

**RAKET**RAKENNUSTEN ENERGIANKÄYTÖN
TUTKIMUSOHJELMA**Jorma Säteri, Keijo Kovanen & Marja-Liisa Pallari**

Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen



Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen

Jorma Säteri, Keijo Kovanen & Marja-Liisa Pallari
VTT Rakennustekniikka



ISBN 951-38-5659-3 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5660-7 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1999

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka, Lämpömiehenkuja 3, PL 1804, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 455 2408, (09) 456 4709

VTT Byggnadsteknik, Byggnadsfysik, hus- och brandteknik, Värmemansgränden 3, PB 1804, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 455 2408, (09) 456 4709

VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology,
Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 1804, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 455 2408, 358 9 456 4709

Toimitus Kerttu Tirronen

Otamedia Oy, Espoo 1999

Säteri, Jorma, Kovanen, Keijo & Pallari, Marja-Liisa. Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen [Improvement of indoor air and energy efficiency in high-rise residential buildings]. Espoo 1999, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1945. 82 s. + liitt. 2 s.

Avainsanat apartment buildings, residential buildings, high-rise buildings, indoor air, energy economy, energy efficiency, energy consumption, improvement, renovating, air heating, mechanical exhaust systems, HVAC, heat recovery

Tiivistelmä

Yksittäiset, sinänsä oikeansuuntaisetkin, ilmanvaihdon perusparannukset eivät välttämättä johda sisäilmaston ja energiatalouden samanaikaiseen paranemiseen. Tarvitaan kokonaisratkaisuja, joissa asetetaan tavoitteet sisäilman laadulle ja energiankulutukselle. Tutkimuksessa on laadittu ehdotus nykytekniikkaan nähden realistisista sisäilmaston ja energiankulutuksen tavoitetasoista.

Tutkimuksessa on myös laadittu kolme eritasoista ja -hintaista korjauskonseptia. Niistä jokainen parantaa sisäilmastoa ja pienentää energiankulutusta samanaikaisesti nykytasosta. Korjauskonseptit on tarkoitettu suunnittelijan ja rakennuttajan työkaluiksi korjaushankkeen suunnitteluun. Laaditut korjauskonseptit ovat huoneistokohtainen ilmalämmitysjärjestelmä, huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä sekä asuntokohtaisesti tehostettava keskitetty poistoilmanvaihtojärjestelmä. Kunkin korjauskonseptin yhteydessä on käsitelty myös rakenteille, käytölle ja ylläpidolle asetettavat tekniset vaatimukset.

Rakennuksen tiiviyyden vaikutusta lämmön talteenoton kannattavuuteen on tarkasteltu erilaisilla energiahinnoilla. Tulosten mukaan rakennuksen tiiviys vaikuttaa ratkaisevasti lämmön talteenotolla hyödyksi saatavan energian määrään ja siten myös sen kannattavuuteen. Jos rakennuksen tiiviys on heikompi kuin 2–3 l/h (50 Pa), rakennusta on tiivistettävä ennen kuin lämmön talteenotto tulee energiataloudellisesti kannattavaksi. Hankintapäätöstä tehtäessä tulee energiatalouden lisäksi huomioida myös muut lämmön talteenoton avulla saavutettavat hyödyt, kuten hyvä sisäilman laatu ja vedottomat lämpöolot.

Asuinkerrostalon ja sen eri osien tiiviyyttä on selvitetty lähinnä ruotsalaisten kirjallisuusuutteiden ja tässä tutkimuksessa tehtyjen kenttämittausten avulla. Mittauksissa ei havaittu peruskorjauksen parantavan systemaattisesti asuntojen tiiviyyttä, vaan joissakin kohteissa tiiviys jopa heikkeni. Työn laadulla oli keskeinen merkitys tiiviyyden parantamisessa. Rakennuksen osista parvekeseinällä oli suurin merkitys asuntojen kokonaistiiviyyteen. Ikkunoiden uusiminen paransi asuntojen tiiviyyttä 10–20 %.

Lisäksi tutkimuksessa on mitattu ilmanvaihtohormien tiiviyyttä ennen ja jälkeen tiivistystoimia. Samalla on selvitetty kahden tiivistysmenetelmän, Schädler-menetelmän ja ALFO-menetelmän, käyttöä kanaviston tiivistämiseen. Molemmilla menetelmillä on mahdollista saavuttaa rakentamismääräysten K-luokan mukainen tiiviys.

Säteri, Jorma, Kovanen, Keijo & Pallari, Marja-Liisa. Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen [Improvement of indoor air and energy efficiency in high-rise residential buildings]. Espoo 1999, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1945. 82 p. + app. 2 p.

Keywords apartment buildings, residential buildings, high-rise buildings, indoor air, energy economy, energy efficiency, energy consumption, improvement, renovating, air heating, mechanical exhaust systems, HVAC, heat recovery

Abstract

Occasional ventilation renovations, even if properly done, necessarily don't simultaneously improve indoor air and energy efficiency. Comprehensive solutions are needed, where targets of indoor air quality and energy consumption are fixed. A proposal has been made of realistic target levels considering modern technology of indoor air and energy consumption.

Three renovation solutions at different levels were formulated to simultaneously improve indoor air quality and reduce energy consumption compared with the current situation. The solutions have been designed as tools for technical designers and building owners. The renovation solutions are individual air heating system, individual mechanical supply and exhaust system, and centralised mechanical exhaust system with individual possibility to increase the ventilation rate. Within each solution technical demands for constructions, consumption and maintenance are also handled.

The effect of air-tightness of the building on the cost-efficiency of heat recovery was studied with different energy prices. According to the results the air-tightness has crucial effect on the amount of energy saving by the heat recovery and thereby also on cost-efficiency. If the air leakage rate of the building is below 2–3 l/h (at 50 Pa), the air-tightness of the building should be improved before heat recovery becomes cost-efficient. During the acquisition decision one should consider, besides energy economy, also other benefits achieved by the heat recovery system, like high indoor air quality and thermal conditions with no draught.

Air-tightness of multi-storey buildings and its different parts was mainly studied by Swedish references and by some field measurements within this study. No systematic improvement on the air-tightness of the apartments by the renovation was found, on the contrary, some apartments became leakier during the renovation. Poor workmanship was usually evident in these cases. The main leakage route in the measured apartments seemed to be the balcony door. Replacement of the windows increased the air-tightness of the apartment 10–20 %.

Furthermore, air-tightness of air chimney has been studied before and after the sealing. Concurrently the use of two sealing method, the Schädler-method and the ALFO-method, has been studied. The sealing-class K in the National Building Code can be achieved by both methods.

Alkusanat

Tutkimuksessa on laadittu kolme eritasoista korjausratkaisua, joista jokainen parantaa sisäilmastoa ja pienentää energiankulutusta nykytasoon nähden. Ehdotukset on suunniteltu työkaluiksi suunnittelijan ja rakennuttajan korjaushankkeen suunnitteluun. Korjauskonseptien laadinnan perusteina käytettiin rakennuksen tiiviyyteen ja rakennuksesta johtuvaan vuotoilmaan liittyviä simulointilaskelmia. Rakennuksen tiiviyyden vaikutusta lämmön talteenoton kannattavuuteen tarkasteltiin erilaisilla energiahinnoilla. Käytännön mittauksia tehtiin rakennusten tiiviyydestä ennen ja jälkeen korjaustoimien. Kanavistojen tiiviyyttä mitattiin ennen tiivistystoimia ja niiden jälkeen.

Tutkimus tehtiin yhteistyöprojektina. Lämmöntalteenottolaitteita valmistava yritys (LVI-Parmair), kanaviston tiivistämistä tekevät yritykset (Eskon Oy ja Kiinteistöteräs) sekä rakennusliikkeet (Pirttimaa Ky ja NCC-Puolimatka Oy) järjestivät kohteita käytännön mittauksia varten. VTT Rakennustekniikasta tutkimukseen osallistuivat dipl.ins. Jorma Säteri, dipl.ins. Marja-Liisa Pallari, fil.maist. Keijo Kovanen, työtekniikko Antti Mäkelä ja tekniikko Jarmo Laamanen.

Tutkimus on osa rakennusten energiankäytön kuusi vuotta (1993–1998) kestänyttä RAKET-tutkimusohjelmaa, jonka päärahoittajana toimi Teknologian tutkimuskeskus Tekes. Tutkimuksen aihe liittyy läheisesti myös valtakunnalliseen REMONTTI-tutkimusohjelmaan.

Parhaat kiitokset kaikille projektiin osallistuneille.

Espoo, tammikuu 1999

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
1. Johdanto	9
2. Kerrostalojen ilmanvaihtojärjestelmät ja niiden korjaustarve	11
2.1 Asuntotuotanto ja ilmanvaihtojärjestelmät	11
2.2 Ilmanvaihtojärjestelmien erityispiirteet	12
2.3 Koneellinen poistoilmanvaihto	14
2.4 Kerrostalojen ilmanvaihdon toteutuminen	17
2.5 Kerrostalojen ilmanvaihdon korjaustarve	19
3. Rakennuksen tiiviyn vaikutus lämmön talteenoton kannattavuuteen	22
3.1 Ilmanvaihdon pysyvyys ja hallittavuus	22
3.2 Ilmanvaihdon hallittavuuteen ja pysyvyyteen vaikuttavat tekijät	24
3.3 Hallitsemattoman vuotoilmanvaihdon vaikutus lämmön talteenoton kannattavuuteen	28
4. Perusparannuskohteiden tiiviys, ilmanvaihto ja painesuhteet	31
4.1 Rakennuskannan tiiviys	31
4.2 Koekohteet	33
4.2.1 Gammelbacka, Porvoo	33
4.2.2 Pupuhuhta, Jyväskylä	34
4.2.3 Mäkkylä, Espoo	34
4.2.4 Myyrmäki, Vantaa	34
4.3 Rakennusten tiiviys	34
4.3.1 Gammelbacka, Porvoo	37
4.3.2 Pupuhuhta, Jyväskylä	40
4.3.3 Mäkkylä, Espoo	41
4.3.4 Myyrmäki, Vantaa	42
4.4 Ilmanvaihto ja painesuhteet	43
4.4.1 Gammelbacka, Porvoo	43
4.4.2 Mäkkylä, Espoo	45
4.4.3 Myyrmäki, Vantaa	48
5. Rakennusaineisten hormien tiivistäminen	49
5.1 Tiiviysvaatimukset uudis- ja korjausrakentamisessa	49
5.2 Rakennusaineisten hormien kunto	50

5.3	Rakennusaineisten hormien tiivistämismenetelmät	52
5.3.1	Massausmenetelmä	52
5.3.2	Sujutusmenetelmä	54
6.	Sisäilmaston ja energiatalouden korjauskonseptit	57
6.1	Sisäilmaston ja energiatalouden tavoitetasot	57
6.2	Huoneistokohtainen ilmalämmitysjärjestelmä	59
6.2.1	Tyypillinen sovellusalue	59
6.2.2	Ratkaisulle asetettavat tekniset vaatimukset	59
6.2.3	Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen toteutus	61
6.3	Huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä	63
6.3.1	Tyypillinen sovellusalue	63
6.3.2	Ratkaisulle asetettavat tekniset vaatimukset	64
6.3.3	Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen toteutus	65
6.4	Poistoilmanvaihtojärjestelmä	65
6.4.1	Tyypillinen sovellusalue	65
6.4.2	Ratkaisulle asetettavat tekniset vaatimukset	66
6.4.3	Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen toteutus	67
6.5	Ilmanvaihdon parannustoimet	69
7.	Ilmanvaihtokorjausten edistäminen	74
7.1	Nykyisten rakentamismääräysten soveltaminen korjausrakentamisessa	74
7.2	Muut kehittämistarpeet	75
8.	Yhteenveto	77

LIITTEET

Liite 1 Simulointilaskelmien virtausfunktioiden laskentaperusteet

1. Johdanto

Hyvin toimiva ilmanvaihtojärjestelmä huolehtii osaltaan sisäilman laadusta sekä rakenteiden kunnosta. Suomen oloissa vietetään noin 90 % ajasta sisätiloissa, joten sisäilman laadulla on suuri merkitys ihmisen terveydelle ja hyvinvoinnille. Ilmanvaihtojärjestelmän on poistettava sisäilmaan tuotetut epäpuhtaudet, kuten sisustusmateriaaleista haihtuvat orgaaniset yhdisteet sekä ihmisen aineenvaihdunnan tuotteet (hajut, kosteus ja hiilidioksidi). Ilmanvaihtojärjestelmän 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 koneellista poistoa käyttävistä 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 ilmanvaihdon. Esimerkiksi pyykinpesu ja pyykin kuivaus kylpyhuoneissa on yleistynyt yhdessä lisääntyneen suihkussa käynnin kanssa.

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

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

Asuinrakennusten uudistuotannon on ennustettu vähenevän samalla, kun voimavaroja suunnataan asuntojen korjausrakentamiseen. Ilmanvaihdon peruskorjausta tai perusparannusta tehdään kuitenkin suhteellisen vähän tai vain muun saneeraustyön yhteydessä. Harvoin korjataan pelkästään ilmanvaihtojärjestelmä. Tähän on ollut syynä 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.

Sisäilmastoon ja ilmanvaihtoon vaikuttavat monet rakennukseen kohdistuvat toimet, 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 sekä saunan, suihkun tai pesuhuoneen rakentaminen. Ilmanvaihdon toiminta on syytä tar-

kastaa 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, joka 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 säätö-ongelmia, jotka nykyisissä laitteissa on jo ratkaistu. Toisaalta tyyppihyväksyntämenettely ja siihen liittyvä laadunvalvonta ovat parantaneet huomattavasti ilmanvaihtokomponenttien laatua, joten nykytekniikalla on odotettavissa toiminnaltaan varmoja LTO:n toteutuksia vanhoissa asuinkerrostaloissa.

Suurten korjaustoimien yhteydessä rakenteiden tiiviys huononee helposti, jos läpivientejä lisätään eikä niitä tiivistetä kunnolla. Sisäisen tiiviyn heikentyessä hajujen leviäminen huoneistosta toiseen lisääntyy.

Suuri ongelma ilmanvaihdon korjaustoimien valinnassa on yleensä se, että eri ilmanvaihtojärjestelmien eduista ja haitoista on 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 kanavointi-tilan puute.

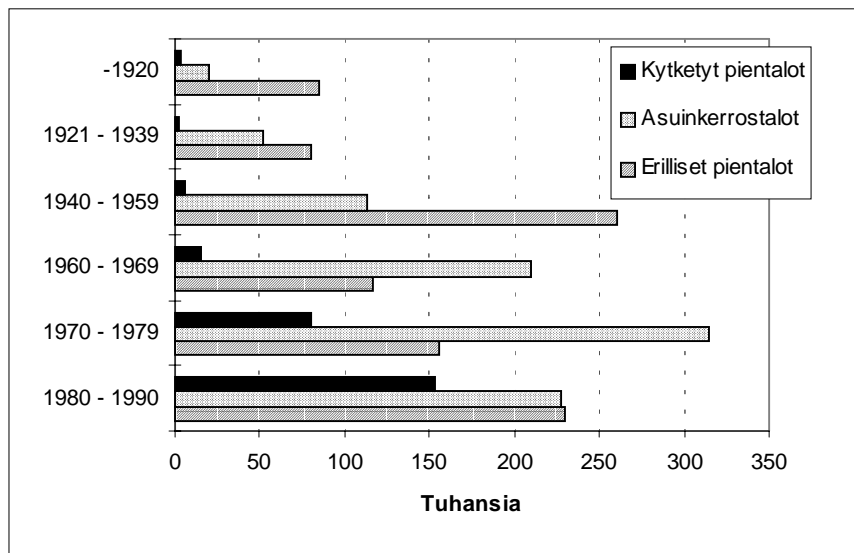
Tässä raportissa on tarkasteltu asuinkerrostalojen ilmanvaihtoon vaikuttavia tekijöitä ja laadittu ehdotus eritasoisiksi ilmanvaihdon korjausratkaisuiksi.

2. Kerrostalojen ilmanvaihtojärjestelmät ja niiden korjaustarve

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. 1989), 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 %.

Painovoimainen ilmanvaihto oli yleinen asuintaloissa 1950-luvun alkuun saakka. Koneellinen poistoilmanvaihto yleistyivät vuoden 1953 jälkeen, kun yhteiskanavajärjestelmä hyväksyttiin rakennushallituksen rakennuttamiin kohteisiin. 1950-luvulla yli 3-kerroksisiin asuinkerrostaloihin asennettiin lähes aina koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä (Mäkiö et al. 1989). 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, %:a rakennustilavuudesta		
	Painovoimainen poisto	Koneellinen poisto	Koneellinen sisäänpuhallus 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. 1989). Poistoilmapuhallinta ohjattiin yleensä suuremmalle kierrosnopeudelle oletettuina ruoanlaittoaikoina.

1940-luvulla ja 1950-luvun alussa ilmankanavat valmistettiin tiilestä tai erikoislaatoista 2–3-kerroksisissa asuinkerrostaloissa. Korkeammassa taloissa käytettiin levy- tai asbestimenttikanavia, 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 pitkittäisaumattuja eikä kanavien liitoskohdissa yleensä käytetty tiivisteitä. 1960-luvun alussa alettiin valmistaa teollisesti sekä peltisiä suorakaidekanavia että peltisiä pyöreitä kierresaumakanavia (Mäkiö et al. 1989).

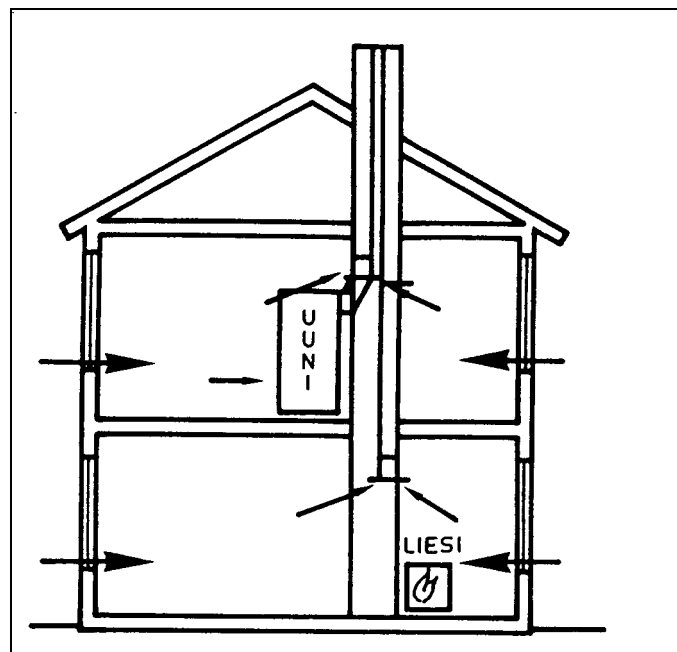
2.2 Ilmanvaihtojärjestelmien erityispiirteet

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

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaatteiden takia ilmavirrat vaihtelevat ulkolämpötilan, tuulen nopeuden ja tuulen suunnan mukaan. Tuulisena talvipäivänä ilman-

vaihto voi olla moninkertainen suunnitteluarvoon verrattuna. Kesällä ilmanvaihto voi olla olematon.

Ennen 1920-lukua rakennetuissa kerrostaloissa oli yleensä uunilämmitys ja kaasui- tai puuliesi. Uunin lämmitys ja puulieden käyttö lisäsivät ilmavirtausta savuhormeissa, jolloin myös huoneiston ilma vaihtui (kuva 2). 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.



Kuva 2. Uunilämmitteisen talon ilmanvaihto.

Tänä päivänä ei uunia enää käytetä lämmitykseen kerrostaloissa. Uuni on usein purettu tai se on käyttökiellossa savupiipun huonon kunnan takia. Uunin purkamisen yhteydessä savuhormit on usein muurattu umpeen, jotta välttyttäisiin ilman takaisinvirtauksesta, mistä aiheutuu hajuhaittoja. Puuliedet on vaihdettu joko kaasui- tai sähköliesiin. Rakennukseen on asennettu keskuslämmitys, ja lämpö tuotetaan omalla kattilalaitoksella tai saadaan kaukolämpöverkosta.

Ennen 1920-lukua rakennetuissa rakennuksissa ulkoilma saatiin joko ikkunanraoista tai erillisistä ulkoilma-aukoista. Tämänikäisten rakennusten ikkunat on yleensä jo vaihdettu uusiin. Mikäli alkuperäisiä ikkunoita on jäljellä, ne on usein tiivistetty. Ulkoilma-aukot on suljettu usein pysyvästi joko seinäpintojen likaantumisen tai vedon takia. Ulkoilma-aukot ovat voineet jäädä myös tapetoinnin alle. Tällaiset toimet ovat poistaneet painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan edellytykset.

Vanhoissa keskuslämmitteisissä taloissa käytettiin 1920–1950-luvuilla painovoimaista ilmanvaihtoa, jossa oli poistoilmaventtiilit keittiössä, kylpyhuoneessa, WC:ssä ja mahdollisesti myös muissa huoneissa.

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

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

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

Yleisesti on käytetty erillishormiratkaisua, jossa jokaisen tilan poistoilmakanava on viety erikseen vesikatolle asti. Vanhemmissa taloissa käytettiin joskus yhteiskanavointia, jossa eri kerroksien poistoilmaventtiilit liitettiin samaan yhteiseen kanavaan. Tällöin riskinä oli kerrosten välinen ilmavirtaus. Rakenteensa vuoksi hormien tiiviys on usein huono. Erityisesti vanhojen hormien saumaustaustit ovat vuosien mittaan murentuneet, ja hormien väliseinistä tiilet ovat voineet irrota.

Kanavat on suunniteltu niin pienelle alipaineelle, että kanavasta toiseen tapahtuva ilmapuoto on pientä. Kanavan muuttaminen ylipaineiseksi esimerkiksi liesituuletinta käyttäen lisää kanavien välistä puotoa. Tällöin vaarana on poistoilman tunkeutuminen ylipaineisista kanavista huoneistoihin.

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

2.3 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisen poistoilmanvaihdon käyttövoimana on poistopuhaltimella aikaan saatu kanaviston alipaine. 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 poistoilmavirratt ovat suunnitteluohjeiden mukaisia vain 1/1-teholla. Pienemmällä teholla ei voida poistaa tehokkaasti esim. ruoanlaiton hajuja.

Poistoilmaventtiilit ovat koneellisen poiston venttiilejä, joita säätämällä venttiilin painero ja poistoilmavirta saadaan mitoitettunsuuruiseksi. Poistoilmaventtiilien säätöasetnot

muuttuvat kuitenkin herkästi esimerkiksi venttiileitä puhdistettaessa. Tällöin ilmanvaihtolaitos ei enää toimi suunnitellusti.

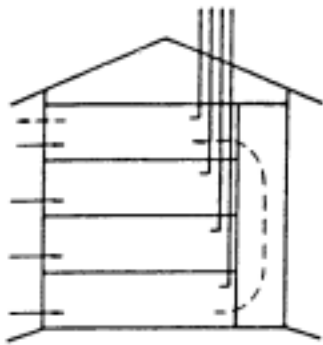
Koneellisessa poistossa ulkoilma otetaan yleensä rakennuksen satunnaisista epätiiviyshkohdista. Ulkoilmaventtiilien käyttö ilman sisäänottoon on ollut 1980-luvun lopulle saakka melko harvinaista. Kun ulkoilma otetaan rakennukseen suunnittelemattomasti, on puhtaan ilman jako huoneiston sisällä sattumanvaraista.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

Myös ulkoilmaventtiilien käytössä on 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.

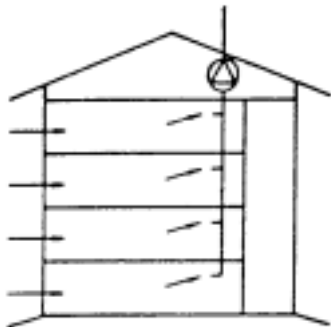
Poistoilman lämpö voitaisiin siirtää lämpöpumpulla lämpimään käyttöveeseen, mutta lämmön talteenoton toteutukset ovat verrattain harvinaisia.

Kuvassa 3 on esitetty eri ilmanvaihtojärjestelmien erityispiirteitä.



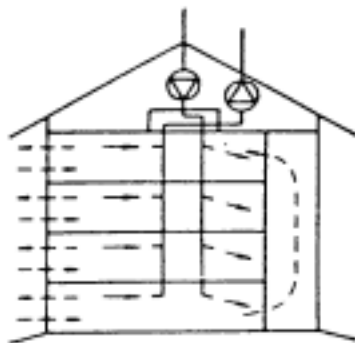
Painovoimainen ilmanvaihto

- 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 epätiiviyys aiheuttaa herkästi läpivetoa ja energiahukkaa.

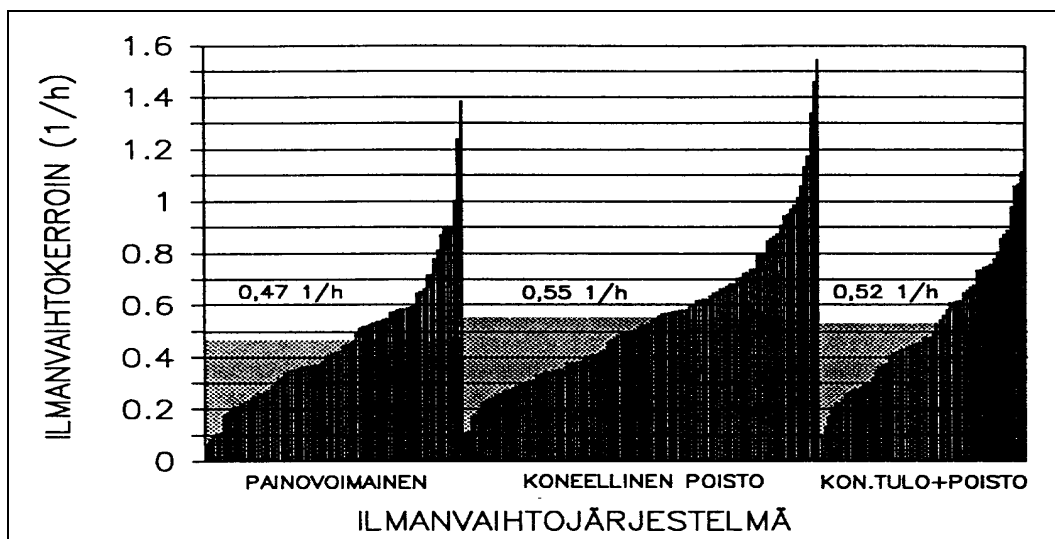
Kuva 3. Ilmanvaihtojärjestelmien erityispiirteitä (Railio 1980).

2.4 Kerrostalojen ilmanvaihdon toteutuminen

Viimeaikaisten tutkimusten mukaan suurimmassa osassa asuntokantaa on puutteellinen ilmanvaihto. 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 ilmanvaihtokerroimet olivat 0,1–1,5 1/h, keskiarvo oli 0,52 1/h. Venttiileistä mitatut ilmanvaihtokerroimet 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). Ilmanvaihtokerroimen 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 4). Kerrostaloasuntojen ilmanvaihtokerroin (0,64 1/h) oli suurempi kuin pientaloasuntojen ilmanvaihtokerroin (0,45 1/h). Myös asukasta kohti laskettuna kerrostalojen ilmanvaihto oli suurempi (15 L/s kerrostaloissa ja 11 L/s pientaloissa). Syynä lienee ilmanvaihtolaitoksen tarpeenmukainen käyttö pientaloissa sekä tuuletuksen yleisyys kerrostaloissa (Ruotsalainen et al. 1990).



Kuva 4. Pien- ja kerrostaloasuntojen keskimääräiset ilmanvaihtokerroimet ilmanvaihtojärjestelmittäin (n = 242 kpl). Mittaukset tehtiin merkkiainemenetelmällä, joka ottaa huomioon tuuletuksen ja vuotoilmanvaihdon (Ruotsalainen et al. 1990).

VTT Rakennustekniikan tutkimuksen koekohteena oli 1950-luvulla rakennettu painovoimaisen ilmanvaihdon asuinkerrostalo. Haastatelluista 78 % piti sen 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 pölyhaittoja. Mittausten mukaan painovoimainen ilmanvaihto 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 (Pallari et al. 1995).

Koekohteena olleessa 1960-luvulla rakennetussa koneellisen poistoilmanvaihdon asuin-kerrostalossa 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 pölyhaittoja. Mittausten mukaan asunnoissa toteutui nykyisten rakentamismääräysten mukainen ilmanvaihdon minimivaatimus 0,5 l/h. Myös venttiilikohtaiset poistoilmavirratt olivat vaatimusten mukaiset (Pallari et al. 1995).

