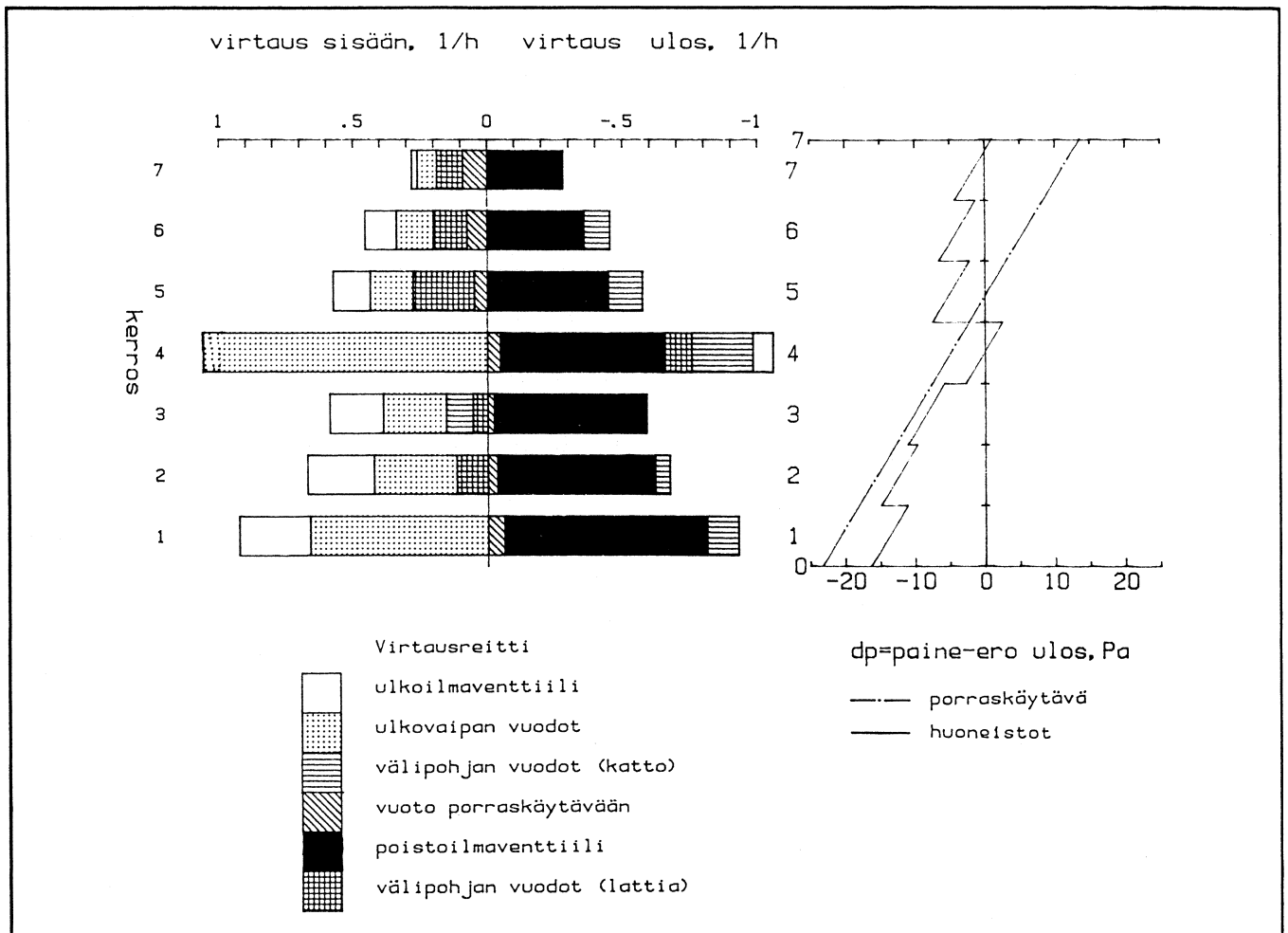




Jorma Heikkinen, Tapio Korkala, Marianna Luoma &
Heikki Salomaa

Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnat ja häiriöalttius



Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnat ja häiriöalttius

Jorma Heikkinen
Tapio Korkala
Marianna Luoma
Heikki Salomaa
LVI-tekniikan laboratorio

ISBN 951-38-2954-5
ISSN 0358-5085
Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1987

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

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

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

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

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

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

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

HEIKKINEN, Jorma, KORKALA, Tapio, LUOMA, Marianna & SALOMAA, Heikki, Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnat ja häiriöalttius [Fault operations and susceptibility to disturbing factors of ventilation systems]. Espoo 1987. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita - Statens tekniska forskningscentral, Meddelanden - Technical Research Centre of Finland, Research Notes 737. 127 s./p. + liitt. 25 s./app. 25 p.

UDK 697.9:628.86:69.059

Keywords ventilation, air conditioning equipment, failure, odor control, humidity control, temperature control

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa on selvitetty ilmanvaihtojärjestelmien tyypillisimmät virhetoiminnat, niiden syyt ja parannuskeinoja epäkohtien välttämiseksi.

Useista tutkimuksista viime vuosina kertynyt vikatietous koottiin yhteen. Lisäksi kartoitettiin virhetoimintoja liike- ja toiminstorakennuksista sekä sairaalakompleksista seurantaopöytäkirjojen perusteella. Kenttämittauksin tutkittiin korvausilman jakautumista kerrostalohuoneistoissa. Analysoinnilla selvitettiin virhetoimintojen syitä ja parannuskeinoja sekä ilmanvaihtojärjestelmien herkkyyttä häiriötekijöille.

