- ja suihkuhuoneet	-	-	-	-	16,7	16,7
Erilliset WC-huoneet	-	-	-	-	8,3	8,3

a), alle 8 m²

b), yli 8 m².

Vuoden 1954 normaaliohjeissa ei ole enää ohjeita ulkoilmaventtiilien asentamisesta koneelliseen poistoilmavaihtojärjestelmään.

Koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä kylpy-, suihku- ja WC-huoneiden muurattujen poistokanavien tuli olla kooltaan vähintään 150 cm² ja keittiöiden ja keittokomeroiden vastaavasti vähintään 200 cm² (normaaliohjeet 1954)

Ilman nopeus poistoilmakanavissa oli vuoden 1954 normaaliohjeissa seuraava:

sivukanavissa 1,5 - 2,0 m/s
pääkanavissa: ullakolla 2,5 - 3,0 m/s
kerroksissa 3,0 - 5,0 m/s.

Vuoden 1954 normaaliohjeiden mukaan keskusilmanvaihtojärjestelmissä tuli ilmanvaihtokanavat puhdistaa todistettavasti vähintään kerran vuodessa. Todistus

tuli esittää yleisessä palotarkastuksessa. Käytännössä palotarkastajat eivät vaatineet todistusta, joten ilmanvaihtohormeja ei yleensä puhdistettu. Siitä syystä esimerkiksi Helsingin Töölössä on tällä hetkellä vanhoja asuinkerrostaloja, joiden muurattuja ilmanvaihtohormeja ei ole koskaan puhdistettu (Lipponen 1994).

Vuonna 1966 julkaistuissa normaaliohjeissa ei ollut enää ohjearvoja ilman virtausnopeudelle poistoilmakanavassa eikä mainintaa poistoilmakanaviston puhdistamisesta.

1970-luvun energiakriisin jälkeen sisäasiainministeriössä laadittiin ilmanvaihtoa koskevat määräykset ja ohjeet (RakMk, osa D2, 1978), joissa ilmavirtojen mitoitussarvot olivat hiukan pienemmät kuin vuoden 1966 normaaliohjeissa. Ne tulivat voimaan 1.7.1979. Ohjeiden mukaan oleskelutiloihin tuli johtaa $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ ulkoilmaa, mikä vastaa ilmanvaihtokerrointa $0,5 \text{ l/h}$ normaalikorkuisissa huoneissa. Tilakohtaisille poistoilmavirroille annettiin taulukon 4 mukaiset ohjearvot. Ohjearvot eivät olleet sitovia, mutta esittivät erään ratkaisun, joka rakennusvalvontaviranomaisen oli hyväksyttävä. Käytännössä ilmanvaihdon ohjearvot olivat muodostuneet suunnittelun mitoitussarvoiksi.

Vuoden 1978 rakentamismääräysten (osa D2) mukaan painovoimainen ilmanvaihto tuli suunnitella siten, että ilmanvaihto oli tilakohtaisten ohjearvojen mukainen vuoden keskilämpöolosuhteissa ilmanvaihtohormien ja -aukkojen ollessa täysin avoinna.

Ulkoilmavirran mitoituksessa voitiin ottaa huomioon vähentävänä tekijänä rakenteiden kautta tapahtuva tahaton vuotoilmanvaihto, jolle annettiin arvio $0,2 \text{ l/h}$ läpitalon olevissa huoneistoissa ja $0,1 \text{ l/h}$ muissa tiloissa, eli jopa 40 % ilmanvaihdon tarpeesta. Ulkoilmaventtiilien asentamisesta ei ollut suosituksia.

Vuoden 1978 rakentamismääräykset (osa D2) eivät anna enää ohjeita kanavien mitoituksesta. Kanavien mitoitukseen oli jo käytettävissä yksityiskohtaisempia ohjeita, esimerkiksi Ilmatekniikan suunnitteluohje, jonka mukaan poistoilman virtausnopeus kanavissa oli $2 - 4 \text{ m/s}$ (Ilmatekniikan suunnitteluopas, osa 1 1978).

Vuoden 1978 ohjeiden mukaan koneellinen poistoilmanvaihto voitiin puolittaa, kun ulkolämpötila oli $15 \text{ }^\circ\text{C}$ alempi kuin paikkakunnan mitoituslämpötila.

Vuonna 1987 julkaistiin uudet ilmanvaihtoa koskevat määräykset ja ohjeet (RakMk, osa D2, 1987). Huonekohtaiset ulkoilmavirrat otettiin jälleen suunnitteluun mukaan. Uudet poistoilman ohjearvot eivät juuri eronneet vanhoista; oleellisin ero on keittiön poistoilmavirran kytkentä liesikuvun käyttöön. Tämä on yleisesti ymmärretty liesikuvun asennuspakkona.

Yhteenvedona asuntoilmanvaihtoon liittyvistä määräyksistä ja ohjeista voidaan todeta, että ilmanvaihto oli 1940-luvulla suuri, asuinhuoneissa $1 - 1,5 \text{ l/h}$. Vuoden 1954 normaaliohjeissa poistoilmavirrat pienenevät oleellisesti aikaisemmasta käytännöstä lähes nykyiselle tasolle lukuun ottamatta keittiön poistoilmavirtaa, joka hieman pieneni vielä vuoden 1966 ohjeissa. Poistoilmavirtojen tilakohtaiset

ohjearvot ovat niin suuria, että alle 100 m²:n asunnon kokonaisilmanvaihtokertoimeksi tulee yli 0,5 1/h pelkästään keittiön ja kylpyhuoneen poistoilmavirroilla. Tämä on osaltaan johtanut ilmavirtojen kello-ohjattuun puolittamiskäytäntöön, joka ei ole asukkaan kannalta tyydyttävä ratkaisu.

Taulukko 4. Asuintilojen poistoilmavirtojen tilakohtaisia ohjearvoja (RakMK, osa D2, 1978 ja 1987).

HUONE-TILA	1978		1987
	Poisto-ilma-virta (dm ³ /s)	Huomautuksia	Poisto-ilma-virta (dm ³ /s)
Keittiö, keittokomero, keittokaappi	22	12 riittää, jos on mahdollisuus riittävään ilmanvaihdon tehostamiseen ruoanlaiton aikana tai jos pienasunnon kokonaisilmanvaihto tulee muutoin yli 1,5 kertaiseksi.	20 ^{a)}
Apukeittiö, huoltohuone	12	-	-
Kylpyhuone	16	8 riittää, jos on joko mahdollisuus tuuletukseen helposti avattavan ikkunan kautta tai muuhun ilmanvaihdon riittävään tehostamiseen käytön jälkeen.	15
WC	8	2 riittää, jos on mahdollisuus ilmanvaihdon riittävään tehostamiseen käytön jälkeen. Oltava alipaineinen.	10
vaatehuone (> 1 m ²)	3	Helposti avattava tuuletusluukku tai ikkuna korvaa ilmanvaihdon.	3

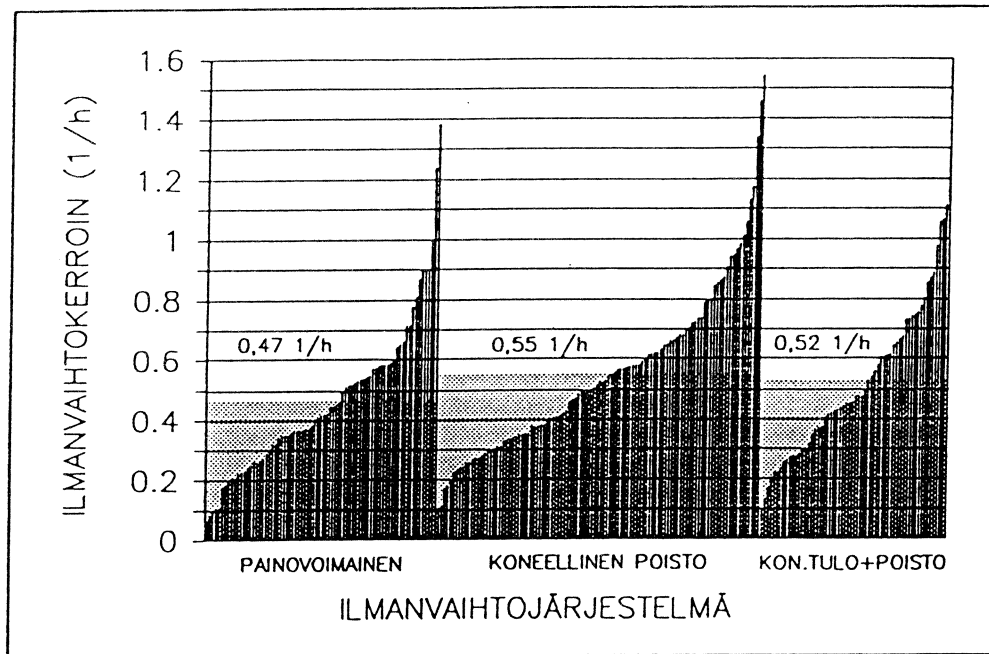
a) 20 dm³/s riittää, kun keittiössä on liesikupu tai vastaava kohdepoisto; ellei, on poistoilmavirta vähintään 50 dm³/s.

Asuntojen ilmanvaihdosta on viime aikoina tehty useita laajoja tutkimuksia sekä Suomessa että Ruotsissa. Ilmanvaihdon vertailuarvona (minimivaatimuk-sena) on tutkimuksissa yleensä käytetty arvoa 0,5 1/h.

Teknillisen korkeakoulun LVI-tekniikan laboratorio tutki lämmityskaudella 1988 - 1989 ilmanvaihtoa ja sisäilmastoa 251 pientalo- ja kerrostaloasunnossa (Ruotsalainen et al. 1990). Ilmanvaihtokerrointa mitattiin kahden viikon ajan integroivalla vakiopäästömenetelmällä (PFT), joka ottaa huomioon myös tuuletuksen ja vuotoilmanvaihdon. Mitatut ilmanvaihtokertoimet olivat välillä 0,1 - 1,5 1/h, keskiarvo oli 0,52 1/h. Venttiileistä mitatut ilmanvaihtokertoimet olivat keskimäärin 38 % pienempiä kuin integroivalla vakiopäästömenetelmällä mitatut, joten tuuletuksen ja vuotoilmanvaihdon osuus kokonaisilmanvaihdosta oli noin 40 %.

Ennen vuotta 1960 rakennetuissa asunnoissa ilmanvaihtokerroin oli keskimääräistä suurempi (0,68 1/h), kun taas vuosina 1976 - 1980 rakennetuissa asunnoissa ilmanvaihto oli keskimääräistä pienempi (0,45 1/h). Ilmanvaihtokertoimen minimivaatimus 0,5 1/h ei toteutunut 52 %:ssa tutkituista asunnoista. Syyksi todettiin ilmanvaihtolaitoksen suunnittelun, toteutuksen ja käytön virheet (Ruotsalainen et al. 1990).

Asuntojen ilmanvaihtuvuoksissa ei ollut suuria eroja eri ilmanvaihtojärjestelmien välillä (kuva 7). Kerrostaloasuntojen ilmanvaihtokerroin (0,64 1/h) oli suurempi kuin pientaloasuntojen ilmanvaihtokerroin (0,45 1/h). Myös asukasta kohti laskettuna kerrostalojen ilmanvaihto oli suurempi (15 dm³/s kerrostaloissa ja 11 dm³/s pientaloissa). Syynä lienee ilmanvaihtolaitoksen tarpeenmukainen käyttö pientaloissa sekä tuuletuksen yleisyys kerrostaloissa (Ruotsalainen et al. 1990).

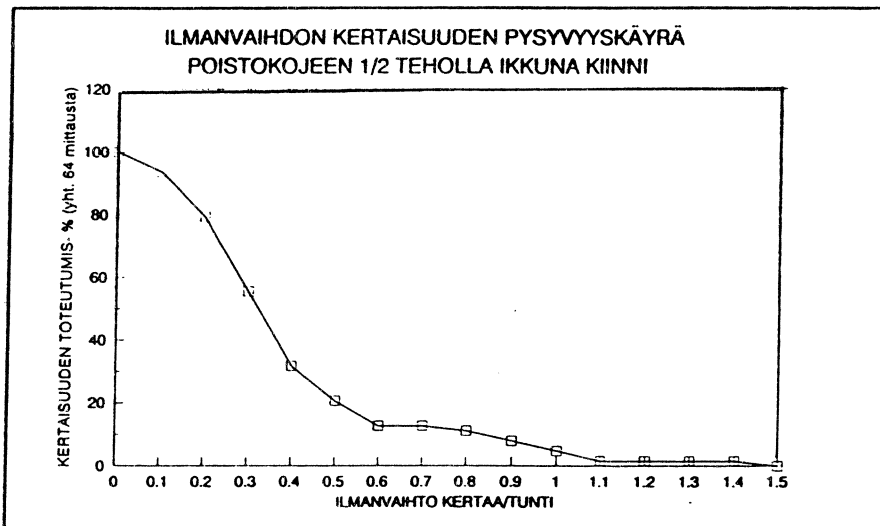


Kuva 7. Pien- ja kerrostaloasuntojen keskimääräiset ilmanvaihtokertoimet ilmanvaihtojärjestelmittäin (n = 242 kpl). Mittaukset tehtiin merkkiainemennettelmällä, joka ottaa huomioon tuuletuksen ja vuotoilmanvaihdon (Ruotsalainen et al. 1990).

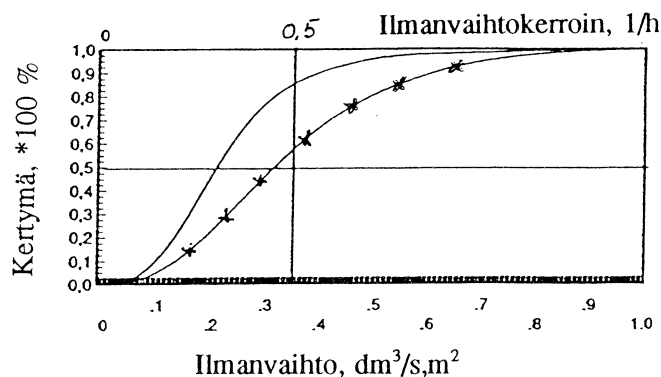
Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto tutki vuoden 1992 syksyllä 20 - 30 vuotta käytössä olleiden koneellisten ilmanvaihtolaitosten kuntoa sekä ilmanvaihdon toimivuutta ja sisäilman laatua 60 kerrostalossa (Dyhr 1993). Tutkimuksen mukaan 1960 - 1970 luvuilla rakennetuissa taloissa oli selvästi epäkuntoisia ilmanvaihtolaitoksia suhteellisen vähän. Ilmanvaihtoa mitattiin poistoilmaventtiileistä, joten vuotoilmanvaihto ja tuuletus eivät ole tuloksissa mukana. Ikkunoiden ollessa kiinni ja puhaltimien toimiessa puolella teholla, toteutuivat nykyisten

rakentamismääräysten (osa D2) mukaiset poistoilmavirtojen ohjearvot noin viidesosassa asuntoja (kuva 8). Ikkunoiden ollessa auki ja puhaltimien toimiessa täydellä teholla toteutui noin kolmasosassa asuntoja ohjearvo 0,5 1/h.

Ruotsissa tehdyn laajan, tilastollisesti edustavan tutkimuksen mukaan omakotitalojen ilmanvaihtokerroin oli keskimäärin pienempi kuin kerrostaloasunnoissa (kuva 9) (Kronvall & Boman 1993). Taulukossa 5 on esitetty tutkimuksessa merkkiainemenetelmällä mitatut ilmanvaihtokertoimet eri asunto-tyypeissä ilmanvaihtojärjestelmän mukaan jaoteltuna (on huomattava, että merkkiainemenetelmä antaa suuremman ulkoilmanvaihdon kuin venttiileistä mitattu). Ilmanvaihtokertoimet ovat sekä Ruotsissa että Tanskassa suomalaisia pienempiä, kerrostaloissa noin 20 % pienempiä Ruotsissa kuin Suomessa.



Kuva 8. Ilmanvaihtokertoimen pysyvyyskäyrä 20 - 30 vuotta käytössä olleissa kerrostaloissa poistoilmaventtiileistä mitattujen ilmavirtojen perusteella (Dyhr 1993).



— Yhden perheen talot —x—x— Usean perheen talot

Kuva 9. Kumulatiivinen ilmanvaihtokerroin ruotsalaisessa asuntokannassa merkkiaimenemelmällä (PFT) mitattuna (Kronvall & Boman 1993).

Taulukko 5. Eri maissa merkkiaimenemelmällä mitatut ilmanvaihtokertoimet eri tyyppisissä asunnoissa ilmanvaihtojärjestelmittäin (Norle'n & Andersson 1993). Suomalaiset tulokset ovat lähteestä (Ruotsalainen et al. 1990).

Rakennus- tyyppi	Ilmanvaihtojär- jestelmä	Ilmanvaihtokerroin, 1/h		
		Ruotsi	Suomi	Tanska
Pientalot	Painovoimainen	0,33	0,41	0,34
	Koneellinen poisto	0,34	0,46	0,54
	Kon. tulo ja poisto	0,41	0,49	-
Kerrostalot	Painovoimainen	0,47	0,62	-
	Koneellinen poisto	0,56	0,68	0,57
	Kon. tulo ja poisto	0,57	0,60	-

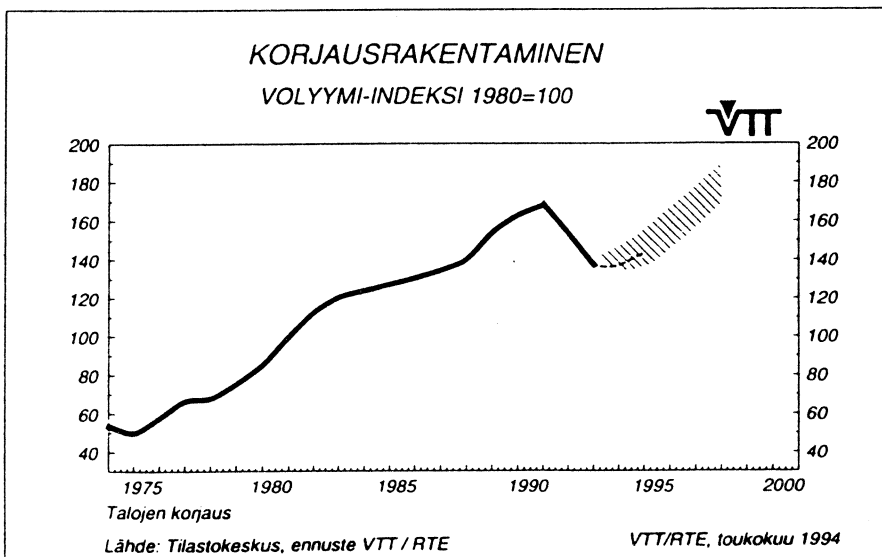
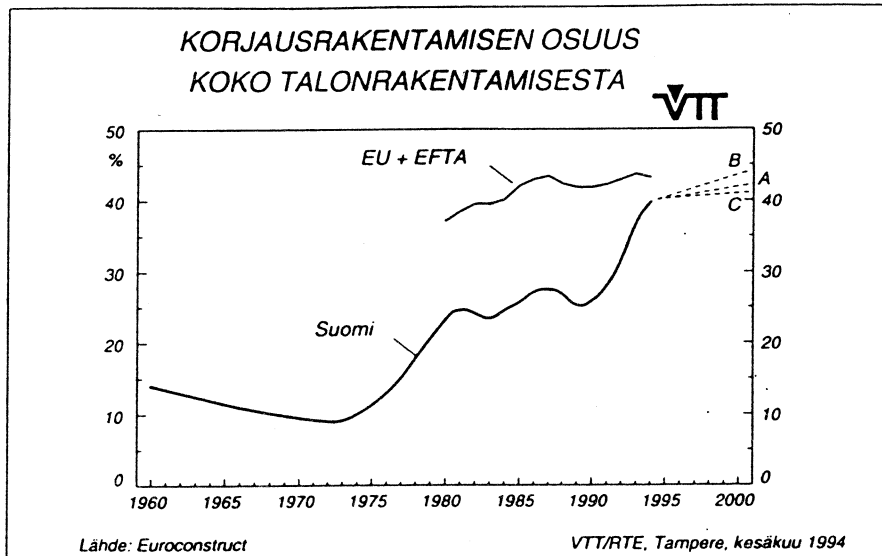
2.5 KORJAUSRAKENTAMISEN TARVE

1950-luvulla rakennetuista taloista suuri osa on heikosti lämpöeristetty ja kylmäsilloja esiintyy paljon. Lämpö- ja vesiputkistot ovat huonokuntoisia ja ilmanvaihto toimii puutteellisesti (Aikkila et al. 1989). Korjauspaineita tulee ennen kaikkea vesi- ja viemärijohtojen osalta, joiden käyttöikä on noin 30 - 50 vuotta. Peltikanavien käyttöikä on yleensä yli 30 vuotta (Heikkilä & Päckilä 1990).

1960- ja 1970-lukujen elementtirakenteisissa kerrostaloissa on elementtirakentamisen kokeilu- ja sisäänajovaiheista johtuvia rakenteellisia virheitä. Esimerkiksi julkisivuelementtien saumat ovat vaurioituneet, jolloin sadevesi on päässyt tunkeutumaan seinärakenteen sisään ja jopa sisätiloihin. Elementeistä koottujen väliseinien ja välipohjien ääneneristyskyky on huono. Koneellisissa ilmanvaihtojärjestelmissä on puutteellinen äänenvaimennus (Aikkila et al. 1989).

Korjausrakentamisen osuus talonrakennusmarkkinoilla on kasvanut huomattavasti 1970-luvun puolivälin jälkeen (kuva 10). Uusien asuntojen varustetasosta ja ominaisuuksista johtuen rakennuskustannukset kasvavat, mutta tilavuudella mitaten uudisrakentaminen kuitenkin vähenee (Aikkila et al. 1989).

Viimeaikaisten ilmanvaihtoon liittyvien tutkimusten mukaan asuntojen ilmanvaihto ei ole riittävä suurimmassa osassa asuntokantaa. Asuntojen muuhun korjausrakentamiseen tulisi liittää myös ilmanvaihdon tarkastus ja korjaus. Monessa kohteessa pelkkä ilmanvaihdon korjaus on usein aiheellinen ja kannattava vielä omana erillisenä toimenpiteenäkin.



Kuva 10. Korjausrakentamisen volyyymi ja osuus koko talonrakentamisesta (Lehtinen 1994).

2.6 KOEKOHTEIDEN VALINTA

Tutkimuksen tavoitteena oli tehdä ilmanvaihdon korjaussuunnitelmat kolmelle tyypillisimmälle asuinkerrostalotyypille, jotka edustavat laajaa joukkoa suomalaista kerrostalokantaa. Talotyyppien valinta tehtiin tilastollisen aineiston perusteella. Yleisyyskriteereinä olivat rakennusten korkeus, huoneistokoko, ilmanvaihtojärjestelmä, ilmanvaihdon kanavointitapa ja kanavamateriaali. Ilmanvaihdon korjaussuunnitelman pohjaksi valittiin Helsingin kaupungin asunto-tuotantotoimiston (ATT) rakennuskannasta seuraavat asuinkerrostalot:

- 1950-luvun 3-kerroksinen kerrostalo, jossa on painovoimainen ilmanvaihto ja tiilistä muuratut ilmanvaihtohormit

- 1960-luvun 7-kerroksinen kerrostalo, jossa on koneellinen poistoilmanvaihto ja rakenneainekanaavat
- 1970-luvun 7-kerroksinen kerrostalo, jossa on koneellinen poistoilmanvaihto ja peltikanavat.

3 PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO 1950-LUVUN ASUINKERROSTALOSSA

3.1 KOEKOHDE

Rakennus (Sahanmäki) valmistui Helsingin Maunulaan vuonna 1955. Se sijaitsee vähäliikenteisen Rajametsäntien varressa. Rakennuksessa on kolme asuinkerrosta sekä pohjakerros, jossa on varastotiloja, autovajoja, kampaamo, pyykinpesutilat ja saunaosasto. Rakennuksessa on neljä portaikkoa. Rakennuksen tilavuus on 8 400 m³. Huoneistojakauma on seuraava:

1 h + kk 26 m² 12 kpl

2 h + kk 49 m² 12 kpl

3 h + kk 63 m² 12 kpl.

Rakennus on liitetty kaukolämpöverkkoon. Asuntojen lämmitys on hoidettu vesiradiaattoriverkoston avulla. Huonelämpötilaa säädetään termostaattisilla patteriventtiileillä.

Rakennuksessa on painovoimainen ilmanvaihto. Poistoilmaventtiilit sijaitsevat keittokomeroissa, kylpyhuoneissa ja suuremmissa huoneistoissa myös vaatehuoneissa. Jokaisen poistoventtiilin ilma on johdettu omassa hormissa katolle asti. Poistoventtiileinä on säädettävät valurautarilit. Ruokakomeron ulkoseinässä on ulkoilmaventtiilit ruoan jäähtymiseen. Muita ulkoilma-aukkoja asuinhuoneistoissa ei ole. Yhtiössä toteutettiin laaja peruskorjaus vuonna 1994, mm. vesiputkistot uusittiin.

3.1.1 Asukaskysely

Asukaskyselyyn vastasi 34 taloudesta 18. Talouksien taustatiedot on esitetty ks. liitteen A taulukossa 1.

Asunnon ilman raikkautta piti erittäin hyvänä 6 %, hyvänä 17 %, kohtalaisena 56 % ja huonona 22 % haastatelluista. Syynä huonoon ilman laatuun olivat mm. naapurihuoneistoista kulkeutuvat hajut ja käryt. Liitteen A taulukossa 2 on esitetty asukkaiden mielipiteiden jakautuminen eri tilojen ilman raikkaudesta.

Yli puolet asukkaista (56 %) halusi tehokkaampaa ilmanvaihtoa keittiöön, varsinkin ruoan laitton ajaksi. Ikkunatuuletusta käytettiin keittiössä yleisesti (61 %) ruoan laitton aikana, vaikka siitä aiheutui veto-, melu- ja pölyhaittaa. Joihinkin asuntoihin oli asennettu hormiin puhaltava liesituuletin.

Kylpyhuoneeseen halusi noin joka kolmas (28 %) tehokkaamman ilmanvaihdon. Kaksi kolmasosaa kertoi kosteutta tiivistyvän peilin pinnalle suihkussa käynnin yhteydessä. Kahdessa asunnossa kosteutta tiivistyi myös seiniin, mikä piti kylpy-

huoneen kosteana useita tunteja peseytymisen jälkeen. Ilman kosteuteen vaikutti osaltaan pyykinkuivaus kylpyhuoneessa. Vuodenajalla ei ollut selvää yhteyttä kylpyhuoneen kosteuteen. Liitteen A taulukossa 3 on esitetty päivittäisten suihkussa käyntien ja pyykinkuivausten yleisyys.

Kysymykseen "mikä ilmanvaihtojärjestelmä on kiinteistössä" noin kaksi kolmasosaa (61 %) ei osannut vastata. Viidesosa oli sitä mieltä, että asunnossa ei ole minkäänlaista ilmanvaihtoa. Yksi asukas luuli ilmanvaihtoa koneelliseksi.

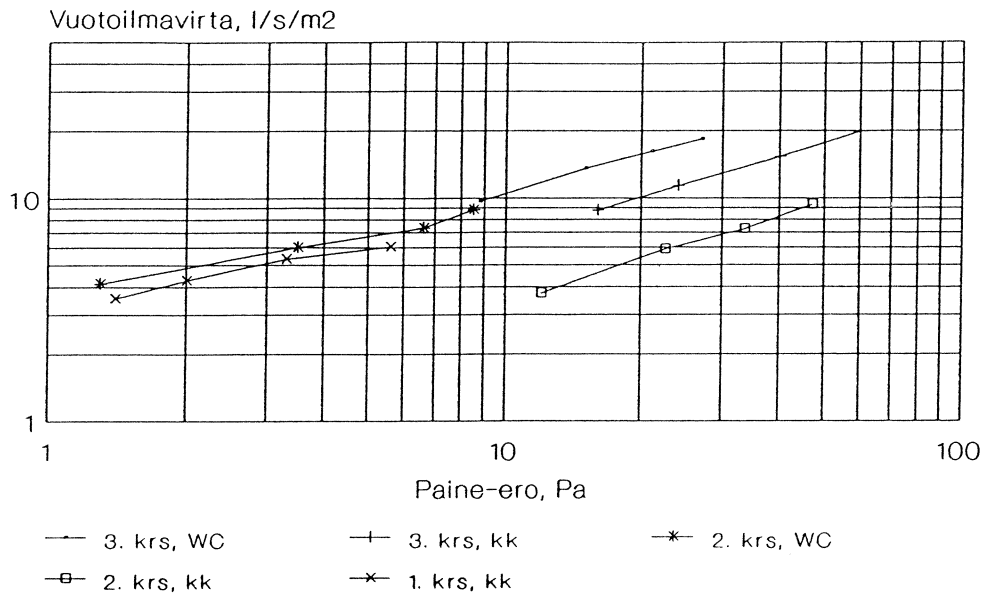
Puolet asukkaista ilmoitti tietävänsä sen, miten venttiilien avulla voi säätää ilmanvaihtoa. Kaksi kolmasosaa ilmoittikin itse puhdistavansa keittiön venttiilit. Yhdessä asunnossa venttiilit oli puhdistanut huoltomies. Tarpeenmukaisesti säädettävää ilmanvaihtoa halusi yli puolet (56 %) haastatelluista.

3.1.2 Mittaukset

Mittauksin selvitettiin rakennuksen painesuhteita ja ilmavirtoja. Yhdestä hormiryhmästä mitattiin hormien tiiviys ja tehtiin savun avulla havainnot hormien keskinäisistä vuodoista. Neljässä asunnossa mitattiin ulkoseinien ja välipohjien kokonaisvuotoilmavirta.

Mittausten mukaan ilmanvaihtohormit olivat erittäin hatarat (kuva 11). Tiiveimmän hormin vuotoilmavirta 50 Pa:n paine-erolla oli noin 10-kertainen ja hatarimman hormin noin 30-kertainen nykyisten rakentamismääräysten mukaiseen K-luokan tiiviysvaatimukseen verrattuna (kuva 17). Esimerkiksi Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto edellyttää korjausrakentamisessa alipaineiselta poistoilmahormilta vähintään K-luokan tiiviyttä (Ohje 3/92). Hormit olivat yläosastaan pahoin rapautuneet. Savukokeiden mukaan hormit vuotivat toisiinsa havaittavasti myös hormien alaosissa ilman hormien paineistustakin.

Venttiilien poistoilmavirrat mitattiin seitsemässä huoneistossa. Venttiilien säätöasentoa ei muutettu mittauksen ajaksi, joten mittaustulokset edustivat normaalia käyttötilannetta. Taulukossa 6 on esitetty venttiilien poistoilmavirrat, paine-erot ulkoseinien ja huoneisto-oven yli sekä huoneiston ilmanvaihtuvuus. Mittauspäivänä vallitsi puuskainen tuuli, joten venttiilien ilmavirrat ja paine-erot vaihtelivat. Joissakin vaatehuoneiden venttiileissä esiintyi ilman takaisinvirtausta, mikä johtui tuulen aiheuttamista paikallisista painevaihteluista hormin yläpäässä ja poistoilmaventtiilien pienestä auktoriteetista (taulukko 7). Kun venttiilien ja hormien virtausvastukset olivat pieniä, aiheuttivat tuulen paikalliset painevaihtelut hormin yläpäässä poistoventtiileihin takaisinvirtausta.



Kuva 11. Hormien vuotoilmavirta hormin vaippapinta-alaa kohti paine-eron funktiona (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

Yksiöissä toteutui nykyisten rakentamismääräysten (osa D2) mukainen ilmanvaihtovaatimus 0,5 l/h. Suuremmissa huoneistoissa ilmanvaihtuvuutta ei määritetty. Syynä oli se, että WC:n poistoilmavirtaa ei voitu mitata, koska poistoventtiilin eteen oli asennettu kiinteä kaappi siten, että kaappi peitti venttiilin osittain.

Neljässä huoneistossa mitattiin poistoilmaventtiilien ilmavirrat ja paine-erot sekä ikkunoiden ollessa kiinni että auki. Mittauspäivä oli tyyni ja ulkolämpötila oli noin 9 °C. Tulokset on esitetty taulukossa 7. Venttiilien yli vallitseva paine-ero oli olemattoman pieni verrattuna ulkoseinien yli vallitsevaan paine-eroon (vrt. taulukko 6). Ikkunan ollessa auki oli poistoventtiilien ilmavirta vähintään kaksinkertainen verrattuna tilanteeseen, jolloin ikkunat olivat kiinni.

Ensimmäisen kerroksen huoneistot olivat ylipaineisia ja ylimmän kerroksen huoneistot olivat alipaineisia rappuun nähden, joten alimpien kerrosten hajut tunkeutuivat rappukäytävän kautta ylimpien kerrosten huoneistoihin.

Taulukko 6. Venttiilien poistoilmavirrat, huoneiston ja ulkoilman (Δp_{h-u}) välinen paine-ero, huoneiston ja rappukäytävän välinen paine-ero (Δp_{h-r}) sekä huoneiston ilmanvaihtuvuus (n). Mittauspäivänä ulkolämpötila oli noin $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, tuuli oli puuskainen (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

Huoneisto/ kerros	Sisä- lämpö- tila ($^{\circ}\text{C}$)	Poistoventtiilin ilmavirta (dm^3/s)	Ilman- vaihtu- vuus, n (1/h)	Paine-erot	
				Δp_{h-u} (Pa)	Δp_{h-r} (Pa)
1 h + kk 1. krs	23,6	kk 2,3 - 3,8 WC 6,9 - 9,2	0,51 - 0,72	6...9	- 2 ^{a)}
2 h + kk 1. krs	23,0	kk 1,5 - 3,1 WC ^{*)}	-	7...10	-2 ^{a)}
2 h + kk 2. krs	23,9	kk 10,7 - 13,8 WC ^{*)}	-	5...8	2...3
1 h + kk 2. krs	21,9	kk 10,7 - 15,3 WC 1,5 - 7,6	0,68 - 1,27	8...10	2...4
3 h + kk 2. krs	22,9	kk 1,5 - 7,6 WC ^{*)} VH 4,6 - 13,8	-	3...5	0,4...1,4
1 h + kk 3. krs	23,2	kk 4,6 - 12,2 WC 4,6 - 10,7	0,51 - 1,27	3...5	3...6
3 h + kk 3. krs	22,5	kk 4,6 - 7,6 WC ^{*)} VH 1,5 - 3,1	-	0...11	0,5...2

a) huoneisto ylipaineinen rappukäytävään nähden

*) venttiilin ilmavirtaa ei mitattu, koska venttiilin edessä oli kiinteä kaappi

Neljän huoneiston kokonaistiiviys mitattiin. Kokonaisvuoto sisälsi kaikki huoneisto-ovien rajoittavien seinien, välipohjien ja huoneiston ulko-oven vuodon. Huoneistojen tiiviys oli melko heikko (taulukko 8). Savuhavaintojen mukaan suurimmat vuotokohdat olivat huoneisto-ovien karmeissa ja postiluukussa (huoneisto-ovissa ei yleensä ollut tiivisteitä). Näiden vuotojen eliminoiminen paransi yhden huoneiston tiiviyttä oleellisesti.