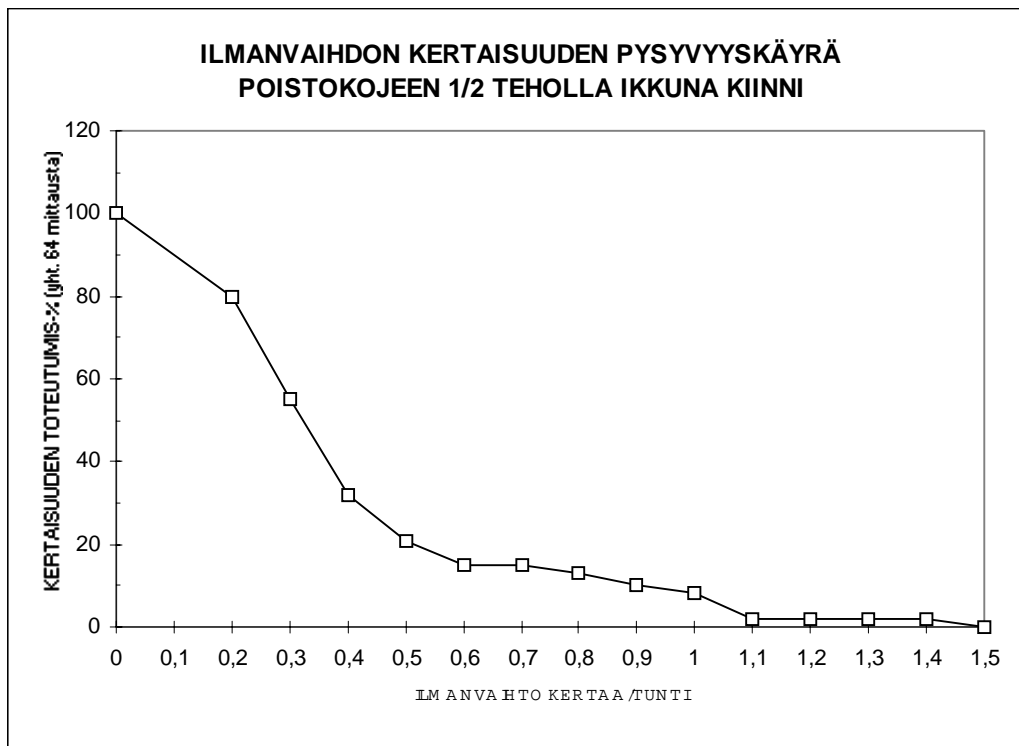
Koekohteena olleessa 1970-luvulla rakennetussa koneellisen poistoilmanvaihdon asuin-kerrostalossa 65 % haastatelluista piti ilmanlaatua huonona tai korkeintaan kohtalaisena. Syyksi huonoon ilmanlaatuun ilmoitettiin hajujen leviäminen huoneiston sisällä. Yli puolet vastanneista (55 %) ilmoitti tarvitsevansa nykyistä tehokkaampaa ilmanvaihtoa keittiöön ja 45 % kylpyhuoneeseen. Kolme neljästä kertoi tuulettavansa asuntoaan ilman laadun takia, vaikka siitä aiheutui veto-, melu-, haju- ja pölyhaittoja. Mittausten mukaan venttiilikohtaiset poistoilmavirratt eivät täyttäneet nykyisten rakentamismääräysten vaatimuksia. Pienissä asunnoissa täytyi kuitenkin ilmanvaihdon minimivaatimus 0,5 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 (Pallari et al. 1995).

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 saumat ovat vaurioituneet, jolloin sadevesi on päässyt tunkeutumaan seinärakenteen sisään ja jopa sisätiloihin asti (Aikkila et al. 1989).

1950–1970-luvuilla rakennettuja asuntoja korjataan laajasti, mutta melko harvoin niiden ilmanvaihtojärjestelmiä. 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 terveydelle ja hyvinvoinnille. Koekohteissa tehdyn asukaskyselyn mukaan ilmanvaihtoon tyytymättömien osuus oli niin suuri, että asunnoissa olisi parannettava poistoilmanvaihdon toimintaa. Asukkaiden mahdollisuuksia säätää ilmavirtoja toimintojen mukaan tulisi myös lisätä (Pallari et al. 1995).

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 sisälly tuloksiin. Ikkunoiden ollessa kiinni ja puhaltimien toimiessa puolella teholla, toteutuivat nykyisten rakentamismääräysten (osa D2) mukaiset poistoilmavirtojen ohjearvot noin viidesosassa asuntoja (kuva 5). Ikkunoiden ollessa auki ja puhaltimien toimiessa täydellä teholla toteutui noin kolmasosassa asuntoja ohjearvo 0,5 l/h.

Ruotsissa tehdyn laajan, tilastollisesti edustavan tutkimuksen mukaan omakotitalojen ilmanvaihtokerroin oli keskimäärin pienempi kuin kerrostaloasuntojen (Kronvall & Boman 1993).



Kuva 5. Ilmanvaihtokertoimen pysyvyyskäyrä 20–30 vuotta käytössä olleissa kerrostaloissa poistoilmaventtiileistä mitattujen ilmavirtojen perusteella (Dyhr 1993).

2.5 Kerrostalojen ilmanvaihdon korjaustarve

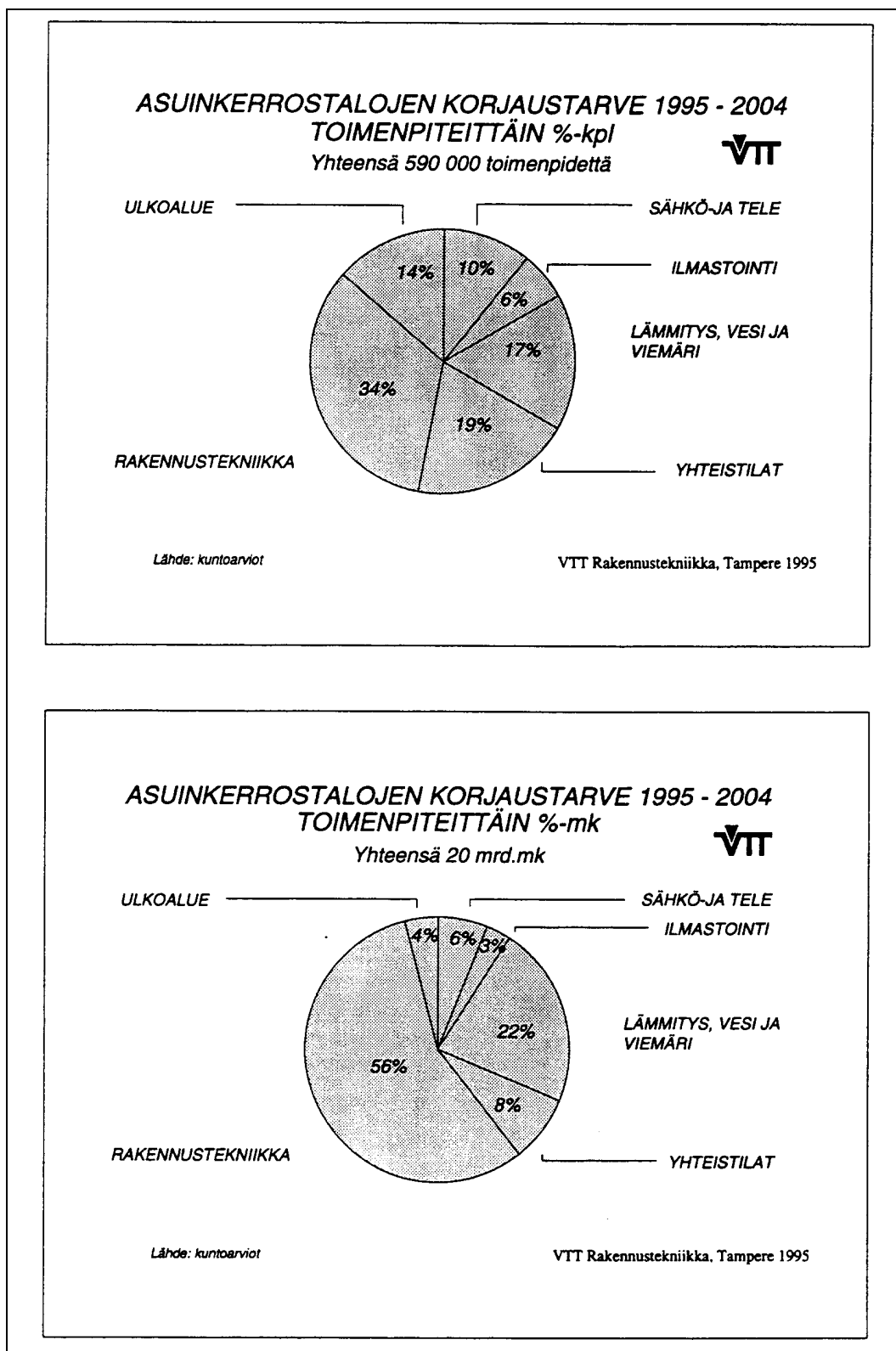
1950-luvulla rakennetuista taloista suuri osa on heikosti lämpöeristetty, joten kylmäsiltoja esiintyy paljon. Lämpö- ja vesiputkistot ovat huonokuntoisia ja ilmanvaihto toimii puutteellisesti (Aikkila et al. 1989). Korjauspaineita on ennen kaikkea vesi- ja viemärijohtoilla, joiden käyttöikä on noin 30–50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

1960- ja 1970-lukujen elementtirakenteisissa kerrostaloissa on elementtirakentamisen kokeilu- ja sisäänajovaiheista aiheutuneita 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. Uusien asuntojen varustetason ja ominaisuuksien vuoksi rakennuskustannukset kasvavat, mutta tilavuudella mitattuna uudisrakentaminen kuitenkin vähenee (Aikkila et al. 1989).

Viimeaikaisten ilmanvaihtoon liittyneiden 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 toimenakin.

Asuinkerrostaloissa tehtyjen kuntoarvioiden perusteella määritelty ilmanvaihdon korjaustarve on vain noin 6 % koko korjaustarpeesta (kuva 6.). Arvio perustuu kuntoarviomenettelyssä tehtyyn aistinvaraiseen arvioon ilmanvaihdon toiminnasta. Ilmanvaihdon toimivuutta on kuitenkin melko vaikea arvioida ilman mittauksia, koska mm. ilmavirtojen suuruus ja painesuhteet jäävät kuntoarviossa selvittämättä. Asukkaiden valituksetkin kohdistuvat lähinnä liian suuren ilmanvaihdon aiheuttamaan vetoon ja meluun. Siten liian pienen ilmanvaihdon haitat saattavat jäädä lähes kokonaan huomioimatta, varsinkin jos kuntoarvioija ei havaitse tai tunnista liian pienen ilmanvaihdon aiheuttamia kosteusvaurioita.



Kuva 6. Asuinkerrostalojen korjaustarve tehtyjen kuntoarvioiden mukaan (Nippala & Jaakkonen 1996).

3. Rakennuksen tiiviynen vaikutus lämmön talteenoton kannattavuuteen

Rakennuksen sisäilmaston laatu ja energiankulutuksen taso muodostuvat rakennusmateriaalien, rakenteiden ja LVI-tekniikan yhteistoiminnasta. Rakennusvaipan tiiviys on yksi tärkeimmistä rakenteiden ja LVI-tekniikan yhteistoimintaan vaikuttavista tekijöistä. Se on myös hankalimmin hallittavia tekijöitä. Tiiviynen merkitys on entisestään korostunut, komponenttien kehittyessä eteenpäin. Hallitsemattomien ilmapuotojen suhteellinen merkitys energiankulutuksessa ja vetoalituksissa on kasvanut rakennuksen vaipan ja ikkunoiden lämmöneristävyyden paranemisen johdosta. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon yleistymisen on pienentänyt rakennusvaipan vallitsevaa paine-eroa ja tehnyt rakennuksen herkemäksi tuulen ja lämpötilaeron aiheuttamalle osittaiselle ylipaineisuudelle. Ulkoilman saastuminen ja allergioiden yleistymisen lisäävät ulkoilman puhdistuksen tarvetta, joka edellyttää myös rakennusvaipalta hyvää tiiviyyttä.

3.1 Ilmanvaihdon pysyvyys ja hallittavuus

Pyrittäessä hyvään sisäilmastoon mahdollisimman pienellä energiankulutuksella on välttämätöntä hallita rakennuksen läpi virtaavan ilmanvaihtoilman määrä mahdollisimman hyvin. Tarpeettoman suuri ilmanvaihto kuluttaa turhaan energiaa ja aiheuttaa myös viihtyisyshaittoja. Toisaalta ilmanvaihto ei saa alittaa terveyden, viihtyisyyden ja rakenteiden toiminnan kannalta välttämätöntä tasoa. Paras energiatalous saavutetaan, kun ilmanvaihdon tavoitearvoa ohjataan todellisen ilmanvaihtotarpeen mukaan ja kun ilmanvaihtomäärä on juuri tavoitearvon suuruinen.

Ilmanvaihtolaitoksen läpi virtaavan ilmanvaihtoilman lämmittämiseen kuluva energia voidaan saada lämmön talteenoton avulla hyödyksi jopa 60–80 %. Lämmön talteenotto onkin energiataloudellisesti kannattava toimenpide varsinkin suurten ilmanvaihtuvuuksien rakennuksissa (esim. toimisto- ja liikerakennukset), joissa vuotoilmanvaihdon suhteellinen osuus on pieni. Sen sijaan rakennuksissa, joissa ilmanvaihtuvuuden tavoitearvo on pieni suhteessa vuotoilmanvaihtoon (esim. asuinrakennukset), on rakennuksen tiiviydellä ratkaiseva merkitys lämmön talteenoton kannattavuudelle. Jos esimerkiksi rakennuksen ilmanvaihdon tarpeesta (esim. 0,5 1/h) suuri osa (esim. 0,2 1/h) tulee vuotoilmanvaihdosta eikä siten kulje ilmanvaihtolaitoksen kautta, jää lämmön talteenotolla hyödyksi saatava energia pieneksi (0,6–0,8 x 0,3 1/h).

Ilmanvaihdon suunnitteluarvo määrittelee energiankulutuksen tavoitetason (E_{tav}). Lämmön talteenotolla saadaan vuosihyötysuhteen (η_{LTO}) mukainen osa ilmanvaihtoilman lämmitysenergiasta hyödyksi. Rakennuksen käytön aikaisen energiatalouden kannalta keskeiset suureet ovat ilmanvaihdon pysyvyys ja hallittavuus.

Ilmanvaihdon pysyvyys (τ_{iv}) kuvaa sitä, kuinka suuren osan ajasta ilmanvaihto on suunnitteluarvon (n_{tav}) mukainen:

$$\tau_{iv} = n_{tod} / n_{tav}, \quad (1)$$

missä n_{tod} on tarkastelujakson ilmanvaihtuvuuden aikapainotettu keskiarvo. Sisäilmaston ja energiatalouden optimitilanteessa ilmanvaihdon pysyvyys on 1. Pysyvyys voi olla yli yhden, jolloin tuhlataan energiaa, tai alle yhden, jolloin tingitään sisäilman laadusta.

Ilmanvaihdon hallittavuus (θ_{hall}) kuvaa sitä, kuinka suuri osa todellisesta ilmanvaihdosta kulkee suunnitellusti ilmanvaihtolaitoksen läpi:

$$\theta_{hall} = n_{iv} / n_{tod} = 1 - (n_{viv} / n_{tod}), \quad (2)$$

missä n_{iv} on ilmanvaihtolaitoksen läpi kulkevan ilmanvaihtuvuuden keskiarvo ja n_{viv} on hallitsemattoman vuotoilmanvaihtuvuuden keskiarvo. Optimitilanteessa ilmanvaihdon hallittavuus on sama kuin sen maksimiarvo eli 1. Energiatalouden kannalta ilmanvaihdon hallittavuutta voidaan arvioida sillä, kuinka suuri osa poistoilmavirrasta kulkee suunnitellusti ilmanvaihtolaitoksen ja siten lämmön talteenoton läpi.

Ilmanvaihtoilman lämmittämisen todellinen energiankulutus (E_{tod}) saadaan seuraavasti:

$$E_{tod} = E_{tav} \cdot (1 - \eta_{LTO}) \cdot \tau_{iv} \cdot \theta_{hall} \quad (3)$$

Energiankulutuksen lisäksi ilmanvaihdon pysyvyys ja hallittavuus vaikuttavat lämmitysjärjestelmän tehontarpeeseen.

Ilmanvaihdon hallittavuus on tärkeässä asemassa myös tarkasteltaessa ilman puhdistusta ja kustutusta. Ilmanvaihtolaitoksessa keskitetyksi tai ulkoilmaventtiileissä tapahtuvan tuloilman suodatuksen todellinen tehokkuus riippuu lämmön talteenoton tapaan ilmanvaihtolaitoksen kautta kulkevasta ilmavirrasta. Tässä tapauksessa on tarkasteltava sitä, kuinka suuri osa tuloilmavirrasta kulkee suunnitellusti ilmanvaihtojärjestelmän ja suodattimien kautta. Huonekohtaisten ilmanpuhdistimien toiminnassa ja mitoituksessa on puolestaan otettava huomioon hallitsemattoman vuotoilmanvaihdon kautta tuleva ylimääräinen epäpuhtauskuorma.

Sisäilman laadun kannalta on olennaista, että tuloilma jakautuu rakennuksessa suunnitellulla tavalla ja että ilma virtaa puhtaammista tiloista likaisempiin. Tämä saavutetaan vain, jos ilmanvaihdon hallittavuus on hyvä. Muussa tapauksessa korvausilma jakautuu pääasiassa vuotokohtien suhteessa, mikä asunnoissa yleensä merkitsee ilmanvaihdon tehostumista suunnitelmia suuremmaksi keittiössä ja olohuoneessa sekä ilmanvaihdon pienenemistä makuuhuoneissa.

Hallitsemattomat vuotoilmavirrat sekä huonosti toteutetut tulo- ja korvausilmaratkaisut ovat keskeisimpiä vedon tunteen aiheuttajia. Vedon tunteen minimoinnissa on pyrittävä (tulo-)ilmanvaihdon mahdollisimman hyvään hallittavuuteen ja tulo-/ulkoilmaventtiilien vedottomuuteen. Ilmanvaihdon hyvä hallittavuus tarkoittaa käytännössä vuotoilma-

reittien sulkemista tiivistämällä, jolloin myös paikalliset kylmät ilmavirtaukset ja kylmät pinnat vähenevät. Hyvä ilmanvaihdon hallittavuus saavutetaan käyttämällä vedottomia ulkoilmaventtiilejä. Epätiivissä rakennuksessa ulkoilma-venttiilin kautta tuleva ilmavirta jää usein murto-osaan suunnitellusta, jolloin myös ilmasuihkun lähtönopeus saattaa jäädä liian pieneksi, jolloin ilmasuihku tippuu suoraan oleskeluvyöhykkeelle. Toisaalta tiiviissä rakennuksessa ulkoilmaventtiilin kautta tuleva ilmavirta saattaa ylittää kyseisestä venttiilistä vedottomasti saatavan ilmamäärän.

Rakenteiden kosteustekniselle toiminnalle on Suomen ilmastossa välttämätöntä estää sisäilman jatkuva tunkeutuminen rakenteisiin. Puurakentamisen teknologiaohjelman projektissa "Puurakenteet, lämpö- ja kosteustekninen toiminta ja sisäilmasto-vaikutukset" on saatu tuloksia, joiden mukaan vähäinenkin jatkuva sisäilman vesihöyryn konvektio rakenteisiin aiheuttaa homeen kasvun riskin. Myös kokemuseräisesti tiedetään, että sisäilman vesihöyrystä peräisin olevat haitalliset kosteuskeräymät ovat yläpohjarakenteiden ja ulkoseinien yläosien ongelmia, mikä kertoo vesihöyryn konvektion olevan käytännössä olennaisesti suurempi ongelma kuin vesihöyryn diffuusio.

Ylipaineisuuden riskiä voidaan tarkastella *alipaineisuuden pysyvyyden* ($\tau_{\Delta p}$) avulla. Se kuvaa sitä, kuinka suuren osan ajasta rakennuksen vaippa on alipaineinen:

$$\tau_{\Delta p} = t_{\Delta p-} / t_{\text{kok}} = 1 - (t_{\Delta p+} / t_{\text{kok}}), \quad (4)$$

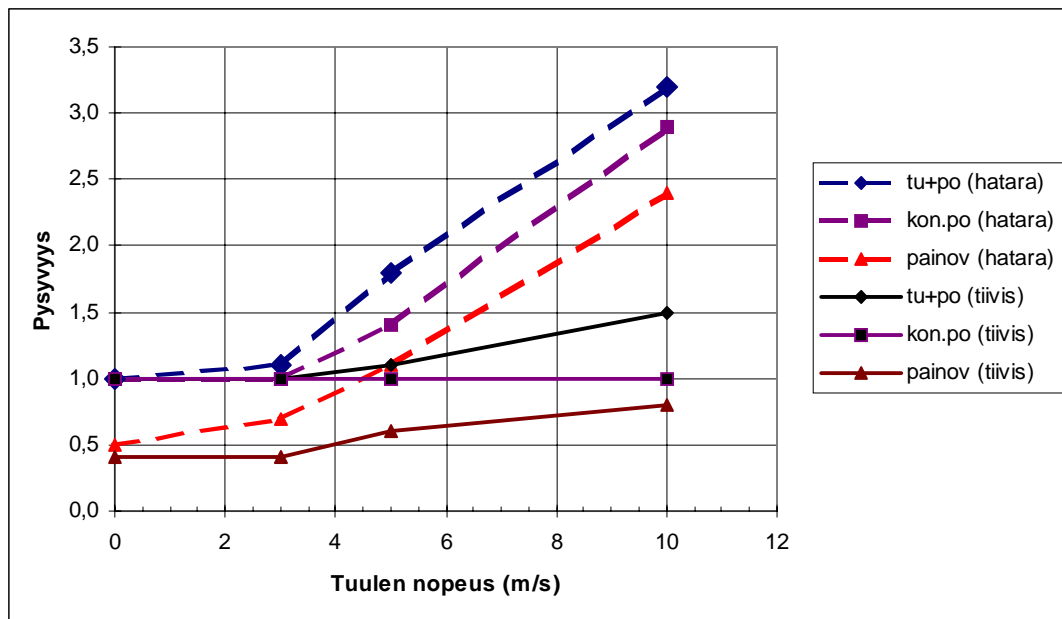
missä $t_{\Delta p-}$ aika, jona rakennus on alipaineinen ulkoilmaan nähden ja t_{kok} on kokonaisaika.

Rakennuksen painetasoa määritettäessä on alipaineisuusvaatimuksen lisäksi otettava huomioon ovien ja ikkunoiden käytöstä aiheutuvat vaatimukset. Alipaine ei saa olla niin suuri, että se haittaa ovien ja ikkunoiden avaamista tai sulkemista.

3.2 Ilmanvaihdon hallittavuuteen ja pysyvyyteen vaikuttavat tekijät

Ilmanvaihdon hallittavuuteen ja pysyvyyteen vaikuttavat mm. rakennuksen tiiviys ja vuotojen sijainti rakennuksessa, sääolosuhteet ja maaston suojaisuus sekä ilmanvaihtojärjestelmä ja valittu painetaso.

Tiiviys ja säätekijät vaikuttavat eri ilmanvaihtojärjestelmiin eri tavalla, mistä kuvassa 7 on esitetty yksinkertaistettu laskennallinen tarkastelu (Railio & Saarnio 1983).



Kuva 7. Yksinkertaistettu esimerkkilaskelma rakennuksen tiiviiden ja tuulen vaikutuksesta ilmanvaihdon pysyvyyteen eri ilmanvaihtojärjestelmissä. “Hatara” rakennus: $n_{50}=5,0$ 1/h, “tiivis” rakennus: $n_{50}=1,0$ 1/h. Pääosa vuodoista (70 %) jakautuu tasan tuulen- ja suojanpuoleisille seinämille. Ei järjestettyä ulkoilman sisäänottoa. Muokattu Railion ja Saarnion laskelmista (Railio & Saarnio 1983).

Painovoimaisessa järjestelmässä ilmanvaihto toimii pienillä paine-eroilla. Käytävissä oleva termien voima kuluu osittain virtausvastusten voittamiseen niin hormeissa kuin ulkovaipassakin. Jo pienikin tuuli riittää saamaan aikaan termistä painetta suuremman ilmanvaihdon käyttövoiman, jolloin ilmaa alkaa virrata rakennuksen läpi ohi poistohormien. Kuvasta 7 nähdään, miten tämä vaikutus voimistuu tuulen nopeuden kasvaessa. Hatarassa rakennuksessa ilmanvaihto kasvaa nopeasti tarpeettoman suureksi. Toisaalta tiivillä ja lämpimällä säällä ilmanvaihto jää riittämättömäksi.

Koneellisen poiston järjestelmä toimii tiiviissä rakennuksessa hallitusti. Kun rakennus on riittävästi alipaineinen (noin 20 Pa), ilmavirta pysyy käytännössä vakiona. Ainoastaan korvausilman jakautuminen eri julkisivujen kesken muuttuu tuulen vaikutuksesta. Vasta kovalla tuulella alkaa esiintyä läpivirtausta. Hatarassa rakennuksessa alipaine on huomattavasti alhaisempi. Läpivirtausta esiintyy jo keskimääräisellä (4–5 m/s) tuulella.

Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä toimii käytännössä kaksi rinnakkaista järjestelmää: hallittu koneellinen ja hallitsematon vuotoilmanvaihto. Nämä järjestelmät toimivat toisistaan riippumatta, jos paine-ero vaipan yli on nolla (koneellinen tulo- ja poistoilmavirta ovat yhtä suuret, eikä vuotoilmanvaihtoa tapahdu). Asettamalla poistoilmavirta tuloilmavirtaa suuremmaksi saadaan tila alipaineiseksi ja tilanne hallintaan tiivillä säällä. Tiiviissäkin talossa jo keskimääräinen tuuli saa aikaan hallitsematonta ilma-voittoa rakenteiden kautta ulos. Hatarassa talossa hallitsematon vuotoilmanvaihto dominoi järjestelmän toimintaa.

Railio ja Saarnio selvittivät vuotoverkkomallilla myös tiiviyn vaikutusta ilmanvaihdon lämmönkulutukseen. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa lämmönkulutus kasvoi noin 5 % tiiviyn heiketyssä arvosta $n_{50}=2,6$ l/h arvoon $n_{50}=6,0$ l/h. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa kasvu oli noin 10 % (Railio & Saarnio 1983).

Tiiviin kerrostalon painovoimainen ilmanvaihto toimii alimmissa kerroksissa tyynellä säällä kohtalaisesti, mutta ylimpiin kerroksiin ei juuri tule ilmaa suoraan ulkoa. Tuuli tasoi näitä eroja, mutta lisää eroja eri julkisivujen välillä. Erityisesti ylimmät kerrokset ovat tuulelle alttiita, joten niiden tiiviyn tulisi olla alakerroksia parempi.

Koneellinen poistoilmanvaihto on myös kerrostalossa tasaisimman ilmanvaihtuvuuden takaava järjestelmä. Rakennuksen sisäinen tiiviys on kuitenkin ratkaisevassa asemassa korvausilman jakautumisessa eri kerrosten välillä. Huono sisäinen tiiviys korostaa porraskuilun termisen nosteen häiriövaikutusta.