Tyypillisimmiksi ilmanvaihdon epäkohdiksi osoittautuivat veto, huoneilman tunkkaisuus, hajujen leviäminen huoneistojen välillä ja sisällä, kondenssihaitat rakenteissa sekä melu.

Energiatalouden ja sisäilmaston kannalta merkittävimmät virhetoiminnat liittyvät ilmanvaihtojärjestelmien lämmityslaitteisiin, puhaltimiin ja pellistöihin sekä lämmön talteenotto-laitteisiin. Puuttet ulkoilman sisäännotossa ja ilmavirtojen säädöissä sekä ulkovaipan ja rakennuksen sisäinen heikko tiiviys aiheuttavat myös ongelmia. Melu aiheutuu puutteellisesta äänenvaimennuksesta tai kanaviston heikosta tiiviyydestä. Monet epäkohdat ovat peräisin jo rakentamisvaiheesta, useimmiten syynä ovat kuitenkin käytön ja huollon puutteet.

Lähtökohtana epäkohtien välttämässä on mahdollisimman yksinkertaisien ja selkeiden järjestelmien toteuttaminen. Ilmanvaihtojärjestelmien stabiilius häiriötekijöiden suhteen ja helppo säädettävyys edellyttävät, että kanavistopaineet ovat riittävän korkeita, kanaviston painehäviöt pieniä ja pääte-elimien painehäviöt suuria. Pitkälle viety esivalmistus mahdollistaisi kokoonpanoon keskittyvän urakoinnin, jolloin työmaa-aikainen säätö- ja viritystyö minimoituu. Rakennuttajat ovat avainasemassa suunnittelun ja urakoinnin tavoitteiden asettamisessa ja rakentamisen valvonnassa.

Tulevaisuuden ilmanvaihtojärjestelmiltä edellytetään ilmavirtojen ja lämpötilojen ohjausmahdollisuutta yksilöllisten tarpeiden mukaan. Tämä asettaa uusia vaatimuksia mitoitusperusteille, perussäädöille ja laitteilta vaadittaville ominaisuuksille. Sisäilmaston, energiatalouden tms. kannalta parhaat järjestelmät voidaan valita sekä komponenttien ja rakenteiden tavoitearvot määrittellä tietokonesimulointien avulla. Vasta tavoitearvojen edellyttämän tuotekehitysvaiheen jälkeen on perusteltua siirtyä koerakentamisvaiheeseen.

HEIKKINEN, Jorma, KORKALA, Tapio, LUOMA, Marianna & SALOMAA, Heikki, Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnat ja häiriöalttius [Fault operations and susceptibility to disturbing factors of ventilation systems]. Espoo 1987. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita – Statens tekniska forskningscentral, Meddelanden – Technical Research Centre of Finland, Research Notes 737. 127 s./p. + liitt. 25 s./app. 25 p.

UDC 697.9:628.86:69.059

Keywords ventilation, air conditioning equipment, failure, odor control, humidity control, temperature control

ABSTRACT

The investigation describes the most typical fault operations of the ventilation systems, the causes of them and means to avoid these defects.

The fault knowledge based on many research projects carried out during last years was collected together. Besides, the fault operations were gathered from checking minutes of business and office buildings and a hospital complex. The distribution of the supply air was measured in a few flats. The reasons for and the cures of the defects were sought by analysing. The influences of the disturbing factors (weather, wrong use, leaky constructions etc.) on the operation of the ventilation systems were studied computationally.

The most typical defects of the ventilation proved to be:

- draught
- bad smell of indoor air
- spreading of odours between and inside flats
- condensation on windows
- noise.

The most important fault operations from the viewpoint of energy consumption and indoor climate are linked with heaters, fans, dampers and heat recovery units. The problems are often caused by a defective intake of outdoor air or air distribution, incorrect adjustment or poor air tightness of external and internal constructions or ducts. Many defects date from the construction process, but in most cases the reasons are due to failures of operation and maintenance.

The main point in avoidance of the defects is to build as simple and clear-cut ventilation systems as possible. Because of the stability and the easy adjustment of the systems, the duct pressures must be high, pressure drops in ducts low and in terminal devices high. Highly developed preliminary

preparations make possible installations, where building-time adjustments and handwork are minimized. It is very important to set exact targets for the design and contract and to supervise the work.

The ventilation systems of the future are expected to have the possibility to vary the air flow rates and the temperature according to individual needs. This will lead to new demands for design, adjustment and equipment. The selection of the best ventilation systems from the viewpoint of indoor climate and energy consumption is possible with computer simulations. After the research and development period necessary due to the new target values of components there is cause for experimental buildings.

ALKUSANAT

Julkaisu sisältää tulokset kauppaja- ja teollisuusministeriön (KTM) energiaosaston rahoittamasta tutkimuksesta "Olemassa olevien ilmanvaihtojärjestelmien virhetoimintojen häiriöalttiuden energiataloudellinen merkitys ja parantamisedellytykset".

Viime vuosina suoritetuissa tutkimuksissa on kertynyt runsaasti ilmanvaihtojärjestelmien virhetoimintoihin liittyvää tietoutta. Tutkimuksen tavoitteena on ollut vikatioudun yhteenkokoaminen ja täydentäminen. Analysoimalla on selvitetty eri virhetoimintojen syitä ja niiden merkittävyyttä koko ilmanvaihtojärjestelmän kannalta. Lisäksi on esitetty keinoja epäkohtien välttämiseksi.