Taulukko 7. Poistoilmaventtiilien ilmavirrat sekä venttiilien yli vallitseva paine-ero sekä ikkunat kiinni että ikkunat auki tilanteessa (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

Huoneisto / kerros	Venttiili	IKKUNAT KIINNI		IKKUNAT AUKI	
		$\Delta p_{ventt.}$ (Pa)	q_v (dm ³ /s)	$\Delta p_{ventt.}$ (Pa)	q_v (dm ³ /s)
1 h + kk	kk	0,1	7,6	1,5	18,3
2. krs	Wc	0,1	4,6	3,9	21,4
3 h + kk	kk	0,4	13,8	0,5	27,5
2. krs	WC	0,4	-	2,9	-
	VH	-3...+3	8,4 *)	0,7	25,9
1 h + kk	kk	0	7,6	0,8	26,0
3. krs	WC	0	6,1	0,6	19,9
3 h + kk	kk	0,3	9,2	1,4	22,9
3. krs	WC	1,0	-	2,8	-
	VH	1,0	6,1 **)	1,3	10,7

*) venttiilin ilmavirran suunta vaihteli

**) venttiilin ilmavirran suunta oli huoneistoon päin

Taulukko 8. Huoneiston ilmanvuoto (n_{50} -luku), kun ulkoseinän yli vallitseva koepaine on 50 Pa (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

Kerros	Huoneisto- tyyppi	n_{50} (1/h) ilman tiivistyksiä	n_{50} (1/h) huoneiston ovi tiivistetty
2. krs	1 h + kk	5,54	-
2. krs	3 h + kk	2,17	-
3. krs	1 h + kk	6,09	2,82
3. krs	3 h + kk	2,40	1,99

3.1.3 Johtopäätökset

Asukaskyselyn mukaan kiinteistöön on asennettu hormiin puhaltavia liesituulettimia. Nämä olisi poistettava käytöstä, koska ne ylipaineistavat hormoneja. Hormien huonosta tiiviydestä johtuen ylipaineisesta hormista ilma leviää koko hormiryhmän hormoneihin ja sieltä huoneistoihin. Ilmanlaatua pidettiin kohtalaisena tai huonona (yhteensä 78 % vastanneista). Syyksi ilmoitettiin homeinen haju huoneistoissa ja hajujen leviäminen muista huoneistoista. 56 % vastanneista ilmoitti tarvitsevansa nykyistä tehokkaampaa ilmanvaihtoa keittiöön ja 28 % kylpyhuoneeseen. Kaksi kolmesta kertoi tuulettavansa asuntoaan ilman laadun takia, vaikka siitä aiheutui veto-, melu-, haju- ja pölyhaittaa.

Ilmanvaihtoon tyytymättömien osuutta voidaan pitää niin suurena, että kohteessa olisi painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa parannettava. Kiinteistössä tehtiin vuonna 1994 laaja peruskorjaus, jossa mm. vesiputkistot uusittiin, mutta ainoa ilmanvaihtoon liittyvä toimenpide oli poistoilmaventtiilien vaihtaminen. Ennen peruskorjauspäätöksiä olisi koekohteessa pitänyt tehdä asukaskysely ja ottaa huomioon myös asukkaiden toiveet ilmanvaihdon korjaamisesta.

Mittausten mukaan painovoimainen poistoilmanvaihto toimi rakennuksessa tyydyttävästi. Ikkunoita avaamalla voitiin poistoilmavirtoja tehostaa oleellisesti. Ilma virtasi venttiileissä kuitenkin helposti väärään suuntaan, eli huoneistoon päin, varsinkin silloin, kun ikkunat olivat kiinni. Hormit ja poistoilmaventtiilit olivat väljät, joten ilma virtasi helposti katolta hormia pitkin venttiilille. Pienilläkin tuulen nopeuksilla syntyi joidenkin hormien yläpäähän pieni ylipaine, jolloin hormi toimi ulkoilmakanavana.

3.2 KORJAUSVAIHTOEHDOT

3.2.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon peruskorjaus

Pienet korjaukset

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaedellytyksiä voidaan usein parantaa normaaleilla huoltotoimenpiteillä tai pienillä korjauksilla, jotka eivät vaadi rakennuslupaa. Poistoilmaventtiilit puhdistetaan niin usein, että ilman virtausaukko pysyy avoimena. Samalla on varmistettava siitä, että venttiileitä ei peitetä kalustuksella, tapetoinnilla eikä tavaroilla.

Keittiön, kylpyhuoneen, vaatehuoneen tai makuuhuoneen alkuperäinen ovirako on saattanut pienentyä tai jäädä kokonaan pois väliovien tai lattiapinnoitteiden uusimisen yhteydessä. Tällöin on ovirako palautettava tai asennettava erillinen siirtoilmasäleikkö oveen. Virtausaukon alan tulisi olla lähes yhtä suuri kuin poistokanavan ala. Esimerkiksi kylpyhuoneen siirtoilma-aukon tulee olla vähintään 160 cm^2 , mikä vastaa 2 cm:n ovirakoa 80 cm leveässä ovela.

Ikkunoiden vaihtaminen tai tiivistäminen on voinut pienentää painovoimaisen ilmanvaihdon ilmavirrat riittämättömiksi. Kevyt parannustoimenpide on ikkunatiivisteen osittainen poistaminen, jolloin tavallaan heikennetään rakennuksen tiivyyttä. Tiivistettä poistetaan ikkunan sisäpuutteen yläreunasta 0,2 - 1 m:n matkalta oleskelutilojen, lähinnä makuuhuoneiden, ikkunoista. (Siitonen 1978).

Järjestelmän parantaminen

Erillisten ulkoilmaventtiilien asentaminen painovoimaisen ilmanvaihdon rakennukseen tuo mukanaan sekä hyviä että huonoja puolia. Ne puoltavat paikkaansa, jos rakennus on niin tiivis, että ilmanvaihto ei toimi. Tällöin oleskelutiloihin, lähinnä makuuhuoneisiin, asennetut ulkoilmaventtiilit mahdollistavat tarkoituk-

senmukaisen ilmanjaon. Haittapuolia ovat vetoisuuden ja läpivirtausmahdollisuuden lisääntyminen. Ulkoilmaventtiilien tulisi olla säädettäviä tai vielä paremmin automaattisesti säätyviä, esimerkiksi ulkolämpötilan mukaan ohjautuvia.

Painovoimaisen järjestelmän ulkoilmaventtiilit mitoitetaan suuremmiksi kuin koneellisen poistojärjestelmän ulkoilmaventtiilit pienemmän käytettävissä olevan paine-eron takia. Mitoitus on syytä tehdä kerroskohtaisesti ottaen huomioon poistohormin yläpään ja ulkoilmaventtiilin välinen korkeusero taulukon 9 mukaisesti.

Taulukko 9. Ulkoilmaventtiilin mitoitusperusteita painovoimaisessa ilmanvaihdossa. Perusteet: sisä- ja ulkoilman lämpötilaero on 20 °C, venttiilin paine-ero on 2/3 termisestä paine-erosta. Venttiilin virtausala on laskettu olettaen kertavastuskertoimeksi 2,8, joten virtausalat eivät ole yleispäteviä vaan viitteellisiä.

Poistohormin yläpään ja ulkoilmaventtiilin korkeusero, m	Venttiilin paine-ero, Pa	Venttiilin virtausala, cm ²	
		Ilmavirta 4 dm ³ /s	Ilmavirta 8 dm ³ /s
3	1,7	76	153
6	3,4	54	108
9	5,2	44	88
12	6,9	38	76
15	8,6	34	68
18	10,3	31	62
21	12,0	29	58

Markkinoilla on läpi virtaavan ilman lämpötilan mukaan säätyviä ulkoilmaventtiilejä. Niiden käyttöön liittyy kuitenkin ongelmia. Jos tuuli aiheuttaa ulkoilmaventtiiliin alipaineen, virtaa ilma huoneesta ulospäin. Läpi virtaava lämmin sisäilma vielä suurentaa virtausaukkoa ja läpivirtaus kasvaa. Pelkän ulkolämpötilan mukaan säätyvä venttiili toimii laskelmien (luku 3.2.5) mukaan hyvin.

Poistoilmaventtiilien tulisi olla säädettäviä, esimerkiksi kaksiasentoisia, jolloin pienempää asentoa käytetään talvikuukausina. Suurempaa asentoa voidaan käyttää myös talvella, kun on tarvetta lisätä ilmanvaihtoa. Myös tämän vaihtoehdon toimintaa on laskettu (luku 3.2.5). Paras ratkaisu olisi ulkolämpötilan mukaan automaattisesti ohjautuvat poistoilmaventtiilit.

Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostukseen on aikaisemmin yleisesti käytetty hormien yläpään asentettuja ns. tuuliroottoreita, joita markkinoidaan myös nykyään Keski-Euroopassa. Ne toimivat lämpimällä ja tuulisella säällä halutulla tavalla. Sen sijaan kylmällä ja tuulisella säällä tuuliroottori kasvattaa helposti ilmanvaihdon liian suureksi.

Jäljelle jäävät ongelmat

Painovoimaisen ilmanvaihdon moitteeton toiminta edellyttää asukkaan aktiivisuutta käytössä, esimerkiksi ikkunatuuletusta lämpimänä vuodenaikana. Jäljelle jää kuitenkin vielä kaksi ongelmaa: ruoan käryjen poisto ja takaisinvirtaus poistoilmahormeista.

Ruoankäryjen poistoa voidaan jossain määrin tehostaa edellä mainituilla tehostettavilla poistoilmaventtiileillä ja lisäksi suurikokoisella liesikaavulla. Jos halutaan käyttää liesituuletinta, joka puhaltaa ilman hormistoon, on poistokanava uusittava ehdottoman tiiviiksi, jotta estetään ruoankäryjen leviäminen hormivuotojen kautta naapureihin. Liesituuletinta käytettäessä on avattava ikkuna, jotta virtaussuunta asunnon muissa poistohormeissa ei käännä. Ilman kierrätyksellä ja suodatuksella varustetun liesituulettimen asentamiselle ja käytölle ei ole esteitä.

Takaisinvirtaus poistohormeissa voi saada alkunsa paitsi liesituulettimen käytöstä myös epäedullisista tuulioloista, esimerkiksi jos avataan ikkuna tuulen alapuolelta. Takaisinvirtauksen vaaraa voidaan vähentää keskittämällä suuri osa järjestelmän painehäviöstä poistoilmaventtiiliin. Tällöin on kuitenkin suurennettava ulkoilma-aukkoja ja ilman läpivirtausvaara huoneistossa lisääntyy.

3.2.2 Painovoimaisesta koneelliseen poistoilmanvaihtoon

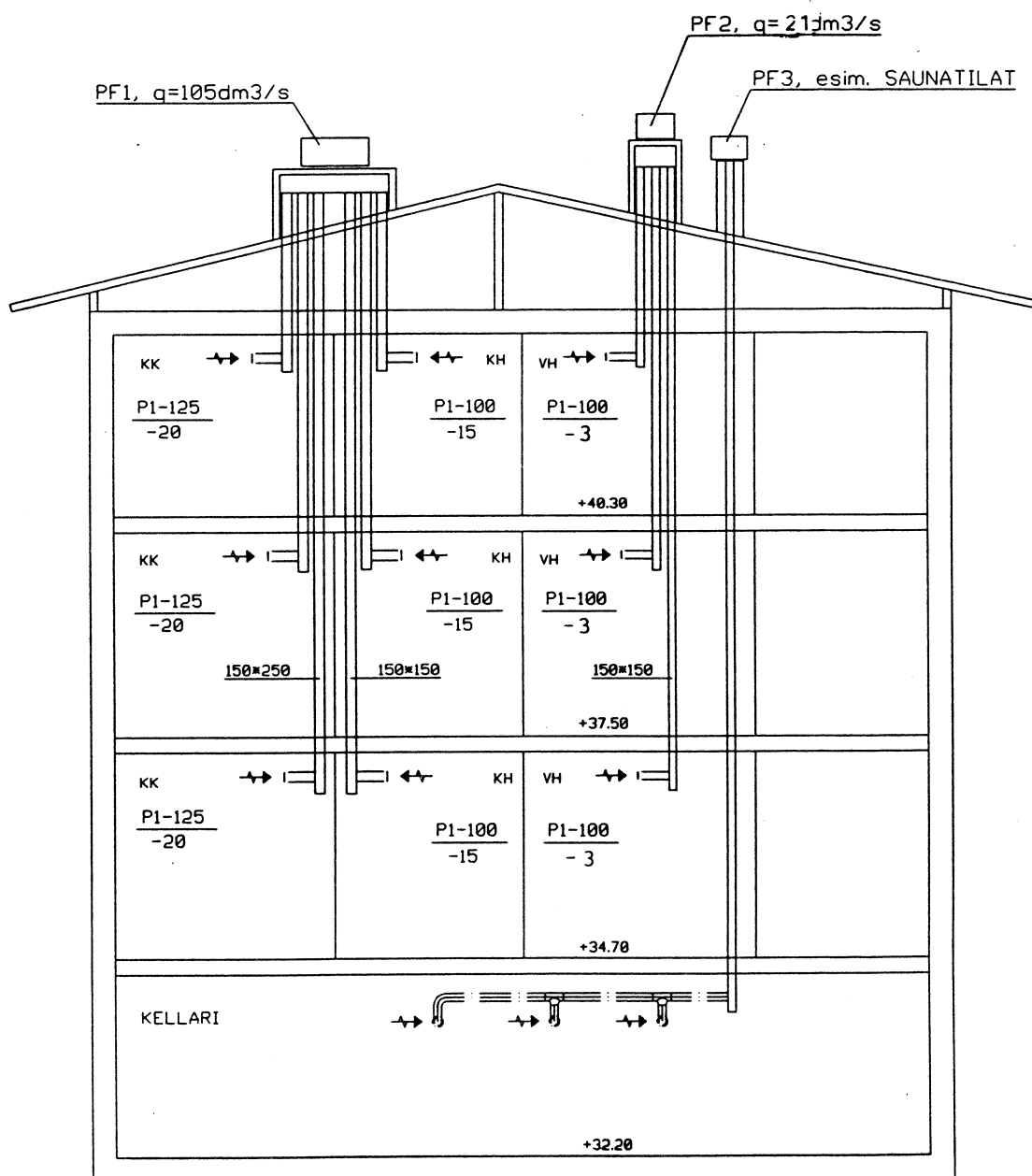
Painovoimainen ilmanvaihto täydennettynä apupuhaltimella

Jokaiseen hormiryhmään voidaan asentaa uudenmallinen huippuimuri, joka on pysäytettynä kylmällä säällä. Kun ulkoilma lämpiää, puhallin käynnistyy puolella nopeudella. Ulkolämpötilan edelleen noustessa puhallin kytkeytyy täydelle nopeudelle. Huippuimuriin voidaan asentaa myös putkisto, joka muodostaa lämmöntalteenoton. Lämpö voidaan hyödyntää esimerkiksi porraskäytävän lämmitykseen tai käyttöveteen.

Ongelmana voi olla jäteilman kosteuden tiivistyminen pakkasella pysäytettynä olevaan huippuimuriin. Käynnistettäessä huippuimuria jäänyt moottori rikkoutuu helposti. Järjestelmää (SPAR-VEN) on kokeiltu Ruotsissa ja todettu, että se täytti odotukset. Mittaukset osoittivat, että ilmavirrat olivat hallittuja koko vuoden. Asukkaiden mielestä ilmanvaihto parani selvästi apupuhaltimen asentamisen jälkeen (Hector & Rämner 1988).

Matalapaineinen koneellinen poistoilmanvaihto

Painovoimainen poistoilmanvaihtojärjestelmä olisi helposti muutettavissa koneelliseksi poistoksi asentamalla poistohormin päähän poistoilmapuhallin ja vaihtamalla poistoilmaventtiilit (kuva 12). Poistoilmaventtiilien tulisi olla tehostettavia, jotta asukas voisi lisätä ilmanvaihtoa tarpeen mukaan. Vanha painovoimaisen ilmanvaihdon kanavisto soveltuu yleensä hyvin väljyytensä puolesta venttiilitehostaiseen järjestelmään.



Kuva 12. Huippumurit, kanaviston kaaviokuva ja poistoilmaventtiilien ilmavirrat (dm^3/s) (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

Puhaltimen paine-eron on oltava selvästi pienempi kuin nykyisissä huippuimureissa, koska painovoimaisen ilmanvaihdon kanavisto on hatarampi kuin nykyisin käytettävät peltikanavat. Koneelliseen poistoon siirryttäessä ei yksittäisten hormien vuodoilla ole suurta merkitystä. Tärkeintä on, että koko hormiryhmä on tiivis ulospäin. Hormiryhmän ulkopuolinen tiivistäminen voi siten tulla korjaustoimenpiteenä kysymykseen.

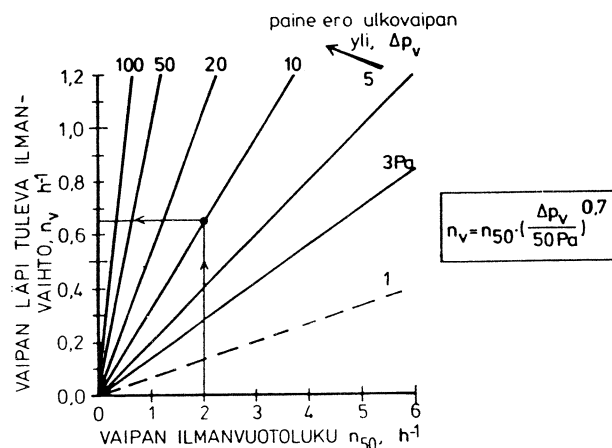
Normaalipaineinen koneellinen poistoilmanvaihto

Vanhat painovoimaisen järjestelmän rakenneainekanaavat ovat yleensä niin hataria, että ne eivät ilman tiivistämistä sovellu koneelliseen poistoilmanvaihtoon, jossa poistoilmaventtiilien käytettävissä oleva paine-ero on 50 - 100 Pa. Rakenneaineiset kanavat voidaan tiivistää betoniruiskutustekniikalla tai sujuttamalla kanaviin alumiinifolio. Betoniruiskutusmenetelmässä käytetään tarkoitukseen kehitettyä erikoisseosta, joka tarttuu hyvin seinämiin. Alumiinifolion koko ja paksuus voidaan valita käyttökohteen mukaan. Esimerkiksi alipaineiseen hormiin on käytettävä jäykkää foliolaatua, jotta folio ei irtoa hormin seinämistä. Kanaviston tiivistäminen on syytä teettää alaan erikoistuneilla yrityksillä.

Rakennusvalvontaviranomaiset eivät yleensä vaadi korjattavilta rakenneainekanaavilta niin hyvää tiiviyyttä kuin uudisrakentamisessa. Esim. Helsingin kaupungin rakennusvalvonta hyväksyy korjausrakentamisessa koneellisen poiston kana-ville tiiviysluokan K (RakMk,osa D2, 1987, Ohje 3/92).

Painovoimaisen ilmanvaihdon hormit ovat yleensä niin väljät, että tarpeenmukainen ilmanvaihto voidaan toteuttaa käyttämällä esim. ajastimella varustettuja tehostettavia poistoilmaventtiilejä. Poistopuhaltimen ominaiskäyrän tulisi tällöin olla laakea, jotta kanaviston painetaso ei oleellisesti muutu, vaikka osassa rakennusta tehostetaan poistoilmavirtoja. Tämä voidaan toteuttaa, jos poistopuhaltimen staattinen paine-ero on korkeintaan 1,5 kertaa venttiilien painehäviö.

Poistoilmaventtiilien ilmavirrat voidaan venttiilitehosteisessa järjestelmässä mitoittaa taulukon 9 mukaan. Ulkoseinän yli vallitsevan paine-eron tulisi olla noin 5 - 15 Pa. Rakennuksen tiivyydestä riippuu, tarvitaanko ulkoilmaventtiilejä.



Kuva 13. Rakennuksen vaipan (rakenteiden) läpi tuleva ilmavirta vaipan paineeron ja rakennuksen ilmavuotoluvun funktiona, kun ulkolämpötila on sama kuin sisälämpötila ja tuulen nopeus on pieni. (Heikkinen 1987). Esimerkki: Vaipan ilmavuotoluku on 2 h^{-1} ja ulkoilman hallittua sisäänottoa ajatellen valitaan paineero 10 Pa . Kuvan mukaan rakenteiden läpi on otettava ilmavirta $0,65\text{ h}^{-1}$, joten ulkoilmaventtiileistä ei voida ottaa ollenkaan ilmaa, jos poistoilmavirta on $0,65\text{ h}^{-1}$. (Heikkinen 1987).

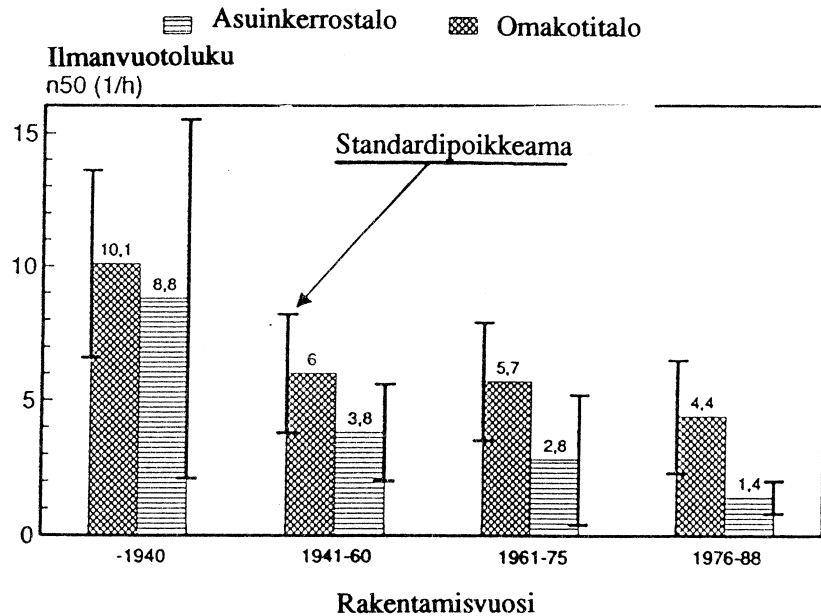
3.2.3 Painovoimaisesta täysin koneelliseen ilmanvaihtoon

Painovoimaisen ilmanvaihdon muuttaminen täysin koneelliseksi ilmanvaihtojärjestelmäksi vastaa käytännössä uuden ilmanvaihtojärjestelmän rakentamista. Korjaus on niin laaja, että yleensä on noudatettava voimassa olevia ilmanvaihtomääräyksiä, mm. ilmavirtojen mitoituksen ja ilmanvaihtolaitoksen tiiviysvaatimusten osalta (ks. luku 2.4). Täysin koneellisen järjestelmän asentaminen olemassa olevaan rakennukseen sisältää ongelmia, joita ei ole uudisrakentamisessa.

Vanhojen rakennusten tiiviys on huonompi kuin uudempien rakennusten (kuva 14). Mitä hatarampi rakennus on, sitä pienemmäksi on koneellinen tuloilmavirta mitoitettava, jotta vältetään tuulen haitalliset vaikutukset ilmanvaihtoon, esim. ilman läpivirtaus ulkoseinistä (Luoma & Kohonen 1990). Korjausrakentamisessa läpivientien lisääminen voi huonontaa rakennuksen tiiviyyttä, jolloin ilmanvaihto ei toimi suunnitellulla tavalla (Eriksson 1988).

Kustannusrakenteeltaan täysin koneellisen järjestelmän rakentaminen olemassa olevaan rakennukseen poikkeaa uudisrakentamisesta sikäli, että purku ja asennustyön osuus ilmanvaihdon korjauskustannuksista on suuri.

Täysin koneelliseen järjestelmään siirtyminen edellyttää käytännössä uuden kanaviston rakentamista. Vanhat rakenneainekanaavat ovat yleensä niin hataria, että ne eivät ilman tiivistämistä sovellu täysin koneelliseen järjestelmään (ks. luku 3.1.2). Ongelmana on usein kanaviston vaatiman tilan puute. Vanhan rakenneaineisen poistohormiston vaatimaan tilaan on luonnollista asentaa poistoilmakanavat.



Kuva 14. 50 omakotitalon ja 30 kerrostalohuoneiston ilmanvuotoluku (n_{50}) eri ikäisissä ruotsalaisissa rakennuksissa (Kronvall & Boman 1993).

Huoneistokohtaisesti säädettävä keskitetty tulo- ja poistoilmajärjestelmä

Taulukko 10. Venttiilikohtaiset ilmavirrat. Keittiön ilmavirtaa voidaan tehostaa arvoon $20 \text{ dm}^3/\text{s}$ (Luoma & Kohonen 1990).

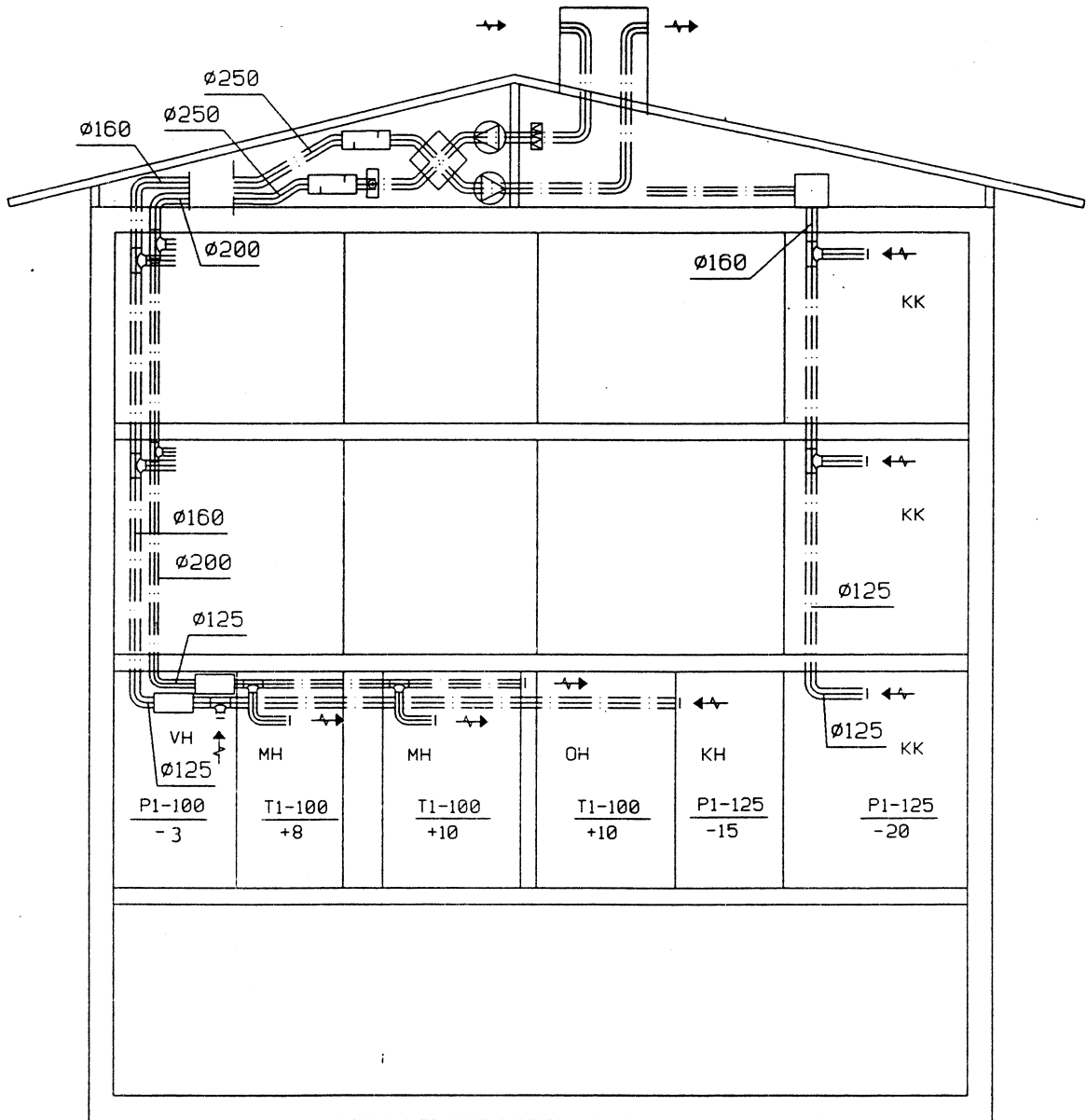
	Poistoilman yhteis- kanavointi	Poistoilman huoneisto- kohtainen kanavointi
Huone	Ilmavirta, dm^3/s	
Keittiö	13 - > 20	6 - > 20
Kylpyhuone	15	15
WC	10	10
Vaatehuone	3	3

Projektiin osallistunut suunnittelutoimisto (Elvicon Oy) suunnitteli täysin koneelliset ilmanvaihdon korjausratkaisut koekohteena olleeseen 1950-luvun asuinkerrostaloon (kuvat 15 ja 16). Kuvan 15 ratkaisussa asennetaan keskitetty tulo- ja poistoilmakone, jossa on poistoilman lämmöntalteenottolaite. Huoneistoissa on ilmavirran ohjauskytkin, jolla asukas voi valita kokonaisilmavaihtomäärän. Esimerkiksi kolmiportaisessa säätimessä voi olla poissaoloasento (alle $0,35 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$), käyttöasento ($0,35 - 1,0 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$) ja tehostus- tai jäähdytysasento ($0,5 - 1,5 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$) (Luoma & Kohonen 1990). Järjestelmässä voidaan käyttää lisäksi tehostettavia venttiileitä, jolloin ilmavirrat voidaan mitoittaa taulukon 10 mukaisesti.

Mitoituksessa on syytä käyttää säädettäville ilmanvaihtokanavistoille suositeltuja suoritusarvoja, jotta ilmavirtojen tehostus toteutuu suunnitellulla tavalla (Luoma & Kohonen 1990). Tähän vaikuttavat ilman nopeus pääkanavissa, joka saisi olla enintään 4 m/s, sekä venttiilien painehäviö, jonka tulisi olla 50 - 100 Pa. Kanaviston painetason hallinta myös tehostustilanteissa edellyttää puhaltimien oikeaa valintaa. Puhaltimen paineensäätö voidaan toteuttaa kolmella tavalla:

- laakea puhallinkäyrä
- 2- tai useampi portainen paineensäätö
- vakiopainesäätö.

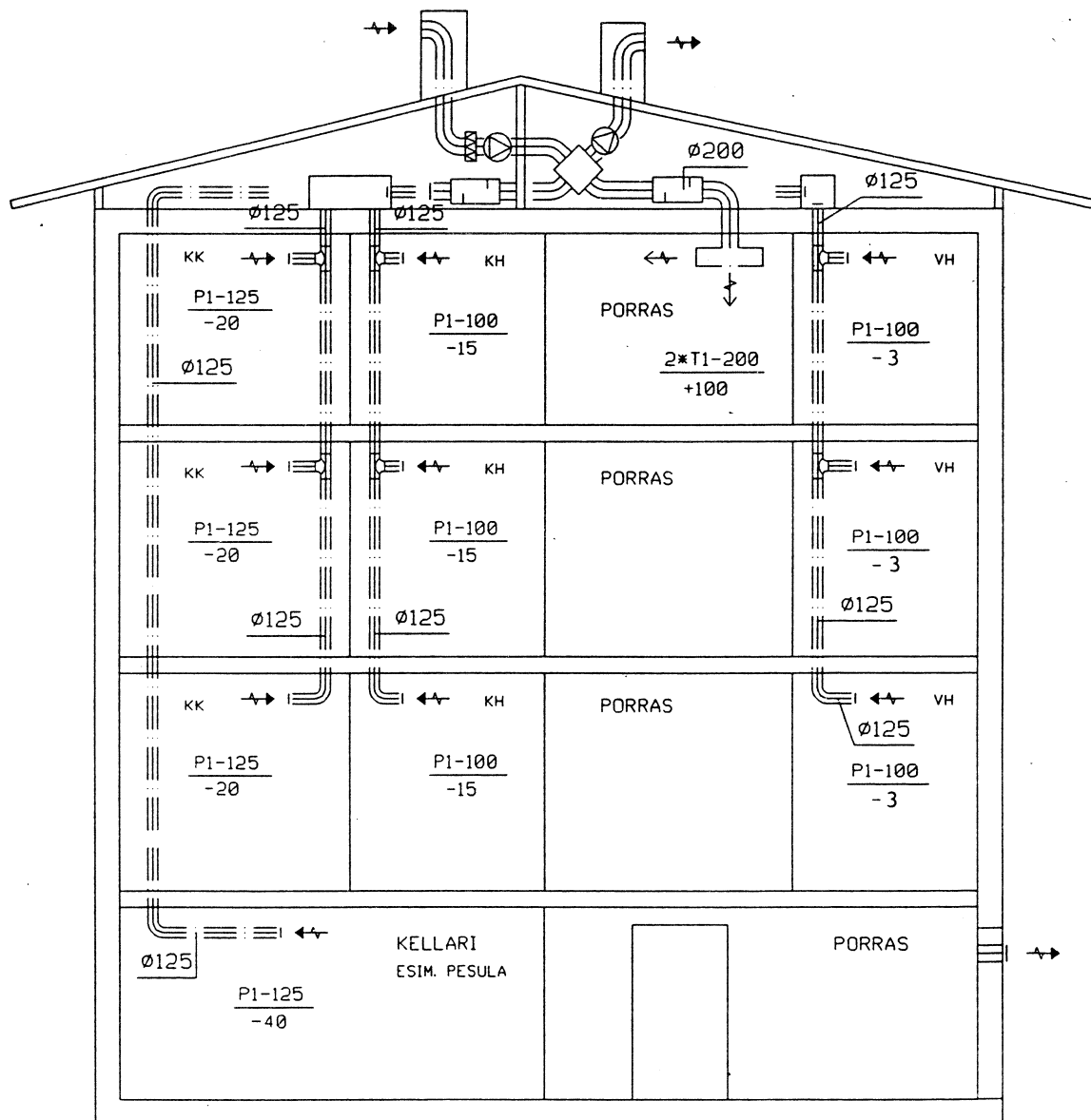
Rakennuksen alipaineisuusvaatimuksen takia koneellinen tuloilmavirta mitoite-
taan 10 - 30 % pienemmäksi kuin poistoilmavirta. Mitä hatarampi rakennus on,
sitä pienemmäksi tuloilmavirta on mitoittettava (ks. kuva 13). Kuvan 15
esimerkissä ilmanvaihtokerroin on 0,87 1/h poistoilmavirrasta laskettuna ja 0,64
1/h tuloilmavirrasta laskettuna. Ilmavirtaero 0,23 1/h aiheuttaa kuvan 13 mukaan
ulkovaippaan noin 2 Pa:n alipaineen, jos vaipan ilmanvuotoluku on 2 1/h.



Kuva 15. Huoneistokohtaisesti säädettävä tulo- ja poistoilmajärjestelmä. Kanaviston ja ilmavirtojen mitoitus (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

Keskitetty koneellinen tulo, poisto ja LTO

Kuvan 16 ratkaisussa asennetaan keskitetty tulo- ja poistoilmakone, jossa on poistoilman lämmön talteenotto. Tuloilma voidaan puhaltaa porraskäytävään (ns. porraskäytävän paineistaminen) tai kanavoida porraskäytävän kautta huoneistoihin. Porraskäytävän paineistuksessa voidaan käyttää siirtoilmakoneita, jotka puhaltavat porraskäytävän ilmaa huoneistoihin. Tämän ratkaisun toimivuutta tarkastellaan lähemmin projektin jatko-osassa.