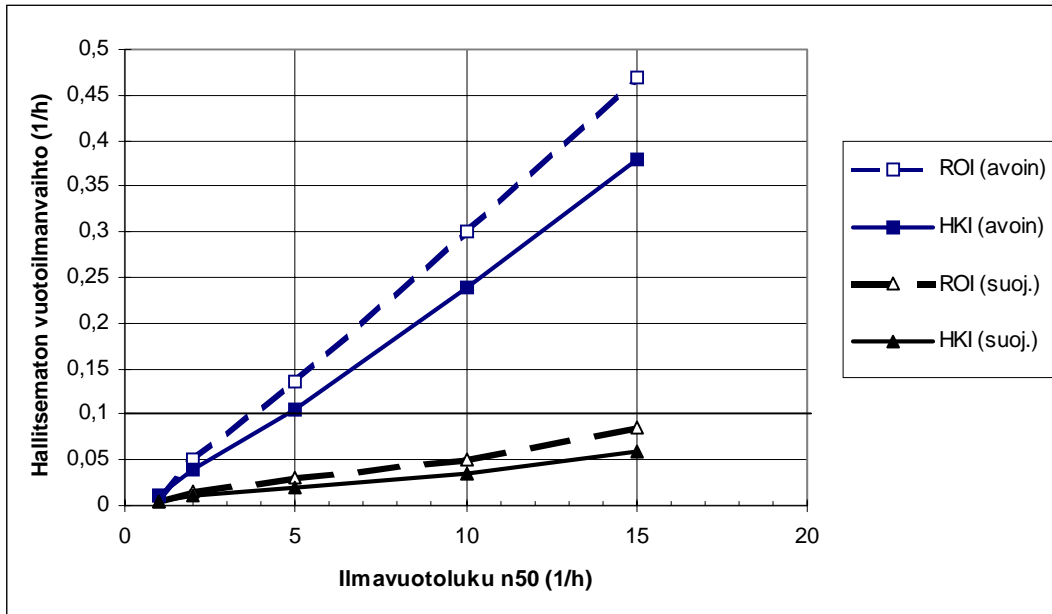
Avoimessa maastossa sijaitsevan kerrostalohuoneiston makuuhuoneen ulkoilmavirran toleranssirajojen (± 30 %) ylitys- ja alitusaikojen summa on noin puolet ajasta tilastovuodessa, kun paine-ero ulkovaipan yli vastaa yleisesti käytettyjä arvoja (5–10 Pa). Ilmavuotoluku on tällöin 0,6–1,0 l/h. Kun paine-ero nostetaan 20 pascaliin, pienenee toleranssirajojen ylitys selvästi. Ilmanvaihdon pysyvyys vaihtelee kerroksittain. Alakerroksissa ilmanvaihto on suunnitteluarvoa suurempi ja yläkerroksissa pienempi. Ulkovaipan tiivistäminen pienentää eroja. Sisäisen tiiviyn parantaminen ei tutkituissa tapauksissa juurikaan vaikuttanut toleranssirajojen ylityksiin, syynä lienee sisäisen tiiviyn hyvä lähtötaso.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin hallitsemattomaan vuotoilmanvaihtoon vaikuttavia tekijöitä laskennallisesti. Laskelmat tehtiin 4- ja 8-kerroksiselle asuinrakennukselle MOVECOMP-vuotoverkkomallia käyttäen. Käytetyt simulointilaskelmien virtausfunktioiden laskentaperusteet on esitetty liitteessä 1. Tutkimuksessa selvitettiin seuraavien tekijöiden vaikutusta hallitsemattomaan vuotoilmanvaihtoon:

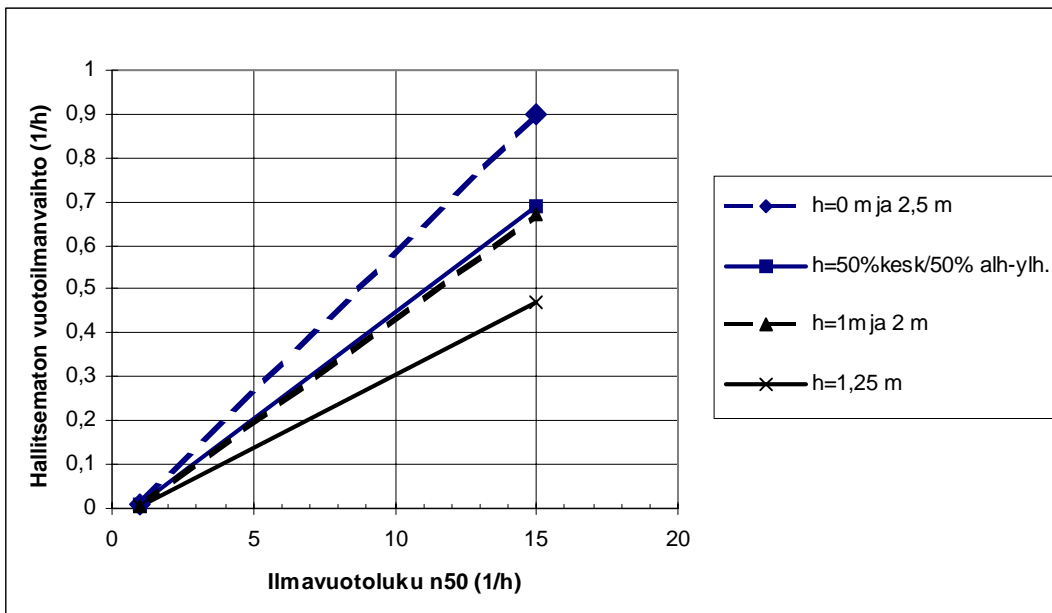
- rakennusvaipan tiiviys
- vuotojen jakauma eri julkisivujen kesken ja korkeussuunnassa
- rakennuksen sisäinen tiiviys
- kerrosten lukumäärä
- maaston suojaus
- paikkakunnan ulkolämpötila
- tulo- ja poistoilmavirran suhde (eli paine-ero vaipan yli).

Laskelmien mukaan rakennusvaipan tiiviys oli tärkein hallitsemattomaan vuotoilmanvaihtoon vaikuttava tekijä. Tiiviissä talossa ($n_{50}=1,0$ l/h) myös tulo- ja poistoilmavirran suhde (eli paine-ero vaipan yli) oli merkityksellistä. Jos ulkovaipan tiiviys on heikko, korostuu maaston suojaus ja paikkakunnan ulkolämpötilan merkitys, kuva 8. Myös vuotojen jakauma eri julkisivujen kesken ja korkeussuunnassa vaikuttaa hallitsemattomaan vuotoilmanvaihtoon hatarassa rakennuksessa, kuva 9. Rakennuksen sisäinen

tiiviyys tai kerrosten lukumäärä ei laskelmien mukaan vaikuta hallitsemattomaan (ulko-) ilmanvaihtoon, mutta kylläkin ulkoilman jakautumiseen kerrosten välillä ja sisäisiin ilmavirtauksiin.



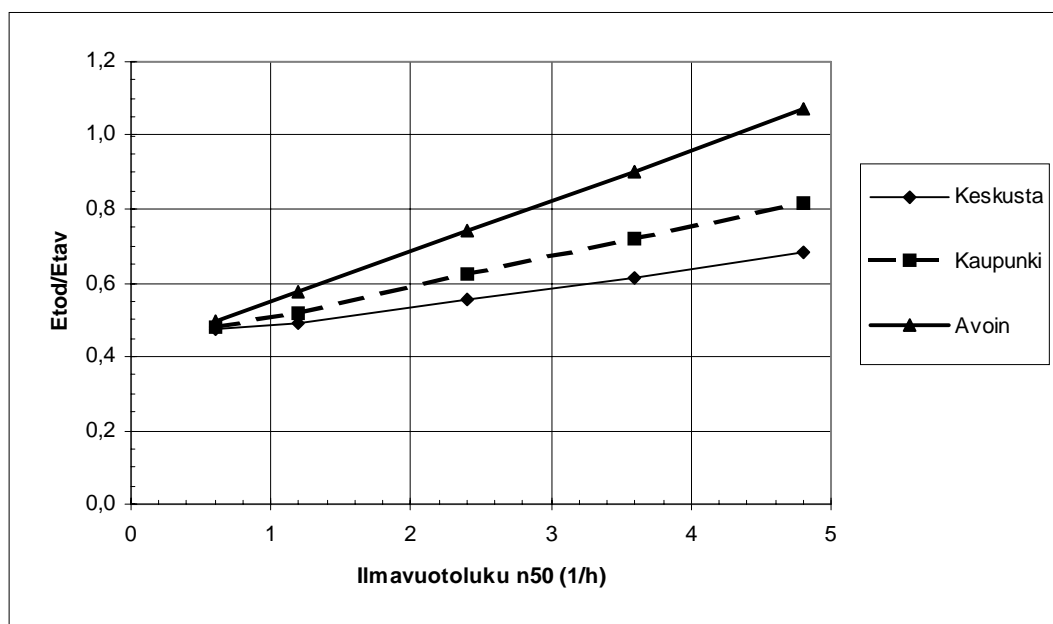
Kuva 8. Hallitsematon vuotoilmanvaihto Helsingin ja Rovaniemen sääoloissa avoimessa maastossa (avoin) ja kaupungin keskustamaastossa (suoj.).



Kuva 9. Vuotojen jakauma korkeussuunnassa.

3.3 Hallitsemattoman vuotoilmanvaihdon vaikutus lämmön talteenoton kannattavuuteen

Maaston suojauksen ja rakennuksen tiiviyyden vaikutusta lämmön talteenotolla hyödyksi saatavaan energiaan on tarkasteltu tämän tutkimuskokonaisuuden edellisessä hankkeessa (Pallari et al. 1995). Tulokset on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Ilmanvaihdon todellisen energiankulutuksen (E_{tod}) suhde tavoiteltavaan energiankulutukseen (E_{tav}) eri tiivistasoilla erilaisissa maasto-olosuhteissa, kun lämmön talteenoton hyötysuhde on 65 %. Koneellinen tuloilmavirta 0,4 1/h, poisto 0,5 1/h. Muokattu lähteestä (Pallari et al. 1995).

Kuvasta 10 nähdään, että lämmön talteenotolla varustetussa koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa säästetään lämmitysenergiaa vain, jos rakennuksen ilmavuotoluku on avoimessa maastossa parempi kuin noin 1,5 1/h, kaupunkimaastossa noin 2,8 1/h ja kaupunkikeskustassa noin 4,2 1/h. Mikäli rakennuksen tiiviys on huono ($n_{50} > 4,5$ 1/h) ja rakennus sijaitsee avoimessa maastossa, voi järjestelmän energiankulutus olla jopa suurempi kuin pelkän koneellisen poistoilmanvaihdon energiankulutus!

Tässä hankkeessa tarkasteltiin lämmön talteenoton kannattavuutta elinkaarikustannusten avulla. Arviointityökaluna käytettiin Teknillisessä korkeakoulussa kehitettyä rakennusten ylläpitokustannusten ohjausjärjestelmää, johon liitettiin lämmön talteenotolla säästettävän energian laskentamalli (Kiinteistöjen ylläpidon... 1993).

Eri vaihtoehtojen elinkaarikustannuksia verrattiin laskemalla mallin avulla energiataloudellisesti kannattavan investoinnin suuruus. Vertailukohteena on rakennus, jonka koneellinen poistoilmanvaihto korjataan nykyvaatimusten mukaiselle tasolle ilman lämmön talteenottoa. Laskelmien avulla selvitettiin siis kuinka paljon enemmän kannattaa

investoida lämmön talteenotolla varustettuun koneelliseen tulo- ja poistoilman-vaihtojärjestelmään. Laskelmissa käytetyt lähtöarvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Lämmön talteenoton kannattavuuslaskelmissa käytetyt lähtöarvot.

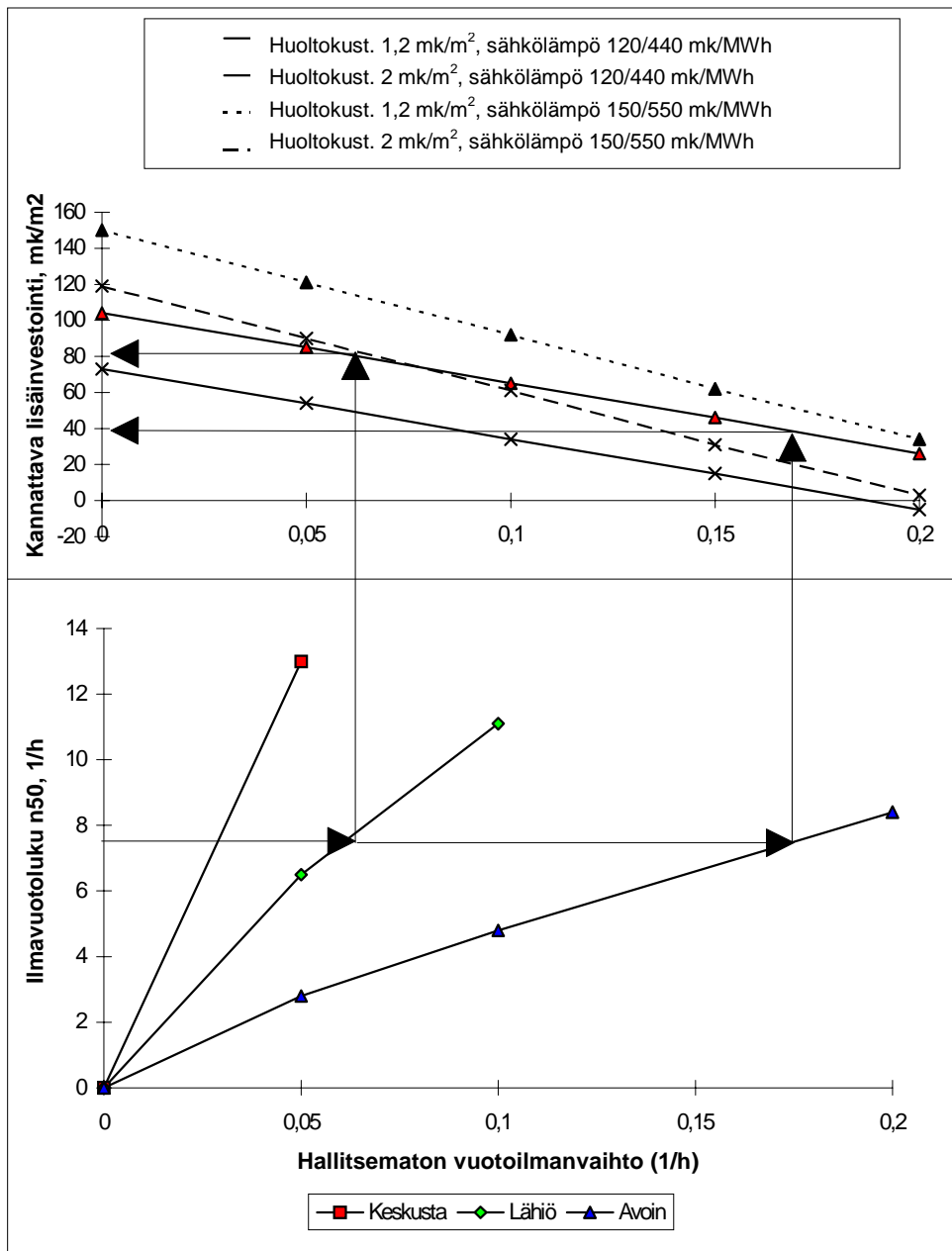
Vaikutussuure	Lämpöarvo
Laskentakorko	5 / 10 %
Sähkön hinta	450 / 550 mk/MWh
Lämmön hinta	150 / 200 mk/MWh
Pitoaika	40 a
Huoltokustannukset	1,1 / 1,2 mk/m ² ,kk
Säästö perusmaksussa	3400–3800 mk/a
Puhaltimien sähkönkulutus	
Uusimiskustannukset	

Laskelmien tuloksia on esitetty taulukossa 3 ja kuvassa 11.

Taulukko 3. Lisäinvestointi (mk/m²), joka kannattaa energiansäästön vuoksi tehdä lämmön talteenottoon verrattuna koneellisen poistoilmanvaihdon kunnostamisen vaatimaan investointiin. Pitoaika 40 vuotta, laskentakorko 5 %, lämmön/sähkön hinta 150/450 mk/MWh, huoltokustannukset 1,2 mk/m²,kk.

Tiiviys	Maaston avoimuus		
	Avoin, esim. pistetalo mäellä	Esikaupunki, lamellitalo metsässä	Kaupunkikesk. Korttelitalo (kaukana rannasta)
Harva: n ₅₀ >4	55–75	75–80	80–85
Normaali: 2<n ₅₀ <4	75–85	85–90	90–95
Tiivis: n ₅₀ <2	80–90	90–95	95–100

Rakennuksen tiiviys vaikuttaa ratkaisevasti lämmön talteenotolla hyödyksi saatavan energian määrään ja siten myös sen kannattavuuteen. Rakennuksen tiiviyden ollessa heikompi kuin 2–3 1/h (50 Pa), tulee rakennusta tiivistää ennen kuin lämmön talteenotto tulee yksityistaloudellisesti kannattavaksi. Hankintapäätöstä tehtäessä tulee energiatalouden lisäksi huomioida myös muut LTO-järjestelmän avulla saavutettavat hyödyt, kuten hyvä sisäilman laatu ja vedottomat lämpöolot.



Kuva 11. Rakennuksen tiiviyyden ja maaston suojaisuuden vaikutus lämmön talteenoton kannattavuuteen asuinkerrostalossa.

4. Perusparannuskohteiden tiiviys, ilmanvaihto ja painesuhteet

4.1 Rakennuskannan tiiviys

Asuinrakennusten tiiviyttä on Suomessa selvitetty laajasti 1970- ja 1980-lukujen vaihteessa tehdyssä ”Tiiviin rakentamisen tekniikka ja talous” -hankkeessa ja sen jatko-projekteissa. Tutkimuksissa todettiin, että 1970-luvulla rakennettujen pientalojen tiiviyydet olivat selvästi heikompia kuin silloin voimassa ollut Ruotsin vaatimustaso ($n_{50} < 3,0$ l/h). Myös hajonta rakennusten välillä oli suurta. Tutkimuksen kuluessa havaittiin kuitenkin selvää paranemista, 1980-luvun alussa tehtyjen pientalojen tiiviys oli 3,0–4,0 l/h, mutta hajonta oli edelleen suurehko (Polvinen et al. 1983). Tutkimuksessa havaittiin myös, että tietoisesti ”tiiviiksi rakennetut” talot ovat yleensä huomattavasti normaali-taloja tiiviimpiä. Tiiviin rakentamisen opastaminen ja työn laadun valvominen ovat avainasemassa.

Pientalojen ilmanpitävyyden pysyvyyttä tutkittiin 1980-luvun puolivälissä (Metiäinen et al. 1986). Tutkimuksessa mitattujen noin 30 1980-luvun alussa rakennetun pientalon ilmavuotolukujen keskiarvo oli 2,8 l/h ja keskihajonta 1,2 l/h. Tutkimuksessa todettiin varsinkin puurakenteisten talojen tiiviyyden heikkenevän ajan kuluessa. Havaitut muutokset olivat suhteellisen pieniä ja niiden vaikutukset rakennusten energian kulutukseen vähäisiä.

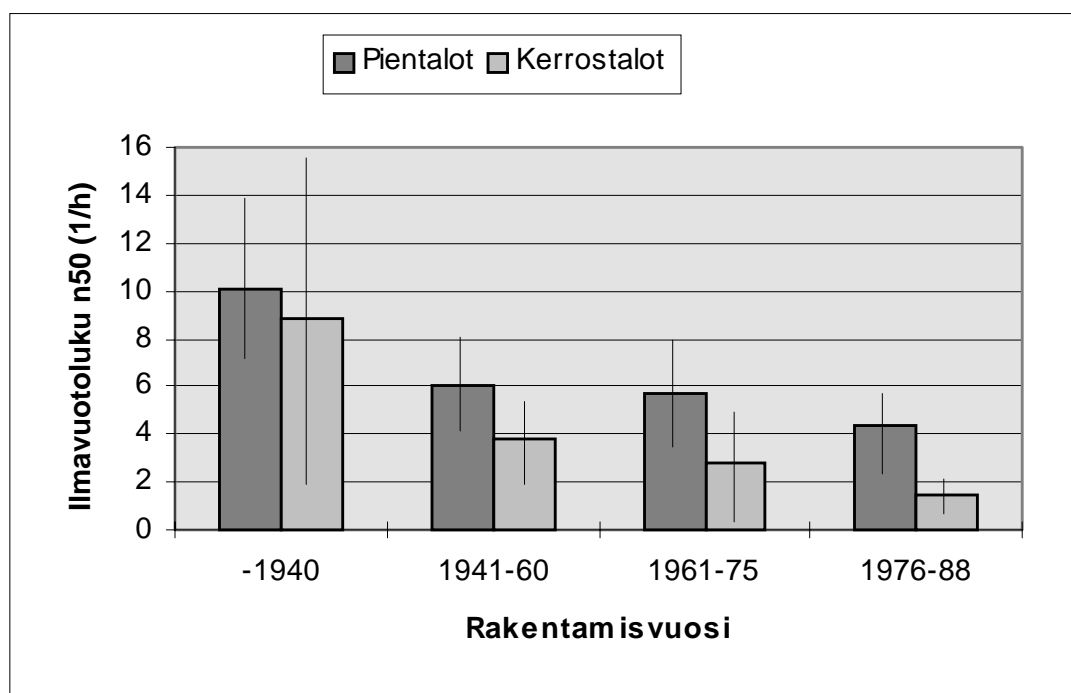
Kerrostalojen tiiviyttä on Suomessa tutkittu vain suppeasti. Edellä mainituissa VTT:n tutkimuksissa tehtiin yksittäisiä mittauksia myös kerrostaloissa. Niiden huoneisto-kohtaisesti mitatut ilmavuotoluvut vaihtelivat pääasiassa 0,7–1,5 l/h, joskin yhden rakennuksen huoneistojen tiiviys oli selvästi heikompi, noin 3,5 l/h.

Tämän tutkimuskokonaisuuden edellisessä hankkeessa mitattiin yhden 1950-luvulla rakennetun asuinkerrostalon neljän huoneiston kokonaistiiviys. Kokonaisvuoto sisälsi kaikki huoneistoa rajoittavien seinien, välipohjien ja huoneiston ulko-oven vuodot. Huoneistojen tiiviys oli melko heikko (taulukko 4). 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 4. Huoneiston (Kiinteistö Oy Sahanmäki) ilmavuotoluku (n_{50} -luku), kun ulko-
seinän yli vallitseva koepaine on 50 Pa (Pallari et al. 1995).

Kerros	Huoneistotyyppi	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

Ruotsissa on selvitetty asuinrakennuskannan energiankulutusta ja sisäilmastoa laajassa ELIB-tutkimuksessa 1990-luvun alussa (Kronvall & Boman 1993a). Samassa yhteydessä on mitattu myös rakennusvaipan tiiviyyttä. Tulokset on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. 50 omakotitalon ja 30 kerrostalohuoneiston ilmavuotoluku ja sen standardi-
poikkeama (merkitty viivalla) eri ikäisissä ruotsalaisissa rakennuksissa (Kronvall &
Boman 1993b).

Ruotsalaisen asuinrakennusten tiiviys on parantunut viime vuosikymmeninä erityisesti kerrostaloissa. Myös erot eri rakennusten välillä ovat pienentyneet. Uudehkojen rakennusten tyypillinen ilmavuotoluku on 1,0–2,0 1/h kerrostaloissa ja 4,0–5,0 1/h pientaloissa. Vastaaviin arvoihin on päädytty myös 1970-luvun lopussa tehdyssä laajemmassa uudisrakennuksia koskeneessa tutkimuksessa (Kronvall 1979). 1980-luvun alussa

tehdyssä tutkimuksessa on todettu, että Ruotsissa rakennettavien pientalojen tiiviys oli 2,0–2,7 l/h (50 Pa) ja että tiiviyttä voitaisiin helposti parantaa tasolle 1,0 l/h (50 Pa) (Månsson 1984).

Norjassa rakennuskannan tiiviyttä on viimeksi laajemmin selvitetty 1970-luvun lopulla (Brunsell & Uvslokk 1980). Tuolloin mitattujen 61 uuden omakotitalon ilmapuotoluku oli keskimäärin 4,7 l/h (vaihteluväli 2,0–8,0 l/h). Kerrostalohuoneistoja mitattiin 34 kpl, keskiarvo oli 1,3 l/h (vaihteluväli 0,5–1,8 l/h).

Rakennusvaipan tiiviyttä on tutkittu laajasti myös Belgiassa, Hollannissa ja Yhdysvalloissa. Näiden maiden rakentamistapa ja ilmasto poikkeavat kuitenkin niin paljon Suomesta, että niistä ei ole juuri hyötyä Suomen tiiviytsvaatimuksia asetettaessa. Esimerkiksi Belgiassa vuosina 1990–1995 rakennettujen pientalojen ilmapuotoluvut vaihtelivat välillä 2,5–25,0 l/h (50 Pa) keskiarvon ollessa noin 8,0 l/h (50 Pa) (Wouter et al. 1997). Samassa tutkimuksessa esitettiin myös menetelmä vaipan tiiviyden arvioimiseksi silmämääräisesti. Arviointi tehdään tarkastuslistan avulla. Listassa mainittujen näkyvien vuotokohtien vaikutus ilmapuotolukuun on arvioitu laskennallisesti. Vaipan ilmapuotoluku saadaan laskemalla näkyvien vuotokohtien luvut yhteen. Menetelmällä saadaan melko todenmukainen kuva vaipan tiiviydestä, joskin silmämääräisesti arvioitu ilmapuotoluku jää yleensä hieman pienemmäksi kuin mitattu arvo.

4.2 Koekohteet

4.2.1 Gammelbacka, Porvoo

Porvoossa mitattiin huoneistojen tiiviyttä, ilmanvaihtoa ja painesuhteita kahdessa 8-kerroksisessa, 1970-luvulla rakennetussa tornitalossa, joissa oli kummassakin koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä. Viertotie 12:ssa tiiviys mitattiin neljässä asunnossa ja Viertotie 14:ssa kolmessa asunnossa. Mittaukset tehtiin ennen ja jälkeen täydellisen huoneistoremontin.

Ennen remonttia ilmanvaihto oli riittämätöntä, ulkoilmaventtiilit puuttuivat kokonaan ja ylempien kerroksien huoneistot olivat ylipaineisia ulkoilmaan nähden, jolloin ilmaa virtasi huoneistojen ulkoseinästä ulospäin. Huoneilman kosteuden tunkeutuminen seinärakenteisiin johti kosteusvaurioihin ja homeongelmiin sekä pakkasella kosteuden tiivistymiseen ikkunoihin. Lisäksi alimpien kerrosten huoneistot olivat ylipaineisia rappukäytävään nähden, jolloin huoneistojen hajut tunkeutuivat rappukäytävään. Ylimpien kerrosten huoneistot taas olivat alipaineisia rappukäytävään nähden, jolloin hajut tunkeutuivat rappukäytävästä kyseisiin huoneistoihin.

Remontin jälkeen jokaisessa huoneistossa oli huoneistokohtainen sauna ja parveke sekä ilmanvaihto oli saneerattu toimivaksi. Lisäksi ulkoilmareiteiksi oli asennettu uusien ikkunoiden yläkarmiin ulkoilmaventtiilit.

Mittaukset tehtiin ennen remonttia tammikuussa 1995 ja remontin jälkeen marraskuussa 1996.

4.2.2 Pupuhuhta, Jyväskylä

Jyväskylässä mitattiin yhden huoneiston tiiviyyttä ja painesuhteita 3-kerroksisessa, 1960-luvulla rakennetussa kerrostalossa, jossa oli koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä. Mittaukset tehtiin ennen ja jälkeen täydellisen huoneistoremontin.

Ennen remonttia ilmanvaihtolaitteiden toimivuus oli tehdyn asukaskyselyn mukaan huono, kanaviston tiiviyys oli huono ja ilmanvaihtoa ohjattiin keskitetysti. Remontin jälkeen asunnoissa oli huoneistokohtainen koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä siten, että huippuimurit oli asennettu vesikatolle ja pystykanavat oli asennettu entisiin pystyhormeihin. Lisäksi ulkoilmareiteiksi oli asennettu uusien ikkunoiden alle korvausilmapatterit.

Mittaukset tehtiin ennen remonttia tammikuussa 1996 ja remontin jälkeen helmikuussa 1996.

4.2.3 Mäkkylä, Espoo

Espoossa mitattiin kuuden huoneiston tiiviyyttä, ilmanvaihtoa ja painesuhteita 4-kerroksisessa, 1960-luvulla rakennetussa kerrostalossa, jossa oli huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Mittaukset tehtiin huoneistoremontin jälkeen joulukuussa 1996.

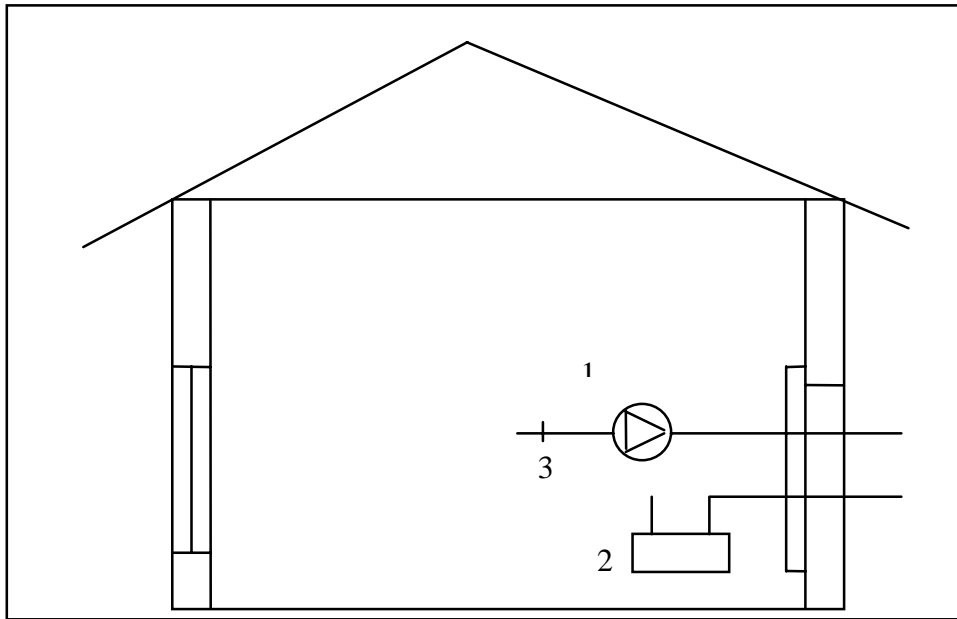
4.2.4 Myyrmäki, Vantaa

Vantaalla mitattiin kolmen huoneiston tiiviyyttä, ilmanvaihtoa ja painesuhteita 7-kerroksisessa, 1980-luvulla rakennetussa kerrostalossa, jossa oli huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Mittaukset tehtiin huoneistoremontin jälkeen maaliskuussa 1997.