Tutkimus on tehty Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) LVI-tekniikan laboratoriossa. Tutkimuksen vastuunalaisena johtajana on ollut diplomi-insinööri Heikki Salomaa sekä tutkimuksen alussa jonkin aikaa diplomi-insinöörit Jorma Railio ja Pekka Saarnio. Tutkijoina ovat toimineet diplomi-insinöörit Jorma Heikkinen, Marianna Luoma ja Tapio Korkala.

Nykyisen mitoituskäytännön taustaa käsittelevän ilmanvaihdon historiaosan (liite 1) on kirjoittanut diplomi-insinööri Jorma Railio, Suomen ilmateknillinen toimialayhdistys r.y:stä. Liike- ja toimistorakennuksien vikakartoituksen ovat tehneet diplomi-insinööri Markku Nousiainen ja teknikko Pertti Tontteri, Suomen Talokeskus Oy:stä. Sairaalarakennuksen virhetoimintaselvityksen ovat suorittaneet tekniikan lisensiaatti Jouko Pakanen ja insinööri Erkki Santalo, VTT:n Rakennuslaboratoriosta.

Tutkimusta on valvonut kauppaja- ja teollisuusministeriön energiaosastolta erikoistutkija Yrjö Virtanen sekä tutkimuksen alkuvaiheessa erikoistutkija Katri Katajisto.

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	5
ALKUSANAT	7
SISÄLLYSLUETTELO	8
1 JOHDANTO	11
2 VIRHETOIMINNAT KENTTÄKOhteissa	12
2.1 Palautetietolähteet	12
2.1.1 Asuinrakennukset, koneellinen poisto	12
2.1.2 Asuinrakennukset, koneellinen sisäänpuhallus ja poisto	13
2.1.3 Asuinrakennukset, ilmalämmitys	14
2.1.4 Liikerakennukset	15
2.1.5 Julkiset rakennukset	15
2.2 Palautetieto asuinrakennuksista	16
2.2.1 Koneellinen poisto	16
2.2.1.1 Poistopuhaltimien käyttöajat	17
2.2.1.2 Ulkoilmavirtojen jakautuma	19
2.2.1.3 Venttiilikohtaiset ilmamäärät	22
2.2.2 Koneellinen sisäänpuhallus ja poisto sekä ilmalämmitys	23
2.2.2.1 Rakennuksen painesuhteet	25
2.2.2.2 Ilmanjako	27
2.2.2.3 Äänenvaimennus	28
2.2.2.4 Käyttö ja huolto	29
2.3 Palautetieto liikerakennuksista	30
2.3.1 Suunnittelusta ja toteutuksesta johtuvat virhetoiminnat	31
2.3.2 Kojeista ja laitteista johtuvat virhetoiminnat	33
2.3.3 Käytöstä ja hoidosta johtuvat virhetoiminnat	34
2.3.4 Säätimien ja kellojen asetuksista johtuvat virhetoiminnat	36
2.3.5 Yhteenveto liikerakennuksista	38
2.4 Palautetieto julkisista rakennuksista	41

	Sivu
2.4.1 Virastotalot	41
2.4.1.1 Sisäilmasto	41
2.4.1.2 Ilmalämmitysjärjestelmän tekninen toimivuus	42
2.4.2 Sairaala	44
2.4.2.1 Ilmastoinnin virhetoimintoja	45
2.4.2.2 Säätolaitteiden vaikutus il- mastoinnin virhetoimintoihin	49
2.4.2.3 Valvontajärjestelmän vaikutus ilmastoinnin virhetoimintoihin	50
2.4.3 Helsingin kaupungin kiinteistöjä	51
2.4.3.1 Lämmön talteenottolaitteiden käyttö	53
3 VIRHETOIMINTOJEN ANALYSOINTI	57
3.1 Suunnittelukäytännön osuus	57
3.1.1 Määräyksiin perustuva suunnittelukäy- töntö	58
3.1.1.1 Venttiilikohtainen mitoitus- käytäntö	58
3.1.1.2 "Tupakointi sallittu" -kriteeri	59
3.1.1.3 Osatehon käyttö	59
3.1.1.4 Rakenteiden vaikutus	60
3.1.1.5 Rakennusten käyttövaihe	61
3.1.2 Muu mitoituskäytäntö	61
3.1.2.1 Kanavistomitoitus	61
3.1.2.2 Puhaltimien mitoitus	62
3.1.2.3 Äänenvaimennus	63
3.1.2.4 Ilmanjakoelimien mitoitus	63
3.1.2.5 Huollettavuus	64
3.2 Hallitsematon ulkoilman sisäänotto	64
3.3 Sään vaikutus ilmanvaihtoon	67
3.3.1 Ulkolämpötilan vaikutus kerrostalon ilmanvaihtoon	67
3.3.1.1 Yleistä	67
3.3.1.2 Esimerkkilaskelman rakennus	70
3.3.1.3 Lasketut tapaukset	72