Kuva 16. Keskitetty koneellinen tulo, poisto ja LTO. Kanaviston ja ilmavirtojen mitoitus (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

Huoneistokohtaiset ilmanvaihtokoneet

Täysin koneellinen ilmanvaihto voidaan vaivattomasti toteuttaa asentamalla huoneistokohtaiset ilmanvaihtokoneet, joissa on tulo- ja poistoilmapuhaltimet sekä lämmön talteenotto. Markkinoilla on olemassa kerrostaloasuntoja ja peruskorjausta varten suunniteltuja malleja.

Kone voidaan sijoittaa keittiöön, kylpyhuoneeseen tai vaatehuoneeseen. Tuloilma kanavoidaan huoneiston seinästä. Voimassa olevien ilmanvaihto-ohjeiden mukaan jäteilma on johdettava rakennuksen katolle. Tätä ohjetta noudatetaan eri paikkakunnilla eri tavoin. Vuonna 1994 valmistuneen tutkimuksen mukaan jäteilma voidaan tietyin edellytyksin puhaltaa myös seinästä ilman ongelmia (Siitonen et al. 1994). Seinäpuhallus voi yleistyä ja saavuttaa rakennuslupaviranomaisten yleisen hyväksynnän, jos käyttökokemukset toteutetuissa koerakennushankkeissa osoittautuvat hyväiksi.

Huoneistokohtaisilla ilmanvaihtokoneilla voidaan sisäilmasto-oloja säätää tarpeen mukaisesti. Koneissa on yleensä kolme tai neljä eri säätöasentoa, ja ainakin liesikuvuissa on lisäksi venttiilikohtainen tehostusmahdollisuus.

3.2.4 Ongelmalliset järjestelmät

Tässä luvussa on esitetty perusteluja sille, miksi jotkut koneelliset järjestelmät eivät sellaisenaan sovellu korjausratkaisuksi painovoimaisen ilmanvaihdon rakennukseen. Näiden järjestelmien rajoittavia tekijöitä ovat mm.:

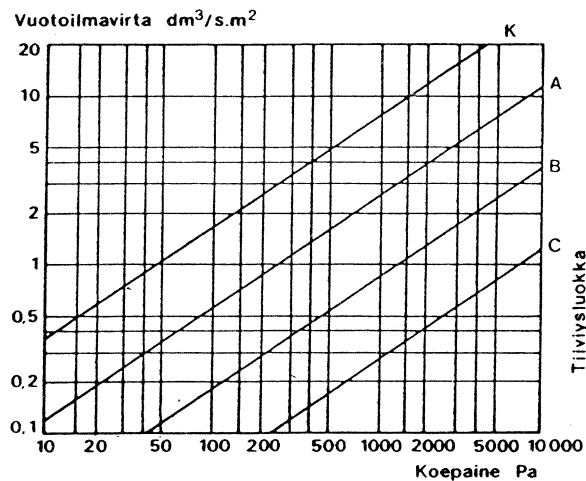
- rakennuksen sisäisten poistoilmakanavien ylipaineisuus, jolle nykyiset rakentamismääräykset asettavat omat tiiviysvaatimuksensa
- huoneiston ylipaineisuus ulkoilmaan nähden, mikä johtaa kosteusongelmiin
- ilman takaisinvirtaus painovoimaisista poistohormeista.

Poistoilmakanavien ylipaineisuus

Voimassa olevien rakentamismääräysten mukaan luokkien 1, 2 ja 3 poistoilma voidaan viedä rakennuksen sisällä ylipaineisessa kanavassa edellyttäen, että kanavan tiiviysluokka on B (kuva 17) ja että samassa roilossa ei ole alipaineisia ulko- tai tuloilmakanavia (RakMk, osa D2, (kohta 3.6.5.6) 1987). Asuintaloissa luokkiin 1 - 3 kuuluvat porras- ja asuinhuoneiden poistoilma. Esimerkiksi WC:n, asuntojen keittiöiden, saunojen ja pesutilojen poistoilma on jo luokkaa 4.

Poistoilmakanavia ylipaineistavia ilmanvaihtojärjestelmiä ovat

- huoneistokohtaiset ilmanvaihtokoneet, kun kone sijaitsee huoneistossa ja jäteilma on kanavoitu rakennuksen katolle
- liesituuletin asennettuna painovoimaisesti toimivaan poistoilmakanavaan (vaarana on myös takaisinvirtaus muista painovoimaisesti toimivista poistohormeista).



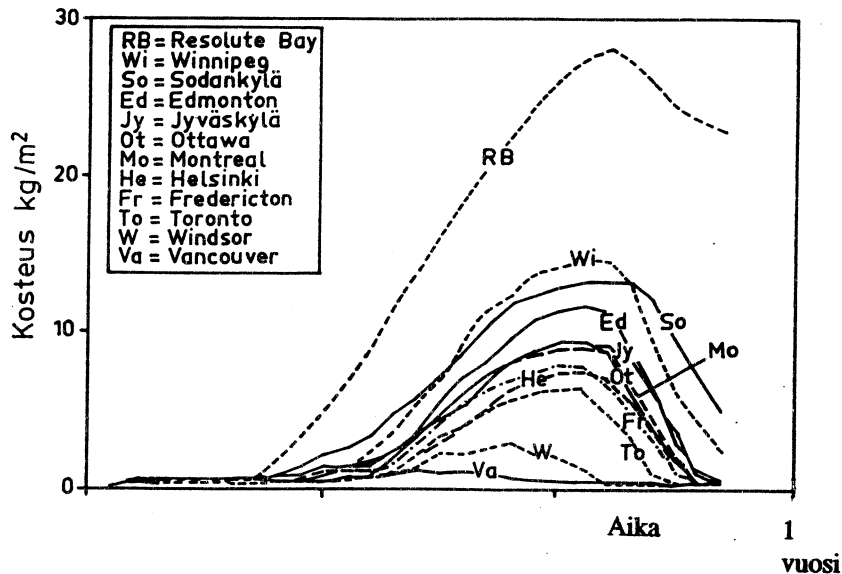
Kuva 17. Tiiviy.luokat (RakMk, osa D2, 1987).

Huoneiston ylipaineisuus

Jos poistoilmanvaihto toimii painovoimaisesti, on koneellisen tuloilmajärjestelmän asentaminen ongelmallista. Huoneistoon voi syntyä ulkoilmaan nähden ylipaineisia tiloja, esimerkiksi silloin, kun makuuhuoneessa on tuloilmapuhallin (ulkoilmapuhallin) ja tiivis makuuhuoneen ovi on suljettuna. Ylipaineesta johtuen huoneilmaa virtaa rakenteiden kautta ulos. Vuotoilman sisältämä kosteus tiivistyy lämmityskaudella rakenteisiin kohdissa, missä ilma saavuttaa kyllästyspisteen. Kosteutta voi kertyä rakenteisiin myös kyllästyspistettä korkeammassa lämpötiloissa riippuen materiaalien tasapainokosteuksista eri suhteellisen kosteuden arvoilla.

Kuvassa 18 on esitetty simulointilaskelmien mukainen rakenteisiin kertynyt kosteus ajan funktiona eri paikkakunnilla (eri ilmasto-oloissa). Laskelmissa huoneistossa oli 10 Pa:n ylipaine ulkoilmaan nähden. Huoneilman suhteellinen kosteus oli 30 %. Vuotoilmavirta oli 0,98 dm³/sm². Simulointien mukaan ulkoilman lämpötila sekä huoneilman lämpötila ja kosteus olivat määrääviä tekijöitä rakenteiden kosteuskertymään; ei niinkään vuotoilman määrä, joka riippui huoneen ylipaineesta ja rakenteiden tiiviydestä.

Rakenteisiin kertynyt kosteus ja jää heikentävät rakenteiden pitkäaikaistoimivuutta. Jää rikkoo rakenteita talviaikaan. Kesäaikana kosteissa rakenteissa kasvavat erilaiset mikrobit (esim. lahottajasisienet ja bakteerit), jotka voivat huonontaa sisäilman laatua jopa siinä määrin, että asukkaiden terveys vaarantuu.



Kuva 18. Simulointilaskelmien mukaan rakenteisiin kertynyt kosteus pinta-alaa kohti ajan funktiona eri paikkakunnilla. Laskentaväli oli 2 viikkoa, alkaen 3. päivä heinäkuuta. Laskenta-aika oli yksi vuosi (Ojanen & Kumaran 1992).

Takaisinvirtaus poistohormista

Kun painovoimaista ilmanvaihtoa täydennetään koneellisella poistoilmanvaihdolla, on vaarana takaisinvirtaus muista painovoimaisesti toimivista hormoneista. Tällaisia poistojärjestelmiä ovat mm.

- kanavaan liitettävä liesituuletin (poistokanava tulee myös ylipaineiseksi)
- huonekohtainen ilmanvaihtolaite, jossa on tulo- ja poistoilmapuhallin ja jossa poistoilmavirta on suurempi kuin tuloilmavirta. Kun tulo- ja poistoilmavirta säädetään yhtä suuriksi, soveltuu huonekohtainen ilmanvaihtolaite painovoimaisen ilmanvaihdon parantamiseksi.

Vastaava tilanne ilmenee käytettäessä kaasukäyttöisiä vedenlämmittimiä, jotka ovat Keski-Euroopassa yleisiä. Englantilaisen tutkimuksen mukaan takaisinvirtausta poistohormista esiintyi jo 2 Pa:n alipaineella (huoneiston alipaine ulkoilmaan nähden) (Shepherd 1992).

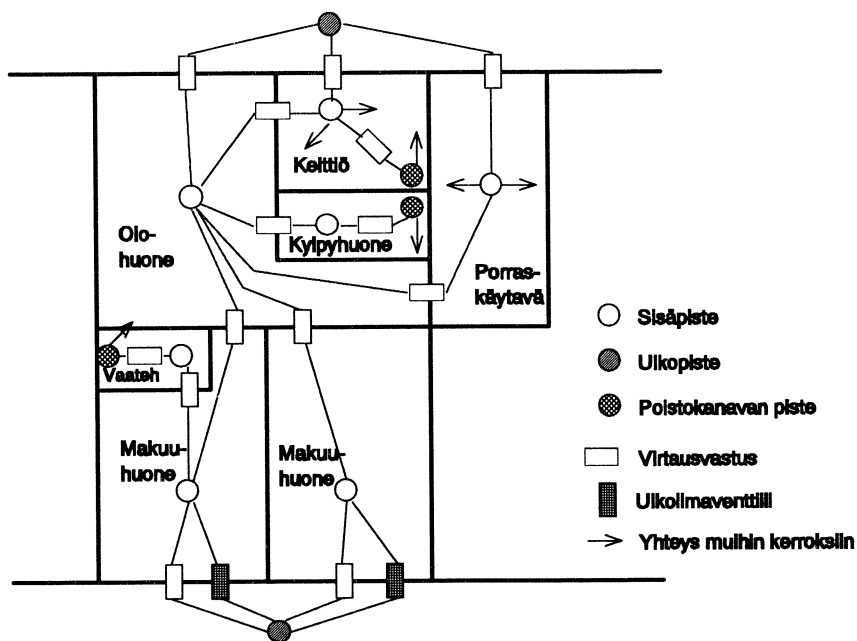
3.2.5 Tietokonesimuloinnit

Eri ilmanvaihtojärjestelmien soveltuvuutta koekohtena olleeseen 1950-luvun asuinkerrostaloon tarkasteltiin tietokonesimuloinnin avulla. Laskennassa rakennusta edusti kolme päällekkäistä 63 m²:n huoneistoa (3 h + kk) ja kellari. Poistoilmaventtiilit sijaitsivat keittiössä, kylpyhuoneessa ja vaatehuoneessa (kuva 19). Aluksi tarkasteltiin koekohteen nykyisen painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta vuositasolla käyttäen lähtötietoina rakennuksesta mitattuja tiiviystietoja (liitte B). Ulkovaipan vuoto jaettiin ikkunan piteuden mukaan eri ulkoseinille, joten ul-

koseinän vuoto oli olohuoneessa suurempi kuin makuuhuoneissa. Lisäksi laskettiin myös erilaisia ulko- ja poistoilmaventtiili- sekä tuuliroottoritapauksia. Laskennan tuloksina saatiin samalla eri vaihtoehtojen ilmanvaihdon energiankulutus, mikä on eräs järjestelmän hyvyyskriteeri.

Laskelmissa käytetty koko vuoden säätiedosto generoitiin Helsinki-Vantaan lentoaseman säätiedoista 30 vuoden keskiarvoista. (Heino & Hellsten 1983). Laskelmissa käytettiin kahta kaksikulotteista taulukkoa: lämpötila/tuulen nopeus ja tuulen suunta/tuulen nopeus. Tiedostossa olivat kaikki esiintyneet lämpötilat 2 asteen välein ja tuulen nopeudet 2 m/s välein. Näiden todennäköisyydet tiedostossa vastasivat tilastoa. Tuulen suunnat valittiin satunnaislukugeneraattorilla siten, että eri suuntien todennäköisyys vastasi 20 %:n tarkkuudella tilastoa.

Laskelmissa sisälämpötila oli 21 °C, kun ulkolämpötila oli alle 15 °C. Sisälämpötila nousi lineaarisesti arvoon 27 °C, kun ulkolämpötila oli 30 °C. Laskennassa maasto edusti kaupunkiolosuhteita, jonka mukaan määräytyivät maastoparametrit ja tuulen painekertoimet.



Kuva 19. Yhden kerroksen vastusverkko. Kerrosten välillä on välipohjavuodot ja poistoilmakanavat.

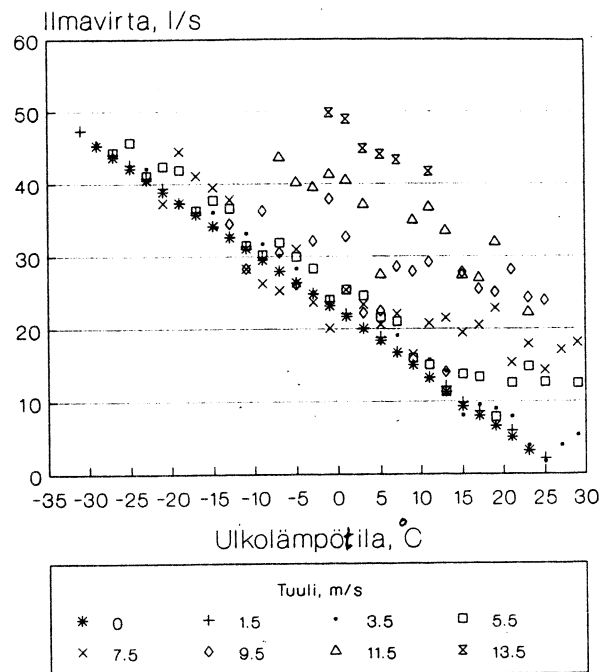
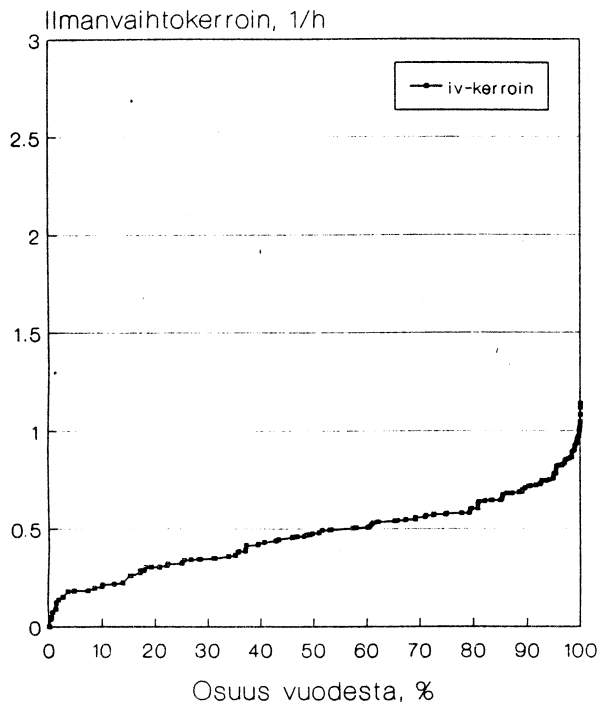
Nykyinen painovoimainen ilmanvaihto

Laskelmissa painovoimaisen ilmanvaihdon poistoilmaventtiilit säädettiin vuoden keskilämpötilassa 4,4 °C tyynessä tilanteessa siten, että toisen kerroksen ilmanvaihtokerroin oli 0,5 1/h. Vastaava poistoilmavirta oli 22 dm³/s, joka jaettiin keittiön, kylpyhuoneen ja vaatehuoneen poistoventtiilien kesken. Venttiili-kohtaiset poistoilmavirrat olivat nykyisten rakentamismääräysten ohjearvoja pienempiä, koska kokonaisilmanvaihtokerroin oli rajoitettu arvoon 0,5 1/h.

Kuvassa 20 on esitetty toisen kerroksen huoneiston ilmanvaihdon pysyvyys vuositasolla sekä samaan huoneistoon tuleva ulkoilmavirta eri sääoloissa nykyisessä tilanteessa, jolloin ulkoilmaventtiileitä ei ole. Tyynessä tilanteessa ilmavirta riippui lähes suoraviivaisesti ulkolämpötilasta. Perussäätötilannetta lämpimämmällä säällä ilmavirta jäi alle mitoitusarvon ja kovilla pakkasilla ulkoilmavirta lisääntyi yli kaksinkertaiseksi. Tuuli lisäsi yleensä ilmanvaihtoa, mutta joillakin tuulen suunnilla ilmanvaihto pieni. Tuulen vaikutus väheni ulkolämpötilan laskiessa.

Asunnon kokonaisilmanvaihto pieni lähes nolnaan ulkolämpötilan noustessa, jos tuulen nopeus oli pieni (kuva 20). Kun tuulen nopeus oli suurempi kuin noin 8 m/s, oli kokonaisilmanvaihto lämpimälläkin säällä jo riittävä (yli 22 dm³/s). Näin voimakas tuuli on kuitenkin harvinainen. Esimerkiksi Helsinki-Vantaan lentoaseman säätilastoissa tuulen nopeus on suurempi kuin 8 m/s vain 1 % ajasta 15 °C:n ulkolämpötilalla. Tuulen nopeus yli 6 m/s on jo tavallisempi: osuus on 9 % 15 °C:n ulkolämpötilassa. Tuulen nopeus 3,5 m/s edustaa tilastossa tuulen nopeuden mediaania tässä lämpötilassa.

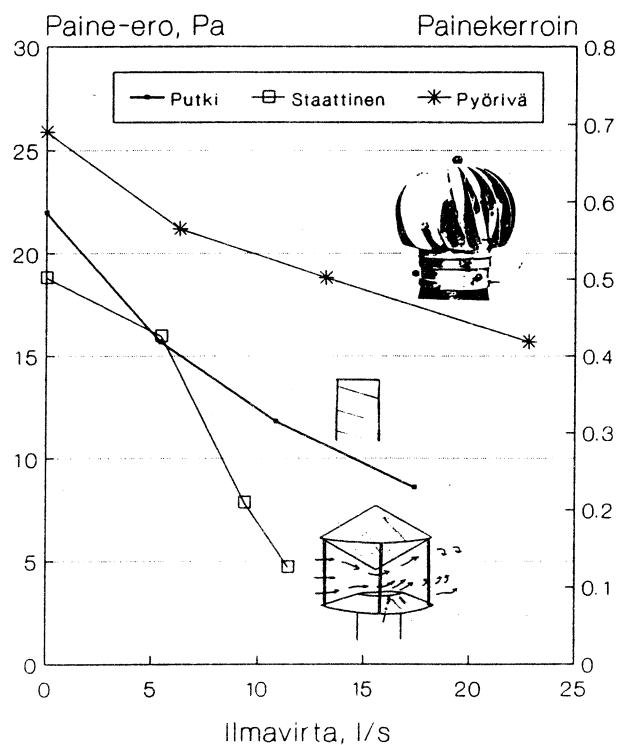
Tuuli vaikuttaa asunnon ilmanvaihtoon kahdella tavalla. Tuuli aiheuttaa ylipainetta tuulen puoleisille seinille ja alipainetta tuulen alapuoleisille seinille, jolloin tapahtuu ilman läpivirtausta. Toisaalta tuuli yleensä suurentaa poistohormin yläpäässä vallitsevaa alipainetta ja lisää siten poistohormin vetoa. Vedon suuruus riippuu rakennuksen ja katon muodosta sekä hormin pään muotoilusta.



Kuva 20. Nykyisen painovoimaisen ilmanvaihdon pysyvyys vuositasolla (vasen) sekä huoneiston ulkoilmavirta eri säätilanteissa (oikea) (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

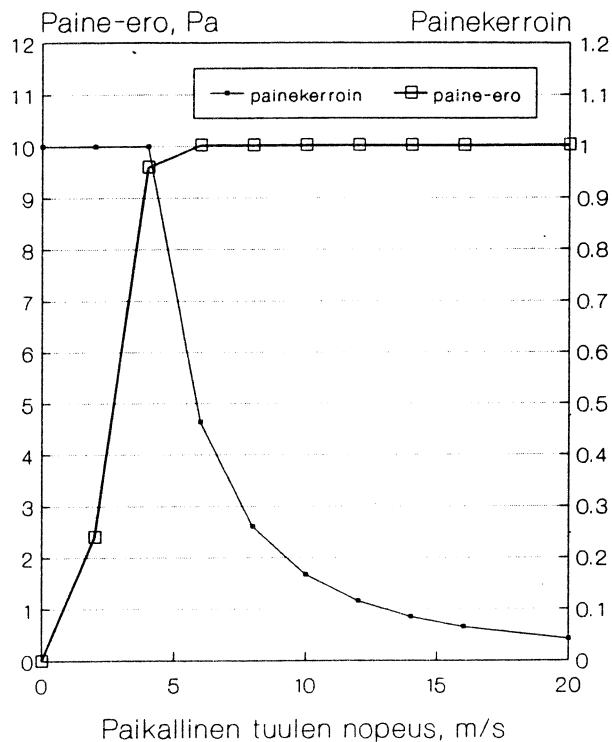
Tuuliavusteinen poistoilmanvaihto

Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostamiseen on usein käytetty tuuliavusteisia ns. tuuliroottoreita. Näiden pääasiallinen tarkoitus on ollut estää ilman kulkeutuminen hormiin (takaisinvirtaus). Takaisinvirtausta esiintyy helposti, jos asunnon eri hormit sijaitsevat katolla erilaisen tuulenpaineen alueella. Kuvassa 21 on esitetty koetuloksia siitä, kuinka suuren alipaineen tuulen nopeus 8 m/s aiheuttaa pystyssä olevaan 160 mm:n kanavaan, jonka yläpäähän on asennettu staattinen tai pyörivä ilmanpoiston tehostuslaite. Ilman tehostuslaitetta kanavan alipaine on 22 Pa, kun ilmavirta on estetty. Alipaine pienenee ilmavirran lisääntyessä. Kuvan tulosten mukaan hormin päässä oleva muotoiltu katos pikemminkin kuristaa kuin tehostaa ilmanpoistoa. Sen sijaan pyörivä tehostuslaite lisää hormin vetoa ja toimii laajalla ilmavirta-alueella. On huomattava, että nämä tulokset koskevat vaakasuoraan puhaltavaa tuulta; oletettavasti pelkkä putki on herkempi tuulen suunnan pystyvaihteluille kuin muut konstruktio.



Kuva 21. Erilaisten poistohormien alipaineet vaakatuulella 8 m/s. Hormin halkaisija oli 160 mm ja pituus noin 0,5 m (Forsström et al. 1986). Oikeanpuoleisen asteikon painekerroin on paine-ero jaettuna tuulen dynaamisella paineella 38 Pa.

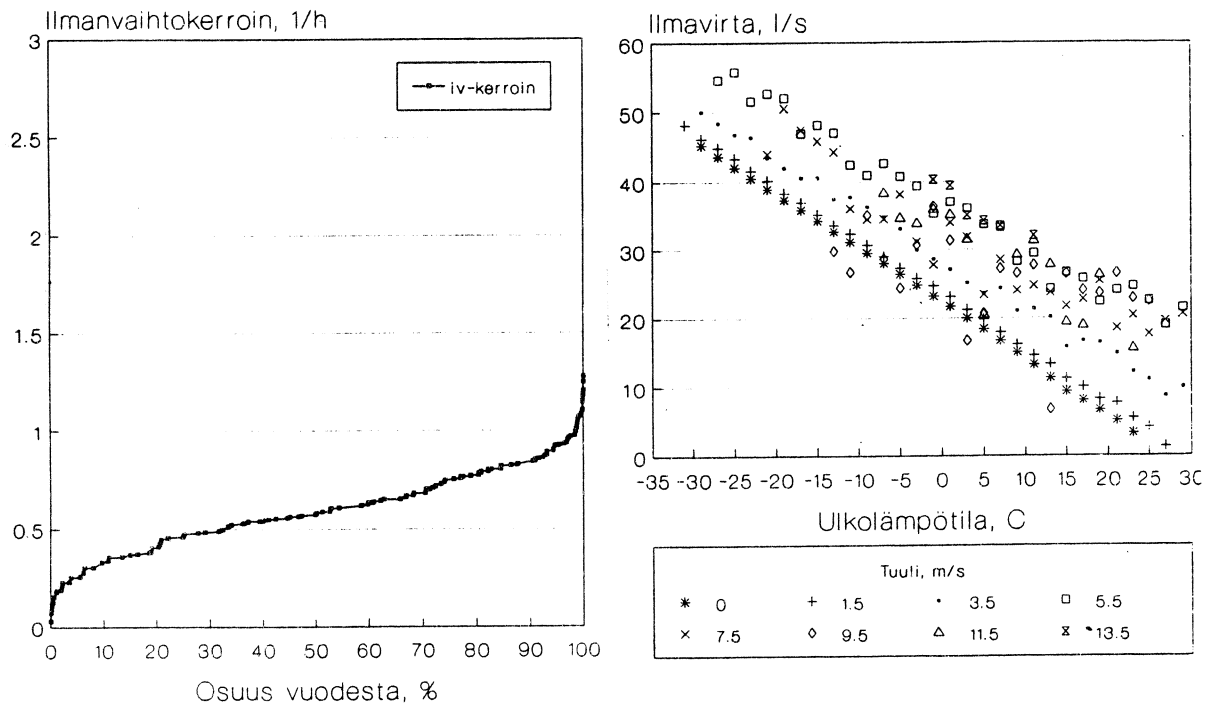
Laskelmilla tarkasteltiin kuvassa 22 määritellyn teoreettisen tuulitehostimen toimintaa. Tarkoituksena oli aiheuttaa hormiin vakio 10 Pa:n alipaine, joka olisi riippumaton tuulen nopeudesta. Laitteen suurin painekerroin oli laskelmissa 1,0, joten käytännön toteutuksena tätä vastaisi jarrulla varustettu pyörivä tuuliroottori. Laite olisi kuvassa 21 esitettyä tuuliroottoria tehokkaampi. Laitteessa oleva jarru pienentäisi alipainetta tuulen nopeuden kasvaessa.



Kuva 22. Laskelmissa käytetty tuuliroottori, jossa on jarru estämässä paine-eron kasvamista suurilla tuulen nopeuksilla.

Kuvassa 23 on esitetty laskentatulokset, joita voidaan verrata kuvaan 20. Tuuliroottorin avulla ilmanvaihto tehostui lämpimällä säällä: jo 3,5 m/s tuuli tehosti ilmanvaihtoa. Toisaalta tuuliroottorin jarrutoiminto rajoittaa ilmanvaihtoa kovalla tuulella. Pysyvyyskäyriä vertaamalla todetaan, että jarrulla varustettu tuuliroottori tasaisi ilmanvaihdon vuotuista vaihtelua. Koska ilmanvaihdon määrä kuitenkin lisääntyi, lisääntyi myös ilmanvaihdon energiankulutus.

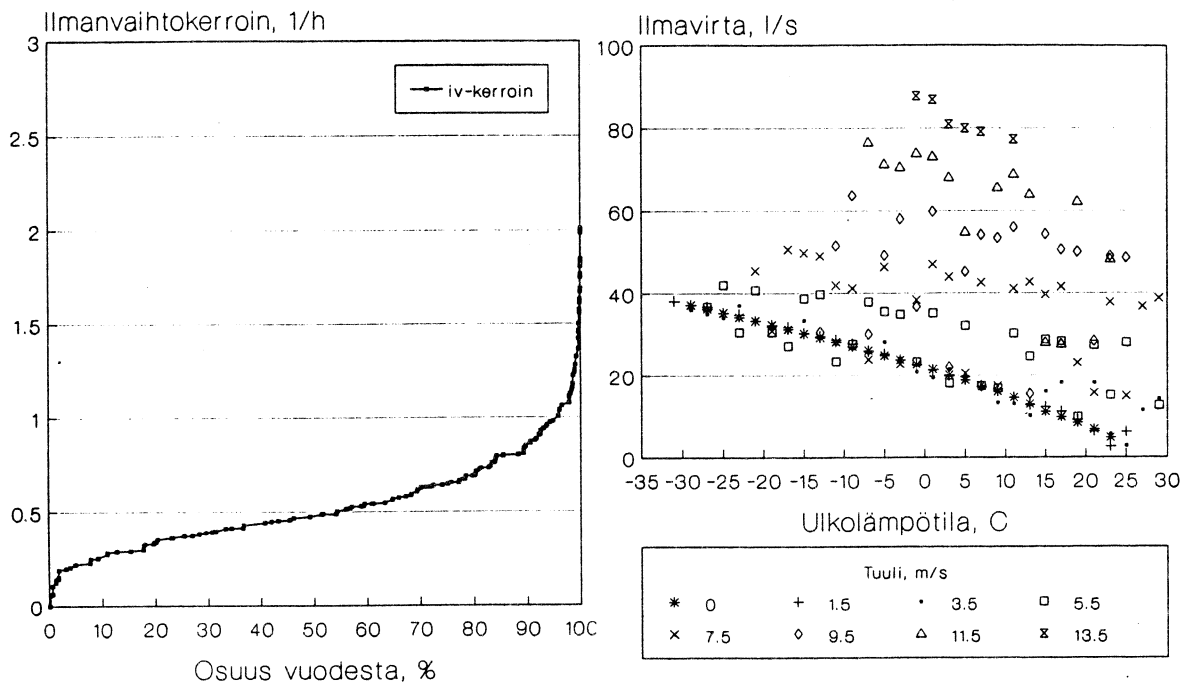
Tuotekehitystarpeet: jarrulla varustettu tuuliroottori.



Kuva 23. Tuuliavusteisen painovoimaisen ilmanvaihdon pysyvyys vuositasolla (vasen) sekä huoneiston ulkoilmavirta eri säätilanteissa (oikea) (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

Ulkoilmaventtiilit

Tietokonesimuloinnein tarkasteltiin ulkoilmaventtiilien vaikutusta painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaan. Tulosten mukaan ulkoilmavirta jakautui huoneiden kesken tarkoituksenmukaisemmin verrattuna tilanteeseen, jossa ulkoilma tuli sisään pelkästään rakennevuotojen kautta. Kokonaisulkoilmavirta (kuva 24) oli aikaisempaa herkempi tuulen vaihteluille (vrt. kuva 20), koska ulkoseinien yli vallitsevat paine-erot pienenevät. Ulkoilmavirran herkkyys lämpötilavaihteluille sen sijaan hieman väheni, koska poistoventtiilien osuus kokonaispainehäviöstä lisääntyi. Pysyvyyskäyrän mukaan suuret ilmavirrat (esim. yli 1 l/h) olivat aikaisempaa yleisempiä.



Kuva 24. Ulkoilmaventtiilein varustetun painovoimaisen ilmanvaihdon pysyvyys vuositasolla (vasen) sekä huoneiston ulkoilmavirta eri säätilanteissa (oikea) (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

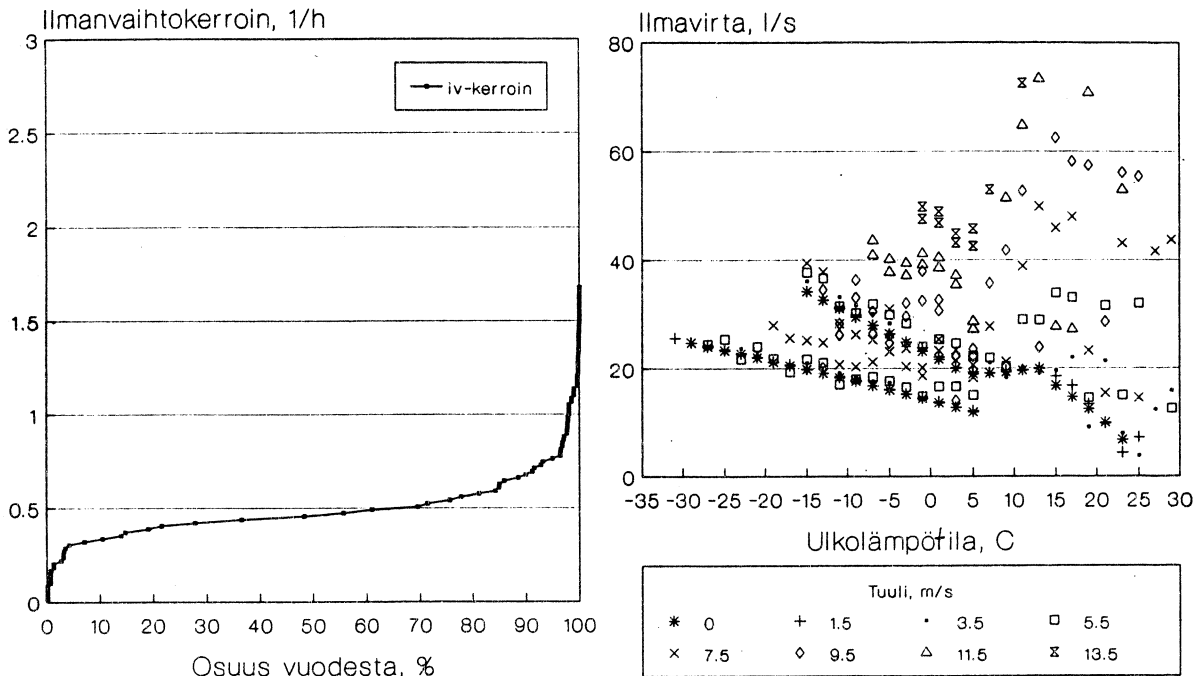
Itsesäätävät ulkoilmaventtiilit ja kaksiasentoiset poistoventtiilit

Ilmanvaihtoa voidaan teoriassa lisätä lämpimällä säällä käyttämällä ulkolämpötilan mukaan säätäviä ulkoilmaventtiileitä. Venttiilien säätöominaisuudet valittiin laskentaa varten siten, että venttiili oli suljettuna ulkolämpötilalla 4,4 °C (vuoden keskilämpötila) ja täysin avoinna ulkolämpötilalla 13 °C. Näin saatiin tällä lämpötila-alueella lähes vakioilmanvaihto (kuva 25). Samalla lisääntyi kuitenkin ilmanvaihdon herkkyys tuulelle (vrt. kuva 20). Ilmavirran pysyvyys vuositasolla parani selvästi verrattuna tilanteeseen, jossa säätöjä ei ollut.