4.3 Rakennusten tiiviyys

Ulkovaipan kokonaistiiviyden mittaamiseen käytettiin painekoetta. Apupuhallinta käytäten mitattava huoneisto saatettiin alipaineiseksi ulkoilmaan nähden. Apupuhallin asennettiin makuuhuoneen ikkuna-aukkoon ilmatiiviisti. Ulko- ja poistoilmaventtiilit suljettiin ilmanpitävästi. Lattiakaivojen ja lavuaarien vesilukot täytettiin vedellä tarvittaessa. Kaikki sisäovet pidettiin auki. Huoneisto-ovea rappukäytävään ei tiivistetty.

Paine-ero ulko- ja sisäilman välillä ja sen ylläpitämiseksi tarvittava puhaltimen ilmavirta mitattiin samanaikaisesti, kuva 13.



Kuva 13. Paineekokeen periaate. 1) säädettävä apupuhallin 2) ulko- ja sisäilman välisen paine-eron mittausta 3) tilavuusvirran mittausta.

Ulko- ja sisäilman välinen paine-ero mitattiin Alnor MP6KS-mikromanometrillä. Apupuhaltimen ilmavirta mitattiin Ø100 mm:n kartiomittaustorvella ja Alnor 3KDS-mikromanometrillä. Ilmavirta korjattiin vastaamaan ulkovaipan kokonaisvuotoa yhtälöllä (Roulet et al. 1991).

$$q = q_m \frac{T}{T_m}, \quad (5)$$

jossa q on ilmavirta ulkovaipan läpi [m^3/h]
 q_m ilmavirta virtausmittarin läpi [m^3/h]
 T ulkoilman lämpötila [K]
 T_m sisäilman lämpötila [K].

Mittaus toistettiin useamman kerran, jolloin huoneiston vuotokäyrä voitiin piirtää tilavuusvirta- ja paine-eroarvoparien perusteella. Vuotokäyrä on muotoa

$$q = C \Delta p^n, \quad (6)$$

jossa q on ilmavirta ulkovaipan läpi [m^3/h]
 C kerroin
 Δp paine-ero ulkovaipan yli [Pa]
 n eksponentti.

Kerroin C yhtälössä (6) on muunnettu normiolosuhteisiin 20 °C ja 1013 mbar yhtälöllä (Roulet et al, 1991).

$$C_o = C \left(\frac{\mu}{\mu_o} \right)^{2n-1} \left(\frac{\rho}{\rho_o} \right)^{1-n}, \quad (7)$$

jossa C_o on yhtälön (6) kerroin C normioloissa
 C yhtälön (6) kerroin
 μ ilman viskositeetti [Ns/m²]
 μ_o ilman viskositeetti normioloissa [Ns/m²]
 n yhtälön (6) eksponentti
 ρ ilman tiheys [kg/m³]
 ρ_o ilman tiheys normioloissa [kg/m³].

Ilman tiheyksien suhde yhtälössä (7) on muotoa

$$\frac{\rho}{\rho_o} = \frac{pT_o}{p_o T}, \quad (8)$$

jossa p on ilmanpaine [mbar]
 p_o ilmanpaine normioloissa = 1013 mbar
 T vuotoilman lämpötila [K]
 T_o vuotoilman lämpötila normioloissa = 293,15 K.

Ilman viskositeettien suhde yhtälössä (7) on muotoa

$$\frac{\mu}{\mu_o} = \sqrt{\frac{T}{T_o} \frac{1+110,4/T_o}{1+110,4/T}}, \quad (9)$$

jossa T on vuotoilman lämpötila [K]
 T_o vuotoilman lämpötila normioloissa = 293,15 K.

Ulkovaipan vuotokäyrä piirretään korjattuja ilmavirta-arvoja käyttäen. Paineekokeen tulos ilmoitetaan paine-erolle 50 Pa määritettynä ilmanvaihtuvuutena

$$n_{50} = \frac{q_{50}}{V}, \quad (10)$$

jossa n_{50} on ilmavuotoluku, 1/h
 q_{50} on vuotovirta paine-erolla 50 Pa, m³/h
 V on huoneiston tilavuus laskettuna sisämittojen mukaan, m³.

Mitä pienempi ilmavuotoluku on, sitä tiiviimpi on huoneisto. Keskimääräinen ilmavuotoluku n_{50} on kerrostaloissa noin 2–3 1/h. Tavoitteellinen keskiarvo kerrostalolle on 1,0 1/h (hatarin huoneisto 1,5 1/h) (Sisäilmaston kuntotutkimus 1997).

Eri huoneistokomponenttien (parvekeseinä, ikkunat, huoneisto-ovi jne.) tiiviiden selvittämiseksi käytettiin kahta eri menetelmää. Jyväskylän kohteessa käytettiin ns. suoraa komponentin tiiviyskoetta. Tällöin tutkittava komponentti peitettiin ilmatäiviisti mittauskammiolla. Apupuhaltimella 1 aiheutettiin alipaine tutkittavaan huoneistoon kuvan 13 mukaisesti. Mittauskammion läpi kulkenut ilmavirta johdettiin tilavuusvirtamittarille (laippaputki), jonka aiheuttama painehäviö kompensoitiin nollassa virtausmittarin kanssa sarjaan asennetun apupuhaltimen 2 avulla.

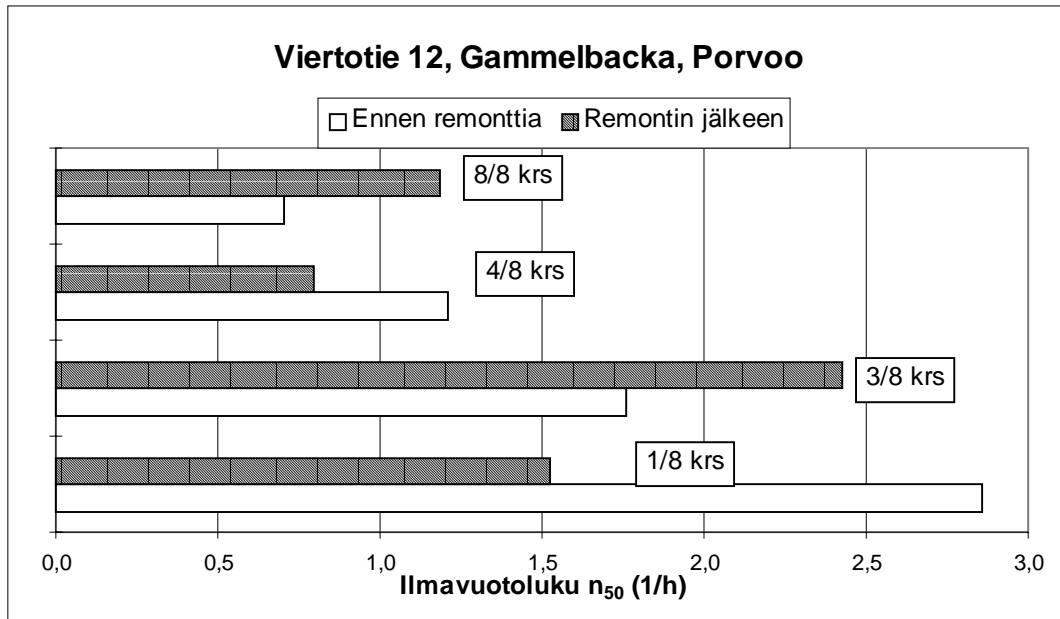
Porvoon, Espoon ja Vantaan kohteissa käytettiin ns. epäsuoraa komponentin tiiviyskoetta. Tällöin mitattiin ensin koko huoneiston tiiviys edellä kuvatulla tavalla. Tämän jälkeen tutkittava komponentti peitettiin ilmatäiviisti ja painekoe uusittiin. Vähentämällä painekokeiden tulokset toisistaan saatiin kyseisen komponentin läpi mennyt ilmamäärä laskettua.

Tiivysmittausten epävarmuuteen vaikuttavat tekijät ovat ilmavirta- ja paine-eromittausten epävarmuudet sekä tuuliolot. Mittausmenetelmä, jossa vain alipainetilannetta on tutkittu, on myös eräänä epävarmuuslähteenä.

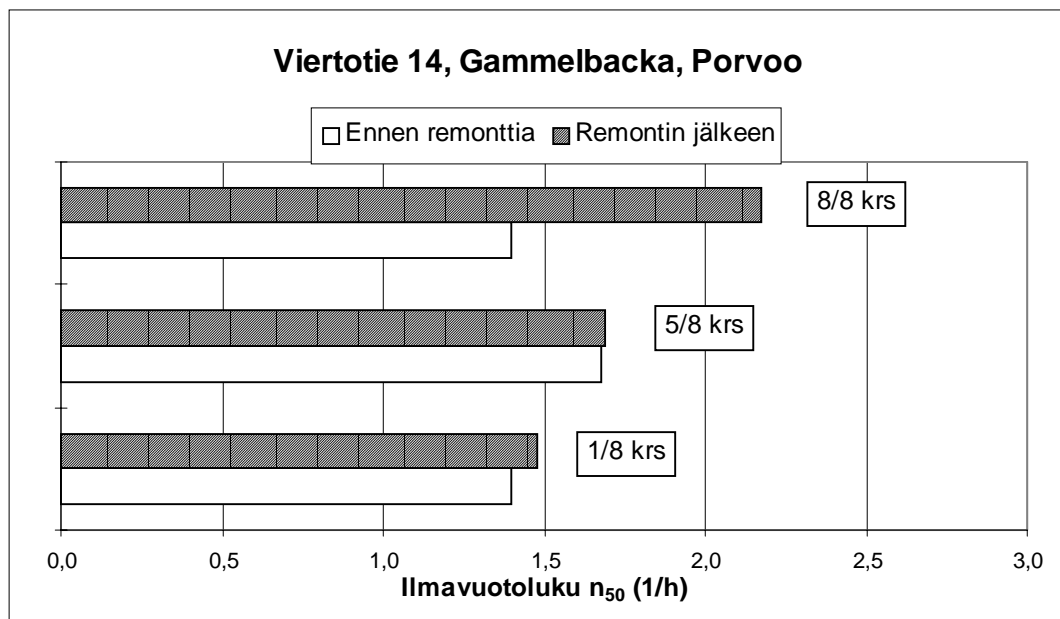
Ilmavirta mitattiin $\varnothing 100$ mm kartiomittaustorvella. Tällöin tilavuusvirran mittausepävarmuuden arvioidaan olevan ± 5 %. Tuulen nopeus kaikkien mittausten aikana oli alle 5 m/s, joten sen vaikutuksen mitattuun ilmavirtaan arvioidaan olevan $\pm 0,5$ %. Mittausmenetelmän vaikutuksen ilmavirtatulokseen arvioidaan olevan ± 1 %. Täten ilmavirran kokonaisepävarmuudeksi saadaan $\pm 5,1$ %. Ulko- ja sisäilman välisen paine-eromittauksen epävarmuuden arvioidaan olevan ± 1 Pa (= ± 2 %, kun paine-ero on 50 Pa). Tällöin vuotoilman mittausepävarmuus paine-erolla 50 Pa on enimmillään $\pm 5,8$ %. Huoneiston tilavuuden mittauksessa epävarmuuden voidaan arvioida olevan ± 2 %. Täten ilmavuotoluvun n_{50} kokonaisepävarmuudeksi saadaan $\pm 6,1$ %. Kaikki edellä annettut luvut on ilmaistu 95 %:n luottamustasolla.

4.3.1 Gammelbacka, Porvoo

Kuvissa 14a ja 14b on esitetty huoneistojen kokonaistiiviys, joka on ilmaistu ilmavuotolukuna n_{50} . Mitä pienempi ilmavuotoluku on, sitä tiiviimpi huoneisto on.

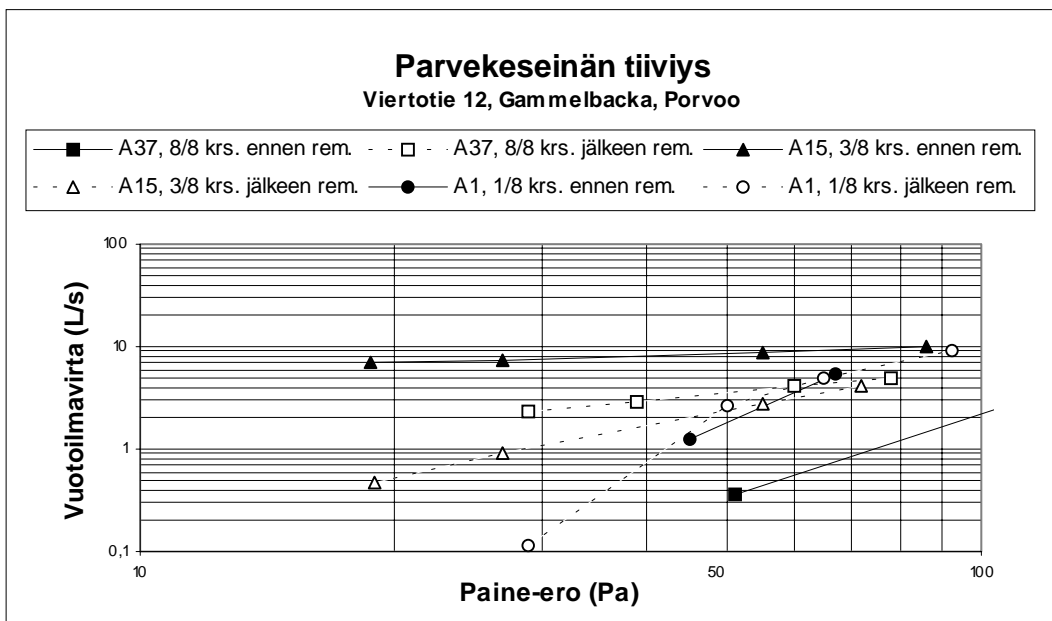


Kuva 14a. Muutamien huoneiston kokonaistiiviys Porvoossa (Viertotie 12) ennen ja jälkeen remontin.

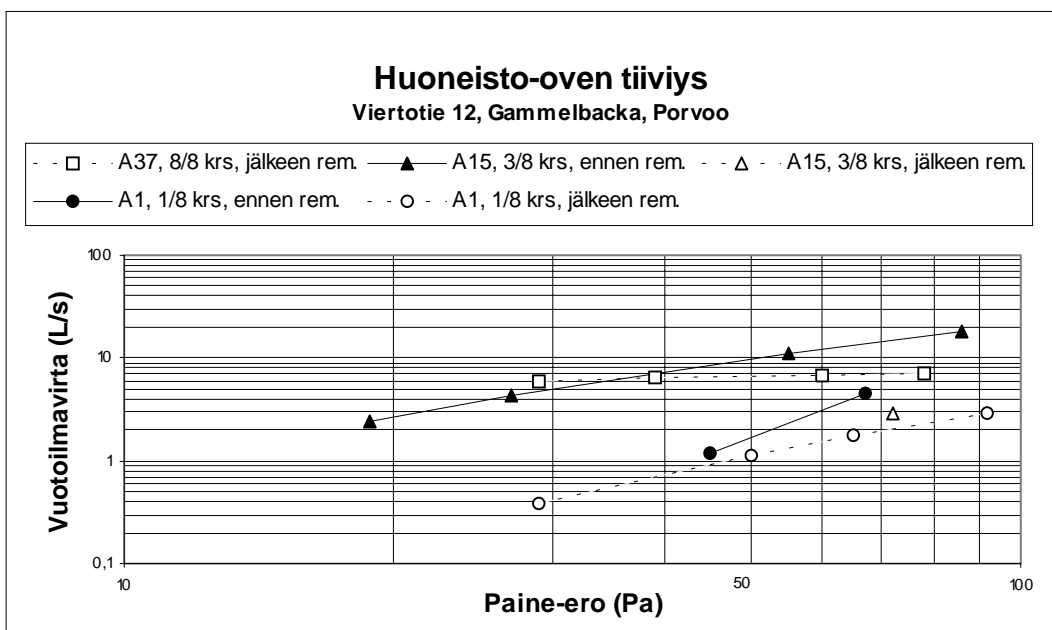


Kuva 14b. Muutamien huoneiston kokonaistiiviys Porvoossa (Viertotie 14) ennen ja jälkeen remontin.

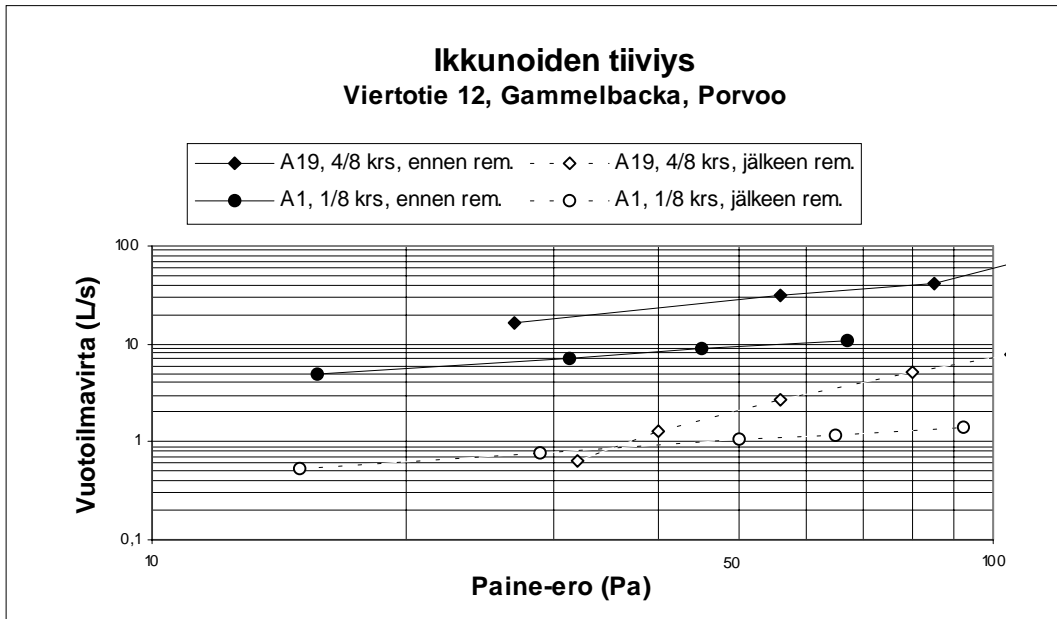
Kuvista 14a ja 14b havaitaan, että kokonaistiiviys remontin jälkeen vaihteli välillä 0,8–2,4 1/h. Keskimääräinen ilmavuotoluku n_{50} oli 1,6 1/h. Huoneistojen kokonaistiiviys parani joissakin tapauksissa, toisissa tapauksissa se huononi remontin seurauksena. Huononeminen johtui pääosin parvekeseinän tiiviyyden huononemisesta. Sitä vastoin ikkunoiden ja huoneisto-oven tiiviys parani kaikissa tapauksissa, kuvat 15a–15c.



Kuva 15a. Parvekeseinän tiiviys ennen ja jälkeen remontin Porvoossa.



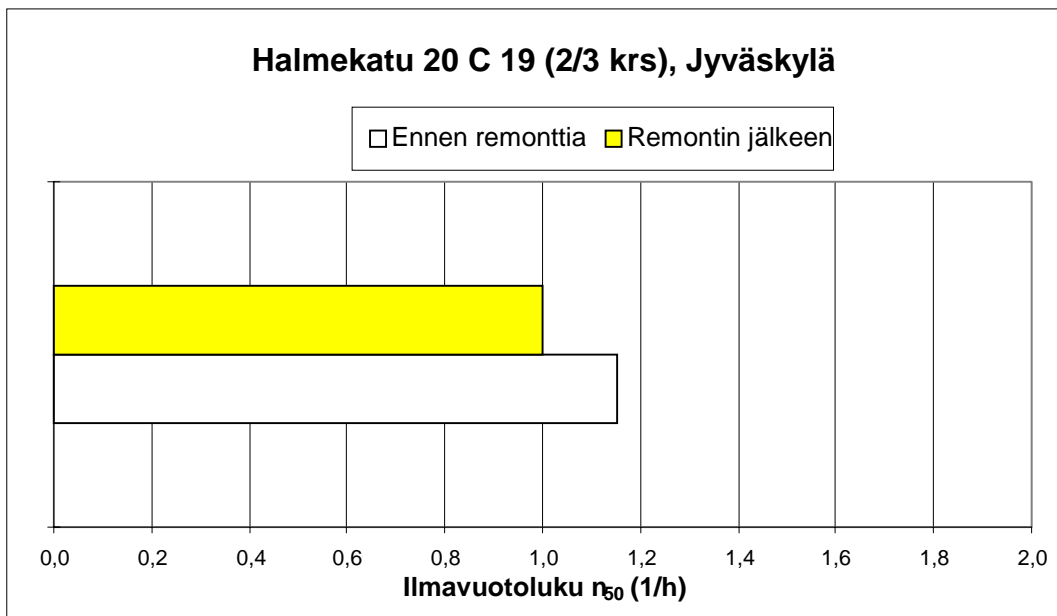
Kuva 15b. Huoneisto-oven tiiviys ennen ja jälkeen remontin Porvoossa.



Kuva 15c. Ikkunoiden tiiviys ennen ja jälkeen remontin Porvoossa.

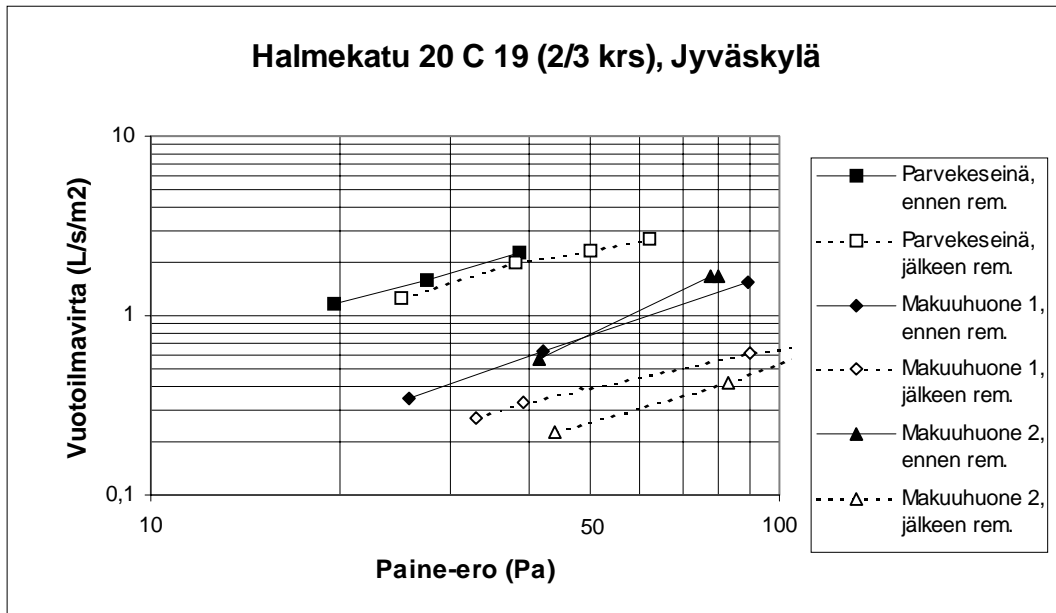
4.3.2 Pupuhuhta, Jyväskylä

Kuvassa 16 on esitetty Jyväskylän koekohteen huoneiston kokonaistiiviys, joka on ilmoitettu ilmavuotolukuna n_{50} . Mitä pienempi on ilmavuotoluku, sitä tiiviimpi on huoneisto.



Kuva 16. Huoneiston kokonaistiiviys Jyväskylässä ennen ja jälkeen remontin.

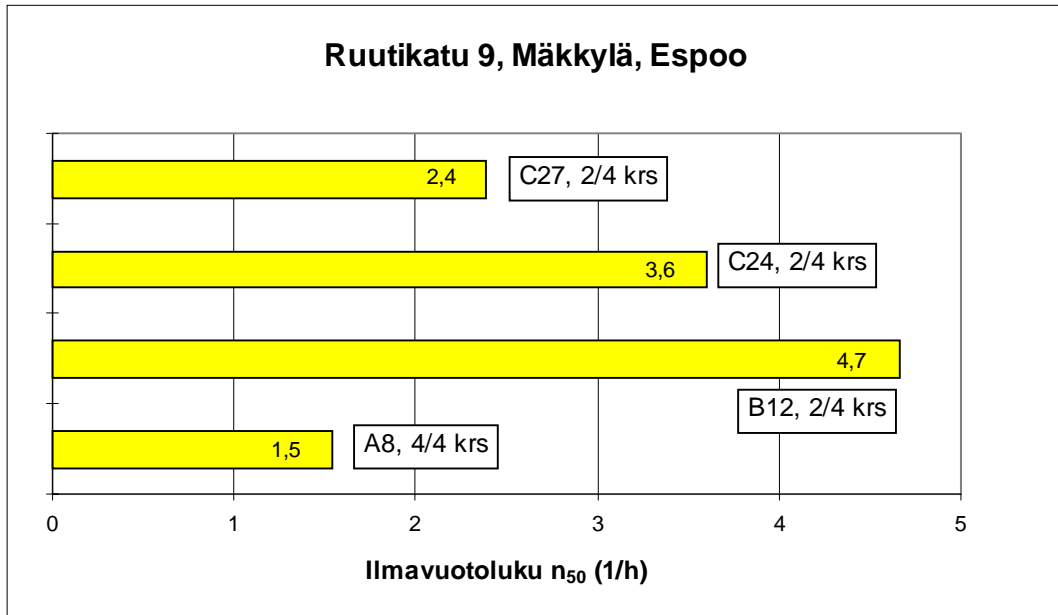
Kuvasta 16 havaitaan, että Jyväskylässä huoneiston kokonaistiiviys parani hieman remontin seurauksena. Varsinkin kaikkien ulkoseinien tiiviys parani, kuva 17. Huoneisto oli kylläkin jo ennen remonttia erittäin tiivis (muutos 1,15 1/h:sta 1,0 1/h:iin).



Kuva 17. Parvekeseinän ja makuuhuoneiden seinien tiiviys ennen ja jälkeen remontin Jyväskylässä.

4.3.3 Mäkkylä, Espoo

Kuvassa 18 on esitetty huoneistojen kokonaistiiviys remontin jälkeen Espoon kohteessa. Kokonaistiiviys on ilmaistu ilmapuotolukuna n_{50} . Mitä pienempi on ilmapuotoluku, sitä tiiviimpi on huoneisto.

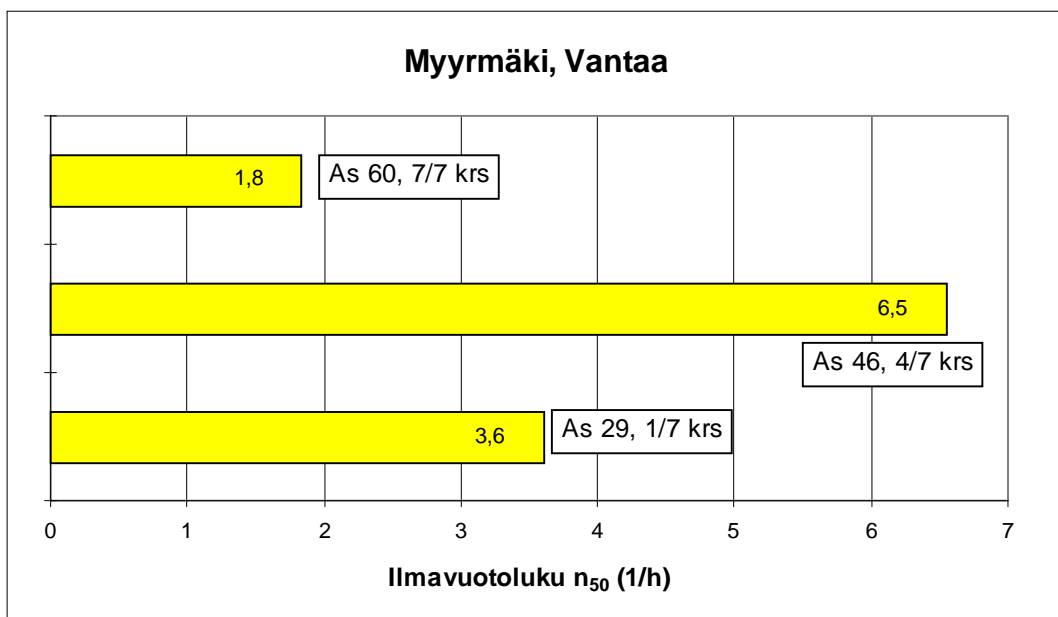


Kuva 18. Huoneistojen kokonaistiiviys Espoon Mäkkylässä remontin jälkeen.

Kuvasta 18 havaitaan, että kokonaistiiviys vaihteli suuresti ja oli paras huoneistossa A8 (4/4 krs) ($n_{50} = 1,5$ 1/h) ja heikoin huoneistossa B12 (2/4 krs) ($n_{50} = 4,7$ 1/h). Ilmanvuotokohtia löytyi paljon.