	Sivu
3.3.1.4 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	76
3.3.1.5 Koneellinen poistoilmanvaihto	83
3.3.2 Tuulen vaikutus ilmanvaihtoon	89
3.3.2.1 Pientalo	89
3.4 Laitetekniikan puutteet	95
3.4.1 Äänenvaimennus	95
3.4.2 Säätoelimet	96
3.4.3 Pääte-elimet	96
3.4.4 Muut laitteet	97
3.5 Käytön ja huollon puutteet	98
4 JÄRJESTELMÄ- JA LAITETEKNISET KEHITYSTARPEET	100
4.1 Ulkoilman sisäänotto	100
4.2 Ilmanvaihtokanaviston mitoitus	110
4.3 Rakennuksen painesuhteet	111
4.4 Ilmanvaihtolaitteiden kehitystarpeet	112
4.4.1 Nykyiset järjestelmät	112
4.4.2 Tulevaisuuden ilmanvaihtojärjestelmät	113
5 VIRHETOIMINTOJEN VÄLTÄMISKEINOJA RAKENNUKSEN SUUNNITTELU-, TOTEUTUS- JA KÄYTTÖVAIHEESSA	117
5.1 Viranomaisten osuus	117
5.2 Suunnittelun osuus	118
5.3 Rakennuttajan osuus	120
5.4 Käytöstä ja huollosta vastaavien osuus	120
5.5 Asennekasvatus	121
LÄHDELUETTELO	123
LIITTEET	128

1 JOHDANTO

Rakennusten ilmanvaihdosta valitetaan usein. Ilmanvaihto ei syystä tai toisesta toimi. Mitkä ovat sitten epäkohtien syyt ja missä määrin ne ovat pelkästään ilmanvaihtojärjestelmistä riippuvia?

Viime vuosien LVI-teknisissä tutkimuksissa on kertynyt runsaasti ilmanvaihdon virhetoimintoihin liittyvää tietoutta. On havaittu, että toiminnan heikko taso vie usein pohjan energiataloudelliseen ilmanvaihtoon tähtääviltä teknisiltä ratkaisuilta. Kyseinen tietous samoin kuin kentältä saadut käyttäjäpalautteet ovat kuitenkin olleet irrallisia eikä virhetoimintojen syitä ja vaikutuksia useinkaan ole voitu selvittää.

Tutkimuksessa esitetään tyypillisimmät koneellisen ilmanvaihdon virhetoiminnat erityyppisissä ja eri järjestelmillä varustetuissa rakennuksissa. Tietoutta on tutkimuksen kuluessa lisätty liike- ja toimistorakennuksien sekä sairaalakompleksin ilmanvaihtojärjestelmien virhetoimintojen kartoituksella. Analysoimalla selvitetään virhetoimintojen syitä ja niiden vaikutusta ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuteen, lähinnä sisäilmaston ja energiatalouden kannalta. Lisäksi keinoja epäkohtien välttämiseksi esitetään rakennuksen toteutus- ja käyttövaiheen eri osapuolille.

2 VIRHETOIMINNAT KENTTÄKOhteissa

2.1 Palautetietolähteet

Useat tutkimusprojektit ja kentältä saadut käyttäjäpalautteet osoittavat ilmanvaihtolaitteiden toimivuudessa paljon puutteita. Toimimattomuuteen löytyy syitä kaikista rakentamisprosessin ja rakennuksen käytön vaiheista, eivätkä syyt ole yksinomaan teknisiä. Tämän tutkimuksen yhtenä tavoitteena on ollut selvittää koneellisen ilmanvaihdon toimivuuden nykytilaa erityyppisissä ja -ikäisissä rakennuksissa (painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaedellytyksiä on selvitetty Sisäilmastoprojektin yhteydessä /19/). Tietoja on kerätty VTT:n LVI-tekniikan laboratorion meneillään olevista projekteista ja 1980-luvulla julkaistuista tutkimusraporteista. Seuraavassa esitellään lyhyesti ko. projekteja ryhmiteltyinä rakennustyyppin ja ilmanvaihtojärjestelmän mukaan.

2.1.1 Asuinrakennukset, koneellinen poisto

Pientalojen koerakentamisprojektin, ns. PIKO-projekti, tarkoituksena oli edistää pientalotuotannossa kaupunkiympäristöön sopivien taloudellisten ja asumisviihtyisyydeltään korkeatasoisten asuntojen sekä teknillisten, erityisesti energiataloudellisten ideoiden käyttöönottoa. PIKO-projektin energiataloudellisen seurantatutkimuksen tavoitteena oli seurata energian kulutusta eri asuntotyypeissä ja järjestelmissä sekä tutkia sisäilmastoa, rakennusten tiiviyttä ja ilmalämmitystä /5/.

Tutkimuksessa "Tiiviyyden pysyvyys ja seurannaisvaikutukset" selvitettiin eri tavoin ja eri runkomateriaaleista tehtyjen rakennusten ilmanpitävyyden pysyvyyttä, ilmanpitävyyden vaikutusta rakennuksen sisäilmastoon sekä rakenteiden rakennusfysikaaliseen toimivuuteen. Tutkimuksessa seurattiin lähinnä pientalojen ilmanpitävyyden pysyvyyttä useamman vuoden

aikana painekokeiden avulla. Tiiviyyden haittavaikutuksia tutkittiin kiinteistöille lähetetyllä kyselyllä sekä sen perusteella valituissa kohteissa tehdyillä yksityiskohtaisilla mittauksilla ja tarkastuksilla /26/.