Liian suurta ilmanvaihtoa kylmällä säällä estettiin laskelmissa kaksiasentoisilla, käsiasäätöisillä poistoventtiileillä, jotka asetettiin pienemmän ilmavirran asentoon joulukuun alussa ja muutettiin takaisin suurempaan asentoon helmikuun lopussa. Talvella käytettävä venttiilin avaus määritettiin siten, että perussäätöilmavirta 22 dm³/s saavutettiin ulkolämpötilalla -10 °C. Kuvassa 25 on lämpötila-alueella 5 - -15 °C kahdenlaisia tilanteita, koska näitä lämpötiloja esiintyi sekä talvella että muina vuodenaikoina.

Tuotekehitystarpeet:

- ulkolämpötilan mukaan säätävä ulkoilmaventtiili
- kaksiasentoinen poistoilmaventtiili painovoimaiseen ilmanvaihtoon.

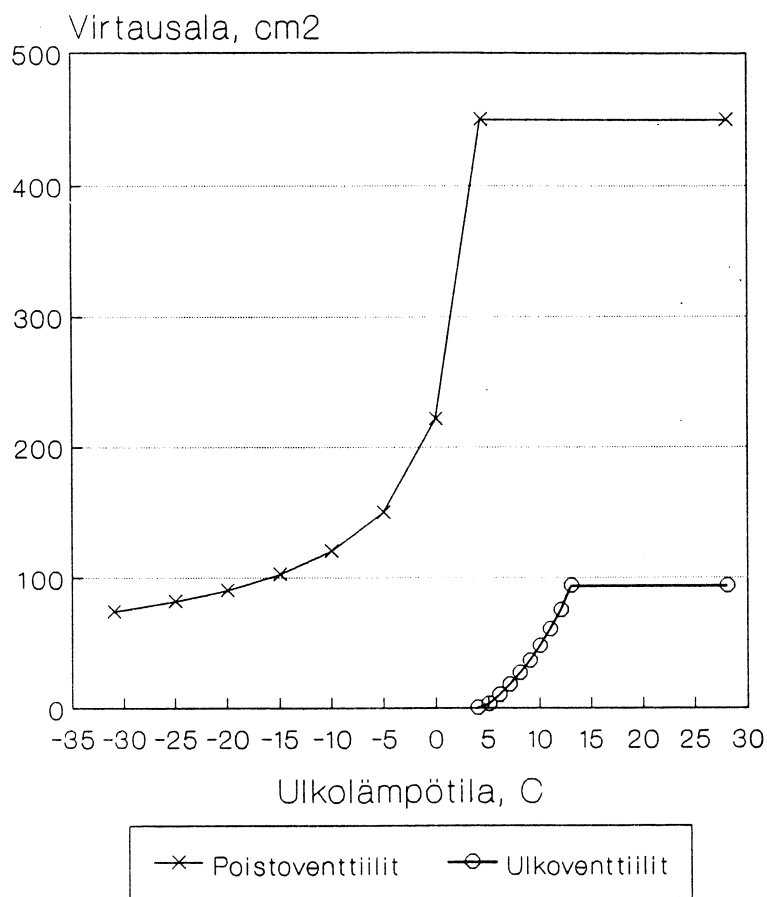


Kuva 25. Itsesäätövin ulkoilmaventtiilein ja kaksiasentoisin poistoilmaventtiilein varustetun painovoimaisen ilmanvaihdon pysyvyys vuositasolla (vasen) sekä huoneiston ulkoilmavirta eri säätilanteissa (oikea) (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

Itsesäätävät poistoilmaventtiilit

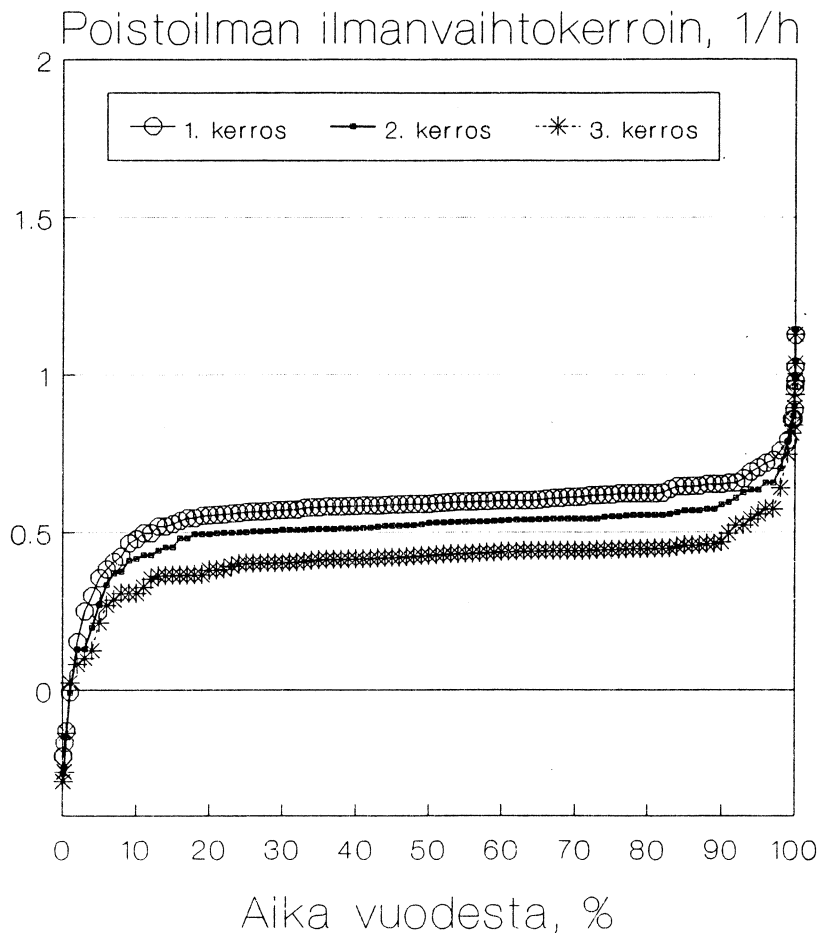
Kun sekä poisto- että ulkoilmaventtiileitä ohjattiin ulkolämpötilan mukaan kuvassa 26 esitetyllä toimintaperiaatteella, saatiin laskelmilla kuvan 29 mukainen ilmavirran käyttäytyminen eri sääoloissa. Ulkoilmavirta jopa hieman pieneni ulkolämpötilan laskiessa, mikä johtui siitä, että pakkasella osa huoneistoon tulevasta ilmasta tuli alemmasta kerroksesta ja porraskäytävästä vuotoina. Poistoilmavirta sen sijaan pysyi vakaana.

Ilmavirtojen ulkolämpötilaan perustuva ohjaus parantaisi selvästi lämpövihihtyisyyttä, koska vältettäisiin liiallinen ilmanvaihto kovilla pakkasilla. Myös ulkoilmaventtiilien automaattinen sulkeutuminen kylmällä säällä parantaisi lämpövihihtyisyyttä. Laskelmat osoittivat myös, että ulkoilmaventtiilien tulisi olla säädettäviä, joko manuaalisesti tai automaattisesti.

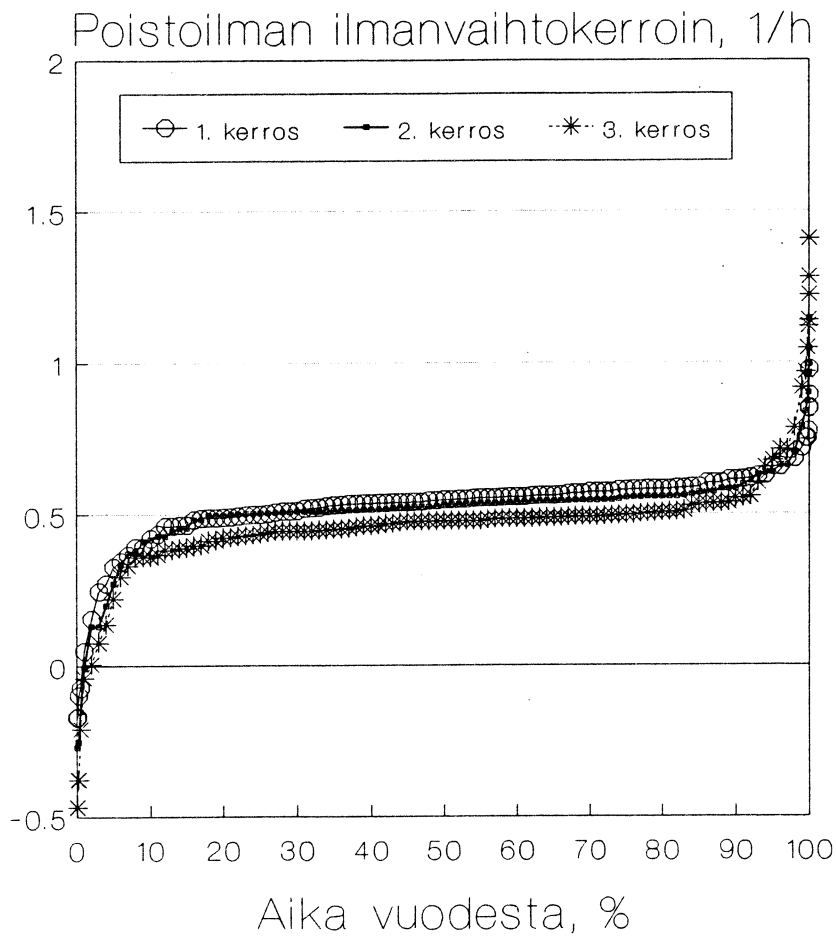


Kuva 26. Itsesäätävän venttiilin virtausala eri ulkolämpötiloilla.

Kuvassa 27 on esitetty poistoilmanvaihto eri kerroksissa ja kuvassa 28, kun venttiilit on säädetty kerroskohtaisesti.



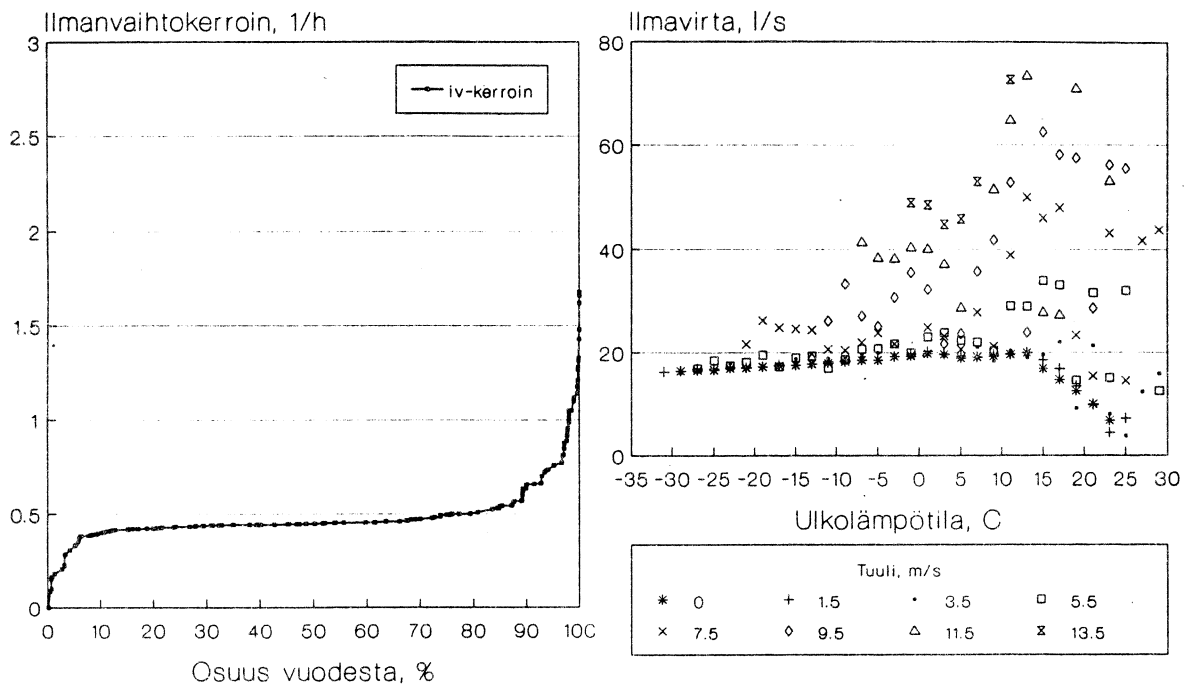
Kuva 27. Poistoilmanvaihdon pysyvyys vuositasolla, kun ulko- ja poistoilmaventtiilit säätävät ulkolämpötilan mukaan.



Kuva 28. Poistoilmanvaihdon pysyvyys vuositasolla, kun ulko- ja poistoilmaventtiilit säätävät ulkolämpötilan mukaan kerroskohtaisesti.

Tuotekehitystarpeet

- ulkolämpötilan mukaan säätävä poistoilmaventtiili, joko huoneistoon asennettava tai hormin päähän asennettava
- hormin päähän asennettava yhdistetty ilmavirran säätö- ja lämmöntalteenotolaite. Olisi tarkistettava, ettei katolle hormin päähän asennettava säätöventtiili aiheuta ilmavirtauksia huoneistosta toiseen.



Kuva 29. Ulkolämpötilan mukaan säätövin ulko- ja poistoilmaventtiilein varustetun painovoimaisen ilmanvaihdon pysyvyys vuositasolla (vasen) sekä huoneiston ulkoilmavirta eri säätötilanteissa (oikea) (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

Koneellinen matalapaineinen poisto

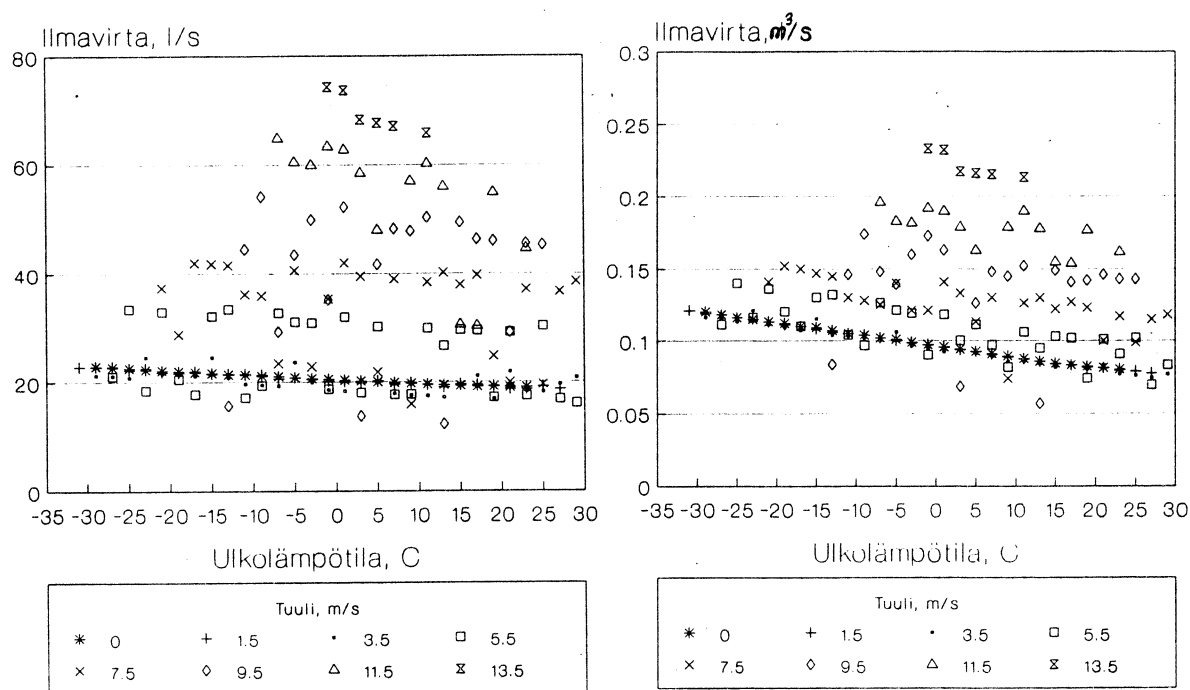
Luvussa 3.2.2 on kuvattu matalapaineisen koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaatteita. Laskelmilla tarkasteltiin matalapaineisen poiston toimintaa, kun kanavistopaine oli hyvin pieni, noin 13 Pa. Tällöin ilmavirta oli herkkä ulkolämpötilalle (kuva 30). Järjestelmä oli tavallaan koneellisen ja painovoimaisen järjestelmän välimuoto. Makuuhuoneissa oli ulkoilmaventtiilit.

Kuvan 31 tilanteessa kanaviston painetaso oli 50 Pa, jolloin herkkyys ulkolämpötilalle vaimeni merkittävästi. Tuulen vaikutus ilmanvaihtoon väheni, kun ulkoilmaventtiilit suljettiin.

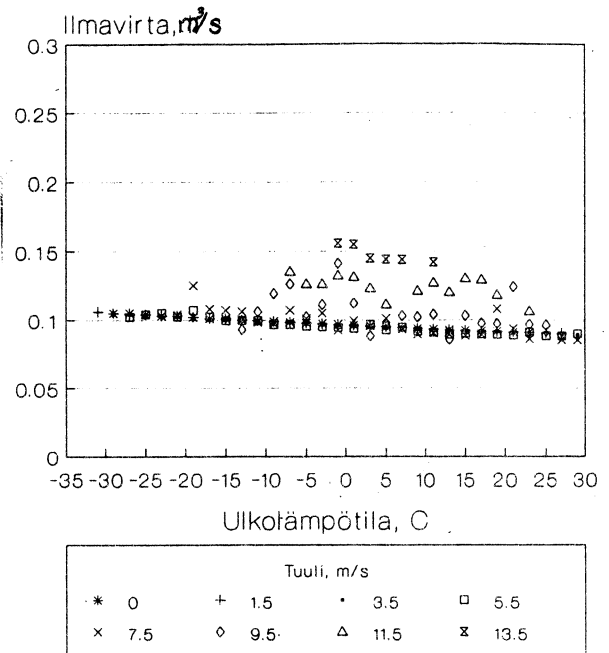
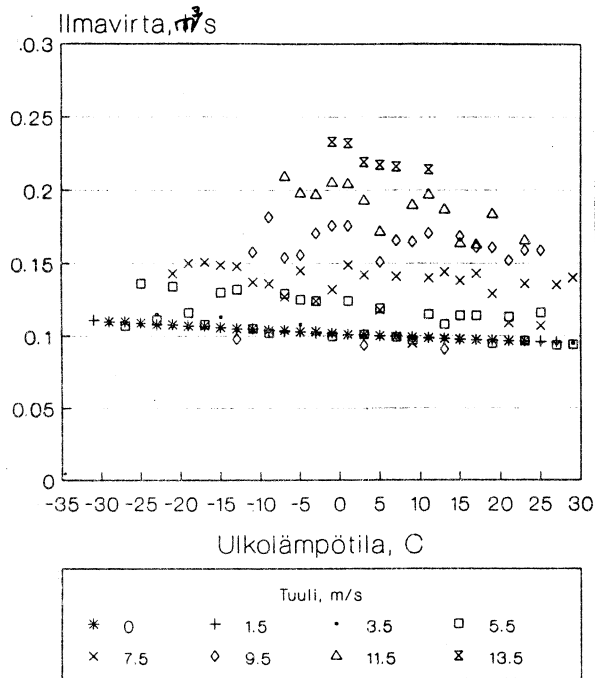
Kuvassa 32 on esitetty makuuhuoneen ja kuvassa 33 olohuoneen ulkoilmavirran pysyvyys. Vaikka makuuhuoneissa oli ulkoilmaventtiilit, oli ulkoilmavirta pieni noin 20 prosenttia ajasta. Olohuoneen ulkoilmavirta oli vielä paljon pienempi, koska siellä ei ollut ulkoilmaventtiiliä. Tilanne ei ollut kuitenkaan ilman laadun kannalta välttämättä huono, sillä olohuoneen kokonaisilmavirta oli jatkuvasti suuri. Syynä tähän oli se, että ilmanpoisto tapahtui keittiöstä ja kylpyhuoneesta, jotka olivat suorassa yhteydessä olohuoneeseen, joka sai siten siirtoilmaa muista tiloista.

Tuotekehitystarpeet

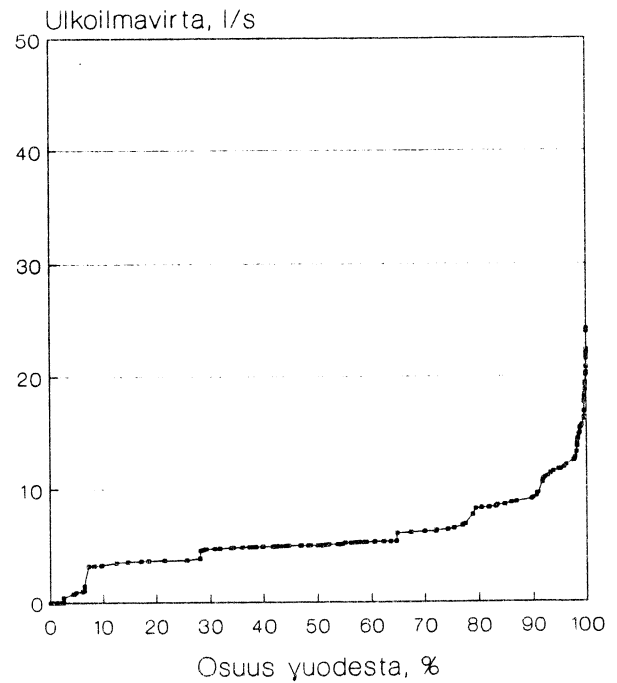
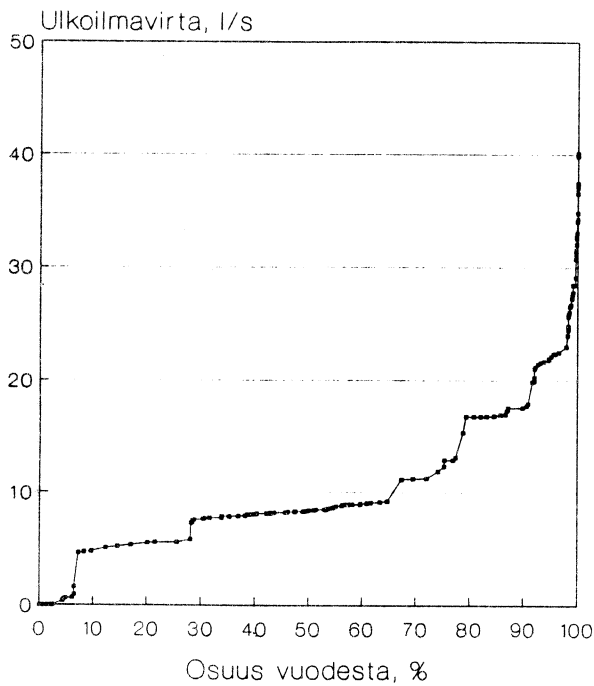
- pienellä paine-erolla toimiva huippuimuri (noin 30 - 60 Pa)
- pienellä paine-erolla toimiva tehostettava poistoilmaventtiili.



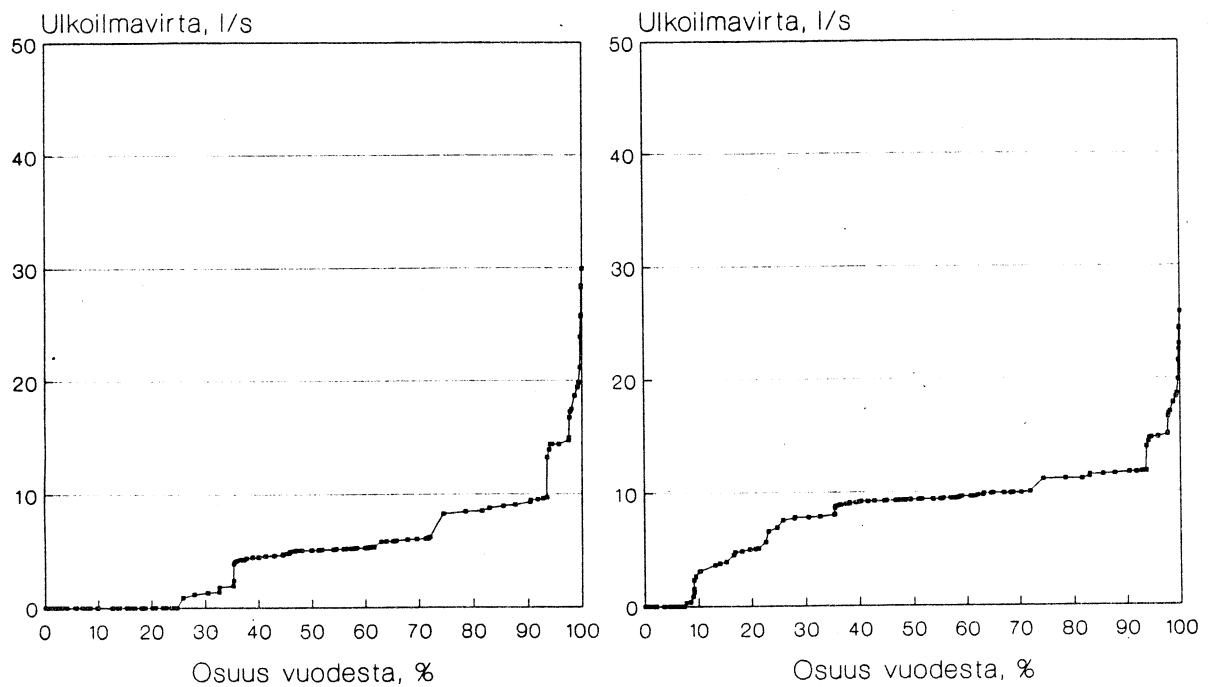
Kuva 30. Toisen kerroksen huoneiston ulkoilmavirta (vasen) ja koko talon ulkoilmavirta (oikea) matalapaineisessa poistossa. Kanavistopaine oli 13 Pa. Makuuhuoneissa ulkoilmaventtiilit (Kiinteistö Oy Sahanmäki).



Kuva 31. Koko talon ulkoilmavirta. Kanavistopaine 50 Pa. Ulkoilmaventtiilit makuuhuoneissa (vasen), ei ulkoilmaventtiilejä (oikea) (Kiinteistö Oy Sahanmäki).



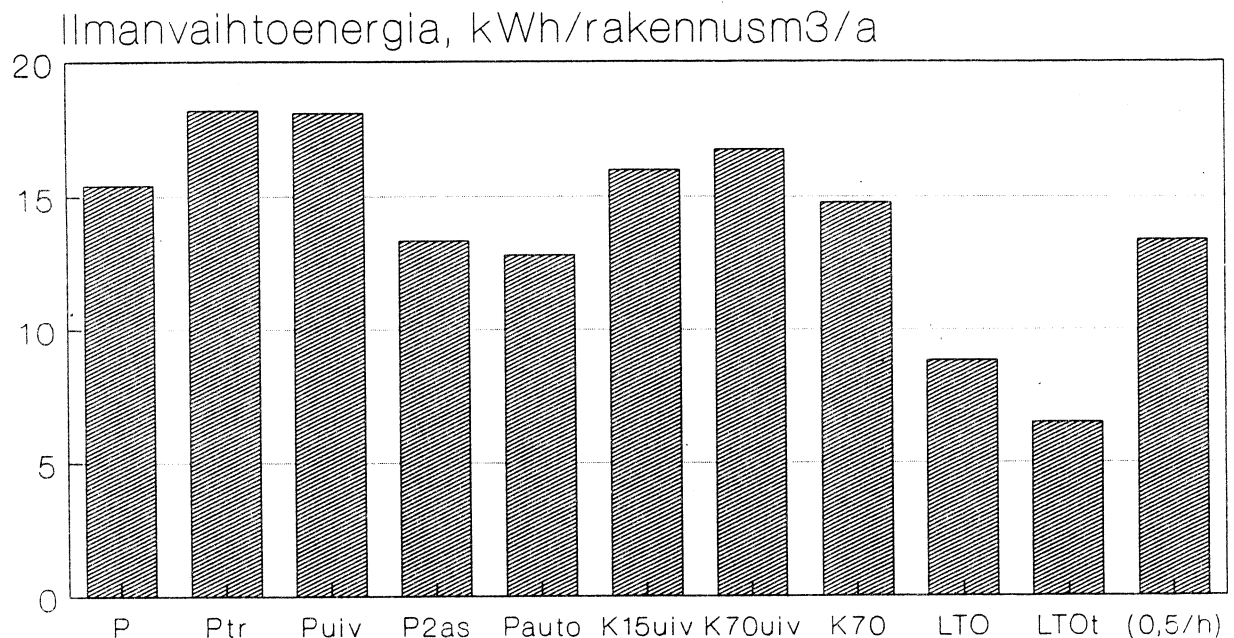
Kuva 32. Makuuhuoneen ulkoilmavirran pysyvyys, kun makuuhuoneessa oli ulkoilmaventtiili (vasen) ja kun ulkoilmaventtiiliä ei ollut (oikea) (Kiinteistö Oy Sahanmäki).



Kuva 33. Olohuoneen ulkoilmavirran pysyvyys, kun makuuhuoneessa oli ulkoilmaventtiili (vasen) ja kun ulkoilmaventtiiliä ei ollut (oikea) (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

Energiankulutus

Kuvassa 34 on esitetty tietokonesimulointien mukainen ilmanvaihdon energiankulutus eri ilmanvaihdon korjausratkaisuilla. Ilmanvaihdon energiankulutus pienenee nykyiseen järjestelmään verrattuna oleellisesti, kun rakennukseen asennetaan koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä, jossa on poistoilman lämmöntalteenotolaite. Poisto- ja ulkoilmaventtiilien säädöllä voidaan ilmanvaihdon energiankulutusta myös hieman pienentää. Tuuliroottori, vakioasentoiset ulkoilmaventtiilit ja koneellinen poisto, jossa on ulkoilmaventtiilit, lisäävät ilmanvaihdon energiankulutusta. Toisaalta näillä järjestelmillä paranee ilmanvaihdon pysyvyys, ja ulkoilma voidaan tuoda oleskelutiloihin.

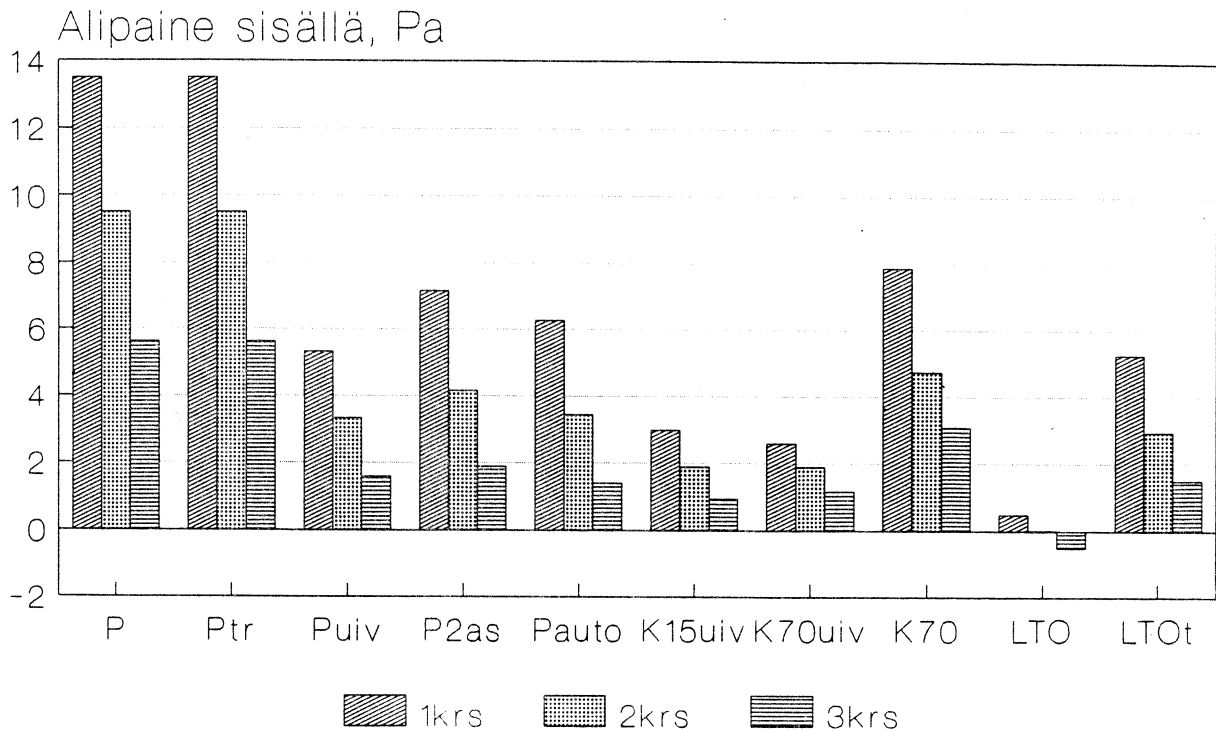


- P* painovoimainen ilmanvaihto
Ptr painovoimainen ilmanvaihto + jarrulla varustettu tuuliroottori
Puiv painovoimainen ilmanvaihto + ulkoilmaventtiilit makuuhuoneissa
P2as painovoimainen ilmanvaihto + 2-asentoiset poistoilmaventtiilit
Pauto painovoimainen ilmanvaihto + ulkolämpötilan mukaan ohjautuvat ulko- ja poistoilmaventtiilit
K15uiv matalapaineinen koneellinen poisto + ulkoilmaventtiilit
K70uiv normaalipaineinen koneellinen poisto + ulkoilmaventtiilit
K70 normaalipaineinen koneellinen poisto
LTO koneellinen tulo (0,4 l/h), poisto (0,5 l/h) ja lämmön talteenotto (hyötysuhde 65 %)
LTOt koneellinen tulo (0,4 l/h), poisto (0,5 l/h) ja lämmön talteenotto (hyötysuhde 65 %), ulkoseinien tiiviyyttä parannettu neljäsosaan edellisestä
(0,5/h) vakio ilmanvaihto 0,5 l/h.

Kuva 34. Ilmanvaihdon energiankulutus eri järjestelmillä tietokonesimulointien mukaan (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

Huoneiston alipaine

Kuvassa 35 on esitetty tietokonesimulointien mukainen huoneistojen alipaine eri ilmanvaihdon korjausratkaisuilla. Ulkoilmaventtiilien lisääminen pienentää ulkoseinän yli vallitsevaa paine-eroa, jolloin herkkyys tuulen aiheuttamalle läpivirtaukselle kasvaa. Toisaalta ulkoilma voidaan tuoda oleskeluvyöhykkeille. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän asentaminen hataraan rakennukseen voi aiheuttaa ulkoilmaan nähden ylipaineisia huoneistoja talvikaudella.