4.3.4 Myyrmäki, Vantaa

Kuvassa 19 on esitetty huoneistojen kokonaistiiviys remontin jälkeen Vantaan kohteessa. Kokonaistiiviys on ilmaistu ilmavuotolukuna n_{50} . Mitä pienempi on ilmavuotoluku, sitä tiiviimpi on huoneisto.



Kuva 19. Huoneistojen kokonaistiiviys Vantaan kohteissa remontin jälkeen.

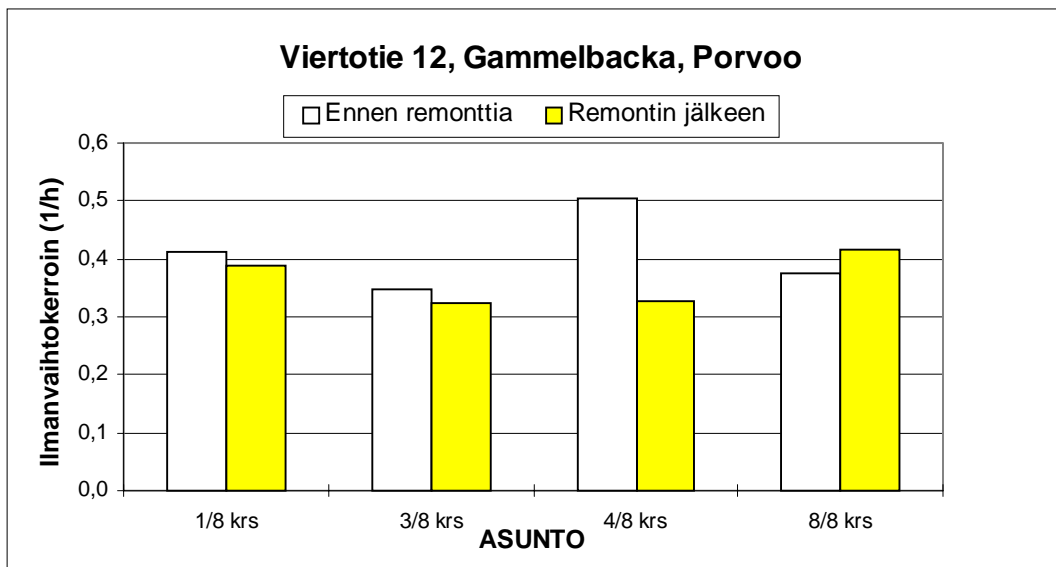
Kuvasta 19 havaitaan, että kokonaistiiviys vaihteli suuresti ja oli paras huoneistossa 60 (7/7 krs) ($n_{50} = 1,8$ 1/h) ja heikoin huoneistossa 46 (4/4 krs) ($n_{50} = 6,5$ 1/h). Ilmanvuoto-kohtia löytyi runsaasti, varsinkin huoneisto-ovet olivat vuotavia.

4.4 Ilmanvaihto ja painesuhteet

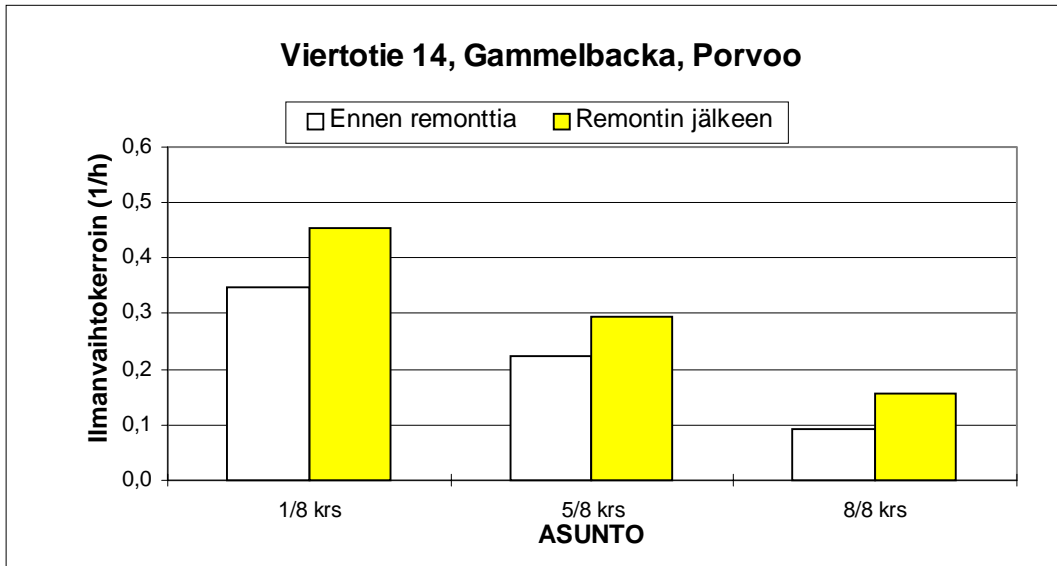
Ilmanvaihtokertoimet määritettiin mittaamalla ilmamäärät poistoilmakanavista ilmanvaihdon ollessa puolella teholla. Painesuhteet määritettiin mittaamalla paine-erot sekä ulko- ja sisäilman välillä että rappukäytävän ja huoneiston välillä.

4.4.1 Gammelbacka, Porvoo

Kuvissa 20a ja 20b on esitetty ilmanvaihtokerroin eri huoneistoissa ilmanvaihdon ollessa puolella teholla.



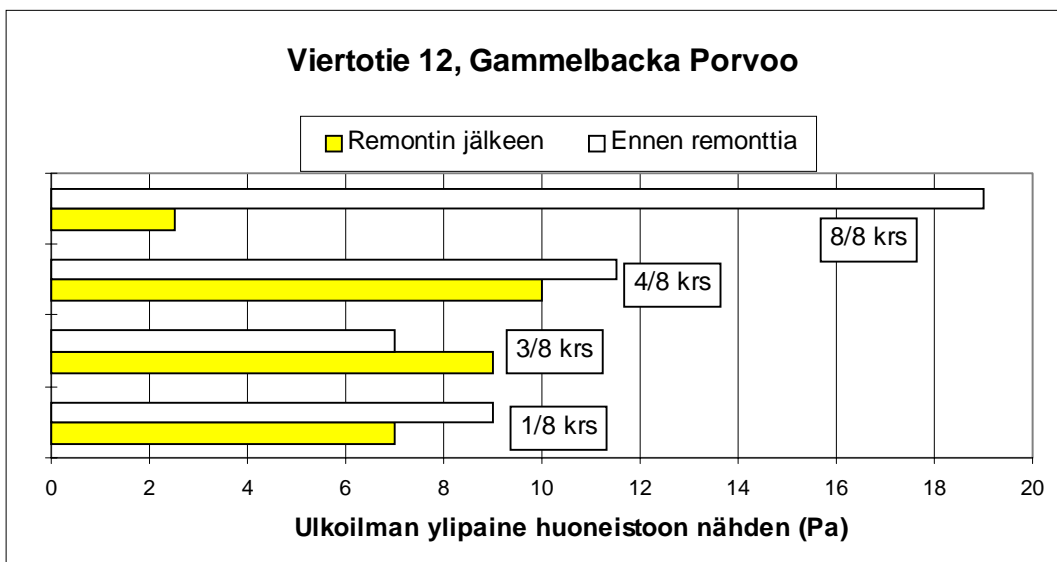
Kuva 20a. Huoneistojen ilmanvaihtokerroin Porvoossa (Viertotie 12) ennen ja jälkeen remontin.



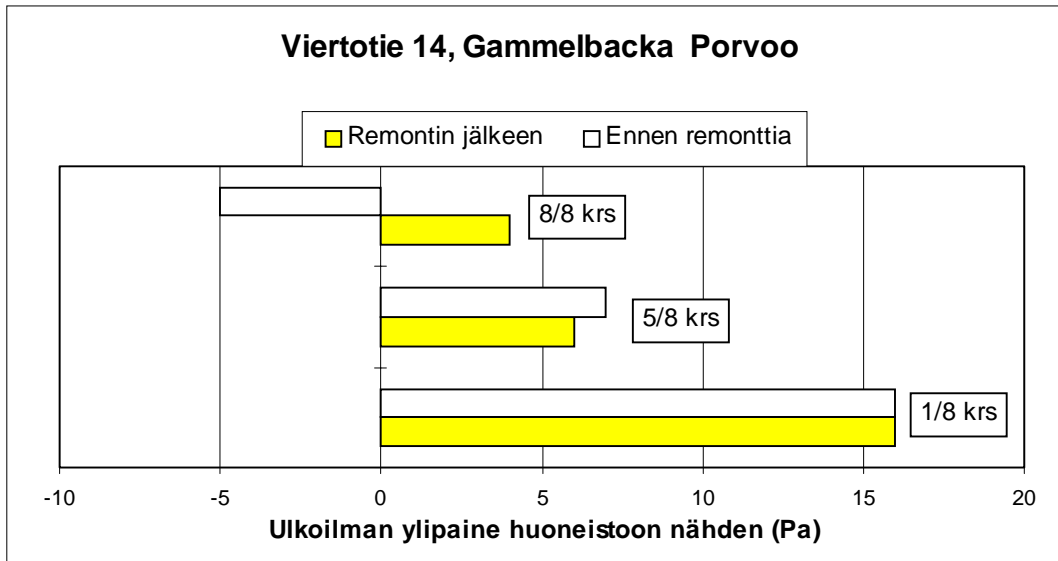
Kuva 20b. Huoneistojen ilmanvaihtokerroin Porvoossa (Viertotie 14) ennen ja jälkeen remontin.

Kuvasta 20b havaitaan, että Viertotie 14:n ilmanvaihto parani remontin seurauksena, mutta silti se oli laitoksen normaalikäytöllä kaikissa huoneistoissa alle $0,5 \text{ m}^3/\text{hm}^3$. Viertotie 12:ssa tilanne ei juurikaan muuttunut remontin seurauksena.

Kuvissa 21a ja 21b on esitetty paine-erot ulko- ja sisäilman välillä ilmanvaihtolaitoksen normaalikäytöllä.



Kuva 21a. Huoneistojen painesuhteet Porvoossa (Viertotie 12) ennen ja jälkeen remontin.



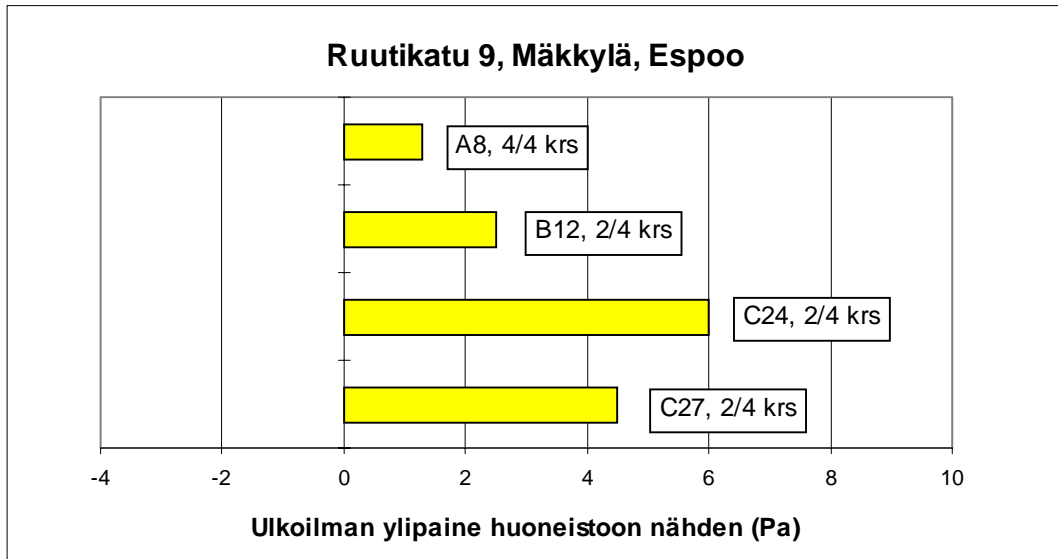
Kuva 21b. Huoneistojen painesuhteet Porvoossa (Viertotie 14) ennen ja jälkeen remontin.

Kuvista 21a ja 21b havaitaan, että painesuhteet olivat remontin jälkeen oikein päin myös ylimmissä kerroksissa.

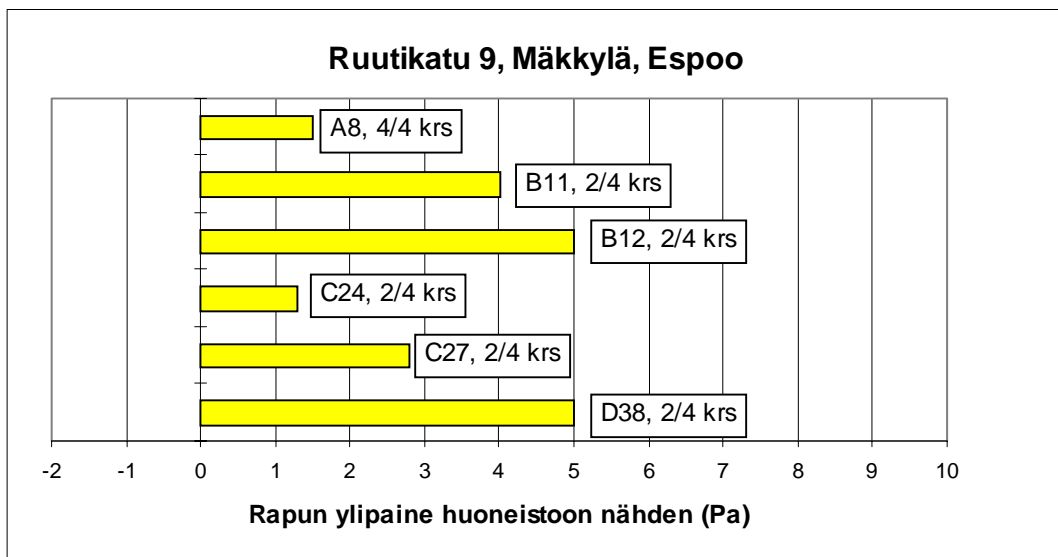
Ennen remonttia alimpien kerrosten huoneistot olivat ylipaineisia rappukäytävään nähden, joten huoneistojen hajut tunkeutuivat rappukäytävään. Remontin jälkeen vain yhdestä mitatusta huoneistosta pääsi ilma virtaamaan rappukäytävään.

4.4.2 Mäkkylä, Espoo

Kuvissa 22 ja 23 on esitetty paine-erot sekä ulko- ja sisäilman välillä että rappukäytävän ja huoneiston välillä ilmanvaihtolaitoksen teholla 1/4.



Kuva 22. Huoneistojen painesuhteet Espoossa remontin jälkeen.



Kuva 23. Huoneistojen painesuhteet Espoossa remontin jälkeen.

Kuvasta 22 havaitaan, että ilmanvaihtoteholla 1/4 painesuhteet ulkoilmaan nähden olivat remontin jälkeen oikein päin myös ylimmässä kerroksissa. Kuvan 23 mukaan raput olivat ylipaineisia kaikkiin tutkittuihin huoneistoihin nähden.

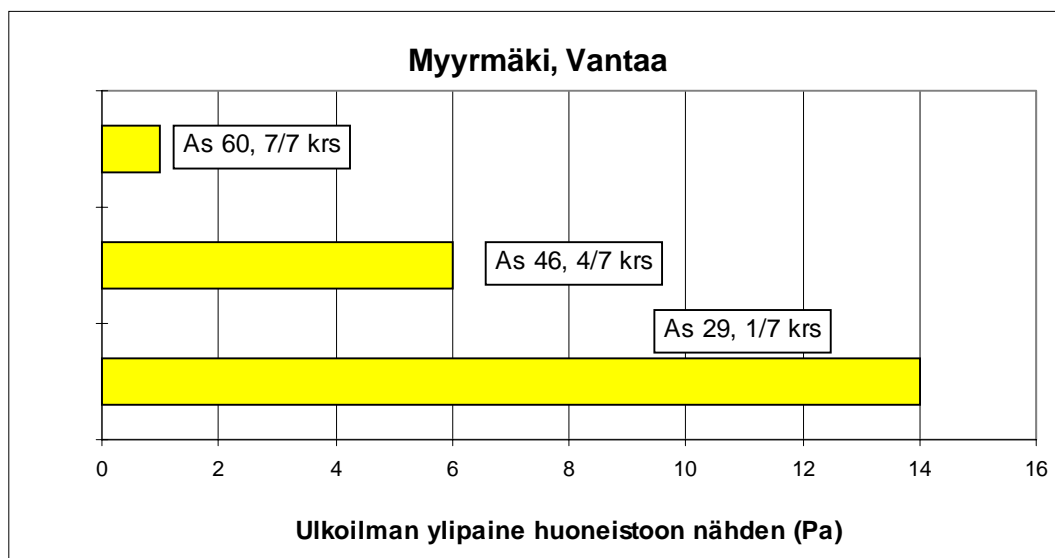
Pienissä asunnoissa ilmanvaihto oli huomattavasti liian suuri (taulukko 4), mikä johtui siitä, että kaikissa huoneistoissa oli samankokoiset ilmanvaihtolaitteet. Tämä aiheutti viihtyvyyden laskun lisäksi energiankulutuksen kasvua.

Taulukko 4. Ilmavirrat ilmanvaihtotehoilla 1/4 ja 4/4 sekä paine-erot eri huoneissa.

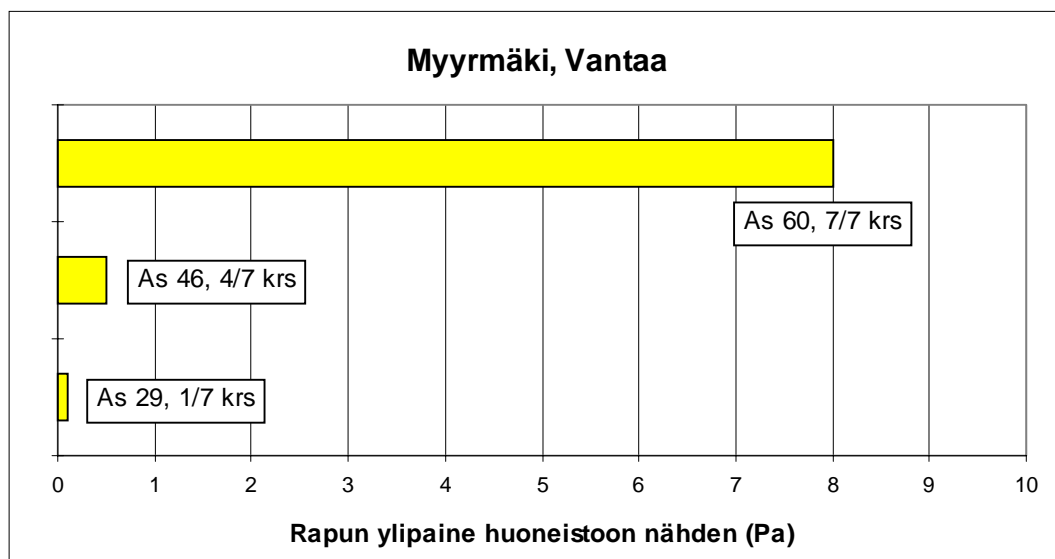
	Asunto A8 4/4 krs, 78 m ²		Asunto B11 2/4 krs, 57 m ²		Asunto B12 2/4 krs, 30 m ²		Asunto C24 2/4 krs, 57 m ²		Asunto C27 2/4 krs, 57 m ²		Asunto D38 2/4 krs, 73 m ²		
	Tulo (L/s)	Poisto (L/s)	Tulo (L/s)	Poisto (L/s)	Tulo (L/s)	Poisto (L/s)	Tulo (L/s)	Poisto (L/s)	Tulo (L/s)	Poisto (L/s)	Tulo (L/s)	Poisto (L/s)	D2 (L/s)
Keittiö		0,0/1,3/17,1		0,0 / 0,6		0,0/0,6/11,5		1,1/3,7/24,2		0,0/1,6		0,8/2,1	20
Kylpyhuone		15,0 / 38,0		22,0 / 41,0		19,0 / 36,0		17,0 / 52,0		18,0 / 52,0		13,5 / 36,0	15
Vaatehuone		3,5 / 10										4,5 / 12,0	3
Olohuone	7,4 / 19,1		9,9 / 18,6		9,4 / 18,0		7,4 / 24,2		10,4 / 27,7		1,7 / 4,8		0,5/m ²
Makuuh. 1	7,7 / 20,3		8,0 / 15,0				9,1 / 23,6		4,5 / 12,9		1,4 / 4,0		4/hlö
Makuuh. 2	6,7 / 16,4										6,8 / 19,2		4/hlö
Eteinen			4,4 / 7,8		10,6 / 20,6		3,5 / 10,9		4,3 / 12,0				
Iv-kerroin (1/h)		0,36 / 0,97		0,56 / 1,05		0,91 / 1,76		0,46 / 1,41		0,45 / 1,35		0,37 / 0,99	0,5
dp (rappu-sisä) Pa	1,5		4		5		1,3		2,8		5		
dp (ulko-sisä) Pa	1,3				2,5		6		4,5				
Sisälämpö (°C)	20,6		22		23		22		22,2		22,7		21
Sisäkosteus (%)	37		32						24		39		
Ulkolämpö (°C)	-8,9		-4		-5,8		-7,4		-4		-8,9		
Ilmanpaine (mb)	995		995		1003		999		995		995		

4.4.3 Myyrmäki, Vantaa

Kuvissa 24 ja 25 on esitetty paine-erot sekä ulko- ja sisäilman välillä että rappukäytävän ja huoneiston välillä ilmanvaihtolaitoksen teholla 1/2.



Kuva 24. Huoneistojen painesuhteet Vantaalla remontin jälkeen.



Kuva 25. Huoneistojen painesuhteet Vantaalla remontin jälkeen.

Kuvasta 24 havaitaan, että ilmanvaihtoteholla 1/2 painesuhteet ulkoilmaan nähden olivat remontin jälkeen oikeinpäin myös ylimmissä kerroksissa. Kuvan 25 mukaan raput olivat ylipaineisia kaikkiin tutkittuihin huoneistoihin nähden, ensimmäisen kerroksen huoneisto tosin vain noin 0,1 Pa. Ilmanvuotokohtia löytyi runsaasti, varsinkin huoneisto-ovet olivat vuotavia.

5. Rakennusaineisten hormien tiivistäminen

5.1 Tiiviysvaatimukset uudis- ja korjausrakentamisessa

Vanhan rakennuksen ilmanvaihdon perusparannuksessa on usein järkevää hyödyntää olemassa olevaa hormistoa. Hormien on kuitenkin oltava riittävän tiiviitä, jotta epäpuhaukset eivät leviäsi asuntojen välillä ja jotta poistoilma imettäisiin venttiileistä eikä hormien vuotokohdista.

Kanaviston tiiviysvaatimukset on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2. Ilmanvaihtolaitoksen yli- tai alipaineisten osien vuotoilmavirta ei kumpikaan erikseen saa käyttötilanteessa ylittää 6 % laitoksen kokonaisilmavirrasta. Tavanomaisissa ilmanvaihtolaitoksissa riittävä tiiviys yleensä saavutetaan ohjeiden 3.6.6.2 ja 3.6.6.3 mukaisilla tiiviyksillä.

Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto on antanut ohjeen ilmanvaihtomääräysten soveltamisesta korjausrakentamisessa (Helsingin kaupunki 1992). Ohjeen mukaan muutettuja kanavia voidaan käyttää painovoimaisessa ilmanvaihdossa seuraavin periaattein:

- Painovoimaisena säilyvän toimintakuntoisen ilmanvaihtolaitoksen kanaviston tiiviytä ei tarvitse lupakäsittelyn yhteydessä selvittää. Kanavien toimintakunto on epävarmoissa tapauksissa syytä varmistaa toteamalla ilmavirtaus venttiiliaukoissa.
- Jos ilmanvaihto muuttuu painovoimaisesta koneelliseksi, on kanavien tiiviys mitattava. Niiden on täytettävä vähintään luokan K tiiviysvaatimukset (suurin sallittu vuotoilmavirta $2,58 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ 200 Pa:n koepaineella), kun poistoilma on luokkaa 1–4, taulukko 5.

Jos poistoilma on luokkaa 5, tulee tiiviys aina selvittää tapauskohtaisesti.

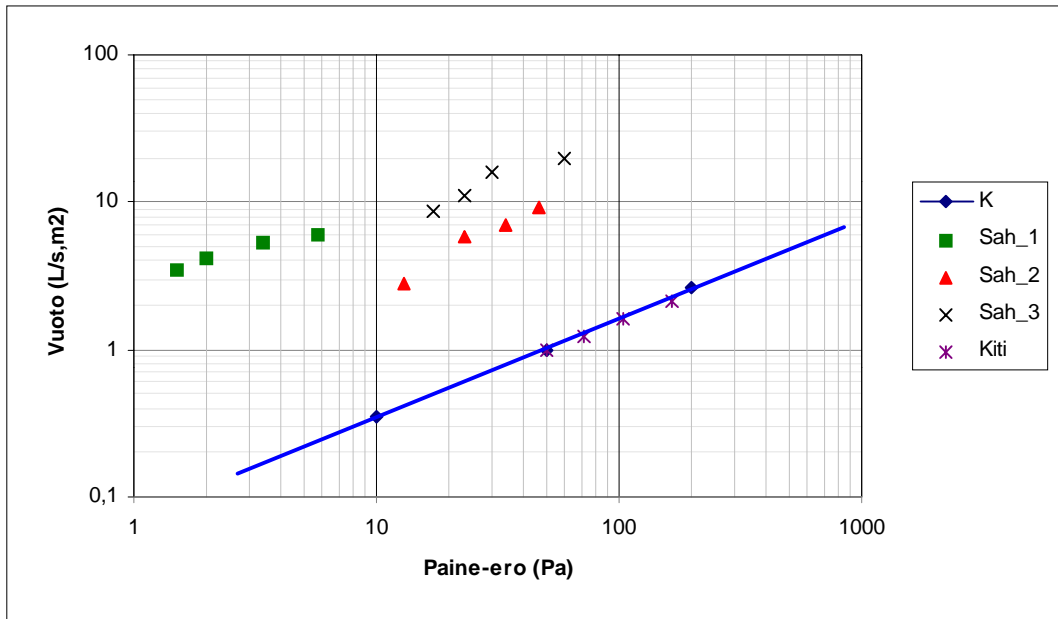
Taulukko 5. Poistoilmaluokat (RakMK, osa D2).

Luokka 1	porrashuoneet, hissikuilut ja teknisten tilojen jäähdytysilma
Luokka 2	toimistotilat ja niiden yhteydessä olevat pienet varastotilat, yleisöpalvelutilat ja opetustilat
Luokka 3	asuinhuoneet, ruokailutilat, kahvikeittiöt, myymälät, pukuhuoneet
Luokka 4	WC- ja pesutilat, saunat, asuinhuoneistojen keittiöt, jakelu- ja opetuskeittiöt, kemialliset laboratoriot, tupakkahuoneet, lääkäriasemat ja suurehkot vähintään kuuden työpisteen kampaamot
Luokka 5	ammattimaisessa käytössä olevat vetokaapit, grillit ja keittiöiden kohdepoistot, autosuojat ja ajotunnelit, maalien ja liuottimien käsittelyhuoneet, likapyykkitilat ja elintarvikejätehuoneet

5.2 Rakennusaineisten hormien kunto

1940-luvulla ja 1950-luvun alussa ilmakehanavat valmistettiin tiilestä tai erikoislaatoista 2–3-kerroksisissa asuinkerrostaloissa. Korkeammissa 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 pitkittäis-saumattuja eikä kanavien liitoskohdissa yleensä käytetty tiivisteitä. 1960-luvun alussa alettiin valmistaa pellistä teollisesti sekä suorakaidekanavia että pyöreitä kierresaumakanavia (Mäkiö et al. 1989).

Tässä tutkimuksessa selvitettiin rakennusaineisten ilmahormien tiiviyttä 1950-luvulla valmistuneessa asuinkerrostalossa (Sahanmäki). Hormit olivat erittäin hatarat. Tiiveimmän hormin vuotoilmavirta 50 Pa:n koepaineella oli noin 10-kertainen ja hatarimman hormin noin 30-kertainen nykyisten rakentamismääräysten mukaiseen K-luokan tiiviysvaatimukseen verrattuna (kuva 26). Hormit olivat yläosastaan pahoin rapautuneet. Savukokeiden mukaan hormit vuotivat toisiinsa havaittavasti myös hormien alaosassa ilman hormien paineistustakin. Mittauksia tehtiin myös 1970-luvun asuinkerrostalossa (Kitiniitynhaka), ja tulokset vastasivat K-luokan tiiviyttä.



Kuva 26. Kahden asuinkerrostalon hormien tiiviys. Sahanmäki Helsingissä (1–3 krs) (Sah_1 - Sah_3) sekä Kitiniitynhaka Tampereella (Kiti). Yhtenäinen viiva vastaa K-tiiviysluokkaa.

Ruotsissa on tehty vastaavanlaisia tutkimuksia hormien tiiviyydestä. Taulukossa 6 on yhteenveto Göteborgissa tehdyistä mittauksista. Taulukosta nähdään, että edes K-luokan vaatimuksia ei täytetty kuin yksittäisissä tapauksissa.