Esitutkimuksessa "Korjausrakentamisen energiatekniikka ja -talous" selvitettiin, mitkä ovat korjausrakentamisen keskeiset ongelmat, ja miten tutkimustyön avulla ongelmat voitaisiin poistaa tai niitä voitaisiin lievittää. Tutkimuksessa seurattiin käynnissä olevan korjaushankkeen toteutusta ja haastateltiin asukkaita. Lisäksi haastateltiin rakennuttajia, suunnittelijoita, rakentajia ja valvontaviranomaisia /10/.

Projektin aikana tehtiin ilmanvaihtomittauksia kerrostalossa Porin Pormestarinluodolla ennen korjausrakentamista (ulkovaipan tiivistys jne.) ja sen jälkeen /36/.

Forssan Paavolan asuntomessualueen tutkimusta on käsitelty kohdassa 2.1.2.

2.1.2 Asuinrakennukset, koneellinen sisäänpuhallus ja poisto

Vuoden 1982 valtakunnalliset asuntomessut järjestettiin Forssan Paavolan uudisrakentamisalueella. Messualueella on 90 asuntoa, joista 31 oli vuosina 1982-1984 energiataloudellisen tutkimuksen kohteena. Tutkimus suoritettiin jatkuvan seurannan, kertamittausten sekä asukaskyselyjen ja -haastattelujen avulla. Tutkimuksessa selvitettiin lämmönjakojärjestelmien vaikutusta energiankulutukseen ja termiseen sisäilmastoon /24/. Lisäksi selvitettiin tilajärjestyksen ja asumistottumusten vaikutusta energiankulutukseen sekä asuntojen laitetekniikan käyttöä /39/.

Järvenpäässä sijaitsevassa kuusikerroksisessa vuokratalossa tutkittiin koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän ja erityisesti

lämmön talteenoton toimintaa puolentoista vuoden ajan jatku-
neella seurannalla, kertamittauksin sekä asukashaastatteluin.
Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä on toteutettu osin ontelo-
laattakanavistolla /2/.

Projektissa "Lämmön talteenotto poistoilmasta vanhoissa asuin-
kerrostaloissa" selvitettiin kerrostaloihin sovellettujen LTO-
järjestelmien energiataloutta, toimivuutta ja sisäilmastovai-
kutuksia. Tutkimus painottui koekohteissa tehtäviin kenttä-
mittauksiin, joita täydennettiin laskelmin ja haastatteluin.
Yhdessä kohteessa tehtiin laaja vaihtoehtoratkaisujen ennako-
tarkastelu /25/.

2.1.3 Asuinrakennukset, ilmalämmitys

Tutkimuksessa "Pientalojen ilmalämmitys" tarkasteltiin ilma-
lämmitysjärjestelmän teknisiä ongelmia ja energiataloudelli-
suutta ja osoitettiin järjestelmien ja laitteiden jatkokehi-
tys- ja -tutkimustarve /9/.

Tutkimuksessa "Pientalojen ilmanvaihtolämmitys" selvitettiin
pientalojen ilmalämmitysjärjestelmien toiminnallisia ja käyt-
tötekniisiä puutteita sekä kehitystarpeita kenttätutkimustu-
lostien ja laboratoriokokeiden perusteella. Ilmalämmitysjär-
jestelmien toiminnan tutkimiseksi ja eri osien kehittämisek-
si rakennettiin ilmalämmityksen koejärjestelmä, jolla tehtiin
erilaisten ilmalämmitysjärjestelmien toimintakokeita. Labo-
ratoriomittausten perusteella rakennettiin uudentyyppisiä il-
malämmitysjärjestelmiä ja kehitettiin useita ratkaisumalleja,
joilla voidaan parantaa ilmalämmitysjärjestelmien ominaisuuksia
ja alentaa kustannuksia. Tutkittujen ilmalämmitysjärjes-
telmien perusteella päädyttiin uuteen ilmanvaihtojärjestelmän
ratkaisumalliin, joka antaa lähtökohdat uusien ilmalämmitys-
järjestelmien teolliselle tuotannolle /30/.

Projektissa "Ilmalämmitteinen asuinkerrostalo" selvitettiin
ilmalämmityksen toimivuutta, energiankäyttöä ja taloudelli-
suutta Hämeenlinnaan rakennetussa asuinkerrostalossa. Li-
säksi kerättiin kokemuksia asuinkerrostalon ilmalämmityksen
suunnittelusta ja toteutuksesta /13/.

Huoneistokohtaisella ilmankierrätyksellä toimivaa ilmalämmitysjärjestelmää tutkittiin lappeenrantalaisessa kerrostalo-kohteessa. Rakennuksen energiataloutta, teknisten järjestelmien toimivuutta ja sisäilmastoa selvitettiin jatkuvan automaattisen tietojenkeruujärjestelmän, kertaluonteisten mittauksen ja asukashaastattelun avulla /12/.

2.1.4 Liikerakennukset

Suomen Talokeskus Oy:n tälle projektille tekemässä selvityksessä on kartoitettu olemassaolevien liike- ja toimistokiinteistöjen ilmanvaihtolaitteiden virhetoimintoja, niiden vaikutuksia sekä virhetoimintojen poistamiseksi tehtyjä toimenpiteitä. Selvityksessä on paneuduttu paitsi tekniikasta johdettuun myös käytön, hoidon ja koulutuksen laiminlyöntien aiheuttamiin virhetoimintoihin /27/.