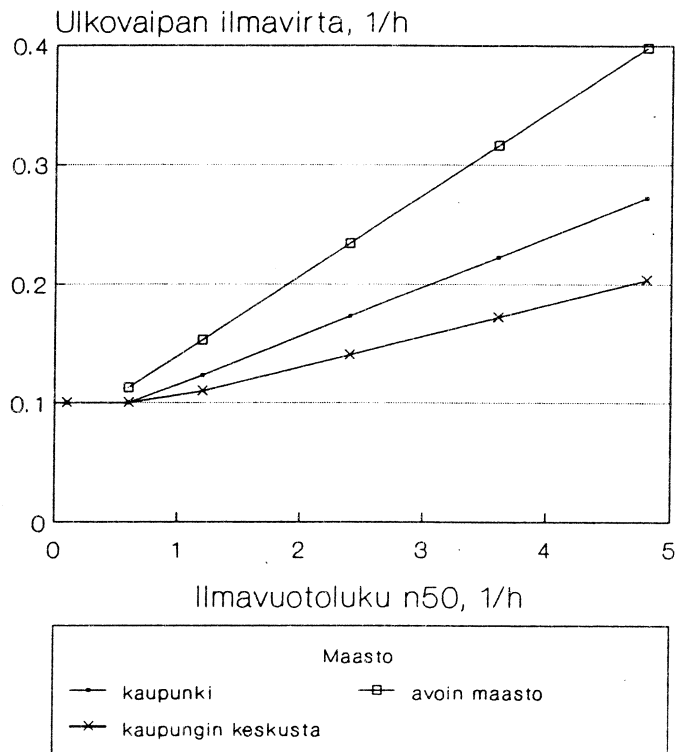
- P* painovoimainen ilmanvaihto
- Ptr* painovoimainen ilmanvaihto + jarrulla varustettu tuuliroottori
- Puiv* painovoimainen ilmanvaihto + ulkoilmaventtiilit makuuhuoneissa
- P2as* painovoimainen ilmanvaihto + 2-asentoiset poistoilmaventtiilit
- Pauto* painovoimainen ilmanvaihto + ulkolämpötilan mukaan ohjautuvat ulko- ja poistoilmaventtiilit
- K15uiv* matalapaineinen koneellinen poisto + ulkoilmaventtiilit
- K70uiv* normaalipaineinen koneellinen poisto + ulkoilmaventtiilit
- K70* normaalipaineinen koneellinen poisto
- LTO* koneellinen tulo (0,4 1/h), poisto (0,5 1/h) ja lämmön talteenotto (hyötysuhde 65 %)
- LTOt* koneellinen tulo (0,4 1/h), poisto (0,5 1/h) ja lämmön talteenotto (hyötysuhde 65 %), ulkoseinien tiiviyttä parannettu neljäsosaan edellisestä (0,5/h) vakio ilmanvaihto 0,5 1/h.

Kuva 35. Asunnon alipaine ulkoilmaan nähden eri kerroksissa eri järjestelmillä tietokonesimulointien mukaan. Ulkolämpötila oli laskelmissa -15°C ja tuulen nopeus 0 m/s (Kiinteistö Oy Sahanmäki).

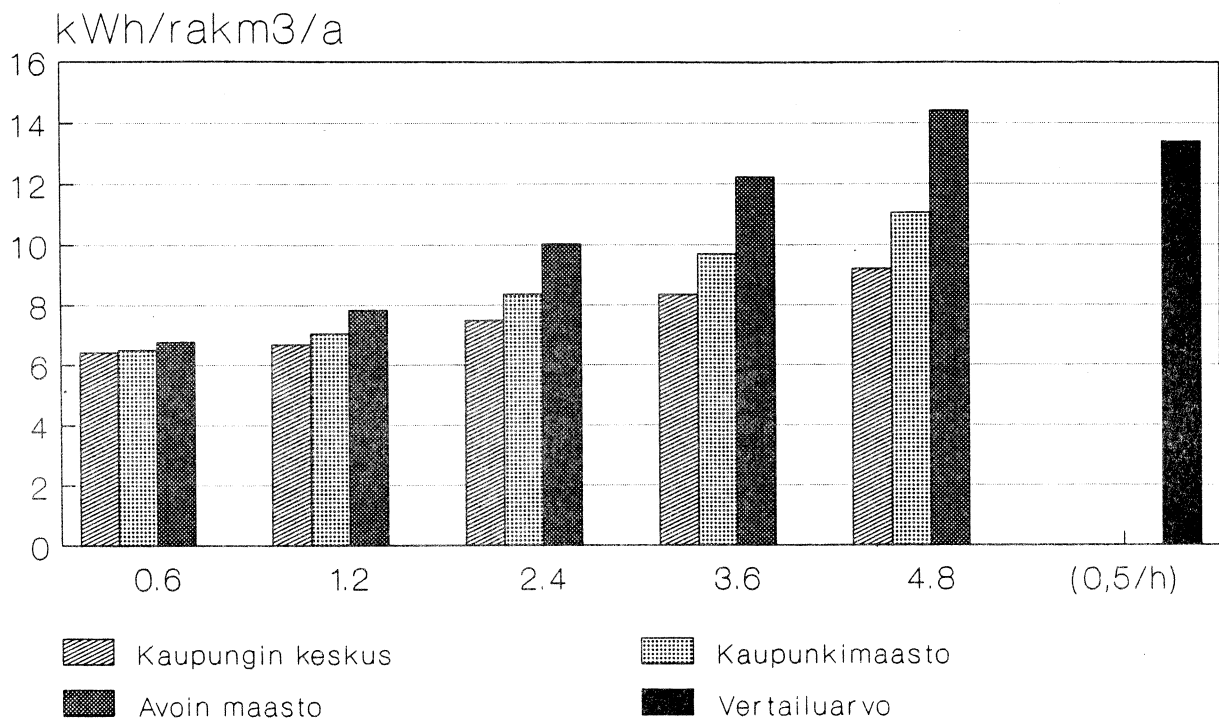
Maasto ja rakennuksen tiiviyys

Kuvassa 36 on esitetty tietokonesimulointien mukainen ulkovaipan läpi tuleva ilmavirta ja kuvassa 37 ilmanvaihdon energiankulutus tuulen suojaltaan erilaisissa maasto-olosuhteissa, kun ilmanvaihtojärjestelmä oli koneellinen tulo, poisto ja lämmöntalteenottolaite. Laskelmissa oli muuttujana myös rakennuksen ulkoseinien tiiviyys (n_{50} -luku).

Lämmöntalteenoton vaikutus ilmanvaihdon energiankulutukseen riippuu oleellisesti rakennuksen tiivyydestä ja ympäröivän maaston muodosta. Vuonna 1994 tarkastellaan laajemmin eri muuttujien vaikutusta LTO:lla talteen saatavaan energiaan sekä tehdään kannattavuuslaskelmia.



Kuva 36. Ulkovaipan läpi tuleva ilmavirta tuulen suojaltaan erilaisissa maasto-olosuhteissa, kun ilmanvaihtojärjestelmä oli koneellinen tulo (0,4 1/h), poisto (0,5 1/h) ja lämmöntalteenotto (hyötysuhde 65 %). Laskelmissa oli muuttujana myös rakennuksen ulkoseinien tiiviys.



Kuva 37. Ilmanvaihdon energiankulutus erilaisissa maasto-olosuhteissa, kun ilmanvaihtojärjestelmä oli koneellinen tulo (0,4 l/h), poisto (0,5 l/h) ja lämmöntalteenotto (hyötysuhde 65 %). Laskelmissa oli muuttujana myös rakennuksen ulkoseinien tiiviys.

3.3 YHTEENVETO JA KORJAUSVAIHTOEHTOJEN KUSTANNUKSET

Toimintaperiaatteista johtuen painovoimaisen ilmanvaihdon taso riippuu oleellisesti säätäkijöistä, rakennuksen tiivyydestä ja venttiilien painehäviöistä. Jo suunnitteluvaiheessa on ilmavirtojen tehostus laskettu tuuletuksen varaan. Tämä aiheuttaa vetohaittaa sekä ulkoisista olosuhteista riippuen melu- ja pölyhaittaa. Tuuletuksen on myös todettu nostavan lämmitysenergian kulutusta.

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaedellytyksiä voidaan parantaa pienillä toimenpiteillä. Ovien vaihtamisen tai lattiapinnoitteen uusimisen myötä ovat suunnitellut huoneiston sisäiset siirtoilmareitit voineet jäädä pois. Ilmanjaon kannalta on tärkeää, että ne palautetaan, esimerkiksi asentamalla oviin siirtoilmasäleiköt tai lautasventtiilit.

Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostukseen on aikaisemmin melko yleisesti käytetty hormien yläpään asennettuja ns. tuuliroottoreita. Ne toimivat lämpimällä ja tuulisella säällä halutulla tavalla. Sen sijaan kylmällä ja tuulisella säällä tuuliroottori kasvattaa ilmanvaihdon liian suureksi. Jarrulla varustetulla tuuliroottorilla voidaan rajoittaa ilmanvaihdon liiallista kasvua talviaikaan. Jarrulla varustettuja tuuliroottoreita ei kuitenkaan ole vielä markkinoilla.

Painovoimaisen poiston virtausvastukset ovat yleensä pieniä sekä venttiilin että poistohormin osalta. Poistoilmaventtiilien pienestä painehäviöstä (auktoriteetista) johtuen ilma virtaa venttiilissä helposti väärään suuntaa, kun tuulen pyörteily katolla aiheuttaa joihinkin hormoneihin ylipaineen. Takaisinvirtausta aiheutuu myös, jos painovoimainen hormi pääsee jostain syystä jäähtymään. Hormi voi tällöin toimia ulkoilmakanavana koko talvikauden. Takaisinvirtausta voidaan vähentää tai estää kokonaan, kun nostetaan poistoilmaventtiilien painehäviöitä. Samalla on kuitenkin ulkoilman ottoa helpotettava, esimerkiksi säädettävillä tai automaattisilla ulkoilmaventtiileillä.

Ulkoilmaventtiilien asentaminen painovoimaisen ilmanvaihdon rakennukseen sisältää sekä hyviä että huonoja puolia. Ulkoilmaventtiilit puoltavat paikkaansa, jos rakennus on todettu niin tiiviiksi, että ilmanvaihto ei toimi. Tällöin oleskelutiloihin asennetut ulkoilmaventtiilit mahdollistavat tarkoituksenmukaisen ilmanjaon. Haittapuolena ulkoilmaventtiilien käytöstä on vetoisuuden lisääntyminen.

Ulkoilmaventtiilien tulisi olla automaattisesti säätyviä, esimerkiksi ulkolämpötilan mukaan ohjautuvia. Sellaisia ei ole vielä markkinoilla. Markkinoilla on läpi virtaavan ilman lämpötilan mukaan säätyviä ulkoilmaventtiilejä. Niiden käyttöön liittyy kuitenkin ongelmia. Kun tuuli aiheuttaa ulkoilmaventtiiliin alipaineen, virtaa ilma huoneesta ulos päin. Läpi virtaava lämmin sisäilma suurentaa vielä virtausaukkoa ja läpivirtaus kasvaa.

Myös poistoilmaventtiilien tulisi olla säädettäviä. Talviaikaan on usein tarvetta pienentää painovoimaista poistoa ja kesäaikaan vastaavasti suurentaa. Paras ratkaisu olisi ulkolämpötilan mukaan ohjautuvat poistoilmaventtiilit. Sellaisia ei ole vielä markkinoilla.

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa voidaan parantaa matalapaineisella poistoilmapuhaltimella. Puhallin voidaan asentaa hormiryhmän päähän. Kun puhaltimen aiheuttama alipaine on riittävän pieni, ei hormien keskinäisillä vuodoilla ole merkitystä ilmanvaihdon toimivuuden kannalta. Sen sijaan hormiryhmän ulkoseinämien on oltava tiiviitä. Tähän järjestelmään voidaan lisätä tehostettavat poistoilmaventtiilit. Pienipaineisella puhaltimella taataan hyvä ilmanvaihto myös lämpimällä säällä. Pienellä paineella toimivia poistoilmapuhaltimia ei ole vielä markkinoilla.

Normaalipaineisen (50 - 100 Pa) koneellisen poistopuhaltimen asentaminen edellyttää kanaviston tiivistämistä. Tiivistämis työ on syytä teettää alaan erikoistuneilla yrityksillä. Painovoimaisen ilmanvaihdon hormit ovat yleensä niin väljät, että tarpeenmukainen ilmanvaihto voidaan toteuttaa käyttämällä esim. ajastimella varustettuja tehostettavia poistoilmaventtiilejä.

Painovoimainen ilmanvaihto voidaan muuttaa myös täysin koneelliseksi ilmanvaihtojärjestelmäksi. Tällöin on yleensä noudatettava voimassa olevia ilmanvaihtomääräyksiä. Korjaustyössä tulee eteen ongelmia, joita ei ole uudisrakentamisessa. Kanavointi on suunniteltava olemassa olevaan rakennukseen.

Vanhaa poistoilmahormien vaatimaa tilaa on luonnollista käyttää poistoilman kanavointiin. Sen sijaan tuloilmakanavien sijoittaminen rakennukseen voi olla ongelmallista. Tuloilmakanavien integrointi porraskäytävään voi useissa tapauksissa tulla kysymykseen.

Huoneistokohtaisten ilmanvaihtokoneiden asentaminen on kanavointinsa puolesta helpompi vaihtoehto kuin keskitetty koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä.

Painovoimaiseen poistoilmanvaihtoon ei tulisi asentaa kanavaan puhaltavia liesituulettimia, jotka voivat aiheuttaa ilman takaisinvirtausta painovoimaisesti toimivista poistohormeista. Myöskään koneellisia tuloilmalaitteita ei tulisi asentaa, koska ne voivat aiheuttaa huoneistoihin ulkoilmaan nähden ylipaineisia tiloja.

Taulukossa 11 on esitetty kustannusarvioita erilaisille ilmanvaihdon korjausratkaisuille. Kustannusarviot on laadittu vastaamaan koekohteena ollutta 1950-luvun asuinkerrostaloa.

Taulukko 11. Painovoimaisen ilmanvaihdon korjausratkaisujen arvioidut kustannukset. Pohjana on käytetty koekohteena ollutta 1950-luvun asuinkerrostaloa (Kiinteistö Oy Sahanmäki), jossa oli painovoimainen ilmanvaihto.

JÄRJESTELMÄ	LVI-TYÖT
Ulkoilmaventtiilit	400 mk/huone
Jarrulla varustettu tuuliroottori	1 500 mk/laite
Itsesäätävät ulko- ja poistoilmaventtiilit	550 mk/huone, ulkoilmaventtiili 500 mk/huone, poisto
Huonekohtainen ilmanvaihtolaite	4 000 mk/huone
Matalapaineinen poistoilmahuonehallin	12 000 mk/hormiryhmä noin 4 000 mk/asunto
Normaalipaineinen koneellinen poisto	210 mk/as. m ² *)
Keskitetty koneellinen tulo, poisto ja LTO	255 mk/as.m ²
Keskitetty, huoneistokohtaisesti säädettävä koneellinen tulo ja poisto	290 mk/as. m ² *)
Huoneistokohtaiset ilmanvaihtokoneet	275 mk/as. m ²

*) arvioitu hinta uudisrakentamisessa.

4 KONEELLINEN POISTOILMANVAIHTO 1960-LUVUN ASUINKERROSTALOSSA

4.1 KOEKOHDE

Rakennus (Siilitie 9, rakennus 5) valmistui vuonna 1958 Helsingin Herttoniemeeseen. Rakennus on 7-kerroksinen, tilavuudeltaan 6 190 m³. Huoneistojakauma on seuraava:

1 h + kk	26 - 31 as. m ²	14 kpl
2 h + k	40 - 58 as. m ²	13 kpl
3 h + k	66 as. m ²	7 kpl

Rakennuksessa on yksi porras. Kerrokset 1 - 6 ovat asuinkerroksia. Pohjakerroksessa on 4 asuinhuoneistoa, saunaosasto, pesulatilat ja talouskellarit. Rakennusta on peruskorjattu vuonna 1988 seuraavasti:

- käyttövesiputkisto vaihdettiin koko talossa (entinen putkisto oli huonokuntoinen)
- kylpyammeet otettiin pois ja tilalle asennettiin suihkutila
- keittiön kaapit maalattiin
- lattioiden pintamateriaalit uusittiin
- pesulatilat ja saunaosasto remontoitiin
- ulkoseinien eristystä lisättiin 100 mm ja rakennuksen ulkoseinät pinnoitettiin pellillä.

Rakennuksessa on koneellinen poistoilmanvaihto. Ilmanvaihtokanavat ovat rakenneaineisia. Rakennus on liitetty kaukolämpöverkkoon. Huonelämpötilaa säädetään termostaattisilla patteriventtiileillä.

4.1.1 Asukaskysely

Asukaskyselyyn vastasi 33 taloudesta 19. Talouksien taustatiedot on esitetty liitteen A taulukossa 1.

Asunnon ilman raikkautta piti hyvänä 32 %, kohtalaisena 53 % ja huonona 11 %. Syynä huonoon ilman laatuun olivat mm. naapurihuoneistoista kulkeutuvat hajut ja käryt. Liitteen A taulukossa 2 on esitetty asukkaiden mielipiteiden jakautuminen eri tilojen ilmanraikkaudesta.

Lähes puolet asukkaista (47 %) halusi tehokkaampaa ilmanvaihtoa keittiöön, varsinkin ruoan laiton ajaksi. Ikkunatuuletusta käytettiin keittiössä yleisesti (74 %) ruoan laiton aikana, vaikka siitä aiheutui veto-, melu- ja pölyhaittaa.

Yli puolet asukkaista (53 %) oli sitä mieltä, että kylpyhuoneen ilmanvaihto oli riittävä. Kaksi kolmasosaa (63 %) kertoi kuitenkin kosteutta tiivistyvän peilin pinnalle suihkussa käynnin yhteydessä. Yhdessä huoneistossa oli jatkuvasti kostea ja ummehtunut haju kylpyhuoneessa. Ilman kosteuteen vaikutti myös pyykin-kuivaus kylpyhuoneessa. Vuodenajalla ei ollut selvää yhteyttä kylpyhuoneen kosteuteen. Liitteen A taulukossa 3 on esitetty päivittäisten suihkussa käyntien ja pyykin-kuivausten yleisyys.

Kysymykseen "mikä ilmanvaihtojärjestelmä on kiinteistössä" noin neljä viidesosaa (79 %) ei osannut vastata. Viidesosa tiesi, että kiinteistössä on koneellinen poistoilmanvaihto.

Joka viides oli sitä mieltä, että venttiilien avulla voi säätää ilmanvaihtoa. 79 % ilmoitti itse puhdistavansa keittiön venttiilit. Yhdessä asunnossa venttiilit oli puhdistanut huoltomies. Tarpeenmukaisesti säädettävää ilmanvaihtoa halusi joka kolmas (32 %) haastatelluista.

4.1.2 Mittaukset

Mittauksin selvitettiin rakennuksen painesuhteita ja viidessä asunnossa mitattiin venttiilien poistoilmavirrat. Tulokset on esitetty taulukossa 12. Venttiilikohtaiset ilmavirrat sekä niistä lasketut ilmanvaihtuvuudet täyttivät nykyisten rakentamismääräysten vaatimukset. Venttiilien painehäviöitä voitiin säädön kannalta pitää liian pieninä, varsinkin talvikaudella. Muuten rakennuksen painesuhteet olivat kohtalaisen hyvin hallinnassa. Kaikki mitatut huoneistot olivat alipaineisia sekä ulkoilmaan että rappukäytävään nähden.

Taulukko 12. Venttiilien ilmavirrat ja paine-erot, huoneiston ja ulkoilman välinen (Δp_{h-u}) ja huoneiston ja rappukäytävän välinen paine-ero (Δp_{h-r}) sekä ilmanvaihtokerroin (n) koneen toimiessa 1/2-teholla ja ulkolämpötilan ollessa 6 °C (Siilitie 9).

Huoneisto/krs	Sisälämpötila (°C)	PAINE-EROT			VENTTIILIT			
		Δp_{h-r} (Pa)	Δp_{h-u} (Pa)	Venttiili.	Ilmavirta (dm ³ /s)	$\Delta p_{ventt.}$ (Pa)	n (1/h)	
1 h + kk ylin kerros (6. asuinkerros)	-	18	17	KK WC	18 17	- -	1,76 [*]	
3 h + kk ylin kerros (6. asuinkerros)	24,4	14	15	KK WC VH	12 16 5	16 - 16	0,72	
1 h + kk (3. asuinkerros)	23,6	5	11	KK WC	14 12	11 11	1,31 [*]	
2 h + kk (3. asuinkerros)	22,8	4	10	KK WC	16 13	- -	0,85 [*]	
1 h + kk (1. asuinkerros)	23,5	4	13	KK WC	19 14	- -	1,67 [*]	

^{*}) asunon pinta-alana käytetty keskiarvotietoa.

4.1.3 Johtopäätökset

Käyttäjäkyselyn mukaan yli puolet (53 %) asukkaista oli havainnut ruoan ja tupakan hajujen leviämistä huoneiston ulkopuolelta. Lähes puolet vastanneista ilmoitti tarvitsevänsä nykyistä tehokkaampaa ilmanvaihtoa keittiöön. Kaksi kolmesta kertoi tuulettavansa asuntoaan ilman laadun takia, vaikka siitä aiheutui veto-, melu-, haju- ja pölyhaittaa.

Mittausten mukaan rakennuksen paine-suhteet olivat kohtalaisen hyvin hallinnassa. Nykyisten rakentamismääräysten mukainen ilmanvaihdon minimi-vaatimus 0,5 l/h toteutui mitatuissa huoneistoissa.

Ilmanvaihtoon tyytymättömien osuutta voidaan pitää niin suurena, että kohteessa olisi koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaa parannettava. Asukkaan mahdollisuuksia säätelee ilmavirtoja toimintojen mukaan tulisi lisätä. Kysymykseen voisi tulla myös ilmanvaihdon energiankulutuksen pienentäminen poistoilman lämmöntalteenottolaitteella. Uusilla tuloilmaratkaisuilla voitaisiin ulkoilma ottaa hallitusti sisään ja parantaa näin ilman jakotapaa.

4.2 KORJAUSVAIHTOEHDOT

4.2.1 Koneellisen poiston peruskorjaus

Keittiön ilmanvaihtoa voidaan parantaa asentamalla liesikupu. Nykyisten rakentamismääräysten laatija on ottanut voimakkaan kannan liesikupujen puolesta. Jos keittiössä on liesikupu, riittää poistoilmavirraksi $20 \text{ dm}^3/\text{s}$, ilman liesikupua poistoilmavirran on oltava $50 \text{ dm}^3/\text{s}$. Markkinoilla on kuitenkin vähän liesikupumalleja, jotka toimivat riittävällä paine-erolla ja hallittavilla tehostettavilla ilmavirroilla. Markkinoilla olevien liesikupujen sieppauskyky on huono.

Hollantilaisessa tutkimuksessa verrattiin tavanomaisten ja parannettujen liesikupujen sieppauskykyä. Tulosten mukaan $20 \text{ dm}^3/\text{s}$:n poistoilmavirralla liesikuvun sieppauskyky oli kaikissa konstruktioiden yhtä huono kuin pelkällä poistoilmaventtiilillä. Hyvällä konstruktiolla pitoisuudet pienenevät 50 %, jos poistoilmavirta oli noin $60 \text{ dm}^3/\text{s}$ (Pepels & Gauberg-Huygen 1994).

Ulkoilma voidaan ottaa hallitusti sisään, kun asennetaan ulkoilmaventtiilit makuu- ja olohuoneeseen. Venttiili voidaan asentaa joko seinään tai ikkunarakenteisiin.

Seinäasennuksessa käytetään ulkoilmaventtiiliä, joka on varustettu suodattimella, säädöllä ja mahdollisesti äänenvaimentimella.

Toinen vaihtoehto seinäasennukseen on termostaattiohjattu ulkoilmaventtiili, jossa läpivirtaavan ilman lämpötila säätelee ulkoilma-aukkoa. Järjestelmä voidaan

varustaa suodattimella ja äänenvaimennuksella. Tämän venttiilityypin toimivuutta kaikissa olosuhteissa ei ole riittävästi tutkittu. Esimerkiksi venttiilin sijaitessa tuulen alapuoleisella seinällä voi ilma venttiilissä virrata väärään suuntaan. Lämmin huoneilma avaa venttiilin aukkoa entisestään, jolloin takaisinvirtaus lisääntyy.

Ikkunakarmin tai puitteeseen voidaan asentaa rakoventtiili, joko käsisääteisenä tai termostaattiohjauksella. Termostaattinen venttiili reagoi ulkoilman lämpötilaan ja pienentää rakoa kylmällä ilmalla. Termostaatti reagoi myös tuuleen, koska tuulen aiheuttama lisääntynyt ilmavirta jäähdyttää termostaattia tehokkaammin. Termostaattiohjatun rakoventtiilin toimintaan liittyy kuitenkin sama takaisinvirtausvaara, mikä on kuvattu edellä.

Mikäli ikkunat uusitaan, voidaan harkita tuloilmaikkunoiden asentamista. Samoin, mikäli radiaattorit vaihdetaan, voidaan ulkoilman sisäänottoon käyttää ikkunapenkkitratkaisua.

Olohuoneeseen tai makuuhuoneisiin voidaan asentaa sähkölämmitteinen ulkoilman sisäänottolaite, esim. yksi yhteinen laite vierekkäisille huoneille. Ilma virtaa laitteen läpi alipaineen voimalla eikä laitetta ole varustettu puhaltimella. Laitteessa on kaksi ulostuloa, joten ulkoilma voidaan kanavoinnilla jakaa useampaan huoneeseen. Ratkaisu soveltuu parhaiten huoneistokohtaiseksi parannusvaihtoehdoksi eli huoneiston haltija voi toteuttaa sen kiinteistön tai taloyhtiön muista ratkaisuista riippumatta.

Makuuhuoneisiin ja olohuoneeseen voidaan asentaa vesilämmitteiset ulkoilmapatterit, jotka lämmittävät ulkoa otettavan ilman. Ratkaisu edellyttää mahdollisesti uutta patteria ja ulkoseinän lävistystä. Ratkaisu soveltuu parhaiten rakennuskohtaiseksi parannusvaihtoehdoksi eli kiinteistö tai taloyhtiö toteuttaa sen peruserustuksen yhteydessä. Joissain tapauksissa uudet ulkoilmaventtiilit saattavat edellyttää julkisivulautakunnan kannanottoa.

Olohuoneeseen ja makuuhuoneeseen voidaan asentaa puhaltimella varustettu tuloilmalaite. Laite sekoittaa kierrätysilmaa ulkoilmaan, jolloin tuloilma on ulkoilmaa lämpimämpää. Laite suodattaa sekä ulkoilmaa että kierrätysilmaa. Laite on moninopeuksinen ja se voidaan varustaa kaukosäätimellä. Kuitenkin on huolehdittava siitä, että huoneisto ei tule ylipaineiseksi ulkoilmaan nähden. Ratkaisu soveltuu parhaiten huoneistokohtaiseksi parannusvaihtoehdoksi eli huoneiston haltija voi toteuttaa sen kiinteistön tai taloyhtiön muista ratkaisuista riippumatta.

Makuuhuoneisiin ja olohuoneeseen voidaan asentaa huonekohtainen ilmanvaihtolaite. Laite sisältää tulo- ja poistoilmapuhaltimet, lämmönsiirtimen, ulkoilman esilämmityksen sekä suodatuksen. Laite voidaan asentaa joko seinään, tuuletusikkunaan tai -luukkuun. Ratkaisu soveltuu parhaiten huoneistokohtaiseksi parannusvaihtoehdoksi eli huoneiston haltija voi toteuttaa sen kiinteistön tai taloyhtiön

muista ratkaisuista riippumatta (ottaen huomioon mahdolliset vaikutukset julkisivuun).

4.2.2 Koneellisen poiston venttiiliohjaus

Kerrostalojen ilmanvaihdon ohjaus kellolla täydelle teholle muutamaksi tunniksi aamulla ja iltapäivällä perustuu vanhaan käsitykseen, että asukkaat tarvitsevat tehokkaampaa ilmanvaihtoa samaan aikaan. Kaikki tutkimukset viittaavat siihen, että kello-ohjaus pitäisi korvata yksilöllisellä ilmanvaihdon ohjauksella, esimerkiksi venttiiliohjauksella.

Liesikuvun ilmanpoiston tehostusmahdollisuutta on kokeiltu kolmessa uudessa asuinkerrostalossa, joiden asukkaat ovat olleet erittäin tyytyväisiä keittiön ilmanvaihtoon. Koetaloissa on tehty perusteelliset ilmanvaihdon toimivuusmittaukset.

Venttiiliohjauksessa asuntojen ilmavirrat mitoitetaan siten, että ilmanvaihtokerroin on vähintään 0,5 l/h. Keittiön ilmanvaihtoa tehostetaan tarvittaessa liesikuvusta. Tehostusmahdollisuus voidaan järjestää myös muihin tiloihin, esimerkiksi erilliseen WC-tilaan tai pienen asunnon kylpyhuoneeseen. Tehostus voi tapahtua käsin tai automaattisesti esimerkiksi kylpyhuoneen kosteuden perusteella.

Venttiiliohjausta käytettäessä ilmavirrat voidaan mitoittaa todellisen käyttötarpeen mukaan eikä kaavamaisesti viranomaisten ohjearvoilla. Muiden tilojen kuin keittiön ohjeilmavirrat saavutetaan tarvittaessa tai jatkuvasti riippuen asunnon koosta. Tehostusventtiileitä tarvitaan tavallisesti yksiöiden kylpyhuoneisiin ja suurten asuntojen erillisiin WC-tiloihin.

Teknisesti riittää parhaassa tapauksessa keittiön poistovenktiilin vaihto säädettävään liesikupuun ja ilmavirtojen säätö. Poistopuhallinta käytetään jatkuvasti suuremmalla kierrosnopeudella. Poistoilmapuhaltimella tulee olla laakea ominaiskäyrä, mikä tarkoittaa sitä, että puhallin kehittää likimain saman paineen ilmavirrasta riippumatta. Tarkimmin vakiopaine voidaan ylläpitää puhaltimen paineen säätimellä. Poistoilmakanavien riittävä koko on edellytyksenä järjestelmän hyvälle toiminnalle, koska paine-erojen pitäisi olla lähes samoja kaikissa poistovenktiileissä. Hyväksyttävä vaihteluväli eri poistovenktiilien paineille on esimerkiksi 50 - 70 Pa. Toinen tärkeä kanaviston ominaisuus on sen ilmatiiviys. Kanaviston tiivistäminen voi olla tarpeen, jos uusi kanavistopaine on suurempi kuin aikaisempi paine täydellä ilmanvaihdon teholla.

Energiankulutus pienenee kello-ohjaukseen verrattuna, koska turha ilmanvaihto vähenee. Ilmanvaihdon tehostus on käytössä vähemmän aikaa kuin kello-ohjauksessa, jossa se on tavallisesti 3 - 8 tuntia vuorokaudessa. Lisäksi pienten asuntojen aikaisemmin tarpeettoman suurta perusilmanvaihtoa voidaan pienentää. Energian säästö on siten suurempi taloissa, joissa on pieniä asuntoja. Lähtökohtana voidaan

pitää ilmanvaihdon pientymistä keskimäärin 0,1 l/h, jolloin energian kulutus pienenee noin 11 kWh asunoneliometriä kohti vuodessa.

Kustannukset muodostuvat säädettävästä liesikuvusta, uusista poistoilmaventtiileistä, mahdollisista puhaltimien vaihdoista, kanavien tiivistämisestä sekä perussäädöstä. Eräessä korjauskohteessa venttiiliohjauksen kustannuslisä oli 7 mk/as. m², kun vaihtoehtoina oli uusia nykyisen kello-ohjausjärjestelmän puhaltimet ja asentaa samalla liesikuvut tai asentaa uusi venttiiliohjausjärjestelmä. Lisähinta koostuu säädettävistä liesikuvuista (+ 300 mk) ja puhaltimien paine-ohjauksesta (+ 4 000 mk/puhallin). Lisähinta tulee takaisin energiansäästönä noin viidessä vuodessa, kun energian hinta on 0,12 mk/kWh.

4.2.3 Koneellisesta poistosta täysin koneelliseen ilmanvaihtoon

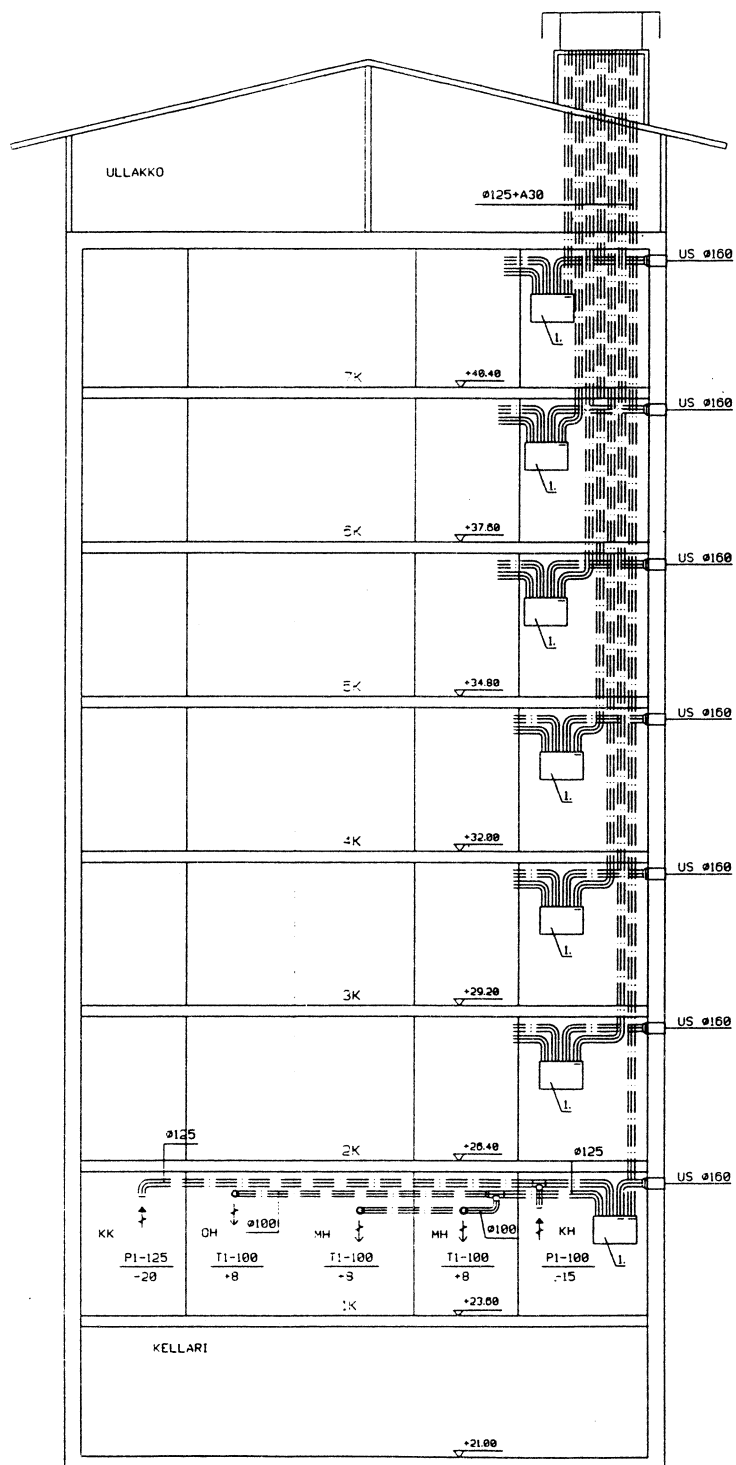
Keskitetty tulo-, poisto- ja LTO-järjestelmä

Kiinteistöön voidaan asentaa keskitetty tulo- ja poistoilmakone, jossa on poistoilman lämmön talteenotto (kuva 38). Ilmavirran säätö voi olla huoneistokohtainen. Toimivuuden puolesta järjestelmän asentamiselle ei ole esteitä, kunhan tuloilmavirtoja ei mitoiteta niin suuriksi, että on vaaraa huoneistojen ylipaineisuudesta.

Huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmajärjestelmä

Kiinteistöön voidaan asentaa huoneistokohtaiset ilmanvaihtokoneet, joissa on poistoilman lämmön talteenotto. Tuloilma otetaan suoraan ulkoa. Poistoilmakone voi toimia keskitetysti. Asukas voi tarvitessaan tehostaa ilmavirtoja. Kuvassa 39 on esitetty poistokanavistoratkaisu, jossa kunkin huoneiston poisto on johdettu erikseen katolle asti.

Poistoilmakanavat tulevat ratkaisussa ylipaineisiksi, joten tiiviysluokka B ei vielä riitä (RakMk, osa D2, 1987). Paikalliset rakennusvalvontaviranomaiset päättävät siitä, ovatko tiiviysluokan C kanavat soveltuvia tähän ratkaisuun.



Kuva 39. Huoneistokohtaiset ilmanvaihtokoneet (Kiinteistö Oy Siilitie 9).

4.3 YHTEENVETO JA KORJAUSVAIHTOEHTOJEN KUSTANNUKSET

Keskitetyn koneellisen poistoilmanvaihdon yleisimpiä ongelmia ovat

- poistoilmavirrat ovat liian pienet
- tehostusajat eivät vastaa asukkaiden toimintoja
- ulkoilma otetaan sisään satunnaisten rakenteiden epätiiviykskohtien kautta
- oleskelutiloissa ei ilma vaihdu.

Koekohteessa poistoilmavirrat olivat nykyisten rakentamismääräysten mukaiset, mutta asukaskyselyn mukaan 53 % vastanneista ilmoitti hajujen leviävän huoneistosta toiseen. 47 % vastanneista oli havainnut vesihöyryn tiivistyvän ikkunoihin ruoanlaiton aikana. 47 % vastanneista halusi tehokkaampaa ilmanvaihtoa keittiöön ja 11 % kylpyhuoneeseen.

Ruoan käryjen leviämistä huoneistossa voidaan vähentää asentamalla lieden yläpuolelle kanavaan liitetty liesikupu. Markkinoilla on kuitenkin vähän tarkoitukseen soveltuvia liesikupumalleja.

Oleskelutilojen ilmanvaihtoa voidaan parantaa asentamalla tiloihin ulkoilmaventtiilit. Markkinoilla on useita lämmityksellä tai automaattisella säädöllä varustettuja ulkoilmaventtiilejä. Markkinoilla on myös pienellä puhaltimella varustettuja, ulkoseinään asennettavia tuloilmalaitteita. Tuuletusikkunaan asennettavilla huonekohtaisilla tulo- ja poistoilmalaitteilla voidaan oleskelutilojen ilmanlaatua parantaa.

Koneellisen poiston keskitetystä kello-ohjauksesta voidaan siirtyä venttiiliohjaukseen. Keittiön ilmanvaihtoa tehostetaan tarvittaessa liesikuvusta. Tehostusmahdollisuus voidaan järjestää myös muihin tiloihin. Venttiiliohjausta käytettäessä ilmavirrat voidaan mitoittaa todellisen käyttötarpeen mukaan eikä kaavamaisesti viranomaisten ohjearvoilla. Poistoilmapuhaltimella tulee olla laakea ominaiskäyrä. Poistoilmakanavien riittävä koko on edellytyksenä järjestelmän hyvälle toiminnalle, koska paine-erojen pitäisi olla lähes samoja kaikissa poistoilmaventtiileissä. Energiankulutus pienenee kello-ohjaukseen verrattuna, koska turha ilmanvaihto vähenee.

Koneellinen poistoilmanvaihto voidaan muuttaa täysin koneelliseksi keskitetyksi tulo- ja poistoilmajärjestelmäksi, jolloin on luonnollista asentaa myös poistoilman lämmöntalteenotto. Tällöin on mahdollista siirtyä keskitetystä kello-ohjauksesta huoneistokohtaiseen ilmanvaihdon ohjaukseen.

Huoneistokohtaisten ilmanvaihtokoneiden asentaminen voi myös tulla kysymykseen. Rajoituksia tämän järjestelmän yleistymiseen tulee kuitenkin rakennusvalvontaviranomaisilta, joiden vaatimukset vaihtelevat paikkakunnan mukaan.

Taulukossa 13 on esitetty ilmanvaihdon korjausratkaisujen kustannuksia.

Taulukko 13. Koneellisen poistoilmanvaihdon korjausratkaisujen kustannukset. Pohjana on käytetty rakennusta Kiinteistö Oy Siilitie 9.

JÄRJESTELMÄ	LVI-TYÖT
Liesikupu	1 200 mk/asunto
Ulkoilmaventtiilit	400 mk/huone
Sähköinen ulkoilmalaite	2 800 mk/asunto
Vesilämmitteinen ulkoilmalaite	3 300 mk/huone
Puhaltimella varustettu tuloilmalaite	3 500 mk/huone
Venttiiliohjattu poisto	25 mk/as. m ²
Keskitetty tulo, poisto ja LTO	6 000 mk/asunto

5 KONEELLINEN POISTOILMANVAIHTO 1970-LUVUN ASUINKERROSTALOSSA

5.1 KOEKOHDE

Rakennus (Palovartijantie 6 - 8, talo 3) valmistui vuonna 1976 Helsingin Tapanilaan. Rakennuksessa on 7 kerrosta ja tilavuus on 7 040 m³. Huoneistoja-kauma on seuraava:

1 h + kk	12 kpl
2 h + kk	12 kpl
3 h + k	12 kpl.

Rakennuksessa on yksi porras, 6 asuinkerrosta ja kellarikerroksessa saunaosasto, pesulatilat, varastotiloja ja väestönsuoja. Rakennuksessa on keskitetty koneellinen poistoilmanvaihto, ilmanvaihtokanavat ovat peltiä. Rakennus on liitetty kaukolämpöverkkoon. Huonelämpötilaa säädetään termostaattisilla patteriventtiileillä.

5.1.1 Asukaskysely

Asukaskyselyyn vastasi 36 taloudesta 20. Talouksien taustatiedot on esitetty liitteen 1 taulukossa 1.

Asunnon ilman raikkautta piti hyvänä 35 %, kohtalaisena 60 % ja huonona 5 %. Syynä huonoon ilman laatuun oli mm. naapurihuoneistoista kulkeutuvat hajut ja käryt. Liitteen 1 taulukossa 2 on esitetty asukkaiden mielipiteiden jakautuminen eri tilojen ilmanraikkaudesta.

Yli puolet asukkaista (55 %) halusi tehokkaampaa ilmanvaihtoa keittiöön, varsinkin ruoan laiton ajaksi. Ikkunatuuletusta käytettiinkin keittiössä yleisesti (60 %) ruoan laiton aikana, vaikka siitä aiheutui veto-, melu- ja pölyhaittaa.

Lähes puolet asukkaista (45 %) halusi tehokkaampaa ilmanvaihtoa kylpyhuoneeseen. Kolme neljäsosaa (75 %) kertoi kosteutta tiivistyvän esimerkiksi peilin pinnalle suihkussa käynnin yhteydessä. Ilman kosteuteen vaikutti myös pyykin-kuivaus kylpyhuoneessa. Vuodenajalla ei ollut selvää yhteyttä kylpyhuoneen kosteuteen. Liitteen 1 taulukossa 3 on esitetty päivittäisten suihkussa käyntien ja pyykin-kuivausten yleisyys.

Kysymykseen "mikä ilmanvaihtojärjestelmä on kiinteistössä" lähes kaksi kolmasosaa (65 %) ei osannut vastata. Kolmasosa tiesi, että kiinteistössä on koneellinen poistoilmanvaihto.

Joka kymmenes oli sitä mieltä, että venttiilien avulla voi säätää ilmanvaihtoa. Alle puolet (40 %) ilmoitti itse puhdistavansa keittiön venttiilit. Kolmessa asunnossa venttiilit oli puhdistanut huoltomies. Tarpeenmukaisesti säädettävää ilmanvaihtoa halusi joka kolmas (35 %) haastatelluista.

5.1.2 Mittaukset

Mittauksin selvitettiin rakennuksen painesuhteita ja venttiilien ilmavirrat yhdeksässä asunnossa. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 14. Mittausten aikana poistokone toimi 1/2-teholla.

Venttiilikohtaiset poistoilmavirrat eivät täyttäneet nykyisiä rakentamismääräyksiä. Pienissä asunnoissa täyttyi kuitenkin ilmanvaihdon minimivaatimus 0,50 l/h, mutta isommissa asunnoissa ilmanvaihdon minimivaatimus ei toteutunut.

Ulkoseinien yli vallitseva paine-ero oli pieni, joten tuulisella säällä läpi talon olevissa huoneistoissa tapahtui ilman läpivirtausta. Ilmaa tuli tuulen puoleiselta seinältä sisään ja poistui tuulen alapuoleiselta seinältä.

Alimpien kerrosten huoneistot olivat ylipaineisia ja ylimpien kerrosten huoneistot alipaineisia rappukäytävään nähden, joten hajut levisivät alimpien kerrosten huoneistoista ylimpien kerrosten huoneistoihin.

Taulukko 14. Venttiilien ilmavirrat ja paine-erot, huoneiston ja ulkoilman välinen (Δp_{h-u}) ja huoneiston ja rappukäytävän välinen paine-ero (Δp_{h-r}) sekä ilmanvaihtokerron (n) (Palovartiantie 6 - 8). Ulkolämpötila oli 5 °C.

Huoneisto/krs	Sisälämpötila (°C)	PAINE-EROT			VENTTIILIT			
		Δp_{h-r} (Pa)	Δp_{h-u} (Pa)	Venttiili.	Ilmavirta (dm ³ /s)	$\Delta p_{ventt.}$ (Pa)	n (1/h)	
nro 72 2 h + kk 6. as. krs (ylin krs)	22,1	5	1,5	KK WC VH	5,6 6,5 1,4	15...20 14...18 12	0,41	
nro 60 2 h + kk 4. as. krs	24,2	3	1 (fasadi 1) 2 (fasadi 2)	KK WC VH	6,1 3,9 1,4	18 18 16	0,35 0,38 ^{c)}	
nro 48 2 h + kk 2. as. krs	23,4	-2 *)	5	KK WC VH	7,8 4,6 1,2	20 28 17	0,42 0,46 ^{c)}	
nro 71 1 h + kk 6. as. krs	21,0	2...3	2...3	KK WC	8,9 7,5	30...38 30	0,80	
nro 59 1 h + kk 4. as. krs	23,9	2...3	3	KK WC	5,3 4,6	14...16 19	0,48	
nro 47 1 h + kk (ikkuna ollut auki) 2. as. krs	20,0	-0,5 *)	4,5	KK WC	6,7 5,6	18 20	0,60 0,71 ^{c)}	
nro 75 3 h + k 6. as. krs	21,8	0...2	6...8	KK WC	6,7 6,7	16 16	0,30	
nro 63 3 h + k 4. as. krs	22,5	1	-2**) 1 (fasadi 2)	KK WC	5,6 3,9	21 23	0,21	
nro 51 3 h + k 2. as. krs	21,5	-2 *)	1	KK WC	a) 0,9 b)	- 27	-	

*) huoneisto ylipaineinen rappukäytävään nähden

***) huoneisto ylipaineinen ulkoilmaan nähden

a) keittiöön asennettu uusi kaapisto siten, että poistoventtiili ei ole näkyvässä (ei myöskään puhdistettavissa)

b) venttiili oli tukkeutunut liasta

c) ikkunat auki mittauushetkellä

5.1.3 Johtopäätökset

Käyttäjäkyselyn mukaan yli puolet asukkaista oli havainnut hajujen leviävän huoneiston sisällä. Yli puolet vastanneista ilmoitti tarvitsevänsä nykyistä tehokkaampaa ilmanvaihtoa keittiöön. Kolme neljästä kertoi tuulettavansa asuntoaan ilman laadun takia, vaikka siitä aiheutui veto-, melu-, haju- ja pölyhaittaa.

Mittausten mukaan joissakin yksioissa toteutui nykyisten rakentamismääräysten mukainen ilmanvaihdon minimivaatiomus 0,5 l/h, mutta esim. kaksioissa ja kolmioissa ei toteutunut. Rakennus oli hatara, joten painesuhteet eivät olleet hallinnassa.

Ilmanvaihtoon tyytymättömien osuutta voidaan pitää niin suurena, että kohteessa olisi koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaa parannettava. Asukkaan mahdollisuuksia säätää ilmavirtoja toimintojen mukaan tulisi lisätä. Kysymykseen voisi tulla myös ilmanvaihdon energiankulutuksen pienentäminen poistoilman lämmöntalteenottolaitteella.

5.2 KORJAUSVAIHTOEHDOT

Rakennus on rakennettu 1976. Talonrakentamisen laatu oli yleisesti huono 1970-luvulla. Myös tässä koekohteessa ulkoseinien tiiviys oli heikko. Kohteessa ei mitattu ikkunoiden tiivyyttä. Jos ulkoseinien vuotokohdat ovat pääasiassa ikkunapuitteissa, voidaan ikkunoiden kunnollisella tiivistämisellä saada painesuhteet paremmin hallintaan.

Ulkoseinien heikosta tiivyydestä johtuen ulko- tai tuloilmaratkaisut eivät sellaiseenaan sovellu tähän koekohteeseen. Liesikupujen asentaminen vähentäisi keittiön käryjen leviämistä muihin huoneisiin, samalla vähentyisi keittiön pintojen likaantumisen. Liesikupujen asentamiselle ei ole toiminnallisia esteitä. Huoneiston ulko-oven tiivyyden parantaminen vähentäisi hajujen leviämistä huoneistosta toiseen.

Ulkoseinien ja mahdollisesti myös välipohjien tiivistäminen on tämän koekohteen ensimmäinen ilmanvaihdon korjaustoimenpide. Onnistuneen tiivistämistyön jälkeen soveltuvat kaikki kohdassa 4.2 esitetyt ilmanvaihdon korjausvaihtoehdot myös tähän rakennukseen.

5.2.1 Ilmanvaihdon venttiiliohjaus

Poistoilmavirtojen ohjaustavan muutos kello-ohjauksesta venttiiliohjaukseen antaa asukkaalle mahdollisuuden tehostaa keittiön poistoilmavirtaa tarvittaessa. Poistoilmavirtojen mitoitusilmavirrat muuttuvat alkuperäiseen ilmanvaihdon mitoitusarvoon (taulukko 15) verrattuna esimerkiksi taulukon 16 mukaiseksi.

Taulukko 15. Alkuperäisen suunnitelman mukaiset poistoilmavirrat (dm^3/s) ja ilmanvaihtokertoimet (1/h) puhaltimen toimiessa puolella ja täydellä ilmavirralla, (Palovartijantie 6 - 8).

		Puhaltimen 1/2-teho					Puhaltimen 1/1-teho				
		Ilmavirta, dm^3/s				1/h	Ilmavirta, dm^3/s			1/h	
Asunto	Pinta-ala, m^2	Keittiö	Kylpyh.	Vaatehuone	Yht.		Keittiö	Kylpyh.	Yht.,		
1h + kk	29,5	9	7		16	0,78	18	14	32	1,56	
2h + kk	47	9	8	3	20	0,61	18	16	40	1,23	
3h + k	67,5	11	8	3	22	0,47	22	16	44	0,94	
Yhteensä					58	0,58			116	1,16	

Taulukko 16. Venttiilitehosteisen järjestelmän ehdotetut poistoilmavirrat (dm^3/s) ja ilmanvaihtokertoimet (1/h), (Palovartijantie 6 - 8).

		Normaali käyttö (ei tehostusta)					Tehostusilmavirrat				
		Ilmavirta, dm^3/s				1/h	Ilmavirta, dm^3/s			1/h	
Asunto	Pinta-ala, m^2	Keittiö	Kylpyh.	Vaatehuone	Yht.		Keittiö	Kylpyh.	Yht.,		
1h + kk	29,5	4	10		14	0,68	20	15	35	1,71	
2h + kk	47	4	15	2	21	0,64	20		37	1,13	
3h + k	67,5	6	15	3	24	0,51	20		38	0,81	
Yhteensä					59	0,59			110	1,10	

Venttiilitehosteisessa järjestelmässä asukas voi lisätä keittiön poistoilmavirtaa tarvittaessa rakentamismääräysten ohjearvoon 20 l/s liesikuvusta. Ajastin palauttaa ilmavirran perusarvoonsa. Suurissa asunnoissa kylpyhuoneen ilmavirta on jatkuvasti ohjearvossa 15 l/s. Yksöiden kylpyhuoneisiin on valittu pienempi perusilmavirta 10 l/s ja esimerkiksi automaattisella ohjauksella toimivat tehostusventtiilit. Ohjaus voi tapahtua valokatkaisimen tai kosteuden perusteella.

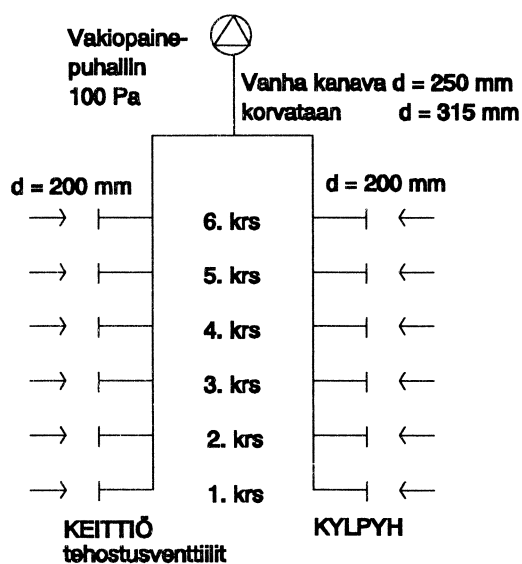
Verrattuna nykyiseen normaalikäyttötilanteeseen (1/2-teho) kokonaisilmavirrat pienenevät hieman yksöissä ja kasvavat kolmen huoneen asunnoissa. Talon kokonaisilmavirta pysyy lähes samana perusilmanvaihdon tilanteessa. Kokemusten mukaan keittiön ilmanvaihdon tehostusaika venttiiliohjauksessa on lyhyempi kuin kello-ohjauksessa, keskimäärin 1 - 2 tuntia vuorokaudessa, joten kokonaisuutena ilmanvaihto ja energian kulutus pienenevät.

Poistoilmajärjestelmän korjaustoimenpiteet ovat

- kanavien kunnan (tiiviyys, ylimääräiset ilmavirran kuristuskohdat) tarkistus ja tarvittavat korjaukset
- ulkoilmaventtiilien tarpeen selvittäminen

- ajastimella varustettujen, tehostettavien liesikupujen asennus
- tehostettavien venttiilien asennus yksiöiden kylpyhuoneisiin
- vakiopainepuhaltimen asennus
- katolla olevien poistokanavien vaihto osittain suurempiin ja
- painetason ja ilmavirtojen perussäätö.

Ilmavirran kuristuskohdat kanavistossa heikentävät muuttuvaimavirtaisen järjestelmän toimintaa. Siksi säätöpellit ja muut ylimääräiset painehäviön aiheuttajat tulee poistaa. Kyseeseen voi tulla myös kanaviston (kuva 40) väljentäminen. Näin pidetään kanaviston painehäviöt pieninä verrattuna venttiilien painehäviöön. Siten vältetään liian suurten paineiden aiheuttamat ääniongelmät ja kanaviston ilmavuodot ja toisaalta vähennetään ilmavirtojen vaihtelua eri käyttötilanteissa.



Kuva 40. Poistoilman kanavointi päällekkäisissä kolmen huoneen ja keittiön huoneistoissa (Palovartijantie 6 - 8). Puhallin on yhteinen kaikille talon 36 huoneistolle.

Hyvin toimivassa muuttuvaimavirtaisessa kanavistossa paine vaihtelee vain vähän eri käyttötilanteissa, jolloin myös ilmavirrat ovat hallittavissa. Kolmen huoneen huoneistoille tehdyt simulointilaskelmat osoittivat, että alkuperäisillä kanavamitoilla paine vaihtelee keittiön venttiilihaaroissa varsin paljon eri käyttötilanteissa, välillä 42 - 92 Pa, jos puhaltimelle on säädetty paine 140 Pa. Kanavistopaine on pienin kaikkien kuuden päällekkäisen keittiön tehostaessa samanaikaisesti ilmanvaihtoa ja suurin, kun ilmanvaihtoa ei tehosteta.

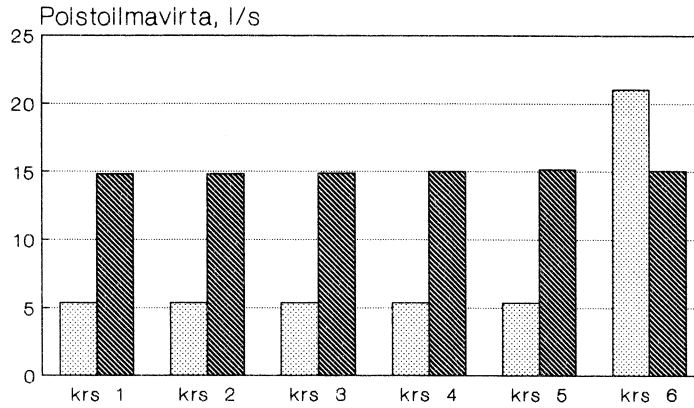
Korvaamalla katolla oleva 250 mm:n kokoojakanava 315 mm:n kanavalla painevaihtelu venttiilihaaroissa pieneni kohtuulliseksi, välille 41 - 73 Pa, kun puhaltimen paine samalla pienennettiin arvoon 100 Pa. Kylpyhuonelinjassa vastaava painevaihtelu oli 47 - 66 Pa.

Kanaviston muutostarpeeseen vaikuttaa ratkaisevasti se, kuinka monta samanaikaista tehostusta oletetaan mitoitustilanteessa. Tehostuksen käyttöä on seurattu Hämeenlinnassa olevassa koetalossa (Heikkinen 1988). Puolentoista vuoden aikana samanaikaisten tehostajien määrä oli enimmillään vain 26 % eli 9 asuntojen kokonaismäärästä 35. Tehostuksen käytöstä ei ole vielä kuitenkaan tarpeeksi tietoa täsmällistä mitoitustilanteen varten.

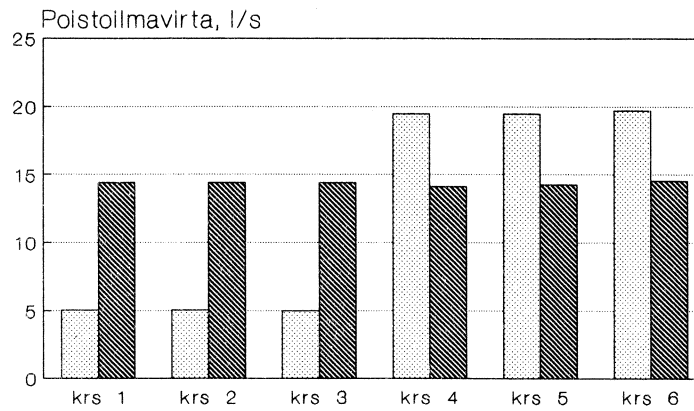
Tehostajien lukumäärän vaikutusta ilmavirtoihin on esitetty kuvassa 41. Keittiön ilmavirtaa tehostavia asukkaita on joko yksi, kolme tai kuusi kuudesta mahdollisesta. Näiden tilanteiden todennäköisyyttä voisi kuvata edellä mainitun koekohteen perusteella sanoilla ”tavallinen” (17 % tehostaa), ”harvinainen” (33 %) ja ”epätodennäköinen” (100 %). Ilmavirrat pysyvät hyvin suunnittelu-arvoissaan lukuun ottamatta tilannetta, jossa kaikki tehostavat samanaikaisesti ilmanvaihtoa.

Kohteena olevan rakennuksen ulkovaipan tiiviys on niin heikko, että ulkoilmaventtiilien asentaminen ei ole välttämätöntä tehostustilanteen ilmavirtojen toteutumisen kannalta. Tämä näkyy siitä, että mitatut paine-erot ulkovaipan yli ovat pieniä (ks. taulukko 14). Tiivistetyssä tai alun perin tiiviissä talossa ulkoilmaventtiilit ovat tarpeen poistoilmavirtojen toteutumisen kannalta. Lisäksi ulkoilmaventtiileillä voidaan ohjata ulkoilma tarkoituksenmukaisesti asuinhuoneisiin.

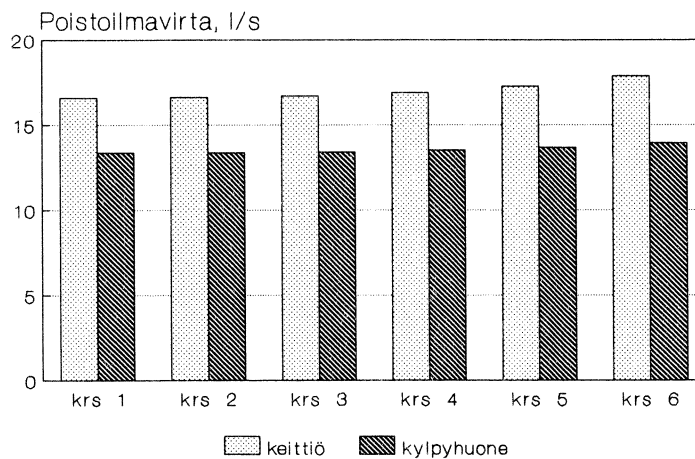
**Ilmavirrat eri kerroksissa
Puhallinpaine 100 Pa, 1 tehostus**



**Ilmavirrat eri kerroksissa
Puhallinpaine 100 Pa, 3 tehostusta**



**Ilmavirrat eri kerroksissa
Puhallinpaine 100 Pa, 6 tehostusta**



Kuva 41. Ilmavirran tehostajien lukumäärän vaikutus poistoilmavirtoihin venttiiliohjatussa järjestelmässä laskelmien mukaan. Ylin kuva vastaa esiintyvyydeltään tavallista, keskimääräinen harvinaista ja alin epätodennäköistä käyttötilannetta, (Palovartijantie 6 - 8). Puhaltimelle säädetty paine on 100 Pa ja poistoilmakanava katolla on väljennetty.

6 KOKEMUKSIA ILMANVAIHDON KORJAUKSISTA

6.1 NYKYISTEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSTEN SOVELTAMINEN KORJAUSRAKENTAMISESSA

Tässä luvussa esitetään näkökohtia siitä, miten ilmanvaihdon toiminta tulisi ottaa huomioon korjausrakentamisessa, joka ei suoranaisesti kohdistu ilmanvaihtojärjestelmään. Luvussa käsitellään myös nykyisten ilmanvaihtomääräysten soveltamista ilmanvaihtojärjestelmän muutoksissa. Kooste on tehty LVI-kustannuksen teettämästä julkaisusta Ilmastointimääräysten soveltaminen korjausrakentamisessa 1991.

Ilmanvaihdon korjausrakentamisesta ei ole olemassa erityisiä ohjeita tai määräyksiä. Rakennusvalvontaviranomaiset tulkitsevat nykyisiä ilmanvaihtomääräyksiä (RakMk, osa D2, 1987) hieman eri tavoin eri paikkakunnilla.

Korjausrakentamisessa ei hyvin toimivaa ilmanvaihtolaitosta tarvitse muuttaa, vaikka se joiltain osin ei täyttäisikään nykyisiä rakentamismääräyksiä. Määräyksiä ja ohjeita sovelletaan korjausrakentamisessa sellaisenaan, kun on kysymys järjestelmien yhdistämisestä. Ilmanvaihtosuunnitelmat tehdään määräysten mukaan, jos ilmanvaihtolaitos uusitaan kokonaan tai siihen tehdään muutoksia, jotka vaikuttavat koko laitoksen toimintaan. Myös huollon minimiedellytykset on turvattava.

Suurehkojen korjausten yhteydessä on syytä tehdä ilmanvaihdon tarkastusmittaukset ja vastaavat pöytäkirjat. Mm. kanavien tiiviyskoe on suoritettava. Vastaanottotarkastukset ja mittaukset tehdään yleensä samalla tavoin kuin uudisrakentamisessa.

Osittain uusittu ilmanvaihtolaitos pyritään tiivistämään, mutta vaikeasti tiivistettävien komponenttien osalta voidaan soveltaa yhtä tiiviysluokkaa alempia vaatimuksia. Korjausten jälkeen laitoksen kokonaisvuoto ei saisi olla suurempi kuin 10 % laitoksen kokonaisilmavirrasta. Jos ilmanvaihtolaitos uusitaan kokonaan, ovat sen tiiviysvaatimukset samat kuin uudisrakentamisessa.

Kanavien yhdistämistä ja alipaineisuutta koskevia määräyksiä voidaan tulkita joustavasti. Tämä edellyttää kuitenkin mittauksia tai muita selvityksiä kanavien kunnosta ja tiiviydestä.

Korjausrakentamisessa ilmanvaihdon energiataloutta koskevia vaatimuksia ei tulkita kirjaimellisesti. Tässä otetaan huomioon mm. korjauksen laajuus. Usein energiatalouden parantaminen on kannattavaa, esimerkiksi asentamalla ilmanvaihtoon poistoilman lämmöntalteenotto. Uusien puhaltimien tulee täyttää nykyisten

rakentamismääräysten hyötysuhdevaatimukset. Lisäksi kiinnitetään suurta huomiota ilmanvaihtolaitteiden toiminta-alueiden ja -aikojen ryhmittelyyn.

Korjausrakentamisen jälkeen ilmanvaihtolaitokselta on syytä edellyttää samaa hygieenistä tasoa kuin uudisrakentamisessa. Hygieniavaatimukset voidaan saavuttaa vanhojen laitteiden osalta esimerkiksi riittävän usein toistuvilla tarkastuksilla ja huollolla. Uusittujen laitteiden on täytettävä nykyiset rakentamismääräykset.

Sisäilmastoon ja ilmanvaihdon toimivuuteen vaikuttavat monet rakennukseen kohdistuvat toimenpiteet, jotka eivät suoranaisesti koske ilmanvaihtojärjestelmää. Usein nämä toimenpiteet eivät vaadi rakennuslupaa. Rakennuksen vaippa voi tiivistyä esimerkiksi lisäeristyksen, sisä- tai ulkoverhouksen uusimisen, lattiapinoituksen tai muun korjauksen yhteydessä. Rakennuksen tiivistämisen vaikutus ilmanvaihtoon on suuri pelkkään poistoon perustuvissa järjestelmissä. Näissä järjestelmissä myös ikkunoihin kohdistuvat toimenpiteet huonontavat ilmanvaihtoa. Poisto aiheuttaa rakennukseen suuremman alipaineen, mutta korvausilmasaanti vaikeutuu, ellei siitä erikseen huolehdita, esimerkiksi järjestämällä tuloilmareittejä.

Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä uunilämmityksen muuttaminen esimerkiksi radiaattori- tai sähkölämmitykseksi poistaa kokonaan palamisen aiheuttaman tehokkaan ilmanvaihdon lämmityksen aikana. Painovoimaisen ilmanvaihdon rakennuksessa puuliesi tehostaa ilmanvaihtoa ruoanlaiton aikana. Siirtyminen sähkö- tai kaasulieteen poistaa nämä puuliedellä saadut ilmanvaihdon tehostustilanteet.

Väliseinien lisääminen tai siirtäminen voi synnyttää huoneita, joissa ei ole ilmanvaihtoa lainkaan. Jos ilman virtausreiteistä tulo- tai poisto katkaistaan, ei ilma pääse vaihtumaan suunnitellulla tavalla.

Saunan, suihkun tai pesuhuoneen rakentaminen tuo rakennukseen lisää kosteutta, jonka poistaminen vaatii ilmanvaihdon tehostamista.

Ulkoiset olosuhteet voivat muuttua. Esimerkiksi liikenteen lisääntyminen lisää ulkoilman epäpuhtauksia, jotka kulkeutuvat ulkoilman mukana rakennukseen. Käytännössä tämä ongelma voidaan ratkaista siirtämällä ulkoilma-aukot rakennuksen puhtaalle puolelle.

Rakennuksen lämpökuormaa lisääviä tekijöitä ovat valaistuksen lisääminen ja uusien kodin tai konttorikoneiden hankinta. Vanhojen rakennusten henkilökuormitus on usein pienempi ja huonekorkeus suurempi kuin uudisrakennuksissa. Korjausrakentamisessa tulee tarkistaa, että voimassa olevat rakentamismääräysten ilmavirtaohjeet toteutuvat henkilöperusteen mukaan. Lisäksi tulee tarkistaa, että normaalikorkuisen huonetilan ilmanvaihtuvuus on $0,5 \text{ h}^{-1}$.

Rakennuksen painesuhteita koskevia määräyksiä tulee noudattaa korjausrakentamisessa. Pitkäaikainen rakenteiden kosteusrasitus on estettävä. Epäpuhtaudet tai kosteus eivät saa haitallisesti päästä leviämään rakennuksessa.

6.2 KOKEMUKSIA SUOMESTA

Kiinteistö Oy Yläkiventien ilmanvaihdon korjaus tehtiin vuonna 1965. Korjauksen syynä olivat rakennusaikaiset virheet ilmanvaihdossa, joista oli valitettu rakennuksen valmistumisesta lähtien (v. 1944) erittäin paljon (Ilmastointimääräysten soveltaminen korjausrakentamisessa 1991).

Koneellisella poistolla varustetussa asuinrakennuksessa todettiin, että ullakolla olevissa vaakasuorissa tiilikanavissa oli jopa käden mentäviä aukkoja. Betonirakenteiset pystykanavat olivat nuohoojan lausunnon mukaan riittävän tiiviit, joten ilmanvaihtolaitoksen korjauksessa uusittiin aluksi vain vuotavat vaakakanavat. Asunnoissa ilman kulkua parannettiin järjestämällä uusiin ikkunapuitteisiin ilmaraot. Ilmanvaihtolaitoksen toiminta ei mittausten mukaan kuitenkaan korjauksessa parantunut. Tämän jälkeen pystykanavia korjattiin siten, että kerrosten kohdalla tehtiin hormeihin reikiä, joiden kautta vuotokohtia paikattiin käsityönä laastilla. Saunatilojen hormit varustettiin sisäpuolisella peltikanavalla.

1980-luvun alussa VTT:n LVI-tekniikan laboratorio tutki kahdeksan asuin-kerrostalon ilmanvaihdon korjausta. Kaikkiin kohteisiin asennettiin poistoilman lämmöntalteenotto-laite (LTO) (Lämmön talteenotto poistoilmasta 1983).

Yhdessä kohteessa muutettiin painovoimainen poistoilmanvaihto koneelliseksi tulo- ja poistoilmajärjestelmäksi (huonekohtainen sisäänpuhallus). Tässä kohteessa vanhat rakenneainehormit korvattiin uusilla peltikanavilla.

Seitsemässä kohteessa oli alun perin koneellinen poistoilmanvaihto. Lämmön talteenotto-laitteen asentamisen yhteydessä niihin asennettiin tuloilmajärjestelmä seuraavasti:

- yksi huonekohtainen sisäänpuhallus
- yksi huoneistokohtainen sisäänpuhallus
- yksi porraskäytävä sisäänpuhallus
- neljä porraskäytävän paineistusta.