Taulukko 6. Ilmanvaihtokanavien tiiviys 100 Pa:n alipaineella (Hallstedt 1994). K-luokan raja-arvo 100 Pa:n alipaineella on 1,64 L/s,m², A-luokan vastaava raja-arvo on 0,55 L/s,m².

Kanavatyyppi	Kokeiden lukumäärä	Alin arvo L/s,m ²	Ylin arvo L/s,m ²	Keskiarvo L/s,m ²
KANAVAT ULLAKOLLA				
Tiilestä muuratut kanavat	9	2,1	7,2	5,0
Kevytbetonista muuratut kanavat	8	1,0	2,3	1,5
	10	2,6	12,4	5,5
	18	1,0	12,4	3,7
	13	1,0	3,1	2,0
Ympärivaletut eterniittikanavat	20	0,0	7,8	4,3
Lasivillalla eristetyt eterniittikanavat	6	5,2	9,2	7,2
	26	0,0	9,2	5,0
PYSTYSUORAT KANAVAT				
Liukuvaletut kanavat	12	0,0	0,9	0,3
Betonilohkoista muuratut kanavat	13	1,6	7,6	3,0
	9	1,6	2,4	2,0
Ympärivaletut eterniittikanavat	12	0,1	2,1	1,0
Puhdistamattomat peltikanavat. Kerroksen korkuiset betonielementtikanaavat	17	4,5	3,7	2,9

5.3 Rakennusaineisten hormien tiivistämismenetelmät

Vanhojen rakennusten ilmanvaihtohormien piirustukset ovat usein puutteelliset tai ne puuttuvat kokonaan, joten hormien reitit, koko ja koon muutokset, mutkakohdat sekä mahdolliset tukokset on selvitettävä ensimmäiseksi. Apuvälineinä tässä käytetään roikkaa, voimakasta taskulamppua sekä peilejä.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin kahden tiivistysmenetelmän, nimittäin massausmenetelmän ja sujutusmenetelmän, soveltuvuutta rakennusaineisten hormien tiivistämiseen.

5.3.1 Massausmenetelmä

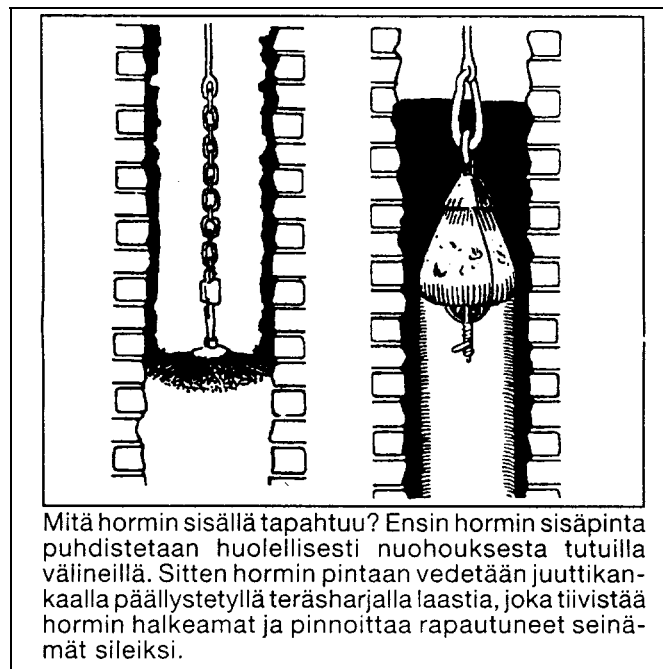
Massausmenetelmässä vanhan hormin sisäpinta pinnoitetaan keraamisella juoksevilla massalla. Menetelmästä käytetään nimityksiä betonointitekniikka, massaustekniikka ja Schädler-menetelmä, joka on ehkä yleisimmin käytetty. Kyseisellä menetelmällä voidaan tiivistää tiilestä tai sementtiharkoista muuratut tai betonista valetut ilmanvaihtohormit. Kuvassa 27 on havainnollistettu tiilestä muuratun hormin puhdistusta ja tiivistämistä massalla tuurnaa käyttäen.

Työn kulku:

- Selvitetään hormin koko, kunto ja reitti sekä mahdollisten lisäreikien paikat.
- Puhdistetaan hormi harjaamalla.
- Sekoitetaan massaan sementtiä, kalkkia ja vettä (Schädler-menetelmä).
- Päällystetään harja (tuurna) juuttikankaalla.
- Kastellaan hormi (vedetään märällä kankaalla päällystetyllä harjalla).
- Vedetään pohjamassa. Työ aloitetaan hormin alapäästä kaatamalla hormin yläpäästä harjan päälle löysää tiivistemassaa. Harjaa vedetään ylöspäin sopivalla nopeudella vinssin avulla.
- Annetaan pohjamassan kuivua noin kaksi tuntia, minkä jälkeen vedetään uusi massa.
- Tarkastetaan, tarvitseeko hormi vielä kolmannen massauksen.

Loivat mutkat voidaan massata vetämällä harjaa ylöspäin, mutta jyrkkien mutkien kohdalle on tehtävä ulkopuolelta reikiä, joiden kautta massa tehdään käsin.

Massa on suhteellisen kallista. Eräessä saneerauskohteessa tiivistämiskustannukset jakautuivat puoleksi työn ja massan osalle (tiilihormissa noin 580 mk/jm + ALV, betoni-hormissa noin 300 mk/jm + ALV).

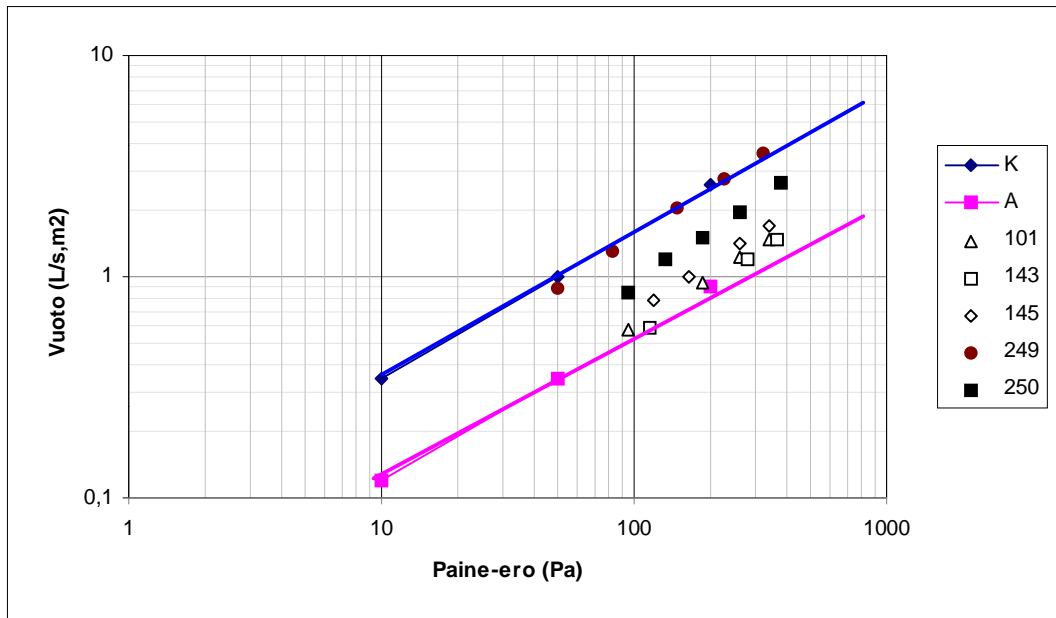


Kuva 27. Massausmenetelmä (Rakennuslehti 1994).

Ruotsissa tehdyssä tiiviyskokeessa muurattiin puolen kiven koesavuپیپpu, joka rapattiin ja jossa sitten poltettiin kaksi nokipaloa (Statens Provningsanstalt 1958). Savukanava tiivistettiin Schädler-menetelmällä. Tiivistämisen jälkeen hormin tiiviys vastasi

tiiviusluokkaa B. Kolmen nokipalon ja kahden nuohouksen jälkeen tiiviys oli laskenut luokkaan C.

Tässä projektissa mitattiin erään käytännön kohteen hormien tiiviys massausmenetelmän jälkeen. Mittaus tulokset on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Massausmenetelmällä tiivistettyjen hormien tiiviys. Tullihallituksen talo, Helsinki. Yhtenäiset viivat vastaavat K- ja A-tiiviysluokkia. Numerot viittaavat huoneisiin.

5.3.2 Sujutusmenetelmä

Sujutusmenetelmässä ilmanvaihtokanava vuorataan sisäpuolelta taipuisalla alumiinifoliolla. Siksi sujutusmenetelmää kutsutaan myös ALFO-menetelmäksi. Tällä menetelmällä voidaan tiivistää muuratut, teräspelti-, betoni-, kipsi- ja asbestikanavat.

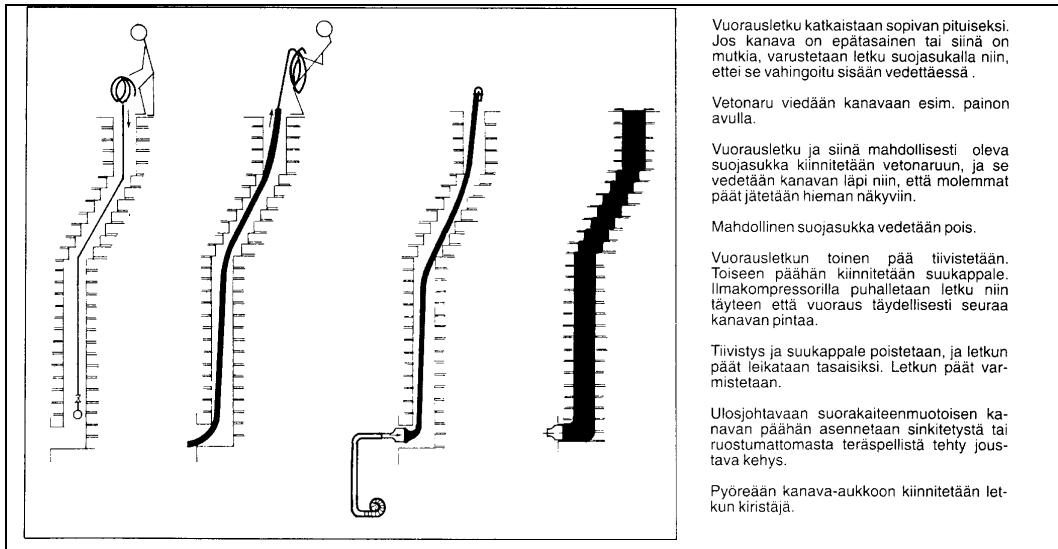
Työn kulku:

- Selvitetään hormin koko, kunto ja reitti kuten massausmenetelmässä.
- Viedään vetonaru kanavaan esimerkiksi painon avulla.
- Kiinnitetään tiivistysfolio ja siinä mahdollisesti oleva suojasukka vetonaruun ja vedetään kanavan läpi niin, että molemmat päät jäävät hieman näkyviin.
- Vedetään mahdollinen suojasukka pois.
- Suljetaan vuorausletkun toinen pää.
- Kiinnitetään vuorausletkun toiseen päähän suokappale.
- Puhalletaan ilmakompressorilla letku niin täyteen, että vuoraus painuu kanavan seinämiä vasten.

- Kiinnitetään tarkastuksen jälkeen suorakaidekanavan päähän teräspellistä tehty kehys. Pyöreään kanava-aukkoon kiinnitetään letkunkiristäjä.
- Ulkoilmaan johtavat kanavan päät on varustettava sadesuojalla.

Saatavilla on halkaisijaltaan 160, 180, 200, 250, 315 ja 350 mm:n vuorausletkua. ALFO-järjestelmän hinta on noin 250–300 mk/jm.

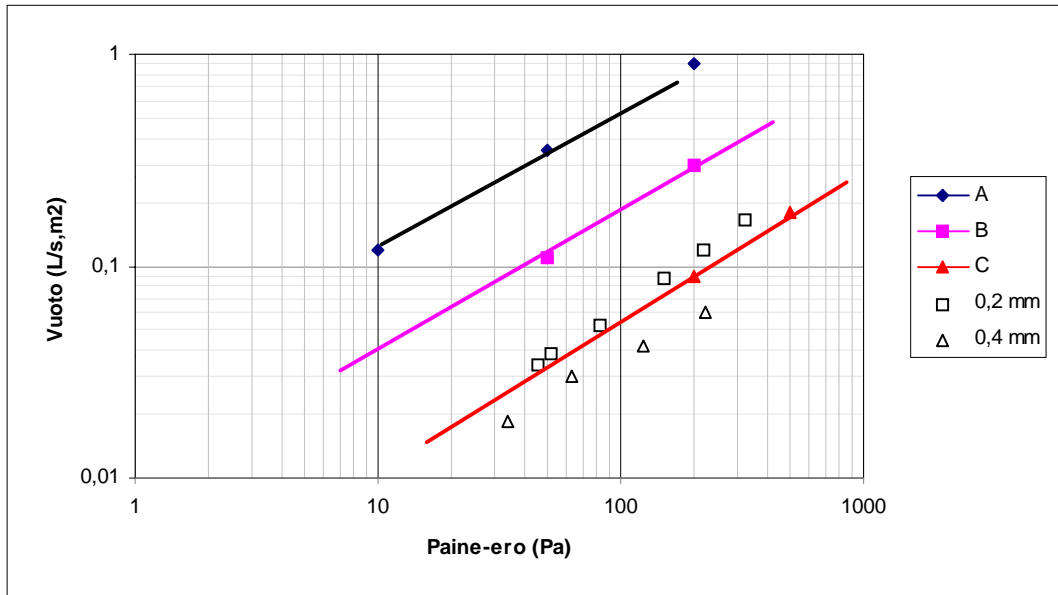
Kuvassa 29 on havainnollistettu hormin tiivistämistä sujutusmenetelmällä.



Kuva 29. Sujutusmenetelmä.

Ruotsalaisten mittausten (Statens Provnings- och Forskningsinstitut 1993) mukaan alumiinifoliossa tapahtui pysyviä muodonmuutoksia yli 300 Pa:n alipaineella (0,2 mm folio) ja yli 400 Pa:n alipaineella (0,4 mm folio). Näiden mittausten perusteella ALFO-menetelmä hyväksyttiin käytettäväksi poistokanavissa. Alumiinifoliolla (0,2 mm) tiivistetyn hormin tiiviys täyttää Ruotsin B-tiiviysluokan (vastaa Suomen D2:n mukaista B-tiiviysluokkaa) vaatimukset vielä 36–60 teräsharjalla suoritetun puhdistuksen jälkeenkin. Näin ollen tiivistetyn hormin kestoiksi saadaan 150–180 vuotta (nuohous kolmen vuoden välein).

Tässä projektissa mitattiin muutamassa käytännön kohteessa sujutusmenetelmällä tiivistetyn hormin tiiviys. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 30.



Kuva 30. Sujutusmenetelmällä tiivistettyjen hormien tiiviys. Suokatu 41, Kuopio (0,2 mm) ja Nervanderinkatu 11, Helsinki (0,4 mm). Viivat vastaavat A-, B- ja C-tiiviysluokkia.

ALFO-järjestelmä on tyyppihyväksytty Ruotsissa (Boverket 1993) käytettäväksi ilmanvaihtokanavien tiivistämiseen seuraavin edellytyksin:

- Suuret epätiiviyshkohdat (reiät) korjataan muilla menetelmillä.
- Työn suorittaa ALFO Kanaltätning AB tai sen kouluttama ja auktorisoima asentaja.
- Alipaineisiin kanaviin käytetään oikeanpaksuista foliota. Alipaineisen kanavan suurin alipaine saa olla 400 Pa, kun folion paksuus on 0,4 mm. Ohuempaa foliota (0,2 mm) voidaan käyttää, jos alipaine on korkeintaan 100 Pa.

Suomen pelastusalan keskusjärjestö puoltaa ALFO-järjestelmän käyttöä ilmanvaihtokanavien tiivistykseen korjausrakentamisessa seuraavin edellytyksin:

- Järjestelmää ei ole tarkoitettu savuhormien tai ammattimaisesti käytettyjen keittiöiden tai grillien ilmanvaihtokanavien tiivistykseen.
- Jos kanavassa on ylipainetta, käytetään 0,2 mm foliota.
- Jos kanavassa on alipainetta, käytetään 0,4 mm foliota.
- Puhdistukseen suositellaan käytettäväksi kosteaa kangasta ja rasvaa liuottavia aineita.

6. Sisäilmaston ja energiatalouden korjauskonseptit

6.1 Sisäilmaston ja energiatalouden tavoitetasot

Asuinkerrostalon remontti vaikuttaa merkittävästi asuntojen sisäilman laatuun ja energiankulutukseen. Sinänsä oikeat yksittäiset korjaustoimet (esimerkiksi ikkunoiden vaihtaminen tiiviimpiin) voivat jopa huonontaa sisäilmaston tasoa remontin yhteydessä, jos ilmanvaihtoa ei muuteta vastaamaan uusia olosuhteita. Ilmanvaihdon perusparannus jää liian usein tekemättä, koska kustannuksilla on usein kiinteä katto tai koska ilmanvaihtoremontin tilaaja ei vielä riittävästi luota lopputuotteen laatuun. Uudisrakentamiseen tarkoitettujen viranomaismääräysten tiukka soveltaminen korjausrakentamisessa voi myös johtaa siihen, että ilmanvaihto on helpointa jättää entiselleen.

Ilmanvaihdon perusparannuksella pyritään parantamaan sisäilman laatua ja pienentämään energiankulutusta. Nämä tavoitteet on mahdollista saavuttaa samanaikaisesti, mutta silloin on rakennusta tarkasteltava kokonaisuutena. Yksittäiset, sinänsä oikeasuuntaisetkin, korjaukset eivät tähän lopputulokseen johda. Tarvitaan kokonaisratkaisuja, joissa asetetaan tavoitteet sisäilman laadulle ja energiankulutukselle. Lisäksi tarvitaan malliratkaisuja, joilla näihin tavoitteisiin päästään. Realistisista tavoitetasoista on viime vuosina saatu paljon uutta tietoa. Asukkaiden sisäilmastolle asettamat vaatimukset ovat aiemmin oletettua korkeammat. Kriittisiä tekijöitä ovat mm. LVI-laitteiden äänitaso ja veto. Nykypäivän ääni- ja vetovaatimuksia alittavia ratkaisuja ei kannata toteuttaa, ei edes hyvän sisäilmaston tai energiansäästön varjolla. Järjestelmät ja komponentit, jotka eivät lunasta valmistajiensa antamia lupauksia, ovat tälläkin hetkellä suurin syy asukkaiden (rakennuttajien) ilmanvaihdon korjauksia koskevaan epäluuloon.

Sisäilmaston ja energiatalouden samanaikaiseen parantamiseen tähtäävien korjausten edistämiseksi on seuraavassa laadittu sellaisia korjausten kokonaisratkaisuja, joilla varmistetaan asetettujen tavoitteiden toteutuminen. Ratkaisuja ei voida ennakolta rajata koskemaan vain tiettyntyyppisiä rakennuksia, vaan kuhunkin perusparannuskohteeseen soveltuva ratkaisu tulee valita tapauskohtaisesti, mieluummin perusteelliseen kuntoarvioon tai hankalissa tapauksissa kuntotutkimukseen perustuen.

Perusparannushankkeen kuntoarvion ja/tai -tutkimuksen jälkeen rakennuttajan tulee yhdessä suunnittelijoiden kanssa asettaa tavoitteet sisäilmastolle ja energiankulutukselle. Kyseisten tavoitteiden asettaminen on syytä tehdä samanaikaisesti toivotun lopputuloksen varmistamiseksi. Taulukossa 7 on tehty ehdotus nykytekniikkaan nähden realistisista sisäilmaston ja energiankulutuksen tavoitetasoista. Ehdotus perustuu tutkimuksessa mukana olleiden tutkijoiden ja teollisuuden edustajien näkemyksiin.

Taulukko 7. Sisäilmaston ja energiatalouden tavoitetasot.

	Normaali	Hyvä	Paras
Sisäilmaston terveellisyys			
Epäpuhtauspitoisuudet, laatuluokka	S3	S3–S2	S2–S1
Sisäilmaston viihtyisyys			
Lämpöoloihin tyytymättömien osuus, %	20	15	15
Lämpötilan säätömahdollisuus, °C	0	±2	±2
Ilmavirtojen tehostamismahdollisuus, 1/h	0,2	0,3	0,3
Hajujen leviäminen naapuriasunnosta, %	20	15	10
Makuuhuoneen äänitaso (LVI), dB	30	28	28
Tehontarve			
Ilmanvaihdon mitoitusteho, W/m ³	8	6	6
Lämmitysjärjestelmän mitoitusteho, W/m ³	20	20	18
Lämmitysenergiankulutus (Helsinki)			
Vuotuinen energiankulutus, kWh/m ³	45–55	35–45	25–35

Projektissa on laadittu kolme eritasoista korjauskonseptia, joista jokainen parantaa sisäilmastoa ja pienentää energiankulutusta nykytasoon nähden. Korjauskonseptit on tarkoitettu rakennuttajan ja suunnittelijan työkaluiksi korjaushankkeen suunnitteluun. Tavoitteena on ollut esittää sellaiset sisäilmaston ja energiatalouden korjausvaihtoehdot, että rakennuttaja voi varmistua valitun ratkaisun teknisestä toteutumisesta myös käytännössä.

Järjestelmien valinta perustui projektissa mukana olleiden asiantuntijoiden arvioon asuinkerrostalojen ilmanvaihdon potentiaalisimmista korjausratkaisuista. Tarkastelunäkökulma on valittu ilmanvaihtojärjestelmän mukaan. Tutkimuksessa käsitellyt sisäilmaston ja energiatalouden korjauskonseptit olivat:

- huoneistokohtainen ilmalämmitysjärjestelmä
- huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä
- asuntokohtaisesti tehostettava keskitetty poistoilmanvaihtojärjestelmä.

Kunkin ilmanvaihtojärjestelmän yhteydessä on käsitelty myös rakenteille asetettavat vaatimukset vastaavassa laatuluokassa. Lisäksi kunkin järjestelmän yhteydessä käsitellään ne seikat, jotka on otettava huomioon rakennuksen käyttöä suunniteltaessa ja käyttökustannuksia arvioitaessa.

6.2 Huoneistokohtainen ilmalämmitysjärjestelmä

6.2.1 Tyypillinen sovellusalue

Huoneistokohtainen ilmalämmitysjärjestelmä sopii käytettäväksi silloin, kun rakennuksen sisäilmastolle ja energiankulutukselle asetetaan korkeat vaatimukset, taulukko 8. Ilmalämmitysjärjestelmän avulla voidaan korvata rakennuksen vesikiertoinen patterilämmitys, jos rakennukseen samalla asennetaan hyvän lämmöneristyskyvyn omaavat ikkunat. Tällaisen ikkunan (k-arvo noin $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) sisäpinnan lämpötila pysyy niin korkeana, ettei ikkunasta aiheudu säteilyvetoa, eikä ikkunan alla enää tarvita lämmityspatteria vedon tunnetta poistamaan. Hyvin eristetyn asunnon koko lämmitystarve voidaan hoitaa ilmanvaihtolaitteen jälkilämmityspatterin avulla. Tämä ratkaisu on käyttökelpoinen erityisesti silloin, kun rakennuksen lämpöjohtoverkosto on uusimisen tarpeessa. Huoneistokohtainen ilmalämmitysjärjestelmä soveltuu sekä mataliin että korkeisiin kerrostaloihin. Huoneistokohtaisella ilmanvaihtojärjestelmällä ja erillisellä porrashuoneella voidaan välttää erityisesti korkeissa taloissa yleinen hajujen ja kosteuden siirtyminen asuntojen välillä.

6.2.2 Ratkaisulle asetettavat tekniset vaatimukset

Huoneistokohtaisella ilmalämmitysjärjestelmällä on parhaat mahdollisuudet säätää ilmanvaihdon määrää ja tuloilman laatua esimerkiksi suodatuksen avulla. Vanhassakin rakennuksessa on mahdollista saavuttaa sisäilmaston laatuluokan S2 tai jopa S1 taso. Epäpuhtauspitoisuuksien osalta on kuitenkin tärkeää valita mahdollisimman pienipäästöiset pintamateriaalit, taulukko 9. Sisäilmastoluokan S1 saavuttamiseksi tulee käyttää pääasiassa materiaali- ja lämpöeristysluokan M1 materiaaleja. Järjestelmässä olevan lämmöntalteenoton avulla ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeesta saadaan talteen 40–60 % järjestelmän toiminnan ja rakennuksen tiiviyyden mukaan. Kun rakennuksen vaipan ja ikkunoiden lämmöneristystä ja tiiviyyttä parannetaan, on mahdollista saavuttaa energiankulutuksessa taso 25–30 kWh/m³,a. Ikkunoiden lämmöneristyskyvyn on oltava riittävän hyvä (k-arvo noin $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), jotta ikkuna ei aiheuttaisi säteilyvetoa. Kun rakennuksen vaipan lämmöneristyskyky on hyvä (k-arvo tasolla $0,2\text{--}0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), voidaan asuntojen koko lämmitystarve hoitaa ilmanvaihtolaitteen jälkilämmityspatterin avulla.

Taulukossa 10 on lisäesitetty ne seikat, jotka on otettava huomioon rakennuksen käyttöä suunniteltaessa ja käyttökustannuksia arvioitaessa.

Taulukko 8. Huoneistokohtaiselle ilmalämmitysjärjestelmälle asetettavat vaatimukset eri tavoitetasoilla.

Tavoiteltava laatutaso:	Hyvä	Paras
Sisäilmasto		
• ilmanvaihdon suuruus, 1/h	0,5	0,8
• pysyvyys vuodessa, %	90	95
• lämpötila lämmityskaudella, °C	20–24	21–23
• tuloilman suodatus	EU4/G4	EU7/F7
• suodattimen ohivuoto, %	<6	<2
• järjestelmän äänitaso, makuuhuone, dB	28	25
• järjestelmän äänitaso, keittiö, dB	35	30
• painesuhteiden pysyvyys, %	80	90
• ilmavirtojen tehostusmahdollisuus, 1/h	0,2	0,3
• jäteilman ulospuhallusnopeus, m/s	>6	>8
Tehontarve ja energiankulutus		
• puhallinteho, W/(L/s)	3,5	2,5
• lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, %	45	55
• lämmitysjärjestelmän hyötysuhde, %	90	95

Taulukko 9. Rakenteille asetettavat vaatimukset ratkaisussa, joka perustuu huoneisto-kohtaisen ilmalämmitysjärjestelmän käyttöön.

Tavoiteltava laatutaso:	Hyvä	Paras
Sisäilmasto		
• pintamateriaalien päästöluokka	M2	80% M1
• seinän ulkoääneneristävyys, dB	50	55
• välipohjan ääneneristävyys, dB	50	55
• välipohjan tiiviys, (L/s)/m ² (50 Pa)	0,2	0,1
• asunnon oven tiiviys, L/s (50 Pa)	3	2
Tehontarve ja energiankulutus		
• ulkoseinän tiiviys, 1/h (50 Pa)	2,0	1,0
• ikkunan tiiviys, (L/s)/m ² (50 Pa)	0,5	0,4
• ulkoseinän k-arvo, W/(m ² K)	0,3	0,3
• ikkunan k-arvo, W/(m ² K)	1,1	1,1

Taulukko 10. Käytölle ja ylläpidolle asetettavat vaatimukset ratkaisussa, joka perustuu huoneistokohtaisen ilmalämmitysjärjestelmän käyttöön.

Tavoiteltava laatutaso:	Hyvä	Paras
• poistoilmaventtiilien puhdistusväli, a	1	0,5
• tuloilmasuodattimen vaihtoväli, kk	12	6
• LTO-kennon puhdistusväli, kk	12	6
• poistoilmakanaviston puhdistusväli, a	6	5
• tuloilmakanaviston puhdistusväli, a	6	5

6.2.3 Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen toteutus

Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon suunnittelussa määritellään ensin huonetilojen venttiilikohtaiset ilmavirrat ja niiden tehostusmahdollisuudet. Tehostus järjestetään käytännössä siten, että asukas voi kasvattaa huoneiston kokonaispoistoilmavirtaa siirtämällä puhaltimen tarpeen mukaan suuremmalle pyörimisnopeudelle. Lisäksi asukas voi ohjata ilmanvaihtoa keittiöön tai kylpyhuoneeseen säätämällä liesikuvun säätöpeltiä. Tällöin ilmanvaihto toimii lainausperiaatteella, eli muiden huoneiden ilmavirrat pienenevät tehostuksen ajaksi. Taulukossa 11 on esitetty venttiilikohtaiset poistoilmavirrat. Pienempi ilmavirta-alue koskee normaalitilannetta ja suurempi tehostustilannetta. Kierrätysilmavirta määritellään asunnon lämmitystarpeen mukaan. Ulkoilman sisäänotto suunnitellaan rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisesti niin, että tuloilmavirrat ovat riittävät. Perustilanteessa tuloilmavirta on 80 % poistoilmavirrasta. Loppu 20 % tulee rakennusvaipan vuotokohtien läpi satunnaisina vuotoina. Päätelaitteiden painehäviö perustilanteessa on 50 Pa.