2.1.5 Julkiset rakennukset

Poistoilmaikkunoin varustetun virastotalon ilmalämmitysjärjestelmää tutkittiin kahden vuoden ajan kertamittauksin sekä jatkuvatoimisella lämpötilaseurannalla /15/. Vastaavantalaisia järjestelmiä on toteutettu useissa toimistorakennuksissa, joissa on saatu hyviä tuloksia sekä energiankulutuksen että lämpöviihtyisyyden kannalta /15/.

Virastokäyttöön peruskorjatun rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa ja sisäilmaston tilaa selvitettiin mittauksin ilmanvaihdon riittävyyden ja sisäilmaston kannalta /14/. Tältä pohjalta esitettiin pääongelmat ja ilmanvaihdon tehostamisen mahdollisuudet ja tarpeellisuus.

Virastorakennuksessa toteutetun käytäväsisäänpuhalluksen toimivuutta ja ilman kulkeutumista eri käyttötilanteissa selvitettiin merkkiainemittauksin /21/. Lisäksi suoritettiin korvausilman eri sisäänottovaihtoehtojen kokeiluja.

Tutkimuksessa /18/ on selvitetty julkisissa rakennuksissa (Helsingin kaupunki) suoritettujen erilaisten energiansäästötoimenpiteiden kannattavuutta ja verrattu niitä laskennallisiin odotusarvoihin. Raportissa on myös esitetty suunnitelmia toteutussuosituksia kannattavimmiksi osoittautuneille energiansäästötoimenpiteille.

VTT:n rakennuslaboratorio Oulussa teki tälle projektille selvityksen säätölaitteiden ja valvontalaitteiden ja valvontajärjestelmän osuudesta ilmastoinnin virhetoimintoihin Oulun yliopistollisessa keskussairaalassa /28/.

2.2 Palautetieto asuinrakennuksista

Asuinrakennuksissa havaittuja ilmanvaihdon virhetoimintoja käsitellään ilmanvaihtojärjestelmän mukaan ryhmiteltynä. Rakennukset voivat olla pientaloja tai kerrostaloja.

2.2.1 Koneellinen poisto

Kerrostalokannassa ja -tuotannossa yleisesti käytetty lämmönjako- ja ilmanvaihtoratkaisu on vesiradiaattorilämmitys ja koneellinen poisto. Tämä yhdistelmä kattanee koko kannasta noin 60 % ja tuotannosta yli 90 % /12/.

Palautetietolähteistä (ks. kohta 2.1) on koottu koneellisella poistolla varustetuissa asuinrakennuksissa havaittuja ilmanvaihdon virhetoimintoja taulukkoon 1.

Taulukko 1. Tyypillisiä virhetoimintoja asuinrakennuksissa, joissa on koneellinen poisto (taulukko perustuu tutkimuksessa käsiteltyihin palautetietolähteisiin).

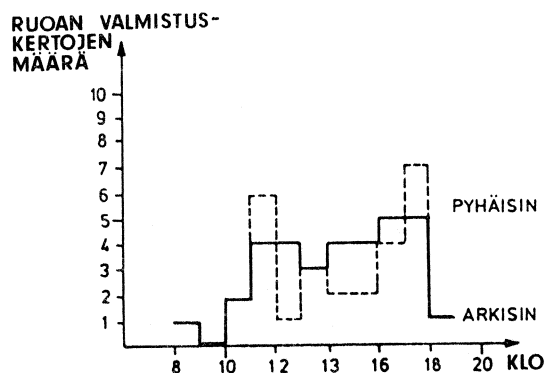
VIRHETOIMINTA	VIRHETOIMINNAN SYY	Mahdollinen virhetoiminnan lähtökohta			
		suunnittelu	asennus	huolto	käyttö (asukas)
Vetohaitat	- liian suuret poistoilmavirrat, johon syynä on usein * kanaviston virheellinen säätö * poistoventtiilikohmainen mitoituskäytäntö (=pienissä asunnoissa suuri ilmanvaihtuvuus) - hallittua ulkoilman sisäänottoa ei ole toteutettu tai - ulkoilmareitit on tukittu, jolloin kylmä ilma tulee sisään rakennusvaipan erätiiviykskohtien kautta	x x x	x	x	x x
Tunkkaisuus	- ilmavirtojen vajuus, johon syynä on usein * kanaviston virheellinen säätö * venttiilien likaisuus * kojeiden virheellinen käyttö (puhaltimet osateholla tai pysäytettyinä) * puhaltimien huollon laiminlyönti * puutteet ulkoilman sisäännotossa (ks. vetohaittojen syyt)	x x	x	x x x	x x x x
Kosteuden tiivistyminen (tai jäätyminen) ikkunoiden sisäpinnalle	- korkea huoneilman kosteus, johon syynä on usein * heikko ilmanvaihto (ks. tunkkaisuuden syyt) * asumisesta aiheutuvat kosteuskuormat (esim. pyykin kuivaus) (- alhainen ikkunapintalämpötila ja/tai puutteellinen lämmönjako)	x x	x	x	x x x
Kosteuden tiivistyminen tai jäätyminen ikkunaväleihin/ Hajujen leviäminen huoneistojen välillä	- tilat ylipaineisia ulkoilmaan/naapurihuoneistoihin nähden, johon syynä on usein * ilmavirtojen vajuus (kanaviston virheellinen säätö, käyttövirheet) * ilmanvaihtojärjestelmän herkkyyys häiriötekijöille (mm. säätö) * ulkovaipan hataruus (= ilmanvaihtojärjestelmä herkkä häiriötekijöille) * rakennuksen sisäinen tiiviyys heikko ts. ilmavuotoja eri kerrosten välillä (löpiviennit, porraskäytävät, ovet jne.)	x x x	x (x) x	x	x x
Hajujen leviäminen asunnon sisällä	- eri huonetilojen väliset paine-erot virheelliset (ts. likaiset tilat eivät ole riittävästi alipaineisia), johon syynä on usein * ulkoilman sisäänotto "likaisten" tilojen kautta (keittiö, WC, pesutilat) * liesituulettimen käytön aiheuttama häiriö em. paine-eroihin * osa venttiileistä "tukossa" (likaisia tai suljettu)	x x			x x x