Ilmanvaihdon korjauksen seurannan tärkeimpiä havaintoja olivat seuraavat seikat:

- kohteissa, joissa vanha poistoilmahuollin jätettiin ennalleen, pienentyi poistoilmavirta 45 %, mikä johtui lämmönsiirtimen aiheuttamasta poistoilmapuolen virtausvastusten kasvusta. Näihin puhaltimiin vaihdettiin kiilahihnapyörät.
- Automaatiikan toiminnassa oli ongelmia. Kriittisiä kohtia olivat LTO:n jäätyminen esto sekä tuloilman lämpötilan säätö.
- Rakenneainehormien ja peltikanavien liitosten tiiviys jäi usein heikoksi.

- Porraskäytävän paineistaminen toimi tyydyttävästi enintään nelikerroksisessa talossa ellei tuloilmaa kanavoitu. Yhdessä kohteessa on porraskäytävän lämmityspatterit jouduttu ottamaan uudelleen käyttöön, koska tuloilman lämpösisältö ei ole ollut riittävä (Pallari & Luoma 1993).
- Porraskäytävän paineistaminen aiheutti joissakin huoneisto-ovissa häiritsevää kolinaa.
- Porraskäytävää käyttävät järjestelmät olivat häiriöalttiita. Ongelmat kasvoivat kerrosluvun mukaan.
- Tuloilman eteiseen puhaltaminen ei kaikissa huoneistomuodoissa ollut hyvä ratkaisu, esim. kun tuloilma ei kulkenut olo- tai makuuhuoneiden kautta poistoilmaventtiilille.
- Huoneistokohtainen sisäänpuhallus aiheutti pienissä asunnoissa vedon tunnetta myös oleskeluhuoneissa, koska pienissä asunnoissa tulo- ja poistoilmamäärät olivat tilavuusyksikköä kohti laskettuna 2 - 3 kertaisia suurten asuntojen ilmamääriin verrattuna.
- Ilmanvaihdon energiankulutus ei kaikissa kohteissa vastannut odotuksia, koska LTO-laitteissa esiintyi käyttö- ja säätöhäiriöitä sekä ilmamäärien ja lämpötilojen muutoksia.
- Hatarissa taloissa jäivät lämmöntalteenotolla saavutettavat säästöt usein niin pieniksi, ettei investointia saatu kannattamaan. Huoneiden ja ulkoilman välisten paine-erojen olisi pitänyt olla pieniä, jotta korvausilmasta mahdollisimman suuri osa olisi tullut jonkin hallitun tuloilmareitin kautta.
- Suunnittelussa ja tilavarauksessa huollettavuutta ei aina ole otettu huomioon.
- LTO olisi useimmissa tapauksissa vaatinut parempaa taitoa suunnittelijoilta, toteuttajilta ja ennen kaikkea käyttäjiltä.

6.3 KOKEMUKSIA RUOTSISTA

Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa (Eriksson 1988) tavoitteena oli selvittää, kuinka erilaiset ilmanvaihtoratkaisut toimivat peruskorjauskohteissa. Mittauksin ennen ja jälkeen korjauksien selvitettiin, onko sisäilmasto muuttunut parempaan vai huonompaan suuntaan. Rakennusten tiiviyydet mitattiin. Kahdessa kohteessa selvitettiin lisäksi autoliikenteen aiheuttamien epäpuhtauksien ja melun vaikutusta sisäilmastoon.

Koekohteina oli vuosilta 1900 - 1952 kuusi kerrostaloa, joissa on 3 - 8 asuinkerrosta (taulukko 17). Korjaukset olivat varsin laajoja; pieniä asuntoja yhdistettiin suuremmiksi muissa paitsi yhdessä talossa (Hofors). Korjausten syitä olivat myös hygienia- ja muiden tilojen varustuksen puutteet sekä energiatalouden parantami-

nen. Ikkunat vaihdettiin tai muutettiin kolmilasisiksi ja ulkoseinien lämmöneristystä parannettiin. Parvekkeiden ja huoneistojen ovia uusittiin.

Taulukko 17. Korjauskohteina olleiden asuinkerrostalojen rakennusteknisiä tietoja (Eriksson 1988).

Kohde/paikkakunta	Valmistumisvuosi	Kerros-luku	Asuntojen lukumäärä		Ulkoseinien materiaali	Välipohja
			ennen	jälkeen		
LOKET Stockholm	1927	8+K	22	19	Tiili	Puu Betoni+ Teräspalkit
BRYNÄS Gävle	1946	4+K	16	12	Tiili	Betoni
NESTOR Malmö	1939	4+K +VV	33	24	Tiili	Betoni
BULTEN Stockholm	1915	6+K +VV	29	17	Tiili	Puu
MIDGÅRD Stockholm	1900	5+K	19	16	Tiili	Puu
HOFORS Bofors	1952	3+K	18	18	Kevytbetoni	Betoni

Tutkimuksen (Eriksson 1988) kohteena olleissa taloissa oli kaikissa alun perin painovoimainen ilmanvaihto (taulukko 18). Yhdessä kohteessa (Loket) se säilytettiin ja lisättiin liesituulettimet. Yhdessä kohteessa (Nestor) siirryttiin täysin koneelliseen järjestelmään. Korjaus tässä talossa oli hyvin laaja, mm. huoneistojen määrää vähennettiin 33:sta 24:ään. Asuinpinta-ala kasvoi 20 % ullakkotilan käyttöön oton jälkeen. Ristivirtalämmönsiirtimellä varustettu ilmanvaihtokone sijoitettiin konehuoneeseen ullakolle. WC:hin ja kylpyhuoneisiin asennettiin aikakytkimillä varustetut poistoventtiilit. Muihin taloihin asennettiin koneellinen poistoilmanvaihto.

Taulukko 18. Ilmanvaihtojärjestelmät ennen ja jälkeen peruskorjauksen ja ilmanvaihtojärjestelmän korjauskustannukset (Eriksson 1988).

Kohde Peruskorjaus- vuosi	Ilmanvaihtojär- jestelmä		Ulkoilma	Kustannukset (Skr)/asunto		Asunnon keskim. pinta-ala m ²	Kustan- nukset Skr/asuin m ²
	ennen	jälkeen		Iv.laitteet Sähkötyöt Rakentaminen	Yhteensä		
LOKET 1984	P	P Tehos- tettu		6 800 900 5 200	12 900	61.4	210
BRYNÄS 1985	P	K	Rakoven- tiili	11 300 500 4 400	16 200	68.5	236
NESTOR 1986	P	KTP	Kanava	28 800 1 000 8 300	38 100	79.8	477
BULTEN 1986	P	K	Kanava Rakoven- tiili	17 600 900 10 000	28 500	69.4	411
MIDGÅRD 1986	P	K	Kanava Rakoven- tiili	20 000 800 7 200	28 000	63.8	439
HOFORS 1987	P	K S	Rakoven- tiili	14 400 2 000 1 700	18 100	62.0	288

Lyhenteet: P = painovoimainen poisto,
K = koneellinen poisto,
KTP = koneellinen tulo- ja poisto ja lämmöntalteenotto
S = ilmavirran säätölaatikko hormien yläpäässä.

Ilmanvaihdon korjauskustannukset olivat 12 900...38 100 Skr/asunto. Halvinta oli säilyttää painovoimainen ilmanvaihto ja kalleinta oli asentaa täysin koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä. Kahdessa talossa (Bulten ja Midgård) koneellisen poiston rakentamiskustannukset olivat normaalia suuremmat, koska ulkoilma kanavoitiin pihan puolelta kadun puoleisiin huoneisiin. Tällä haluttiin vähentää liikenteestä aiheutuvia haittoja. Ilmanvaihdon korjauskustannukset olivat kaikissa kohteissa vain 4...9 % koko peruskorjauksen kustannuksista.

Vanha painovoimaisen poiston kanavisto jätettiin käyttöön Loketin ja Hoforsin hygieniatiloissa ja Hoforsin keittiöissä. Näissä kanavistopaine säilyi samana kuin entisessä painovoimaisessa järjestelmässä. Hofors-talossa kanavistopaine pidettiin aikaisemmallalla tasolla asentamalla koneellisen järjestelmän säätöventtiilit hormien yläpäähen erilliseen kokoojalaatikkoon. Keittiön ilmavirran tehostus toimi siten, että tehostuskytkin avasi ullakolla sijaitsevan säätöventtiilin. Muissa koekohteissa

asennettiin uudet peltikanavat joko uusiin roiloihin tai peltikanava sujutettiin vanhaan hormiin.

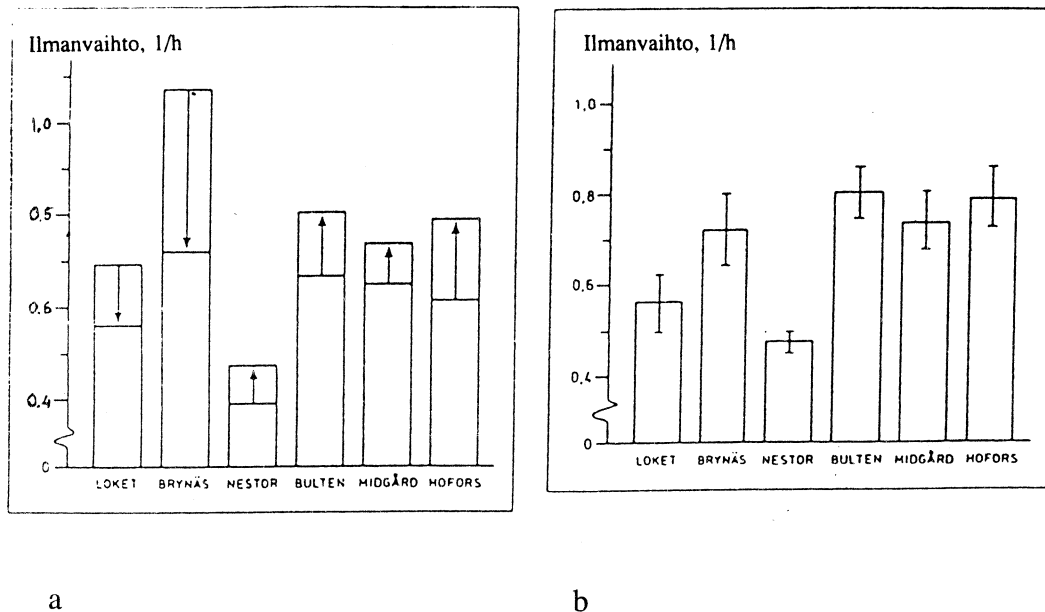
Ennen korjausta ulkoilmaventtiileitä oli kaikissa ruokakomeroissa, ikkunan karmeissa (Brynäs ja Hofors), asuinhuoneissa (Nestor ja Bulten) ja kylpyhuoneissa (Loket). Kylpyhuoneiden ulkoilma oli kanavoitu rakennuksen alaosasta jokaiseen kylpyhuoneeseen erikseen. Tätä ns. Stockholmsventilationia ei muutettu ja sen todettiin aiheuttavan ylipainetta asuntoihin, vaikka liesituuletin oli toiminnassa. Muut ulkoilmaventtiilit poistettiin käytöstä. Ulkoilman sisäänoton vetoisuus todettiin erääksi vaikeimmista ongelmista. Venttiilin lähellä ei voinut oleskella tai venttiili teipattiin kiinni. Mittausten perusteella vetoa ei kuitenkaan pidetty suurena ongelmana. Vain yhdessä tapauksessa, jossa oli lautasventtiili katossa, mitattiin ilman nopeudeksi yli 0,2 m/s.

Kahteen koneellisen poiston taloon asennettiin ulkoilmakanavat pihan puolelta. Näistä taloista toinen (Bulten) on vilkasliikenteisen kadun varrella ja toinen (Milgårg) hiljaisen kadun varrella. Ulkomelu vaimeni Bultenissa 8...11 dB(A), mutta se oli vieläkin 33...35 dB(A), kun tavoite oli 30 dB(A). Ulkomelu oli tällöin 69...72 dB(A). Midgårdissa ulkomelu oli 57...60 dB(A) ja sisällä 29...31 dB(A). Peruskorjauksen aiheuttama vaimennus oli 6...7 dB(A).

Liikenteen kaasumaisten päästöjen (CO, NO ja NO₂) kulkeutuminen asuntoihin ei peruskorjauksessa juurikaan vähentynyt. Vilkasliikenteisen kadun varrella olevassa Bultenissa syynä oli ehkä se, että ulkoilman kanavoinnista huolimatta suuri osa ulkoilmasta tuli edelleen vuotoina. Myöskään vähäliikenteisen kadun varrella olevassa talossa (Midgård) ei huoneilmaan kulkeutuneiden päästöjen pitoisuuksissa ollut eroja ennen ja jälkeen korjauksen. Pitoisuudet olivat pieniä ja lähes samoja kadun ja pihan puolella.

Ilmanvaihtokertoimien talojen väliset erot tasoittuivat korjauksissa (kuva 42a). Ilman ikäerot huoneissa eivät olleet suuria. Kohteissa Midgård ja Hofors ilma oli makuuhuoneissa hieman nuorempaa kuin asunnossa keskimäärin. Bultenissa ja Brynäsissä makuuhuoneissa oli hieman muuta asuntoa vanhempaa ilmaa.

Asuntojen tiiviys mitattiin asunto kerrallaan siten, että ilmavuoto sisälsi sekä ulkoa että naapurihuoneistoista tulevan ilman. Taulukon 19 mukaan ilmavuoto lisääntyi selvästi kolmessa talossa ja väheni selvästi yhdessä talossa.



Kuva 42. Asuntojen keskimääräiset ilmanvaihtokertoimet ennen ja jälkeen korjauksen (a). B-kuvassa asuntokohtaiset erot korjauksen jälkeen (Eriksson 1988).

Ikkunoiden uusimisen ja karmien tiivistyksen jälkeen tiivyyden olisi olettanut parantuneen. Näissä kohdin ilmapuotoja ei esiintynytäkään. Sen sijaan vuotokohtia oli välipohjissa ja huoneistojen välisissä seinissä. Tämä johtui peruskorjauksessa suuresti lisääntyneistä läpiviennistä (viemärit, sähkökaapelit, ilmanvaihtokanavat ym.).

Taulukko 19. Asuntojen ilmanvuotoluku (n_{50} , 1/h) 50 Pa:n koepaineella ennen ja jälkeen korjauksen (Eriksson 1988).

Koekohde	n_{50} (1/h)		Muutos (%)
	Ennen	Jälkeen	
LOKET	4.0	6.1	+52
BRYNÄS	1.5	4.1	+173
NESTOR	3.5	3.4	-3
BULTEN	5.4	10.7	+98
MIDGÅRD	9.0	5.7	-37
HOFORS	1.8	1.3	-28

6.4 KOKEMUKSIA KESKI-EUROOPASTA

International Energy Agency (IEA:n) tutkimusohjelmassa ANNEX 18 tutkittiin mm. tarpeen mukaan ohjautuvia ilmanvaihtojärjestelmiä (Månsson 1993). Asunnoissa tutkittiin mm. kosteusantureilla toimivien ulko- ja poistoilmaventtiilien

toimintaa. Kohteissa oli painovoimainen ilmanvaihto, jonka toimintaedellytyksiä haluttiin parantaa em. venttiiliratkaisuilla. Kokeiluja tehtiin mm. Ranskassa, Italiassa ja Benelux-maissa.

Olo- ja makuuhuoneiden ulkoilmasäleikköjen avautumia ohjattiin kosteusantureilla seuraavasti:

- suhteellinen kosteus < 30 %, minimi avautuma
- suhteellinen kosteus > 70 %, maksimi avautuma.

Suhteellisen kosteuden ollessa 30 - 70 % avautuma muuttui lineaarisesti minimiasennosta maksimiasentoon. Poistoilmaventtiilien säätö toimi samoin periaattein kuin ulkoilmasäleikköjenkin.

Kohteissa tehtiin sisäilman laatuun liittyviä seurantamittauksia. Tutkimusten pääasiallisia tuloksia olivat:

- huoneilman hiilidioksidipitoisuus (CO₂) korreloi hyvin huoneilman suhteellisen kosteuden kanssa
- yhdessä tutkimuksessa havaittiin lisäksi, että CO₂-pitoisuus korreloi suhteellisen kosteuden kanssa herkemmin, kun ilman suhteellinen kosteus oli pieni (kokeilu Ranskassa)
- olohuoneiden ulkoilmasäleiköt peitettiin usein vedon vuoksi
- yhdessä kohteessa väliovet olivat liian tiiviit ja poistoilmakanavat ahtaat, joten kosteusanturilla ohjattu ilmanvaihdon kokeilu ei parantanut merkittävästi painovoimaista ilmanvaihtoa
- rakennuksen hyvä tiiviys ja väljät ilmakanavat paransivat kosteusanturilla ohjatun ilmanvaihdon toimintaa
- yhdessä kohteessa (Italia) kylpyhuoneen alumiinisiin ikkunapuitteisiin tiivistyi usein kosteutta
- kahden vuoden käytön jälkeen laitteistoissa ei havaittu ikääntymisongelmia
- sisäilman laatu oli koekohteissa parempi kuin vertailuryhmissä.

Käytännön kokeet osoittivat, että painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa voitiin parantaa, kun venttiilien avautumia ohjattiin esimerkiksi kosteusantureilla. Suomen oloissa sisäilman kosteus on talviaikaan alhainen, joten kosteusanturilla ohjattu ilmanvaihdon tehostus voi koskea ainoastaan ns. märkätiloja, kuten kylpyhuoneet ja saunan pesutilat.

6.5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Sisäilmastoon ja ilmanvaihtoon vaikuttavat monet rakennukseen kohdistuvat toimenpiteet, jotka eivät suoranaisesti koske ilmanvaihtojärjestelmää. Ilmanvaihtojärjestelmän toiminta on otettava huomioon, kun kyseessä on esim. lämmitystavan muutos, ulko- tai sisäverhouksen uusiminen, ikkunoiden uusiminen, väliseinien lisääminen tai siirtäminen ja saunan, suihkun tai pesuhuoneen rakentaminen.

Ilmanvaihdon toiminta on syytä tarkastaa myös ulkoisten tai sisäisten olosuhteiden muututtua oleellisesti. Näitä ovat mm. liikenteen ja rakennuksen sisäisen lämpökuorman lisääntyminen.

Ilmanvaihdon korjauksissa pyritään nykyisiä rakentamismääräyksiä soveltamaan joustavasti, kun kyseessä ovat pienet muutokset. On kuitenkin huolehdittava siitä, että ilmanvaihdon taso ei huonone korjausrakentamisen yhteydessä. Kun kyseessä on ilmanvaihtolaitoksen täydellinen uusiminen, edellytetään nykyisten ilmanvaihtomääräysten noudattamista.

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa voidaan parantaa kuormituksen mukaan ohjautuvilla ulko- ja poistoilmaventtiileillä. Näistä on myönteisiä kokemuksia Keski-Euroopasta, jossa on kokeiltu huoneilman kosteuden mukaan säätyviä venttiilejä. Suomen oloissa kosteussäätöä voidaan käyttää ainoastaan märkätilojen ilmanvaihdon ohjaukseen.

Ilmanvaihdon korjauksessa voi tulla eteen ongelmia, joita suunnitteluvaiheessa ei aina voida ennakoida. Tästä on esimerkkinä painovoimaisen ilmanvaihdon muuttaminen koneelliseksi poistoksi. Yleisenä käytäntönä on luottaa nuohoojien tekemään hormien kuntoarvioon, mikä yleensä tehdään silmämääräisesti. Kuntoarvioinnin epäonnistuttua joudutaan toimivuuskokeiden jälkeen tekemään uusintakorjauksia. Tämä pitkittää korjausta ja aiheuttaa kustannusarvion huomattavaakin ylittymistä.

1980-luvun alussa toteutettiin useita ilmanvaihdon korjauskokeiluja, joissa asennettiin poistoilman lämmöntalteenottolaitteita (LTO). Tuolloin LTO-laitteissa oli säätöongelmia, jotka nykyisissä laitteissa on jo ratkaistu. Toisaalta tyyppihyväksyntämenettely ja siihen liittyvä laadunvalvonta ovat parantaneet huomattavasti ilmanvaihtokomponenttien laatua, joten nykytekniikalla on odotettavissa toimintavarmoja LTO:n toteutuksia vanhoissa asuinkerrostaloissa.

LTO:n toteutusten yhteydessä todettiin tuloilman porraskäytävään puhaltamisen olevan lupaava ratkaisu, mutta sen todettiin myös sisältävän ongelmia. Porraskäytävään integroitujen tuloilmajärjestelyjen yleistyminen vaatii vielä teoreettista ja käytännön tutkimusta.

Ruotsissa tehdyssä kerrostalojen korjaustutkimuksessa (Eriksson 1988) todettiin huoneiston sisäisen ulkoilmakanavoinnin koneellisen poiston järjestelmässä nostavan korjauskustannukset lähes kaksinkertaisiksi verrattuna kohteisiin, joissa

ulkoilmaa ei kanavoitu. Kustannukset olivat lähes koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän kustannusluokkaa, kun kaikki tuloilmakanavat vedettiin pihan puolelta.

Suurten korjaustoimenpiteiden yhteydessä rakenteiden tiiviys helposti huononee, jos lisätään läpivientejä, eikä niiden tiivistämistä tehdä kunnolla. Sisäisen tiiviyn heikentyessä hajujen leviäminen huoneistojen välillä lisääntyy.

Suuri ongelma ilmanvaihdon korjaustoimenpiteiden valinnassa on yleensä se, että eri ilmanvaihtojärjestelmien etu- ja haittapuolista esiintyy erilaisia käsityksiä. Ilmanvaihto ja rakennus ovat kokonaisuus, jonka toimintaan vaikuttavat useat tekijät. Vaikeutena on löytää optimaalinen ratkaisu, joka ottaisi huomioon useimmat näistä tekijöistä. Koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä valitaan, kun ilmanvaihdolle on suuret vaatimukset ja kun ulkoilma on liikaista. Täysin koneelliseen järjestelmään siirtymistä rajoittaa kanavointitilan puute.

7 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIEN KORJAUSTEN EDELLYTYSTEN KEHITTÄMIS- TARPEET

7.1 KUNTOARVIO

Asuntojen sisäilman laadun toteamiseen tarvitaan nopea ja luotettava menetelmä ja ohjeisto, josta valmiiksi laadittu asukaskyselylomake voisi olla yksi osa. Ilmanvaihtojärjestelmän teknisen toiminnan toteamiseen olisi laadittava yleispätevät ohjeet.

7.2 KOMPONENTTIEN TUOTEKEHITYS

Painovoimaiseen ilmanvaihtoon tulisi kehittää automaattisesti säätävät poisto- ja ulkoilmaventtiilit, jarrulla varustettu tuuliroottori sekä matalapaineinen poistoilmapuhallin.

7.3 MUUT KEHITYSTARPEET

Liesikuvuille ja tehostettaville venttiileille tulisi laatia tyyppihväksyntäohjeet.

Rakennuksen tiiviyyden toteamiseksi tulisi laatia nopeat ja luotettavat arviointi- ja mittausmenetelmät.

Rakennuksen tiiviyyden parantamiseksi tulisi kehittää menetelmiä ja ohjeita.

Vanhon kerrostalojen poistoilman lämmön talteenottoon tulisi kehittää teknisesti ja taloudellisesti kilpailukykyiset ratkaisumallit.

8 YHTEENVETO

8.1 ASUNTOJEN ILMANVAIHDON TOIMINTA

Viimeaikaisten tutkimusten mukaan suurimmassa osassa asuntokantaa on puutteellinen ilmanvaihto. 251 pien- ja kerrostaloasuntoa käsittäneen tutkimuksen perusteella nykyisten rakentamismääräysten mukainen ilmanvaihtokertoimen minimivaatimus 0,5 l/h ei toteutunut 52 prosentissa tutkituista asunnoista. Asuntojen ilmanvaihtuvuoksissa ei ollut suuria eroja eri ilmanvaihtojärjestelmien välillä. 60 asuinkerrostaloa käsittäneen tutkimuksen mukaan 20 - 30 vuotta käytössä olleissa koneellisen poistoilmanvaihdon rakennuksissa toteutuivat nykyisten rakentamismääräysten mukaiset poistoilmavirtojen ohjearvot vain noin viidesosassa asuntoja ikkunoiden ollessa kiinni ja puhaltimien toimiessa puolella teholla.

Tämän tutkimuksen koekohteena olleessa 1950-luvulla rakennetussa painovoimaisen poistoilmanvaihdon asuinkerrostalossa 78 % haastatelluista piti ilmanlaatua huonona tai korkeintaan kohtalaisena. Syyksi huonoon ilmanlaatuun ilmoitettiin homeinen haju huoneistoissa ja hajujen leviäminen muista huoneistoista. 56 % vastanneista ilmoitti tarvitsevansa nykyistä tehokkaampaa ilmanvaihtoa keittiöön ja 28 % kylpyhuoneeseen. Kaksi kolmesta kertoi tuulettavansa asuntoaan ilman laadun takia, vaikka siitä aiheutui veto-, melu-, haju- ja pölyhaittaa. Mittausten mukaan painovoimainen poistoilmanvaihto toimi rakennuksessa tyydyttävästi. Ikkunoita avaamalla voitiin poistoilmavirtoja kuitenkin tehostaa. Ilma virtasi poistoventtiileissä helposti väärään suuntaan, eli huoneistoon päin, varsinkin silloin, kun ikkunat olivat kiinni. Tämä johtui tuulen aiheuttamista paikallisista painevaihteluista hormien yläpäässä.

Koekohteena olleessa 1960-luvulla rakennetussa koneellisen poistoilmanvaihdon asuinkerrostalossa 64 % haastatelluista piti ilmanlaatua huonona tai korkeintaan kohtalaisena. Syynä huonoon ilmanlaatuun olivat mm. naapurihuoneistoista kulkeutuvat hajut ja käryt. 47 % vastanneista ilmoitti tarvitsevansa nykyistä tehokkaampaa ilmanvaihtoa keittiöön ja 11 % kylpyhuoneeseen. Kaksi kolmesta kertoi tuulettavansa asuntoaan ilman laadun takia, vaikka siitä aiheutui veto-, melu-, haju- ja pölyhaittaa. Mittausten mukaan asunnoissa toteutui nykyisten rakentamismääräysten mukainen ilmanvaihdon minimivaatimus 0,5 l/h. Myös venttiilikohtaiset poistoilmavirrat olivat vaatimusten mukaiset.

Koekohteena olleessa 1970-luvulla rakennetussa koneellisen poistoilmanvaihdon asuinkerrostalossa 65 % haastatelluista piti ilmanlaatua huonona tai korkeintaan kohtalaisena. Syyksi huonoon ilmanlaatuun ilmoitettiin hajujen leviäminen huoneiston sisällä. Yli puolet vastanneista (55 %) ilmoitti tarvitsevansa nykyistä tehokkaampaa ilmanvaihtoa keittiöön ja 45 % kylpyhuoneeseen. Kolme neljästä kertoi tuulettavansa asuntoaan ilman laadun takia, vaikka siitä aiheutui veto-, melu-, haju- ja pölyhaittaa. Mittausten mukaan venttiilikohtaiset poistoilmavirrat eivät täyttäneet nykyisten rakentamismääräysten vaatimuksia. Pienissä asunnoissa täytyi kuitenkin ilmanvaihdon minimivaatimus 0,50 l/h, mutta isommissa

asunnoissa ilmanvaihdon minimivaatimus ei toteutunut. Ulkoseinien yli vallitseva paine-ero oli pieni, joten lähes tyynelläkin säällä tapahtui yhdessä kulmahuoneistossa ilman läpivirtausta ulkoseinien kautta.

1950-luvulla rakennetuista taloista suuri osa on heikosti lämpöeristetty ja kylmäsiltoja esiintyy paljon. Lämpö- ja vesiputkistot ovat huonokuntoisia ja ilmanvaihto toimii puutteellisesti. 1960- ja 1970-lukujen elementtirakenteisissa kerrostaloissa on elementtirakentamisen kokeilu- ja sisäänajovaiheista johtuvia rakenteellisia virheitä. Esimerkiksi julkisivuelementtien saumaukset ovat vaurioituneet, jolloin sadevesi on päässyt tunkeutumaan seinärakenteen sisään ja jopa sisätiloihin.

1950 - 1970-luvuilla rakennettuja asuntoja korjataan laajamittaisesti, mutta ilmanvaihtojärjestelmien korjaus on suhteellisen harvinaista. Asuntojen muuhun korjausrakentamiseen tulisi liittää osana myös ilmanvaihdon tarkastus ja korjaus. Suomen oloissa vietetään sisätiloissa noin 90 % ajasta, joten sisäilman laadulla on suuri merkitys ihmisen terveyteen ja hyvinvointiin. Koekohteissa tehdyn asukaskyselyn mukaan ilmanvaihtoon tyytymättömien osuutta voidaan pitää niin suurena, että asunnoissa olisi poistoilmanvaihdon toimintaa parannettava. Asukkaiden mahdollisuuksia säätää ilmavirtoja toimintojen mukaan tulisi myös lisätä.

8.2 PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON KORJAUS

Toimintaperiaatteista johtuen painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta riippuu oleellisesti säätekijöistä, rakennuksen tiiviyydestä ja venttiilien painehäviöistä.

Ilmanvaihto on suurimman osan vuotta joko liian suuri tai liian pieni.

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaedellytyksiä voidaan parantaa pienillä toimenpiteillä. Jos huoneiston sisäiset, suunnitellut siirtoilmareitit ovat jääneet pois esimerkiksi ovien uusimisen myötä, on ilmanjaon kannalta tärkeää, että ne palautetaan; esimerkiksi asentamalla oviin siirtoilmasäleiköt tai lautasventtiilit.

Tiiviissä rakennuksessa voidaan ulkoilman sisäänottoa helpottaa asentamalla ulkoilmaventtiilit olo- ja makuuhuoneisiin. Ulkoilmaventtiilit mahdollistavat tarkoituksenmukaisen ilmanjaon huoneistossa, mutta niiden haittapuolena on vetoisuuden lisääntyminen. Ulkoilmaventtiilien tulisi olla automaattisesti säätyviä, esimerkiksi ulkolämpötilan mukaan. Sellaisia ei kuitenkaan ole vielä markkinoilla. Markkinoilla on läpi virtaavan ilman lämpötilan mukaan säätyviä ulkoilmaventtiilejä. Niiden käyttöön liittyy kuitenkin ongelmia. Jos tuuli aiheuttaa ulkoilmaventtiiliin sellaisen alipaineen, että ilma virtaa ulospäin, suurentaa lämmin ilmavirta venttiilin aukkoa entisestään.

Myös poistoilmaventtiilien tulisi olla säädettäviä. Talviaikaan on usein tarvetta pienentää painovoimaista poistoa ja kesäaikaan vastaavasti suurentaa. Paras ratkaisu olisi ulkolämpötilaan mukaan ohjautuvat poistoilmaventtiilit. Sellaisia ei ole vielä markkinoilla.

Painovoimaisen poiston virtausvastukset ovat yleensä pieniä sekä venttiilin että poistohormin osalta. Poistoilmaventtiilien pienestä painehäviöstä (auktoiteetista) johtuen ilma virtaa venttiilissä helposti väärään suuntaa, kun tuulen pyörteily katolla aiheuttaa joihinkin poistoilmahormeihin ylipaineen. Takaisinvirtausta aiheutuu myös, jos painovoimainen hormi pääsee jostain syystä jäähtymään. Poistoilmahormi voi tällöin toimia ulkoilmakanavana koko talvikauden. Takaisinvirtausta voidaan vähentää tai estää kokonaan, kun nostetaan poistoilmaventtiilien painehäviöitä. Samalla on kuitenkin ulkoilman sisään ottoa helpotettava, esimerkiksi säädettävillä tai automaattisilla ulkoilmaventtiileillä.

Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostukseen on aikaisemmin melko yleisesti käytetty hormien yläpään asennettuja ns. tuuliroottoreita. Ne toimivat lämpimällä ja tuulisella säällä halutulla tavalla. Sen sijaan kylmällä ja tuulisella säällä tuuliroottori kasvattaa ilmanvaihdon liian suureksi. Jarrulla varustetulla tuuliroottorilla voidaan rajoittaa ilmanvaihdon liiallinen kasvu talviaikaan. Jarrulla varustettuja tuuliroottoreita ei kuitenkaan ole vielä markkinoilla.

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa voidaan parantaa asentamalla hormiryhmän päähän matalapaineinen poistoilmapuhallin. Kun puhaltimen aiheuttama alipaine on riittävän pieni, ei hormien keskinäisillä vuodoilla ole merkitystä ilmanvaihdon toimivuuden kannalta. Sen sijaan hormiryhmän ulkoseinämien on oltava tiiviitä. Tähän järjestelmään voidaan lisätä tehostettavat poistoilmaventtiilit. Pienipaineisella puhaltimella taataan hyvä ilmanvaihto myös lämpimällä säällä. Pienellä paineella toimivia poistoilmapuhaltimia ei ole vielä markkinoilla.

Painovoimainen ilmanvaihto voidaan muuttaa täysin koneelliseksi ilmanvaihtojärjestelmäksi. Tällöin on yleensä noudatettava voimassa olevia ilmanvaihtomääräyksiä. Korjaustyössä tulee kuitenkin eteen ongelmia, joita ei ole uudisrakentamisessa. Kanavointi on suunniteltava olemassa olevaan rakennukseen. Vanhaa poistoilmahormien vaatimaa tilaa on luonnollista käyttää poistoilman kanavointiin. Sen sijaan tuloilmakanavien sijoittaminen rakennukseen voi olla ongelmallista. Tuloilmakanavien sijoittaminen porraskäytävään voi useissa tapauksissa tulla kysymykseen.

Huoneistokohtaisten ilmanvaihtokoneiden asentaminen voi myös tulla kysymykseen. Tuloilma voidaan kanavoida koneelle suoraan huoneiston ulkoseinältä. Nykyisten rakentamismääräysten mukaan jäteilma on kanavoitava rakennuksen katolle. Vuonna 1994 tehdyn kokeellisen tutkimuksen mukaan jäteilman seinästä ulospuhaltamisessa ei oikein toteutettuna ole ongelmia.

Painovoimaiseen poistoilmavaihtoon ei tulisi asentaa kanavaan puhaltavia liesituulettimia, jotka voivat aiheuttaa ilman takaisinvirtausta painovoimaisesti toimivista poistohormeista muihin huoneistoihin. Myöskään koneellisia tuloilmalaitteita ei tulisi asentaa, koska ne voivat aiheuttaa huoneistoihin ulkoilmaan nähden ylipaineisia tiloja. Ylipaineisista tiloista sisäilman kosteus tunkeutuu rakenteisiin ja aiheuttaa kosteusvaurioita.

8.3 KONEELLISEN POISTOILMANVAIHDON KORJAUS

Keskitetyn koneellisen poistoilmanvaihdon yleisin ongelma on se, että tehostusajat eivät vastaa asukkaiden toimintoja. Tästä johtuen ruoan käryt leviävät helposti keittiöstä muihin huoneisiin. Tätä voidaan vähentää asentamalla hellan yläpuolelle kanavaan liitetty liesikupu. Markkinoilla on kuitenkin vähän tarkoitukseen soveltuvia liesikupumalleja.