Taulukko 11. Venttiilikohtaiset poistoilmavirrat.

Huone	Ilmavirta L/s
Keittiö	6...8 - 20...30
Kylpyhuone	5...8 - 15...20
WC	10...12
Vaatehuone	3...5
Eteinen, olohuone, tms.	kierrätysilmavirta

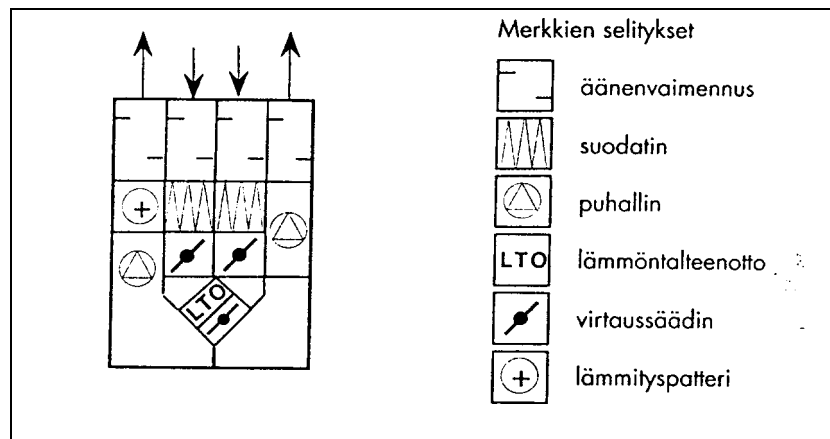
Huoneistokohtaisen ilmalämmitysjärjestelmän kanavisto tulee mitoittaa tarvittavan kierrätysilmavirran mukaan tapauskohtaisesti. Huoneiston sisäpuolella olevassa kanavassa ilman virtausnopeus saa olla enintään 3 m/s. Kanavamitoituksen tulee olla riittävän väljä, jotta järjestelmä on helposti säädeltävissä ilman ääniongelmia.

Kylmäilmakanava (ulkoilma tai jäteilma lämmöntalteenoton jälkeen) lämpöeristetään (100 mm) ja kosteuseristetään eristyksen ulkopinnalta, jos kanava on lämpimässä tilassa.

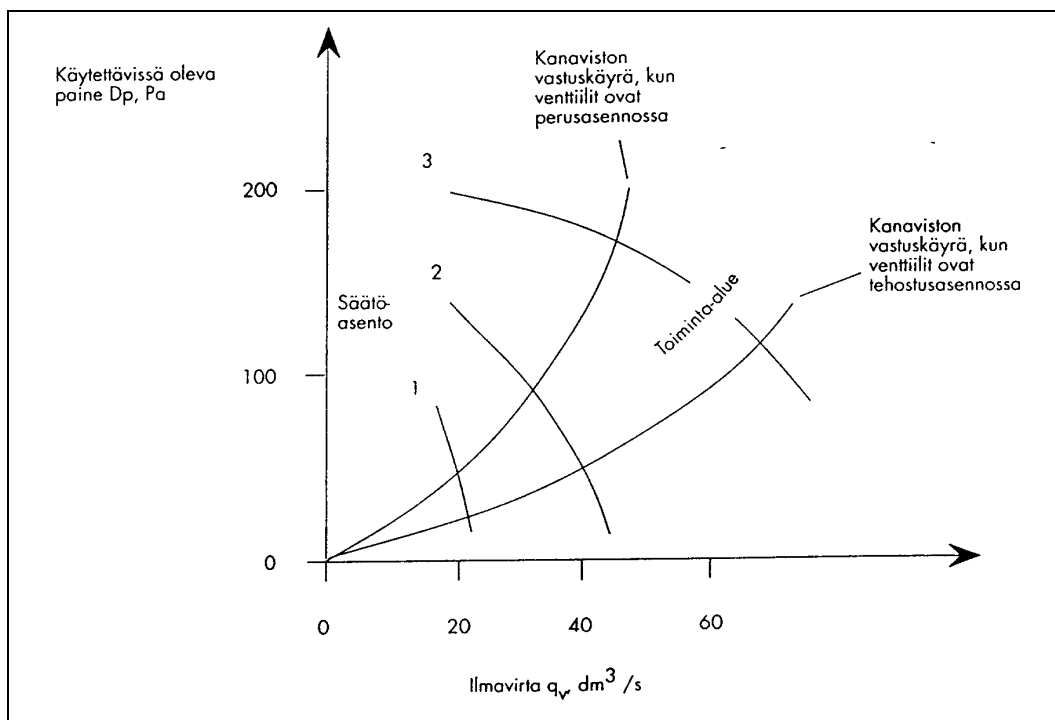
Jäteilma voidaan johtaa ulos rakennuksesta usealla eri tavalla:

1. rakennusrungon sisällä olevalla alipaineisella kanavalla, jolloin ullakolla on huoneistokohtaiset puhaltimet tai yhteispuhallin
2. rakennusrungon ulkopuolella olevalla eristetyllä poistokanavalla.
3. puhaltamalla jäteilma seinästä ulos riittävän suurella nopeudella (yli 8 m/s) ottaen huomioon ulkoilma- ja tuuletusaukkojen sijainnit.

Lämmöntalteenotolla varustetussa ilmalämmityskoneessa tulee olla kuvan 31 mukaiset komponentit. On suositeltavaa, että äänenvaimennus ja lämmöntalteenoton ohitus on asennettu valmiiksi koneeseen. Koneen kanavaan tuottama staattinen paine on perustilanteessa korkeintaan 1,5 kertaa venttiilien painehäviö. Puhaltimen kanavaan aiheuttama äänitehotaso ei saa olla korkeampi kuin taulukon 12 arvot, kun päätelaitteissa ei ole vaimennusta. Puhaltimen toiminta-alue määräytyy venttiilien asennoista perus- ja tehostustilanteissa (kuva 32).



Kuva 31. Ilmalämmityskone.



Kuva 32. Puhaltimen toiminta-alue. Tehostustilanteessa pienennetään venttiilien vastusta tai lisätään puhaltimen pyörimisnopeutta.

Taulukko 12. Puhaltimen kanavaan aiheuttama korkein sallittu äänitehotaso.

Huoneen äänitaso dB(A), 10m ² -sab	Oktaavikaistan keskitaajuus, Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
25	57	47	37	29	25	22	21	21
30	62	52	42	34	30	27	26	26

6.3 Huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

6.3.1 Tyypillinen sovellusalue

Lämmöntalteenotolla varustettu huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä sopii käytettäväksi silloin, kun rakennuksen sisäilmastolle ja energiankulutukselle asetetaan korkeat vaatimukset. Ratkaisu sopii erityisesti sellaisiin kerrostaloihin, joissa halutaan korkeaa sisäilmaston laatua ja alhaista energiankulutuksen tasoa, mutta joissa olemassa olevaa ilmanvaihtokanavistoa ei kannata käyttää. Esimerkiksi painovoimaisella ilmanvaihdolla varustettu rakennus, jossa on rakennusaineiset hormit, tarjoaa hyvät tilat mm. asuntokohtaisten poistohormien johtamiseksi rakennuksen

katolle. Toinen sovellusesimerkki on 1970-luvun yhteiskanavapoistolla varustettu kerrostalo, jonka kanavat ovat niin ahtaat, että jäteilman seinäpuhalluksella varustettu huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihto saattaa olla käyttökelpoisiin perusparannusratkaisu. Tässä vaihtoehdossa oletetaan, että rakennuksen vanha lämmitys-järjestelmä on perussäädön jälkeen käyttökelpoinen.

Huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä soveltuu sekä mataliin että korkeisiin kerrostaloihin. Huoneistokohtaisella ilmanvaihtojärjestelmällä ja erillisellä porrashuoneella voidaan välttää erityisesti korkeissa taloissa yleinen hajujen ja kosteuden siirtyminen asuntojen välillä.

6.3.2 Ratkaisulle asetettavat tekniset vaatimukset

Huoneistokohtaisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä on mahdollisuus saavuttaa samat sisäilmaston tavoitetasot kuin huoneistokohtaisella ilmalämmitys-järjestelmälläkin, taulukot 8 ja 9. Tässä kappaleessa on vertailun vuoksi otettu mukaan myös vaihtoehto, jossa vaipalle asetettavat lämmöneristysvaatimukset ovat kohtaa 6.2.2 löysemmät, taulukko 13. Energiankulutuksen tavoitetasoksi valitaan taso normaali, eli 45–55 kWh/m³,a.

Taulukko 13. Rakenteille asetettavat vaatimukset ratkaisussa, joka perustuu huoneistokohtaisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän käyttöön.

Tavoiteltava laatutaso:	Hyvä	Paras
Sisäilmasto		
• pintamateriaalien päästöluokka	M2	80% M1
• seinän ulkoääneneristävyys, dB	50	55
• välipohjan ääneneristävyys, dB	50	55
• välipohjan tiiviys, (L/s)/m ² (50 Pa)	0,2	0,1
• asunnon oven tiiviys, L/s (50 Pa)	3	2
Tehontarve ja energiankulutus	Normaali	Paras
• ulkoseinän tiiviys, 1/h (50 Pa)	2,0	1,0
• ikkunan tiiviys, (L/s)/m ² (50 Pa)	0,5	0,4
• ulkoseinän k-arvo, W/(m ² K)	0,4	0,3
• ikkunan k-arvo, W/(m ² K)	1,8	1,1

Käytölle ja ylläpidolle asetettavat vaatimukset ovat samat kuin huoneistokohtaisessa ilmalämmitysvaihtoehdossa, taulukko 10.

6.3.3 Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen toteutus

Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon suunnittelussa määritellään ensiksi huonetilojen venttiilikohtaiset ilmavirrat ja niiden tehostusmahdollisuudet. Tehostus järjestetään käytännössä siten, että asukas voi kasvattaa huoneiston kokonaispoistoilmavirtaa siirtämällä puhaltimen tarpeen mukaan suuremmalle pyörimisnopeudelle. Lisäksi asukas voi ohjata ilmanvaihtoa keittiöön tai kylpyhuoneeseen säätämällä liesikuvun säätöpeltiä. Tällöin ilmanvaihto toimii lainausperiaatteella, eli muiden huoneiden ilmavirrat pienenevät tehostuksen ajaksi. Taulukossa 11 esitetyt venttiilikohtaiset poistoilmavirrat pätevät myös tälle järjestelmälle (kierrätysilmavirtaa ei tietenkään ole). Ulkoilman sisäänotto suunnitellaan rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisesti niin, että tuloilmavirrat ovat riittävät. Perustilanteessa tuloilmavirta on 80 % poistoilmavirrasta. Loppu 20 % tulee rakennusvaipan vuotokohtien läpi satunnaisilla vuotoina. Päätelaitteiden painehäviö perustilanteessa on 50 Pa.

Huoneistokohtaisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän kytkentäkanavat ovat kokoa $\varnothing 125$ mm. Huoneistokanavassa, esimerkiksi ulko- tai jäteilmakanavassa, ilman virtausnopeus saa olla enintään 3 m/s. Kylmäilmakanava, ulkoilma- tai jäteilmakanava lämmöntalteenoton jälkeen, lämpöeristetään (100 mm) ja kosteuseristetään eristyksen ulkopinnalta, jos kanava on lämpimässä tilassa. Jäteilma voidaan johtaa ulos rakennuksesta kohdassa 6.2.3 esitetyillä tavoilla.

Lämmöntalteenotolla varustetussa tulo/poistokoneessa tulee olla kuvan 31 mukaiset komponentit. On suositeltavaa, että äänenvaimennus ja lämmöntalteenoton ohitus on asennettu valmiiksi koneeseen. Koneen kanavan tuottama staattinen paine on perustilanteessa korkeintaan 1,5 kertaa venttiilien painehäviö. Puhaltimen kanavaan aiheuttama äänitehotaso ei saa olla korkeampi kuin taulukon 12 arvot, kun päätelaitteissa ei ole vaimennusta. Puhaltimen toiminta-alue määräytyy kuten kohdassa 6.2.3.

6.4 Poistoilmanvaihtojärjestelmä

6.4.1 Tyypillinen sovellusalue

Perusparannettu poistoilmanvaihtojärjestelmä sopii käytettäväksi silloin, kun rakennuksen sisäilmastolle ja energiankulutukselle ei aseteta erityisen korkeita vaatimuksia, mutta halutaan varmistua sisäilman tyydyttävästä laadusta, taulukko 14. Olemassa olevan poistoilmanvaihdon perusparannus (tarkastus, puhdistus, perussäätö, ulkoilmaventtiilien asentaminen) on ilmanvaihtokorjausten minimivaihtoehto. Sen laatutasoa voidaan korottaa esimerkiksi tarpeenmukaisella ohjauksella ja korvausilman esilämmityksellä. Myös lämmön talteenotto poistoilmasta on periaatteessa mahdollista, mutta Suomen markkinoilla ei ole siihen yleisesti käytössä olevia ratkaisuja. Tämän vuoksi poistoilmanvaihtojärjestelmän perusparannuksen energiataloudellinen hyöty saavutetaan lähinnä säätämällä ilmavirrat suunnitelmien mukaiselle tasolle ja korvaamalla kello-ohjausventtiilikohtaisella ohjauksella.

6.4.2 Ratkaisulle asetettavat tekniset vaatimukset

Koneellisessa poistoilmanvaihdossakin sisäilman laatu on mahdollista saada hyvälle tasolle, kunhan ilmavirrat valitaan tarpeen mukaan oikein ja asukkaille järjestetään riittävä tehostusmahdollisuus. Epäpuhtauspitoisuuksissa voidaan saavuttaa laatuluokan S2 (tai jopa S1) taso, kunhan valitaan mahdollisimman pienipäästöiset pintamateriaalit, taulukko 15. Sisäilmastoluokan S1 saavuttamiseksi tulee käyttää pääasiassa materiaali-päästöluokan M1 materiaaleja.

Sen sijaan hyvien lämpöolojen luominen on tällä ratkaisulla vaikeaa. Kylmän korvausilman vedoton tuonti oleskeluvyöhykkeelle tuottaa usein vaikeuksia. Myös lämpötilan säätömahdollisuus on huoneistokohtaista ilmanvaihtoa rajallisempi.

Taulukko 14. Poistoilmanvaihdon perusparannukselle asetettavat vaatimukset eri tavoitetasoilla.

Tavoiteltava laatutaso:	Minimi	Normaali
Sisäilmasto		
• ilmanvaihdon suuruus, 1/h	0,5	0,5
• pysyvyys vuodessa, %	85	90
• lämpötila lämmityskaudella, °C	20–24	21–23
• ulkoilman suodatus	–	EU7/F7
• suodattimen ohivuoto, %	–	<2
• järjestelmän äänitaso, makuuhuone, dB	28	25
• järjestelmän äänitaso, keittiö, dB	35	30
• ulkoilmaventtiilin ääneneristävyys, dB	35	45
• painesuhteiden pysyvyys, %	80	90
• ulkoilmavirta, vetokäyrä	2	3
• ilmavirtojen tehostusmahdollisuus, 1/h	–	0,3
• jäteilman ulospuhallusnopeus, m/s	>6	>8
Tehontarve ja energiankulutus		
• puhallinteho, W/(L/s)	1,0	0,5
• lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, %	–	–
• lämmitysjärjestelmän hyötysuhde, %	90	95

Taulukossa 16 on esitetty ne seikat, jotka on otettava huomioon rakennuksen käyttöä suunniteltaessa ja käyttökustannuksia arvioitaessa.

Taulukko 15. Rakenteille asetettavat vaatimukset ratkaisussa, joka perustuu poistoilmanvaihdon perusparannukseen.

Tavoiteltava laatutaso:	Minimi	Normaali
Sisäilmasto		
• pintamateriaalien päästöluokka	–	M2
• seinän ulkoääneneristävyys, dB	50	55
• välipohjan ääneneristävyys, dB	50	55
• välipohjan tiiviys, (L/s)/m ² (50 Pa)	0,2	0,1
• asunnon oven tiiviys, L/s (50 Pa)	3	2
Tehontarve ja energiankulutus		
• ulkoseinän tiiviys, 1/h (50 Pa)	2,0	1,0
• ikkunan tiiviys, (L/s)/m ² (50 Pa)	0,5	0,4
• ulkoseinän k-arvo, W/(m ² K)	0,3	0,3
• ikkunan k-arvo, W/(m ² K)	1,1	1,1

Taulukko 16. Käytölle ja ylläpidolle asetettavat vaatimukset ratkaisussa, joka perustuu poistoilmanvaihtojärjestelmän käyttöön.

Tavoiteltava laatutaso:	Minimi	Normaali
• poistoilmaventtiilien puhdistusväli, a	1	0,5
• ulkoilmasuodattimen vaihtoväli, kk	–	6
• poistoilmakanaviston puhdistusväli, a	6	5
• ulkoilmaventtiilien puhdistusväli, a	2	1

6.4.3 Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen toteutus

Poistoilmanvaihdon perusparannuksen suunnittelussa määritellään ensiksi huonetilojen venttiilikohtaiset ilmavirrat ja niiden tehostusmahdollisuudet. Taulukossa 17 on esitetty venttiilikohtaiset poistoilmavirrat. Tehostus järjestetään käytännössä siten, että asukas voi kasvattaa huoneiston keittiön poistoilmavirtaa tehostettavaa venttiiliä säätämällä. Venttiilissä tulee olla kello, joka palauttaa venttiilin perusasentoon esimerkiksi 30 minuutin kuluttua. Tehostustilanteen ilmavirta on vähintään 20 L/s ja enintään 42 L/s, jotta venttiili hyväksyttäisiin palonrajoittimeksi kokonaispaineella 100 Pa.

Huoneistot äänieristetään toisistaan joko päätelaitteissa tai nousukanavissa olevilla äänenvaimentimilla rakentamismääräyskokoelman osan C6 mukaisesti.

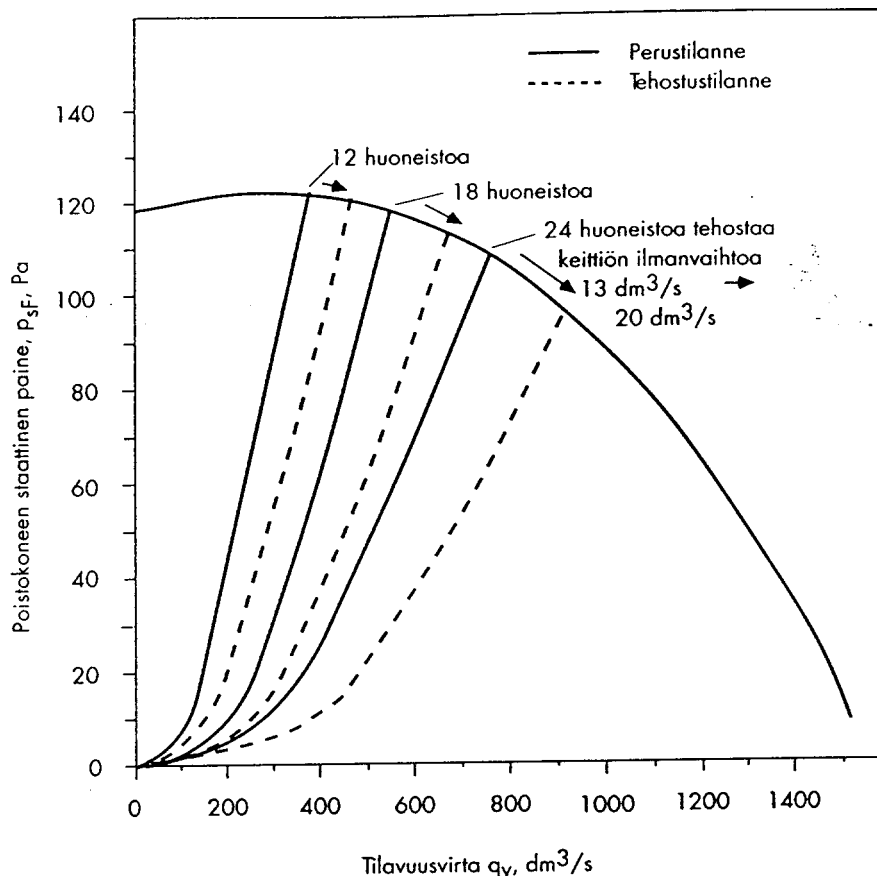
Taulukko 17. Venttiilikohtaiset poistoilmavirrat.

Huone	Ilmavirta L/s
Keittiö	6 → 20 (tehostus)
Kylpyhuone	15
WC	10
Vaatehuone	3

Ulkoilman sisäänoton suunnittelussa on otettava huomioon rakennuksen tiiviys. Mitä tiiviimpi rakennus, sitä enemmän ilmaa virtaa ulkoilmaventtiilien kautta. Osa huoneiston ulkoilmavirrasta tulee käytännössä aina rakennevuotojen kautta. Mitoituksessa valitaan ulkovaipan paine-ero niin, että tuuli ja lämpötilaerot eivät merkittävästi muuta huonekohtaisia ulkoilmavirtoja. Esimerkiksi vaipan tiiviyden arvolla 1,0 1/h (50 Pa) on vuotoilmanvaihdon suuruus 0,32 1/h ulkovaipan paine-erolla 10 Pa. Jos koko asunnon ilmanvaihtokerroin on 0,5 1/h, tulee ulkoilmaventtiilien kautta 0,18 1/h, eli vain pieni osa ulkoilmavirrasta. Tämän ilmavirran mitoittaminen on tärkeää, jotta osataan valita oikean kokoiset ulkoilmaventtiilit siten, että niiden ilmasuihkujen nopeudet ovat riittävän suuret eivätkä aiheuta vetoa.

Päätelaitteiden painehäviö perustilanteessa on 80–100 Pa, matalissa taloissa pienempi ja korkeissa taloissa suurempi. Kytkenäkanavat ovat kokoa $\varnothing 125$ mm. Nousukanavien kanavakoot riippuvat poistopisteiden lukumäärästä. Huoneiston kokoojakanava mitoiteetaan siten, että virtausnopeus on alle 4 m/s. Kanavien on täytettävä tiiviysluokan C vaatimukset.

Tarpeen mukaisesti ohjattavan poistoilmanvaihtojärjestelmän poistokoneen painetta on säädettävä tehostusten määrän mukaan. Kun kokonaisilmavirran lisäys on pieni (esimerkiksi alle 100 % perustilanteesta), voi poistokoneen paineensäätö perustua pelkästään loivaan painekäyrään. Tällöin poistokoneen paine-ero pysyy lähes vakiona tai laskee hiukan ilmavirran kasvaessa. Poistokone valitaan siten, että paine-ero kanavassa laskee korkeintaan 15 % perustilanteen arvosta, kuva 33. Puhallin varustetaan yksinopeusmoottorilla ja tarvittaessa hihnavälityksellä sopivan toimintapisteen toteuttamiseksi. Poistokoneen paineensäätö voidaan järjestää myös paineanturin avulla joko kaksiportaisena tai portaattomana paineensäätönä.



Kuva 17. Loivaan puhaltimen painekäyrään perustuva paineensäätö.

6.5 Ilmanvaihdon parannustoimet

Edellä kuvatut ilmanvaihdon korjauskonseptit tarjoavat eritasoisia vaihtoehtoja asuin-kerrostalon ilmanvaihdon, sisäilmaston ja energiatalouden parantamiseen. Korjaukset ovat kuitenkin melko laajoja, eikä taloyhtiöillä aina ole mahdollisuutta ryhtyä tarvittaviin investointeihin. Tällöinkin on syytä pitää huolta sisäilmaston minimitasosta.

Rakennusten kunnossapidon tulee perustua luotettaviin kuntoarvioihin ja niitä tarvittaessa täydentäviin kuntotutkimuksiin. Jokaisen taloyhtiön kannattaa selvittää tulevaisuuden korjaustarpeet riittävän ajoissa etukäteen, jotta yhtiö ehtii varautua tarvittaviin investointeihin. Kunnossapidossa tulee edetä suunnitelmallisesti siten, että koko lähitulevaisuuden korjaustarve on tiedossa päätöksiä tehtäessä.

On tärkeää varmistaa, että rakennuksessa on riittävän suuri ilmanvaihto, joka jakautuu tasaisesti eri huoneisiin. Tämä on erityisen tärkeää silloin, kun huoneistoissa tehdään pölyviä purkutöitä tai paikkaus- ja maalaustöitä. Kaikkien rakenneteknisten korjausten (ikkunat, lisäeristäminen, tiivistäminen) yhteydessä tulee selvittää niiden vaikutus ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan. Tarvittaessa on asennettava esimerkiksi ulkoilma-venttiilit.

Ilmanvaihdon toimintaa on parannettava myös silloin, kun rakennus on osittain yli-paineinen. Tämä havaitaan yleensä ylimpien kerrosten ikkunoiden ulkolasiin tai lasien väliin tiivistyvistä kosteudesta tai huurtumisesta. Jatkuva ylipaineisuus aiheuttaa rakenteisiin kosteusvaurioita, joten ilmanvaihdon painesuhteet kannattaa saattaa nopeasti kuntoon.

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 ulkoilma-venttiilit olo- ja makuuhuoneisiin. Ulkoilmaventtiilit mahdollistavat tarkoituksenmukaisen ilmanjaon huoneistossa, mutta niiden haittapuolena on vetoisuuden lisääntyminen.

Painovoimaisen poiston virtausvastukset ovat yleensä pieniä sekä venttiilissä että poistohormissa. Poistoilmaventtiilien pienen painehäviön (auktoriteetista) vuoksi ilma virtaa venttiilissä helposti väärään suuntaan, 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 sisäänottoa helpotettava esimerkiksi säädettävillä tai automaattisilla ulkoilma-venttiileillä.

Painovoimaiseen poistoilmanvaihtoon 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.

Keskitetyn koneellisen poistoilmanvaihdon yleisin ongelma on se, että tehostusajat eivät vastaa asukkaiden toimintoja. Tämän takia ruoan käryt leviävät helposti keittiöstä muihin huoneisiin. Leviämistä voidaan vähentää asentamalla hellan yläpuolelle kanavaan liitetty liesikupu.

Koneellisen poiston ongelmia on myös se, että ulkoilma otetaan sisään satunnaisten rakenteiden epätiiviyiskohtien kautta, jolloin oleskelutilojen ilmanvaihto on sattumanvarainen. Oleskelutilojen ilmanvaihtoa voidaan parantaa asentamalla niihin ulkoilma-venttiilejä, 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.

Eräs ilmanvaihdon kannalta tärkeä tila on talosauna. Saunassa ja pesuhuoneessa on suuret kosteuskuormat ja siksi myös puurakenteiden homehtuminen on niissä yleistä. Riittävän ilmanvaihdon avulla kosteus saadaan poistettua tehokkaasti. Tällöin ilmavirrat ovat helposti niin suuria, että ilmanvaihdon energiankulutus voi nousta merkittävästi. Talosaunoihin sopiva ilmanvaihtoratkaisu on esimerkiksi lämmön talteenotolla varustettu tulo- ja poistoilmanvaihtokone. Tarkoitukseen soveltuvat useimmat pien- tai kerrostaloihin suunnitellut mallit, kunhan korkeiden kosteuskuormien aiheuttama ruostumisvaara on otettu riittävästi huomioon. Ilmanvaihdon toimintateho voidaan kytkeä saunan kiukaan lämmitykseen siten, että ilmanvaihto on tehokkaimmillaan kiukaan ollessa päällä ja 1–2 tuntia sen sammuttamisen jälkeen.

Taulukossa 18 on esitetty ilmanvaihdon korjausratkaisut ulkovaipan ja lämmitysjärjestelmän korjaustarpeen mukaan. Ratkaisut on vielä eritelty sisäilmaston ja energiankulutuksen mukaan minimitasosta parhaaseen vaihtoehtoon.

Taulukossa 19 on esitetty ilmanvaihdon korjausratkaisut vanhan ilmanvaihtojärjestelmän ja hallitsemattoman vuotoilmanvaihdon mukaan. Ratkaisut on vielä eritelty sisäilmaston ja energiankulutuksen mukaan minimitasosta parhaaseen vaihtoehtoon.

Taulukko 18. Ilmanvaihdon korjausratkaisujen valinta sisäilmaston ja energiankulutuksen tavoitetason (minimi/normaali/hyvä/paras) sekä ulkovaipan että lämmitysjärjestelmän korjaustarpeen mukaan.