2.2.1.1 Poistopuhaltimien käyttöajat

Kenttäkartoituksen perusteella ilmanvaihtokojeita ei yleensä käytetä suunnitellulla tavalla pientaloissa, mistä useissa tapauksissa on seurauksena ilmanvaihdon vajuus (ilmanvaihto alle rakentamismääräyksissä vaaditun vähimmäisulkoilmanvaihdon). Mitoitusilmanvaihto on usein ilmanvaihdon tarpeen kannalta liian suuri, joten kojeita käytetään mitoitusteholla talviolosuhteissa vain ilmanvaihdon tehostamiseksi /26/.

Koneellisella poistolla varustetuissa kerrostaloissa puhaltimet käyvät yleensä jatkuvasti 1/2-teholla ja tehostetusti 1/1-teholla vain oletettuina ruoanlaittoaikoina esimerkiksi klo 7.00-8.30 ja 16.00-18.00 /21/. Koerakentamiskohteessa /13/ selvitettiin asukashaastatteluin, mihin aikaan päivästä ruokaa todellisuudessa laitetaan.

Arkisin ruoan valmistus painottuu klo 11.00-12.00 ja 16.00-18.00 välisiin aikoihin, mutta on muulloinkin varsin tavallista. Viikonloppuisin aterioiden valmistusajat hajaantuvat tasaisesti pitkin päivää. Näin ollen ilmanvaihdon kerrostalo-kohtaisen tehostuksen "osumatarkkuus" talouksien ruokailu-aikoihin on melko huono. Huomattavassa osassa asuntojen ilmanvaihdon tehostustarve osuu muihin aikoihin (kuva 1).



Kuva 1. Ruoanvalmistusajankohdan jakauma /13/.

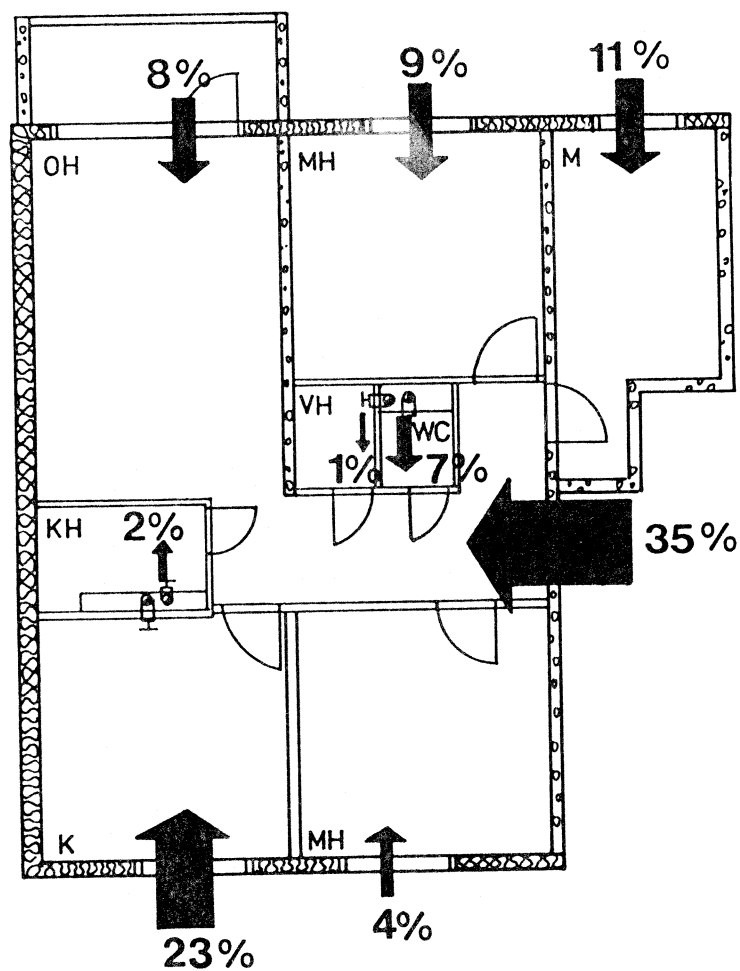
Taulukossa 2 on esitetty pientalokohteista neljä ulkoilmanvaihdon mittaustulosta, joista kannattaa panna merkille asuinhuoneisiin tulevan ulkoilmavirran osuus. Parhaimmillaan asuinhuoneisiin tuodaan 60 % ulkoilmavirrasta ja huonnoimmillaan 14 %. Kyseinen prosenttiosuus kuvaa eräällä tavalla puhtaan ilman käytön hyötysuhdetta asunnon sisällä / 5/. Taulukossa esiintyy koneellisen poiston lisäksi muitakin ilmanvaihtojärjestelmiä.