Koneellisen poiston ongelmia on myös se, että ulkoilma otetaan sisään satunnaisen rakenteiden epätiiviyiskohtien kautta, jolloin oleskelutilojen ilmanvaihto on sattumanvarainen. Oleskelutilojen ilmanvaihtoa voidaan parantaa asentamalla niihin ulkoilmaventtiilejä, jotka soveltuvat koneelliseen poistoon. Markkinoilla on useita lämmityksellä tai automaattisella säädöllä varustettuja ulkoilmaventtiilejä. Saatavilla on myös pienellä puhaltimella varustettuja, ulkoseinään asennettavia tuloilmalaitteita. Oleskelutilojen tuuletusikkunoihin voidaan asentaa huonekohtaiset tulo- ja poistoilmalaitteet.

Koneellisen poiston keskitetystä kello-ohjauksesta voidaan siirtyä venttiiliohjaukseen. Keittiön ilmanvaihtoa tehostetaan tarvittaessa liesikuvusta. Tehostusmahdollisuus voidaan järjestää myös muihin tiloihin. Venttiiliohjausta käytettäessä ilmavirrat voidaan mitoittaa todellisen käyttötarpeen mukaan eikä kaavamaisesti viranomaisten ohjearvoilla. Poistoilmapuhaltimella tulee olla laakea ominaiskäyrä. Poistoilmakanavien riittävä koko on edellytyksenä järjestelmän hyvälle toiminnalle, koska paine-erojen pitäisi olla lähes samoja kaikissa poistoventtiileissä. Energiankulutus pienenee kello-ohjaukseen verrattuna, koska turha ilmanvaihto vähenee.

Koneellinen poistoilmanvaihto voidaan muuttaa täysin koneelliseksi keskitetyksi tulo- ja poistoilmajärjestelmäksi, jolloin on luonnollista asentaa myös poistoilman lämmöntalteenotto. Tällöin on mahdollista siirtyä keskitetystä kello-ohjauksesta huoneistokohtaiseen ilmanvaihdon ohjaukseen.

Huoneistokohtaisten ilmanvaihtokoneiden asentaminen voi myös tulla kysymykseen. Tuloilma voidaan kanavoida koneelle suoraan huoneiston ulkoseinältä. Nykyisten rakentamismääräysten mukaan jäteilma on kanavoitava rakennuksen katolle. Vuonna 1994 tehdyn kokeellisen tutkimuksen mukaan jäteilman seinästä ulospuhaltamisessa ei oikein toteutettuna ole ongelmia.

Sekä keskitetyn että huoneistokohtaisen koneellisen tuloilmajärjestelmän asentamista rajoittavat rakennuksen tiiviysominaisuudet. Rakennuksen sisätilojen tulisi aina olla alipaineisia ulkoilmaan nähden. Tuloilmajärjestelmän asentaminen hataraan rakennukseen lisää ylipaineisuuden vaaraa. Ylipaineisista tiloista sisäilman kosteus tunkeutuu rakenteisiin ja aiheuttaa kosteusvaurioita.

8.4 LÄMMÖN TALTEENOTTOLAITTEEN ASENTAMINEN

Ilmanvaihdon energiankulutusta voidaan pienentää asentamalla koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä, jossa on poistoilman lämmön talteenotto. Poisto- ja ulkoilmaventtiilien säädöllä voidaan ilmanvaihdon energiankulutusta myös hieman pienentää. Lämmön talteenoton vaikutus ilmanvaihdon energiankulutukseen riippuu kuitenkin oleellisesti rakennuksen tiiviyydestä ja ympäröivän maaston muodosta. Jatkoprojektissa tarkastellaan laajemmin eri muuttujien vaikutusta LTO:lla talteen saatavaan energiaan sekä tehdään kannattavuuslaskelmia.

8.5 JATKOTUTKIMUKSEN TARVE

Ilmanvaihdon korjauskokemuksista ei ole riittävästi tietoa saatavilla. Rakennuksen muu korjausrakentaminen vaikuttaa ilmanvaihdon toimintaan, kun rakennuksen tiiviysominaisuudet muuttuvat. Esimerkiksi läpivientien lisääntyminen huonontaa helposti rakenteiden tiiviyyttä, jolloin ilmanvaihto ei toimi suunnitellulla tavalla. Korjausrakentamisen ilmanvaihtoon liittyvät ongelmat tulisi kartoittaa.

Vanhojen kerrostalojen poistoilman lämmön talteenottoon tulisi kehittää teknisesti ja taloudellisesti kilpailukykyiset ratkaisumallit.

Projektin tuottamia tuotekehitystarpeita ovat

- Asuntojen ilmanvaihdon teknisen toiminnan toteamiseksi olisi laadittava nopeat ja luotettavat ohjeet. Vakioitu asukaskyselylomake voisi olla yksi osa ohjeista.
- Painovoimaiseen ilmanvaihtoon tulisi kehittää automaattisesti säätävät poisto- ja ulkoilmaventtiilit, jarrulla varustettu tuuliroottori sekä matalapaineinen poistoilmapuhallin.
- Liesikuvuille ja tehostettaville venttiileille tulisi laatia tyyppihyväksyntäohjeet.
- Rakennuksen tiiviyyden toteamiseksi tulisi kehittää nopeat ja luotettavat arviointi- tai mittausmenetelmät.
- Rakennuksen tiiviyyden parantamiseksi tulisi kehittää menetelmiä ja ohjeita.

LÄHDELUETTELO

Aikkila, A., Lehtinen, E., Levón, B-W., Meinilä, S., Niskala, E., Saarenpää, J., Tulla, K. & Tuppurainen, Y. Korjausrakentamisen tutkimusohjelma 1986 - 1988. Yhteenvetoraportti 1. Korjausrakentamisen lähtötiedot. Espoo 1989, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 991. 75 s.

Dyhr, R. Asuinrakennusten ilmanvaihtoselvitys. Helsingin kaupunki, rakennusvalvontavirasto, julkaisu 3. 1993. 15 s.

Eriksson, B. E. Ventilationstekniska lösningar i ombyggda flerbostadshus, del 3. Sammanfattande undersökningsresultat, del 1-3. Gävle 1988, Statens institut för byggnadsforskning. Meddelande M:21. 159 s.

Forsström, J., Lindholm, J., Sooruu, A. Ventilationshuvar. Projektarbete utfört I tredje årskursen, handledare Svante Boström. Chalmers tekniska högskola, maskintekniklinjen. Göteborg 1986.

Hector, B. O. & Rämner, G. Kontrollerad naturlig ventilation med värme återvinning. Utvärdering av ett experimentbyggnadsprojekt. Stockholm 1988, Byggnadsforskningsrådet. Rapport R66:1988. 57 s. + liitt.14 s.

Heikkilä, J. & Pääkkilä, K. Asuinkerrostalon putkiston korjaus. Korjausrakentamisen tutkimusohjelma. Espoo 1990, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 1115. 83 s. + liitt. 8 s.

Heikkinen, J. Asuntokohtaiset ilmanvaihtokoneet kerrostalossa. Espoo 1988, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 824. 88 s. + liitt. 14 s.

Heikkinen, J. Painesuhteet hallitaan vain tiiviissä talossa. LVI-lehti, nro 11, 1987.

Heino, R. & Hellsten, E. Tilastoja Suomen ilmastosta 1961 - 1980. Helsinki 1983, Ilmatieteen laitos. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan. NIDE 80 osa 1a - 1980. 560 s.

Ilmastointimääräysten soveltaminen korjausrakentamisessa. Forssa 1991, LVI-kustannus Oy. 64 s.

Ilmatekniikan suunnitteluopas, osa 1. Turku 1978, Valmet Oy ja Oy Mercantile AB. 97 s.

Korkala, T. & Karvonen, M-L. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaedellytykset. Espoo 1987, TKK, LVI-tekniikan laboratorio. Sisäilmaprojekti, Raportti C:36. 163 s. + liitt. 10 s.

Koskela, L. & Väisänen, M. Tietoja rakennuskannan ominaisuuksista vuonna 1980. Espoo 1984, VTT, rakennustalouden laboratorio. Julkaisematon.

Kronvall, J. & Boman, C-A. Energy Impact of Ventilation and Air Infiltration. 14th AIVC Conference, Copenhagen, Denmark 21-23 September 1993. 9 s.

Lehtinen, E. Korjausrakentamisen markkinat ja ennusteet, ennusteiden toteutuminen. Korjausrakentamisen kehitysnäkymät-seminaari, Hanasaari 1994. REMONTTI-ohjelma.

Lipponen, J. 1994. Helsingin pelastuslaitoksesta saatu suullinen tieto.

Luoma, M. & Kohonen, R. Tulevaisuuden asuinrakennusten ilmanvaihtojärjestelmät. Yhteenvetoraportti. Espoo 1990, Valtion teknillinen tutkimuskeskus. LVIS2000: raportti 8. 103 s.

Luoma, M. & Siitonen, V. Ulkoilman sisäänotto koneellisessa poistoilmajärjestelmässä. Espoo 1989, VTT LVI-tekniikan laboratorio, Tiedotteita 971. 65 s + liitt. 11 s.

Lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeet. Helsinki 1954, Lämpö- ja vesijohtoteknillinen yhdistys r.y. 116 s.

Lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeet. 2. painos. Helsinki 1966, Lämpö- ja vesijohtoteknillinen yhdistys r.y. 85 s.

Lämmön talteenotto poistoilmasta vanhoissa asuinkerrostaloissa. Helsinki 1983, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, LVI-tekniikan laboratorio. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto, sarja D:33. 97 s. + liitt. 1 s.

Mannila, J. Huonosta sisäilmasta kärsii 40 % suomalaisista. Helsingin Sanomat 6.7.1993.

Månsson, L. G. Demand Controlled Ventilating Systems, Case Studies. Energy Conservation in Buildings and Community Systems Program, ANNEX 18. Sweden, Stockholm 1993, Swedish Council for Building Research. 219 s. SBN 91-540-5511-3.

Mäkiö, E., Malinen, M., Neuvonen, P., Sinkkilä, J., Tuunanen, A-M. & Saarenpää, J. Kerrostalot 1940 - 1960. Helsinki 1990, Rakennustietosäätiö, Rakennuskirja Oy. 273 s.

Norlen, U. & Andersson, K. The indoor climate in the Swedish housing stock. Stockholm 1993. 107 s.

Ohje 3/92. Ilmanvaihtomääräysten soveltaminen korjausrakentamisessa. Ilmanvaihto, KVV-laitteet, yleisiä ohjeita, lomakkeita. Helsinki 1992, Rakennusvalvonta.

Ojanen, T. & Kumaran, M. K. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings V. Air Exfiltration and Moisture Accumulation in Residential Wall Cavities. Proceedings of the ASHRAE /DOE/ BTECC Conference, 1992, Florida. s. 491 - 500.

Pallari, M-L. & Luoma, M. Asuntojen ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmien pitkäaikaistoimivuus. Espoo 1993, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1513. 88 s. + liitt. 12 s. ISBN 951-38-4447-1.

Pepels, J, & Cauberg-Huygen, NL. Ventilation of Criteria with regard to Efficiency of Ventilation System. ANNEX 27. 20.2.1994. 26 s.

Railio, J. Ilmanvaihdon energiatalouden parantamismahdollisuudet asuinkerrostaloissa. Espoo 1980, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, LVI-tekniikan laboratorio. Tiedonanto 49. 156 s. + liitt. 3 s.

Rakennusten ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. Helsinki 1978, sisäasiainministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. 13 s.

Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. Helsinki 1987, ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. 21 s.

Rakentajain kalenteri. Asuintalon ilmanvaihtojärjestelmä. 1940. S. 179 -187.

Rakentaminen ja asuminen. Vuosikirja 1992. Helsinki 1992, Tilastokeskus. 184 s. ISSN 0784-8390, ISBN 951-47-6019-0.

Ruotsalainen, R., Rönnerberg, R., Jaakkola, J. J. K., Majanen, A. & Seppänen, O. Asuntojen ilmanvaihto ja sisäilmasto, asukkaiden viihtyvyys ja oireilu. Espoo 1990, Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio, Raportti B28. 62 s + liitt. 12 s.

Shepherd, T.A. Spillage of flue gases from open-flued combustion appliances. Building Research Establishment, BRE Information paper 21/92 1992.

Siitonen, V., Heikkinen, J., Kovanen, K., Saari, M. & Broas, P. Jäteilman seinäpuhallus asuinkerrostaloissa. Espoo 1994, VTT, Rakennustekniikka, sisäilmasto- ja laitetekniikka. Tiedotteita 1 595. 106 s.

Siitonen, V. Tuloilmaikkuna, vanha konsti uudelleen lämmitettynä. LVI-lehti, nro 7, 1978.

ASUKKAIDEN MIELIPITEET ILMANVAIHDOS- TA KOLMESSA ASUINKERROSTALOSSA

Taulukko 1. Asukaskyselyssä mukana olleiden talouksien taustatiedot. 1950-luvun asuinkerrostalossa oli painovoimainen ilmanvaihto ja tiilestä muuratut ilmanvaihtohormit. 1960-luvun asuinkerrostalossa oli koneellinen poistoilmanvaihto ja rakenneainekanaavat. 1970-luvun asuinkerrostalossa oli koneellinen poistoilmanvaihto ja peltikanavat.

	TALOUKSIEN MÄÄRÄ, %		
	1950-luvun asuinkerrostalo	1960-luvun asuinkerrostalo	1970-luvun asuinkerrostalo
TALOUDEN KOKO			
- 1 henkilö	56	63	40
- 2 henkilöä	33	26	45
- 3 henkilöä	6	11	10
- 4 henkilöä	6	-	5
LAPSIEN LUKU- MÄÄRÄ			
- ei yhtään	83	89	55
- 1 lapsi	11	-	20
- 2 lasta	6	5	5
- ei tietoa	-	5	20
HUONEISTON KOKO			
- 1 h + kk/k	22	53	35
- 2 h + kk/k	44	11	35
- 3 h + kk/k	33	37	30

Taulukko 2. Talouksien mielipiteitä sisäilmastosta kolmessa asuinkerrostalossa. 1950-luvun asuinkerrostalossa oli painovoimainen ilmanvaihto ja tiilestä muuratut ilmanvaihtohormit. 1960-luvun asuinkerrostalossa oli koneellinen poistoilmanvaihto ja rakenneainekanavat. 1970-luvun asuinkerrostalossa oli koneellinen poistoilmanvaihto ja peltikanavat.

ARVIOITAVA OMINAISUUS	MIELIPITEIDEN YLEISYYS, %		
	1950- luvun asuinker- rostalo	1960- luvun asuin- kerrostalo	1970- luvun asuin- kerrostalo
ASUNNON ILMAN RAIKKAUS			
- erittäin hyvä	6	-	-
- hyvä	17	32	35
- kohtalainen	56	53	60
- huono	22	11	5
- hyvää ja huonoa	-	5	-
TARVE TEHOKKAAMPAAN IL- MANVAIHTOON KEITTIÖSSÄ			
- ei	44	47	40
- kyllä	56	47	55
- ei tietoa	-	5	5
TARVE TEHOKKAAMPAAN IL- MANVAIHTOON KYLPUHUONEESSA			
	33	53	40
- ei	28	11	45
- kyllä	39	37	15
- ei osannut sanoa			
TUULETTAMISEN TARVE YLEENSÄ			
	61	58	75
- ilmanvaihdon parantamiseksi	6	16	5
- huoneilman viilentämiseksi	17	16	15
- sekä ilmanvaihdon parantamiseksi että huoneilman viilentämiseksi	17	10	5
- muista syistä/ei tietoa			
TUULETTAMISEN TARVE KEITTIÖSSÄ			
	61	74	60
- ruoanlaiton yhteydessä	28	26	30
- ilman raikastamiseksi useita kertoja päivässä			
- ei tuulettanut lainkaan	6	-	10
- ei osannut sanoa	6	-	-

TUULETTAMISEN TARVE MAKUHUONEESSA			
- sekä aamulla että illalla	56	32	40
- päivällä	22	21	10
- vain aamuisin	11	11	15
- vaihtelevasti eri vuorokauden aikoina	6	21	15
- ei osannut sanoa	6	16	20
TUULETTAMISEN TARVE OLOHUONEESSA			
- päivittäin	78	53	55
- joskus	17	26	35
- ei osannut sanoa	6	21	10
HAJUJEN LEVIÄMINEN ASUNNON SISÄLLÄ			
- ei	56	37	40
- kyllä	44	58	60
- ei tietoa	4	5	-
HAJUJEN LEVIÄMINEN NAAPURIHUONEISTOSTA			
- ei	50	47	75
- kyllä	44	53	25
- ei tietoa	6	-	-
MITEN ILMANVAIHTOA PITÄISI SÄÄTÄÄ?			
- automaattisesti esim. kosteuden mukaan	6	16	5
- keskitetysti ennalta määrättyinä aikoina	-	-	20
- itse tarpeen mukaan	56	32	35
- yhdistelmällä: automaattisesti + itse	6	-	5
- itse tarpeen mukaan	-	5	-
- yhdistelmällä: automaattisesti + itse	33	47	35
- ei haluaisi itse säätää			
- ei osannut sanoa			

Taulukko 3. Kylpyhuoneen käyttö kolmessa asuinkerrostalossa. 1950-luvun asuinkerrostalossa oli painovoimainen ilmanvaihto ja tiilestä muuratut ilmanvaihtohormit. 1960-luvun asuinkerrostalossa oli koneellinen poistoilmanvaihto ja rakenneainekanaavat. 1970-luvun asuinkerrostalossa oli koneellinen poistoilmanvaihto ja peltikanavat.

KÄYTTÖTAPA	TALOUKSIEN MÄÄRÄ, %		
	1950-luvun asuinkerros- talo	1960-luvun asuinkerros- talo	1970-luvun asuinkerros- talo
SUIHKUN/AMME- KYLVIYN KÄYTTÖ			
- 1 - 3 kertaa päivässä	61	27	55
- 5 kertaa päivässä	-	-	5
- 1 - 4 kertaa viikossa	34	59	40
- ei tietoa	6	15	-
PYYKINPESUN TIHEYS KYLPIHUONEESSA			
- 1 - 2 kertaa viikossa	61	37	45
- 3 - 6 kertaa viikossa	6	10	15
- 1 - 4 kertaa kuukaudessa	17	16	30
- ei lainkaan	10	16	5
- ei tietoa	6	21	5
PYYKIN ULKOKUIVAUS SÄÄN SALLIESSA			
- aina	56	42	20
- usein	17	21	25
- harvoin	22	16	25
- ei koskaan	6	21	25
- ei tietoa	-	-	5
PYYKIN SISÄKUIVAUS			
- naruilla kylpyhuoneessa	44	21	45
- kylpyhuoneessa + muissa tiloissa	17	22	30
- huoneiston muissa tiloissa	6	16	5
- kiinteistöpesulassa	17	26	15
- kuivausrummussa	-	-	5
- ei kuivaa sisällä	11	11	-
- ei tietoa	6	5	-

SIMULOINTILASKELMIEN VIRTAUSFUNKTIOIDEN LASKENTAPERUSTEET

Vuotofunktio annetaan ohjelmalle muodossa:

missä $q_m = k \cdot (\Delta p)^n$,
 q_m on ilman massavirta, kg/h
 k on vuotoyhtälön kerroin
 n on vuotoyhtälön eksponentti
 Δp on paine-ero, Pa

Kellarin ovi porraskäytävään	2 dm ³ /s, Δp 50 Pa k= 0.65342, n=0.66
Kaikki huoneiston väliovet	A. 13 dm ³ /s, Δp 1 Pa k= 56.16, n=0.5
A. Ovet kiinni (kertavastuskerroin 0,02) B. Ovet auki (kertavastuskerroin 1,9)	B. 618 dm ³ /s, Δp 1 Pa k= 2668.9, n=0.50
Huoneiston ulko-ovi	13,1 dm ³ /s, Δp 50 Pa k= 4.2881, n=0,66
Venttiilit, keskiarvo mittaus- tuloksista	21,6 dm ³ /s, Δp 1,64 Pa k=72,8644, n=0,5
Välipohjavuodot, keskitetty keittokomeroiden kohdalle	0,3 dm ³ /sm ² , Δp 50 Pa k=6.17483, n=0,66
Hormien keskinäiset vuodot, oletettu tasaisesti jakautuneen, kulmahormeissa 2*5 ja keskihormeissa 3*5 vuotokohtaa ($k_{TOT}/\text{hormi} = 21.3764$, $q_{vTOT} = 24,8$ dm ³ /s Viiden hormin keskiarvotiedot.	$q_{vi} = 1,65$ dm ³ /s, Δp 10 Pa $k_i = 1.56259$, n=0.66
Hormien virtausvastukset (Ilmatekniikan suun.opas 1978) $d_h = 4 * 0,17 * 0,17 / 4 * 0,17 = 0,17$ m 1,3 kerroin muuratuille $\Delta p_{2,5m} = 1,5$ Pa/m * 1,3 * 2,5m = 4,875 Pa $\Delta p_{5,0m} = 1,5$ Pa/m * 1,3 * 5,0m = 9,75 Pa	100 dm ³ /s, Δp 4,875 Pa $k_{2,5m} = 195,658$ 100 dm ³ /s, Δp 9,75 Pa $k_{5m} = 138,35$, n=0,5

Ulkoseinävuodot on jaettu ikkunan
leveyden mukaan, $n_{50}=2,08$ 1/h

$k_{MH}=6.8941$ (1,6 m),
 $n=0,66$

$q_{vTOT}=91$ dm³/s /6,9 m ikkunoita,
 Δp 50 Pa

$k_{OH}=12.9264$ (3 m), $n=0,66$
 $k_{KK}=3.01616$ (0,7 m),
 $n=0,66$

Rapun ulko-ovi

174 dm³/s, Δp 50 Pa
 $k=57.0$, $n=0,66$

Kellarin ulkoseinän vuoto
($n_{50}=0,50$ 1/h, ei ikkunoita,
väestösuoja, oletettu tiiviiksi)

21,9 dm³/s, Δp 50 Pa
 $k=7.15497$, $n=0,66$

Hormien ja ulkoilmanvälinen virtausvastus
ulosvirtauksen kertavastus =1,
($\Delta p = \zeta * \rho * v^2/2$)
 $v=5$ m/s.

144,5 dm³/s, Δp 15 Pa
 $k=161,178$, $n=0,5$



<p>Tekijä(t)</p> <p>Pallari, Marja-Liisa, Heikkinen, Jorma, Gabrielsson, Juha, Matilainen, Veijo & Reisbacka, Anneli</p>	<p>Projektin nimi</p> <p>Asuntoilmanvaihtojärjestelmien korjausratkaisut (Raket-projekti)</p>	
	<p>Toimeksiantaja(t)</p> <p>Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM)</p>	
<p>Nimeke</p> <h2 style="text-align: center;">Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut</h2>		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli esittää ilmanvaihdon korjausratkaisut 1950 – 1970-lukujen asuinkerrostaloille. Rakennuksiin liittyvän tilastollisen aineiston perusteella valittiin koesuunnittelun ja simuloinnin kohteeksi kolme asuinkerrostaloa. Käyttäjäkyselyn mukaan noin puolet kaikista haastatelluista ilmoitti tarvitsevansa nykyistä tehokkaampaa ilmanvaihtoa. Suuri osa asukkaista haluaisi itse säätää ilmanvaihtoa tarpeen mukaan. Hajujen leviäminen sekä huoneiston sisällä että naapurihuoneistoista koettiin suurimmaksi ilman laatua pilaavaksi tekijäksi.</p> <p>1950-luvun talon painovoimaisen ilmanvaihdon poistoilma virtasi ajoittain väärään suuntaan. Painovoimaisen järjestelmän käytettävissä olevasta paine-erosta suurin osa kului ulkoseinissä, joten poistoilmaventtiilien merkitys ilmanvaihdon säätölaitteena jäi vähäiseksi ja siten takaisinvirtausta tapahtui helposti.</p> <p>1960-luvun asuinkerrostalon koneellisen poistoilmanvaihdon rakennuksessa olivat poistoilmavirratt ja paineerot kohtalaisen hyvin hallinnassa. 1970-luvun rakennus oli hatara, joten painesuhteet eivät olleet hallinnassa eikä ilmanvaihtokaan ollut kaikissa asunnoissa riittävä.</p> <p>Laskelmien mukaan painovoimaisen ilmanvaihdon sekä ulko- että poistoilmaventtiilien tulisi olla automaattisesti säätyviä, jotta ilmanvaihto ei olisi liian suuri talvella ja liian pieni välikausina. Kesällä joudutaan turvautumaan ikkunatuuletukseen. Painovoimaisen ilmanvaihdon lupaava ja helposti toteutettavissa oleva korjausratkaisu on pienipaineinen puhallin hormiryhmän päähän asennettuna.</p> <p>Koneellisen poistoilmanvaihdon lupaava korjausratkaisu on siirtyminen keskitetystä kello-ohjauksesta venttiilitehosteiseen järjestelmään, jolloin asukas voi säätää ilmanvaihtoa tarpeen mukaan. Edellytyksenä on, että poistoilmakanavat ovat riittävän väljät. Tiiviissä rakennuksessa voidaan koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaa parantaa asentamalla tyyppihyväksytyt ulkoilmaventtiilit. Tiiviiseen rakennukseen voidaan asentaa myös lämmön talteenotolla varustettu koneellinen tuloilmajärjestelmä.</p> <p>Huoneistokohtaiset lämmöntalteenottokoneet soveltuvat ilmanvaihdon korjausratkaisuksi kaikkiin rakennuksiin. Energiansäästön edellytyksenä on, että ulkoseinät ja välipohjat ovat riittävän tiiviit. Järjestelmän yleistymistä hidastaa katolle johdettavilta jäteilmakanavilta vaadittava ehdoton vuotamattomuus, mikä nostaa kanavoinnin hintaa. Halvempi vaihtoehto on johtaa jäteilma ulos suoraan huoneiston seinästä. Tämä ratkaisu voi yleistyä, jos käyttökokemukset toteutetuissa koerakennuksissa osoittautuvat hyviksi.</p>		
<p>Toimintayksikkö</p> <p>VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka, Lämpömiehenkuja 3, PL 1804, 02044 VTT</p>		
<p>ISSN ja avainnimeke</p> <p>1235-0605 VTT TIEDOTTEITA – MEDDELANDEN – RESEARCH NOTES</p>		
<p>ISBN</p> <p>951-38-4809-4</p>	<p>Kieli</p> <p>suomi, engl. tiiv.</p>	
<p>Luokitus (UDK)</p> <p>69.059.1:697.9:728.22</p>	<p>Avainsanat</p> <p>residential buildings, apartment buildings, ventilation, HVAC, renovating, interviews, multistorey buildings, duets, vents, control, indoor air, air flow, air intakes, air quality, air contaminants, odors, exhaust air, simulation, recommendations</p>	
<p>Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (90) 456 4404 Telekopio (90) 456 4374</p>	<p>Sivuja</p> <p>107 s. + liitt. 6 s.</p>	<p>Hintaryhmä</p> <p>C</p>

Author(s) Pallari, Marja-Liisa, Heikkinen, Jorma, Gabrielsson, Juha, Matilainen, Veijo & Reisbacka, Anneli	Name of project Asuntoilmanvaihtojärjestelmien korjausratkaisut (Raket-projekti)	
	Commissioned by Ministry of Trade and Industry, Finland (KTM)	
Title <h2 style="text-align: center;">Retrofitting of ventilation in high-rise residential buildings</h2>		
Abstract <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>The objective of this study was to present some renovation solutions for the ventilation system in multistorey buildings of the 1950s – 1970s. Three buildings have been chosen on a statistical basis for the follow-up study. According to the questionnaire to the occupants, about half of the interviewees said that they would like to improve current ventilation rates. The majority of the occupants wanted to control the ventilation rate themselves. The main factor in decreasing the indoor air quality was the spread of odours both inside an apartment and from the neighbourhood.</p> <p>In the multistorey building of the 1950s with natural ventilation system, the exhaust air flow was occasionally reversed. In the natural ventilation system most of the available pressure difference was wasted through the outer walls, so the pressure difference over the exhaust vents remained insignificant and the reflow occurred easily.</p> <p>In the multistorey building of the 1960s with the exhaust ventilation system, the exhaust airflow rates and the pressure differences were under fairly good control. The building of the 1970s was leaky, which meant that pressure differences were not under control and the ventilation rate was insufficient in some apartments.</p> <p>According to computational simulations, both the supply and exhaust vents in a natural ventilation system should</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>be controlled automatically, so that the ventilation flow rate is not too high in winter and too low in summer. In summer one has to resort to window ventilation. A promising and feasible renovation solution for the natural ventilation system could be a low-pressure fan mounted over the duct-work on the roof.</p> <p>A promising renovation solution in the exhaust ventilation system is to change the centralized clock-controlled system to a vent-assist system, in which case the occupant can adjust the ventilation flow rate if necessary. This requires that the exhaust ducts are loose enough. The functioning of the exhaust ventilation system in an airtight building can be improved by installing type-approved outdoor air inlets. Also, a mechanical air supply system with a heat recovery unit can be installed in the airtight building.</p> <p>Air handling units with heat recovery that are installed in individual apartments can be a renovation solution for the ventilation system in any building. Energy saving calls for outer walls and the partitions that are sufficiently airtight. The generalization of this system is restricted by the requirements of absolute airtightness of waste air ducts that run above the roof, which raises the price of ductwork. A more economical alternative is to expel the exhaust air through the outer wall. This solution may gain wide acceptance, if the experiences in test buildings prove to be good.</p> </div> </div>		
Activity unit VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology, Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 1804, FIN-02044 VTT, Finland		
ISSN and series title 1235-0605 VTT TIEDOTTEITA – MEDDELANDEN – RESEARCH NOTES		
ISBN 951-38-4809-4	Language Finnish, Engl. abstr.	
Class (UDC) 69.059.1:697.9:728.22	Keywords residential buildings, apartment buildings, ventilation, HVAC, renovating, interviews, multistorey buildings, duets, vents, control, indoor air, air flow, air intakes, air quality, air contaminants, odors, exhaust air, simulation, recommendations	
Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. + 358 0 456 4404 Fax + 358 0 456 4374	Pages 107 p. + app. 6 p.	Price group C

VTT TIEDOTTEITA – MEDDELANDEN – RESEARCH NOTES

VTT RAKENNUSTEKNIikka – VTT BYGGNADSTEKNIK –
VTT BUILDING TECHNOLOGY

- 1576 Huovinen, Seppo. Liimattujen teräsvahvennuslevyjen laboratoriotutkimus. 1994. 13 s. + liitt. 18 s.
- 1577 Laine, Mauri. Europa-Huis-projekti. Hollannin, Saksan ja Suomen asuinrakentaminen yhdyntävässä Euroopassa. 1994. 57 s. + liitt. 48 s.
- 1580 Nykänen, Esa. Nuoren betonin ominaisuudet. Kokeellinen osa. 1994. 41 s. + liitt. 3 s.
- 1585 Korttesmaa, Markku. Puutalon rakenteet. Ala- ja välipohjat sekä seinärakenteet. 1994. 42 s. + liitt. 96 s.
- 1587 Pajari, Matti & Yang, Lin. Shear capacity of hollow core slabs on flexible supports. 1994. 111 p. + app. 26 p.
- 1588 Sippola, Merja & Ratvio, Juha. Rakennusmateriaalien uudelleenkäyttö Suomessa ja muissa maissa. 1994. 45 s. + liitt. 4 s.
- 1589 Nieminen, Jyri, Kouhia, Ilpo, Haakana, Maarit & Pulakka, Sakari. Matalaenergiapientalon energiankulutus ja säästötoimenpiteiden kannattavuus. 1994. 19 s. + liitt. 9 s.
- 1590 Häkkinen, Tarja. Environmental impact of building materials. 1994. 38 p.
- 1591 Häkkinen, Tarja & Kronlöf, Anna. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten arviointi. 1994. 61 s. + liitt. 25 s.
- 1595 Siitonen, Veijo, Heikkinen, Jorma, Kovanen, Keijo, Luoma, Marianna, Saari, Mikko & Broas, Pertti. Jäteilman seinäpuhallus asuinkerrostaloissa. 1994. 106 s.
- 1601 Saarenpää, Jukka, Hyödynmaa, Marjo, Enbom, Seppo & Säämänen, Arto. Kuitumaisten lämmöneristeiden pöly työturvallisuusriskinä. 1994. 70 s. + liitt. 4 s.
- 1604 Sarja, Asko, Leppänen, Pekka, Laine, Juhani, Kiviniemi, Markku & Pulakka, Sakari. FINNHOUSE. Taloudelliset asuinrakennuskonseptit. 1994. 31 s. + liitt. 39 s.
- 1605 Määttä, Jukka. Pienellä vesimäärällä huuhdeltavat WC-istuimet. 1994. 36 s. + liitt. 9 s.
- 1608 Kolari, Kari & Talja, Asko. Design of cold-formed beam-columns restrained by sheeting. 1994. 45 p. + app. 46 p.
- 1610 Hakala, Matti K., Kullaa, Jyrki, Kivento, Teppo & Linjama, Jukka. Mekaanisten värähtelyjen hallinta. Kirjallisuustutkimus. 1994. 105 s.
- 1611 Björkman, Jouni & Keski-Rahkonen, Olavi. Suurten järjestelmien paloturvallisuus. 1994. 22 s.
- 1619 Talja, Asko & Salmi, Pekka. Design of stainless steel RHS beams, columns and beam-columns. 1995. 51 p. + app. 37 p.
- 1624 Silvennoinen, Kari, Koskinen, Pertti, Pyy, Hannu & Piepponen, Sulo. Development of methods for assessing the frost resistance of clay bricks. 1995. 48 p. + app. 35 p.
- 1625 Nippala, Eero, Heljo, Juhani, Jaakkonen, Liisa & Lehtinen, Erkki. Rakennuskannan energiankulutus Suomessa. 1995. 61 s. + liitt. 14 s.
- 1629 Kosonen, Risto, Laitila, Päivi, Bitter, Riku, Laine, Tuomas & Lahdenperä, Raimo. LVI-järjestelmien säädön toiminnan tarkistaminen. 1995. 48 s. + liitt. 13 s.
- 1644 Aho, Timo, Rantamäki, Jouko & Sormunen, Tapani. Huoneistokohtaisen mittauksen ja laskutuksen vaikutus energian ja veden kulutukseen. 1995. 19 s. + liitt. 7 s.
- 1645 Vares, Sirje. Kuitubetonien muodonmuutoskäyttäytyminen. 1995. 33 s. + liitt. 9 s.
- 1647 Honkaranta, Marko & Tirkkonen, Timo. Palkkisiltojen vahventamismenetelmät. Kirjallisuustutkimus. 1995. 80 s.
- 1650 Perälä, Anna-Leena, Sola, Kristiina, Mali, Jyrki, Merrä, Arja & Tanskanen, Kalle. Rakennusala valmistautuu kierrätykseen. Puu-, betoni- ja rakennusteollisuus. 1995. 79 s. + liitt. 1 s.
- 1653 Ahonen, Markku, Kosonen, Risto, Kekkonen, Veikko & Wistbacka, Magnus. Kaukolämmön paluuvettä hyödyntävä rakennuksen ilmastointi- ja lämmitysjärjestelmä. 1995. 65 s. + liitt. 16 s.
- 1654 Pallari, Marja-Liisa, Heikkinen, Jorma, Gabrielsson, Juha, Matilainen, Veijo & Reisbacka, Anneli. Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut. 1995. 107 s. + liitt. 6 s.