	Lämmitysjärjestelmän korjaustarve		
Ulkovaipan korjaustarve	Perussäätö	Patterit ja venttiilit uusittava	Koko putkisto uusittava
Pienet korjaukset	<u>Minimi:</u> IV:n puhdistus ja säätö (liesikupu) <u>Normaali:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (ulkoilmaventtiilit) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Hyvä:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tarpeenmukainen säätö) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Paras:</u> huoneistokohtainen tulo + poisto	<u>Minimi:</u> IV:n puhdistus ja säätö (liesikupu) <u>Normaali:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tuloilmapatterit) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Hyvä:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tarpeenmukainen säätö) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Paras:</u> huoneistokohtainen tulo + poisto	<u>Minimi:</u> IV:n puhdistus ja säätö (liesikupu) <u>Normaali:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tuloilmapatterit) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Hyvä:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tarpeenmukainen säätö) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Paras:</u> huoneistokohtainen tulo + poisto
Ikkunat uusittava	<u>Normaali:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (ulkoilmaventtiilit) <u>Hyvä:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tarpeenmukainen säätö) + talosaunan ilmanvaihdon parannus tai huoneistokohtainen tulo + poisto <u>Paras:</u> huoneistokohtainen ilmalämmitys	<u>Normaali:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tuloilmapatterit) <u>Hyvä:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tarpeenmukainen säätö) + talosaunan ilmanvaihdon parannus tai huoneistokohtainen tulo + poisto <u>Paras:</u> huoneistokohtainen ilmalämmitys	<u>Hyvä:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tarpeenmukainen säätö) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Paras:</u> huoneistokohtainen tulo + poisto tai huoneistokohtainen ilmalämmitys
Ikkunat ja julkisivut uusittava	<u>Hyvä:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tarpeenmukainen säätö) + talosaunan iv <u>Paras:</u> huoneistokohtainen tulo + poisto tai huoneistokohtainen ilmalämmitys	<u>Hyvä:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tarpeenmukainen säätö) + talosaunan iv <u>Paras:</u> huoneistokohtainen tulo + poisto tai huoneistokohtainen ilmalämmitys	<u>Paras:</u> huoneistokohtainen ilmalämmitys

Taulukko 19. Ilmanvaihdon korjausratkaisujen valinta sisäilmaston ja energiankulutuksen tavoitetason (minimi/normaali/hyvä/paras) sekä vanhan ilmanvaihtojärjestelmän että rakennuksen hallitsemattoman vuotoilmanvaihdon mukaan.

	Vanha ilmanvaihtojärjestelmä		
Hallitsematon vuotoilmanvaihto	Painovoimainen	Koneellinen poisto	Yhteiskanavajärjestelmä
Hatara rakennus tai avoin maasto, vuotavat ilmanvaihtohormit	<u>Minimi:</u> IV:n puhdistus ja säätö (liesikupu) <u>Normaali:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (ulkoilmaventtiilit, hormien tiivistys, matalapaineinen puhallin) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Hyvä:</u> vaipan tiivistys ja huoneistokohtainen tulo+poisto	<u>Minimi:</u> IV:n puhdistus ja säätö (liesikupu) <u>Normaali:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (ulkoilmaventtiilit, hormien tiivistys, puhaltimien uusiminen) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Hyvä:</u> vaipan tiivistys ja huoneistokohtainen tulo + poisto	<u>Minimi:</u> IV:n puhdistus ja säätö (liesikupu) <u>Normaali:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tarpeenmukainen säätö, hormien tiivistys/väljennys, puhaltimien uusiminen) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Hyvä:</u> vaipan tiivistys ja huoneistokohtainen tulo + poisto
Normaali rakennus	<u>Minimi:</u> IV:n puhdistus ja säätö (liesikupu) <u>Normaali:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (ulkoilmaventtiilit, hormien tiivistys, matalapaineinen puhallin) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Paras:</u> huoneistokohtainen tulo + poisto	<u>Normaali:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tuloilmapatterit) <u>Hyvä:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tarpeenmukainen säätö) + talosaunan ilmanvaihdon parannus tai huoneistokohtainen tulo + poisto <u>Paras:</u> huoneistokohtainen ilmalämmitys	<u>Hyvä:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tarpeenmukainen säätö) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Paras:</u> huoneistokohtainen tulo + poisto tai huoneistokohtainen ilmalämmitys
Tiivis rakennus tai suojainen sijainti, tiiviit ilmanvaihtohormit	<u>Paras:</u> huoneistokohtainen tulo + poisto tai huoneistokohtainen ilmalämmitys	<u>Hyvä:</u> poistoilmanvaihdon perusparannus (tarpeenmukainen säätö) + talosaunan ilmanvaihdon parannus <u>Paras:</u> huoneistokohtainen tulo + poisto tai huoneistokohtainen ilmalämmitys	<u>Paras:</u> huoneistokohtainen tulo + poisto tai huoneistokohtainen ilmalämmitys

7. Ilmanvaihtokorjausten edistäminen

7.1 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 ei joiltain osin 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 tiiviyydestä.

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.

Sisäilmastoon ja ilmanvaihdon toimivuuteen vaikuttavat monet rakennukseen kohdistuvat toimet, jotka eivät suoranaisesti koske ilmanvaihtojärjestelmää. Usein nämä toimet

eivät vaadi rakennuslupaa. Rakennuksen vaippa voi tiivistyä esimerkiksi lisäeristyksen, sisä- tai ulkoverhouksen uusimisen, lattiapinnoituksen tai muun korjauksen yhteydessä. Rakennuksen tiivistämisen vaikutus ilmanvaihtoon on suuri pelkkään poistoon perustuvissa järjestelmissä. Näissä järjestelmissä myös ikkunoihin kohdistuvat toimet huonontavat ilmanvaihtoa. Poisto aiheuttaa rakennukseen suuremman alipaineen, mutta korvausilmansaanti vaikeutuu, ellei siitä erikseen huolehdita järjestämällä tuloilma-raitteja.

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 puuliedellä saadut ilmanvaihdon tehostustilanteet.

Väliseiniä lisääminen tai siirtäminen voi synnyttää huoneita, joissa ei ole ilmanvaihtoa lainkaan. Jos ilman virtausreiteistä tulo- tai poistopuoli 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. Vanhoissa rakennuksissa henkilökuormitus on usein pienempi ja huonekorkeus suurempi kuin uudisrakennuksissa. Korjausrakentamisessa tulee tarkistaa, että voimassa olevat rakentamismääräysten ilmavirtaohjeet toteutuvat henkilöperusteen mukaan. Lisäksi tulee tarkistaa, että huonetilan ilmanvaihtuvuus on 0,5 l/h.

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

7.2 Muut kehittämistarpeet

Seuraavassa on esitetty kehittämistarpeita ilmanvaihtokorjausten edistämiseksi.

- Asuntojen sisäilman laadun toteamiseen tarvitaan nopea ja luotettava menetelmä sekä ohjeisto, jossa valmiiksi laadittu asukaskyselylomake voisi olla yksi osa.

Ilmanvaihtojärjestelmän teknisen toiminnan toteamiseen olisi laadittava yleispätevät ohjeet.

- Liesikuvuille ja tehostettaville venttiileille tulisi laatia tyyppihyväksyntäohjeet.
- Rakennuksen tiiviyn toteamiseksi tulisi laatia nopeat ja luotettavat arviointi- ja mittausmenetelmät.
- Rakennuksen tiiviyn parantamiseksi tulisi kehittää menetelmiä ja ohjeita.

8. Yhteenveto

Kerrostaloissa tehtyjen kuntoarvioiden perusteella määritetty ilmanvaihdon korjaustarve vuosina 1995–2004 on vain noin 6 % koko korjaustarpeesta. Toimenpiteinä tämä merkitsee 35 400 korjausta ja markkoina vastaa 0,6 mrd.mk.

Rakennuksen tiiviyys vaikuttaa ratkaisevasti lämmön talteenotolla hyödyksi saatavaan energian määrään ja siten talteenoton kannattavuuteen. Tutkimuksessa on laskettu lisäinvestointi, joka kannattaa tehdä siirryttäessä koneellisesta poistoilmanvaihtojärjestelmästä lämmön talteenotolla varustettuun tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään. Tulosten mukaan rakennuksen tiiviyyden lisäksi maaston suojaisuus parantaa lämmön talteenoton kannattavuutta. Avoimella paikalla olevan hataran talon lämmön talteenottoon kannattaa energiansäästön vuoksi investoida vain 55–75 % siitä summasta, mikä kannattaisi investoida suojaisella paikalla olevan tiiviin talon lämmön talteenottoon. Investoinnin kannattavuus tulee arvioida rakennuskohtaisesti ottaen huomioon mm. korkokanta, lämmön ja sähkön hinnat sekä laitteiden huoltokustannukset.

Yleensä silloin, kun rakennuksen tiiviyys on heikompi kuin 2–3 l/h (50 Pa), rakennusta on tiivistettävä ennen kuin lämmön talteenotosta tulee energiataloudellisesti kannattavaa. Hankintapäätöstä tehtäessä tulee energiatalouden lisäksi ottaa huomioon myös muut lämmön talteenoton avulla saavutettavat hyödyt, kuten hyvä sisäilman laatu ja vedottomat lämpöolot.

Rakennuksen tiiviysominaisuudet vaikuttavat myös muilla tavoin ilmanvaihdon korjausratkaisuihin. Rakennuksen sisätilojen tulisi aina olla alipaineisia ulkoilmaan nähden. Tuloilmajärjestelmän asentaminen hataraan rakennukseen lisää ylipaineisuuden vaaraa. Ylipaineisista tiloista sisäilman kosteus tunkeutuu rakenteisiin ja aiheuttaa kosteusvaurioriskin. Rakennuksen ja sen eri osien tiiviyttä selvitettiin lähinnä ruotsalaisten kirjallisuusviitteiden ja tehtyjen kenttämittausten avulla. Olemassa olevan suomalaisen rakennuskannan tiiviytystasoa ei projektissa ollut mahdollista selvittää, vaan havainnot perustuvat yksittäisiin kenttämittauksiin ennen ja jälkeen korjaustoimien. Mittausten perusteella rakennuksen osista parvekeseinällä oli suurin merkitys asunnon kokonai-tiiviyteen. Odotusten vastaisesti peruskorjauksen ei havaittu systemaattisesti parantavan asunnon tiiviyttä, vaan joissakin kohteissa tiiviyys jopa heikkeni. Työn laadulla olikin keskeinen merkitys tiiviyyden parantamisessa. Ikkunoiden uusiminen paransi asuntojen tiiviyttä 10–20 %.

Tutkimusten mukaan tiilestä muuratut ilmanvaihtohormit ovat vuosien mittaan pahoin rapautuneet, eivätkä siten sovellu käytettäväksi ilmanvaihtokanavina ilman korjaustoimia. Hormien tiiviyyden parantamiseen on olemassa kaksi menetelmää: massausmenetelmä ja sujutusmenetelmä. Molemmilla menetelmillä on mahdollista saavuttaa rakentamismääräysten K-luokan mukainen tiiviyys. Tutkitulla sujutusmenetelmällä saavutetaan jopa vaativin C-luokan tiiviyys. Lopputulos riippuu kuitenkin suuresti hormin muodoista ja ennen kaikkea tiivistystyön suorituksesta.

Vanhojen ilmanvaihtohormien tiivistäminen parantaa ilmanvaihdon toimintaedellytyksiä ja vähentää hajujen kulkeutumista asuntojen välillä. Rakenneaineisen kanaviston tiivistämisen tulisikin kuulua jokaisen asuinkerrostalon peruskorjausohjelmaan. Tiivistäminen on tarpeen erityisesti silloin, kun aiemmin painovoimaisena toimineeseen hormistoon kytketään puhaltimia tai kun tilojen käyttötarkoitus muuttuu oleellisesti.

Yksittäiset, sinänsä oikeasuuntaisetkin korjaukset eivät välttämättä johda sisäilmaston ja energiatalouden samanaikaiseen paranemiseen. Tarvitaan kokonaisratkaisuja, joissa asetetaan tavoitteet sisäilman laadulle ja energiankulutukselle. Tutkimuksessa on laadittu ehdotus nykytekniikkaan nähden realistisista sisäilmaston ja energiankulutuksen tavoitetasoista. Ehdotus perustuu tutkimuksessa mukana olleiden tutkijoiden ja teollisuuden edustajien näkemyksiin,

Tutkimuksessa on myös laadittu kolme eritasoista ja -hintaista korjauskonseptia, joista jokainen parantaa sisäilmastoa ja pienentää energiankulutusta nykytasosta. Korjauskonseptit on tarkoitettu suunnittelijan ja rakennuttajan työkaluiksi korjaushankkeen suunnitteluun. Laaditut korjauskonseptit ovat huoneistokohtainen ilmalämmitysjärjestelmä, huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä sekä asuntokohtaisesti tehostettava keskitetty poistoilmanvaihtojärjestelmä. Kunkin korjauskonseptin yhteydessä on käsitelty myös rakenteille, käytölle ja ylläpidolle asetettavat vaatimukset. Näille teknisille vaatimuksille on asetettu järjestelmäkohtaiset suoritusarvot yhteistyössä mukana olleiden yritysten kanssa siten, että parhaat markkinoilla olevat tuotteet täyttävät komponenteille asetetut suoritusarvovaatimukset.

Voimassa olevat rakentamismääräykset antavat mahdollisuuden joustaa uudisrakentamisen vaatimuksista korjausrakentamisessa. Ilmanvaihdon perusparannuksen esteenä on kuitenkin usein rakentamismääräysten ohjeosan liian tiukka tulkinta, joka voi johtaa ilmanvaihdon jättämiseen ennalleen. Esimerkiksi lämmön talteenoton yleistymisen pahimpia esteitä on jäteilman seinäpuhalluksen kieltäminen useissa kunnissa. Näin siitä huolimatta, että tutkimuksissa on luotu selvät edellytykset seinäpuhalluksen sallimiselle. Toisaalta monet yksittäiset rakenteisiin kohdistuvat korjaukset voidaan toteuttaa ilman, että toimenpiteen vaikutuksia ilmanvaihdon toimintaan selvitetään. Näin ollen on mahdollista, että sisäilmaston laatu huononee energiatalouden ja/tai rakennuksen ulkonäön parantuessa. Jatkossa tulisikin kiinnittää aiempaa enemmän huomiota sisäilmastoon ja energiatalouteen kokonaisuutena ja ottaa huomioon rakennuksen omistajan taloudelliset mahdollisuudet. Pienetkin parannukset ovat parempia kuin tilanteen jättäminen ennalleen.

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: VTT Tiedotteita 991. 75 s.

Boverket. 1993. Typgodkännandebevis 7364/85.

Brunsell, J. & Uvslokk, S. Boligers lufttetthet. Resultater fra lufttetthetsmålinger av nyere norske boliger. Oslo 1980. Norges byggforskningsinstitutt, Arbejdsrapport 31.

Dyhr, R. Asuinrakennusten ilmanvaihtoselvitys. Helsinki 1993: Helsingin kaupunki, rakennusvalvontavirasto, julkaisu 3. 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. & Soöaru, A. Ventilationshuvar. Projektarbete utfört i tredje årskursen, handledare Svante Boström. Göteborg 1986: Chalmers tekniska högskola, maskintekniklinjen.

Hallstedt Å. Varsam ombyggnad av ventilationssystem för äldre hus. Byggnadsnämndens rapport R37: 1994.

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

Heikkilä, J. & Päckilä, K. Asuinkerrostalon putkiston korjaus. Korjausrakentamisen tutkimusohjelma. Espoo 1990: VTT Tiedotteita 1115. 83 s. + liitt. 8 s.

Helsingin kaupunki. Ilmanvaihtomääräysten soveltaminen korjausrakentamisessa. Helsinki: 1992, Rakennusvalvontaviraston ohje 3/92.

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

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.

Kiinteistöjen ylläpidon kustannustieto 1992. Hoito- ja kunnossapitokustannukset sekä elinkaaren kustannuslaskelmat. Espoo 1993: Teknillinen korkeakoulu, Rakentamistalouden laboratorio. Raportti 119. 226 s. + levyke.

Korkala, T. & Karvonen, M-L. Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta-edellytykset. 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. a) Energy impact of ventilation and air infiltration. 14th AIVC Conference, Copenhagen, Denmark 21–23 September 1993. 9 s.

Kronvall, J. & Boman, C-A. b) Ventilation rates and air tightness levels in the Swedish housing stock. Proceedings of the 14th AIVC Conference, Copenhagen, Denmark. Air Infiltration and Ventilation Centre, Coventry, Great Britain. 1993.

Kronvall, J. Mätningar och mätmetoder för lufttäthet Stockholm 1979: Statens råd för byggnadsforskning, T6:1979.

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 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.

Metiäinen, P., Saarimaa, J., Saarnio, P., Salomaa, H., Tulla, K. & Viitanen, H. Rakennusten ilmanpitävyyden pysyvyys. Espoo 1986: VTT Tutkimuksia 422.

Månsson L-G. Airtightness and wall construction in prefabricated Swedish single family houses, 1984. In Proceedings of the 5th AIVC Conference, Reno, Nevada. Air Infiltration and Ventilation Centre, Coventry, Great Britain, 1984.

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 1989: Rakennustietosäätiö, Rakennuskirja Oy. 273 s.

Nippala, E. & Jaakkonen, L. Asuinkerrostalojen kuntoarviot: menettelyn toimivuus, kehittämissuhteita sekä asuinkerrostalojen korjaustarve 1995-2004 kuntoarvioiden mukaan. Helsinki 1996, Ympäristöministeriö. Sarja: Suomen ympäristö; 18. 73 s.+liitt. ISBN:951-11-0031-1.

Noolen, 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: VTT Tiedotteita 1513. 88 s. + liitt. 12 s.

Pallari, M-L., Heikkinen, J. Gabrielsson, J., Matilainen, V. & Reisbacka, A. Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut. Espoo 1995: VTT Tiedotteita 1654. 107 s. + liitt. 6 s.

Pepels, J. & Cauberg-Huygen, N. L. Ventilation of criteria with regard to efficiency of ventilation system. ANNEX 27. 20.2.1994. 26 s.

Polvinen, M., Kauppi, A., Saarimaa, J., Haalahti, P. & Laurikainen, M. Rakennusten ulkovaipan ilmanpitävyys. Espoo 1983: VTT Tutkimuksia 215.

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

Rakennuslehti nro 26, 27.10.1994. Vanha savuhormi on uhka, mutta myös mahdollisuus.

Railio, J. & Saarnio, P. Rakennusten tiiviysvaatimusten määrittely. Espoo 1983: VTT Tutkimuksia 234.

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.

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

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

Roulet C-A., Vandaele L. Airflow patterns within buildings measurement techniques. 1991. Air Infiltration and Ventilation Centre, Technical note AIVC 34.

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.

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

Siitonen, V., Heikkinen, J., Kovanen, K., Saari, M. & Broas, P. Jäteilman seinäpuhallus asuinkerrostaloissa. Espoo 1994: VTT Tiedotteita 1595. 106 s.

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

Sisäilmaston kuntotutkimus. 1997: Suomen LVI-yhdistysten Liitto ry, julkaisu 4.

Statens Provnings- och Forskningsinstitut. 1993: Provtryckning av kanaltätning med aluminiumfolder. Rapport 92E4103 I:A, 3.2.1993.

Statens Provningsanstalt, Testausraportti, 1958.

Wouter, P. et al. Airtightness of new Belgian dwellings: an overview picture. In: Proceedings of the 18th AIVC Conference. Air Infiltration and Ventilation Centre, Coventry, Great Britain. 1997.

SIMULOINTILASKELMIEN VIRTAUSFUNKTIOIDEN LASKENTAPERUSTEET

Vuotofunktio annetaan ohjelmalle muodossa:

$$q_m = k \cdot (\Delta p)^n,$$

missä q_m on ilman massavirta, kg/h
 k on vuotoyhtälön kerroin
 n on vuotoyhtälön eksponentti
 Δp on paine-ero, Pa

Kellarin ovi porraskäytävään	2 L/s, $\Delta p = 50$ Pa, $k = 0,65342$, $n = 0,66$
Kaikki huoneiston väliovet	A. 13 L/s, $\Delta p = 1$ Pa, $k = 56,16$, $n = 0,5$
A. Ovet kiinni (kertavastuskerroin 0,02)	
B. Ovet auki (kertavastuskerroin 1,9)	B. 618 L/s, $\Delta p = 1$ Pa, $k = 2668,9$, $n = 0,5$
Huoneiston ulko-ovi	13,1 L/s, $\Delta p = 50$ Pa, $k = 4,2881$, $n = 0,66$
Venttiilit, keskiarvo mittaustuloksista	21,6 L/s, $\Delta p = 1,64$ Pa, $k = 72,8644$, $n = 0,5$
Välipohjavuodot, keskitetty keittokomeroiden kohdalle	0,3 L/sm ² , $\Delta p = 50$ Pa, $k = 6,17483$, $n = 0,66$
Hormien keskinäiset vuodot, oletettu tasaisesti jakautuneen, kulmahormeissa 2*5 ja keskihormeissa 3*5 vuotokohtaa	$q_{vi} = 1,65$ L/s, $\Delta p = 10$ Pa, $k_i = 1,56259$, $n = 0,66$

$$(k_{TOT/hormi} = 21,3764, q_{vTOT} = 24,8 \text{ dm}^3/\text{s})$$

Viiden hormin keskiarvotiedot:

Hormien virtausvastukset (Ilmatekniikan suunn.opas 1978)	100 L/s, $\Delta p = 4,875$ Pa, $k_{2,5m} = 195,658$
$d_h = 4 \cdot 0,17 \cdot 0,17 / 4 \cdot 0,17 = 0,17$ m	100 L/s, $\Delta p = 9,75$ Pa, $k_{5m} = 138,35$, $n = 0,5$
1,3 kerroin muuratuille	
$\Delta p_{2,5m} = 1,5 \text{ Pa/m} \cdot 1,3 \cdot 2,5m = 4,875$ Pa	
$\Delta p_{5,0m} = 1,5 \text{ Pa/m} \cdot 1,3 \cdot 5,0m = 9,75$ Pa	
Ulkoseinävuodot on jaettu ikkunan	

leveyden mukaan, $n_{50} = 2,08$ 1/h

$q_{vTOT} = 91$ L/s /6,9 m ikkunoita,

$\Delta p = 50$ Pa

$k_{MH} = 6,8941$ (1,6 m),
 $n = 0,66$

$k_{OH} = 12,9264$ (3 m),
 $n = 0,66$

$k_{KK} = 3,01616$ (0,7 m),
 $n = 0,66$

Rapun ulko-ovi

174 L/s, $\Delta p = 50$ Pa,
 $k = 57,0$, $n = 0,66$

Kellarin ulkoseinän vuoto

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

21,9 L/s, $\Delta p = 50$ 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 L/s, $\Delta p = 15$ Pa,
 $k = 161,178$, $n = 0,5$



Tekijä(t) Säteri, Jorma, Kovanen, Keijo & Pallari, Marja-Liisa			
Nimeke Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen			
Tiivistelmä Yksittäiset, sinänsä oikeansuuntaisetkin, ilmanvaihdon perusparannukset eivät välttämättä johda sisäilmaston ja energiatalouden samanaikaiseen paranemiseen. Tarvitaan kokonaisratkaisuja, joissa asetetaan tavoitteet sisäilman laadulle ja energiankulutukselle. Tutkimuksessa on laadittu ehdotus nykytekniikkaan nähden realistisista sisäilmaston ja energiankulutuksen tavoitetasoista. Tutkimuksessa on myös laadittu kolme eritasoista ja -hintaista korjauskonseptia. Niistä jokainen parantaa sisäilmastoa ja pienentää energiankulutusta samanaikaisesti nykytasosta. Korjauskonseptit on tarkoitettu suunnittelijan ja rakennuttajan työkaluiksi korjaushankkeen suunnitteluun. Laaditut korjauskonseptit ovat huoneistokohtainen ilmalämmitys-järjestelmä, huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä sekä asuntokohtaisesti tehostettava keskitetty poistoilmanvaihtojärjestelmä. Kunkin korjauskonseptin yhteydessä on käsitelty myös rakenteille, käytölle ja ylläpidolle asetettavat tekniset vaatimukset. Rakennuksen tiiviynä vaikutusta lämmön talteenoton kannattavuuteen on tarkasteltu erilaisilla energiahinnoilla. Tu- lostien mukaan rakennuksen tiiviyden vaikuttaa ratkaisevasti lämmön talteenotolla hyödyksi saatavan energian määrään ja siten myös sen kannattavuuteen. Jos rakennuksen tiiviyden on heikompi kuin 2–3 l/h (50 Pa), rakennusta on tiivistettävä ennen kuin lämmön talteenotto tulee energiataloudellisesti kannattavaksi. Hankintapäätöstä tehtäessä tulee energiatalouden lisäksi huomioida myös muut lämmön talteenoton avulla saavutettavat hyödyt, kuten hyvä sisäilman laatu ja vedottomat lämpöolot. Asuinkerrostalon ja sen eri osien tiiviyttä on selvitetty lähinnä ruotsalaisten kirjallisuusviitteiden ja tässä tutkimuksessa tehtyjen kenttämittausten avulla. Mittauksissa ei havaittu peruskorjauksen parantavan systemaattisesti asuntojen tiiviyttä, vaan joissakin kohteissa tiiviyden jopa heikkeni. Työn laadulla oli keskeinen merkitys tiiviyden parantamisessa. Rakennuksen osista parvekeseinällä oli suurin merkitys asuntojen kokonaistiiviyteen. Ikkunoiden uusiminen paransi asuntojen tiiviyttä 10–20 %. Lisäksi tutkimuksessa on mitattu ilmanvaihtohormien tiiviyttä ennen ja jälkeen tiivistystoimia. Samalla on selvitetty kahden tiivistysmenetelmän, Schädler-menetelmän ja ALFO-menetelmän, käyttöä kanaviston tiivistämiseen. Molemmilla menetelmillä on mahdollista saavuttaa rakentamismääräysten K-luokan mukainen tiiviyden.			
Avainsanat apartment buildings, residential buildings, high-rise buildings, indoor air, energy economy, energy efficiency, energy consumption, improvement, renovating, air heating, mechanical exhaust systems, HVAC, heat recovery			
Toimintayksikkö VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka, Lämpömiehenkuja 3, PL 1804, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5659-3 (nid.) 951-38-5660-7 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projektinumero	
Julkaisu-aika Huhtikuu 1999	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 82 s. + liitt. 2 s.	Hinta B
Projektin nimi Korjausrakentamisen ilmanvaihtoratkaisut, RAKET		Toimeksiantaja(t) Teknologian kehittämiskeskus (Tekes), ympäristöministeriö (YM), NCC-Puolimatka Oy, LVI-Parmair Oy, Paroc Oy, Rettig-Lämpö Oy, Meptel Oy, Fenestra Oy	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Published by



Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. +358 9 4561
Fax +358 9 456 4374

Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 1945
VTT-TIED-1945

Author(s) Säteri, Jorma, Kovanen, Keijo & Pallari, Marja-Liisa			
Title Improvement of indoor air and energy efficiency in high-rise residential buildings			
Abstract <p>Occasional ventilation renovations, even if properly done, necessarily don't simultaneously improve indoor air and energy efficiency. Comprehensive solutions are needed, where targets of indoor air quality and energy consumption are fixed. A proposal has been made of realistic target levels considering modern technology of indoor air and energy consumption.</p> <p>Three renovation solutions at different levels were formulated to simultaneously improve indoor air quality and reduce energy consumption compared with the current situation. The solutions have been designed as tools for technical designers and building owners. The renovation solutions are individual air heating system, individual mechanical supply and exhaust system, and centralised mechanical exhaust system with individual possibility to increase the ventilation rate. Within each solution technical demands for constructions, consumption and maintenance are also handled.</p> <p>The effect of air-tightness of the building on the cost-efficiency of heat recovery was studied with different energy prices. According to the results the air-tightness has crucial effect on the amount of energy saving by the heat recovery and thereby also on cost-efficiency. If the air leakage rate of the building is below 2–3 l/h (at 50 Pa), the air-tightness of the building should be improved before heat recovery becomes cost-efficient. During the acquisition decision one should consider, besides energy economy, also other benefits achieved by the heat recovery system, like high indoor air quality and thermal conditions with no draught.</p> <p>Air-tightness of multi-storey buildings and its different parts was mainly studied by Swedish references and by some field measurements within this study. No systematic improvement on the air-tightness of the apartments by the renovation was found, on the contrary, some apartments became leakier during the renovation. Poor workmanship was usually evident in these cases. The main leakage route in the measured apartments seemed to be the balcony door. Replacement of the windows increased the air-tightness of the apartment 10–20 %.</p> <p>Furthermore, air-tightness of air chimney has been studied before and after the sealing. Concurrently the use of two sealing methods, the Schädler-method and the ALFO-method, has been studied. The sealing-class K in the National Building Code can be achieved by both methods.</p>			
Keywords apartment buildings, residential buildings, high-rise buildings, indoor air, energy economy, energy efficiency, energy consumption, improvement, renovating, air heating, mechanical exhaust systems, HVAC, heat recovery			
Activity unit VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology, Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 1804, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5659-3 (soft back ed.) 951-38-5660-7 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number	
Date April 1999	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 82 p. + app. 2 p.	Price B
Name of project Korjausrakentamisen ilmanvaihtoratkaisut, RAKET		Commissioned by Technology Development Centre of Finland (Tekes), Ministry of the Environment (YM), NCC Puolimatka Oy, LVI-Parmair Oy, Paroc Oy, Rettig-Lämpö Oy, Meptel Oy, Fenestra Oy	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	