Taulukko 2. Esimerkkejä asuntoon tulevan ulkoilman tilakohtaisesta jakautumasta, kun väliovet ovat kiinni ja ilmanvaihtojärjestelmä käytössä. Talot ovat kaksikerroksisia paritaloja / 5/.

Mittauskohde	1	2	3	4
Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen (ilmalämmitys)	Koneellinen poisto	Koneellinen poisto	Painovoimainen poisto
<u>Ulkoilmavirran jakautuma, %:</u>				
makuuh., II krs.	20	11	4	1
makuuh., II krs.	24	12	4	18
makuuh., II krs.	-	11	-	8
olohuone, I krs.	16	15	6	7
keittiö, I krs.	15	28	18	34
käytävä, II krs.	2	3	16	0
eteinen, I krs.	10	9	12	20
sauna, pesuhuone	13	11	40	12
Yhteensä	100 %	100 %	100 %	100 %
<u>Kokonaisulkoilmanvaihto, vaihtoa tunnissa</u>				
	0,50/h	0,66/h	0,72/h	0,61/h
<u>Keskimääräinen paine-ero (= sisäpuolinen alipaine), Pa</u>				
II krs.	0 Pa	- 28 Pa	- 9 Pa	0 Pa
I krs.	- 5 Pa	- 24 Pa	- 24 Pa	- 3 Pa
<u>Säätötila mittaushetkellä:</u>				
Ulkolämpötila, °C	3	0	0	0
tuulen nop.	6	4	4	6

1 = huoneistotyyppi 4, 2 = huoneistotyyppi 3, 3 = huoneistotyyppi 9, 4 = huoneistotyyppi 6.

Kuvassa 3 esitetään eräässä kerrostalohuoneistossa /36/ mitattu korvausilmavirtojen jakautuma. Kyseessä on 1970-luvulla rakennettu seitsemänkerroksinen asuintalo. Tuloilmareittejä ei ole suunniteltu ja suuri osa ilmavirrasta tulee porraskäytävästä. Merkkiainemittaus tehtiin ennen korjausrakentamista, jossa ulkovaipan tiiviyyttä parannettiin (elementtisaumojen ja ikkunoiden tiivistys).



Kuva 3. Korvausilmavirtojen jakautuma kerrostalokohteessa. Venttiileistä mitattu poistoilmamäärä oli n. 130 m³/h /36/.

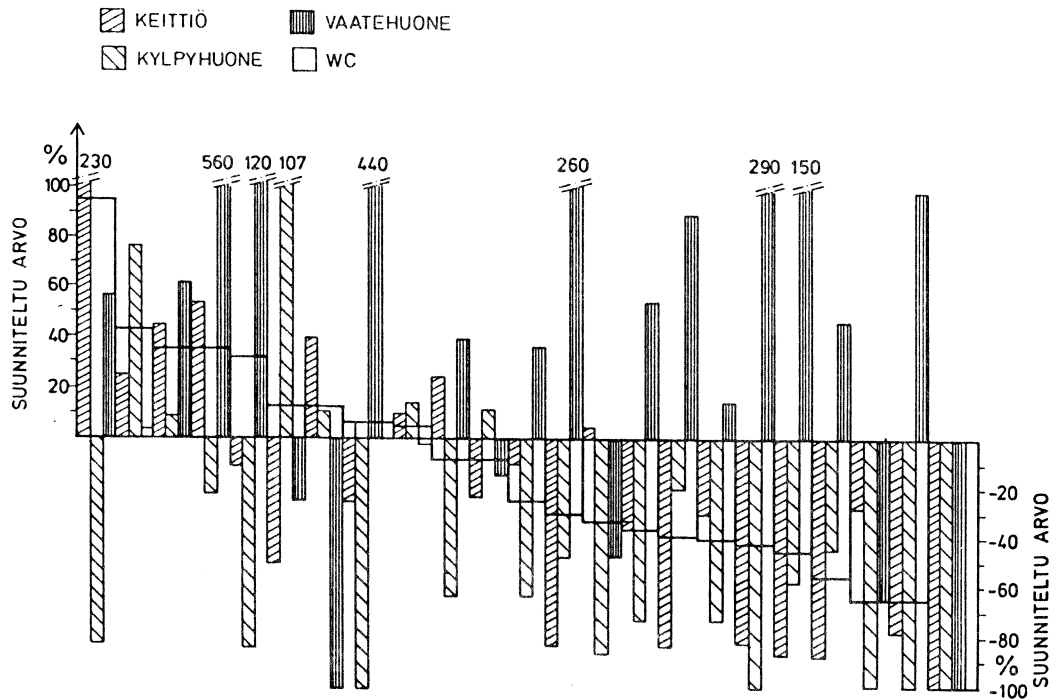
2.2.1.3 Venttiilikohtaiset ilmamäärät

Kerrostaloissa poistoilmaventtiilit sijaitsevat yleensä keittiössä tai keittokomerossa, ikkunattomassa vaatehuoneessa sekä WC- ja kylpyhuonetiloissa. Poistoilmavirrat suunnitellaan lähtien venttiilikohtaisista ohjearvoista, mistä aiheutuu eroja eri huoneistotyyppien m^2 tai m^3 :ä kohti laskettuihin tuloilmavirtoihin. Suomen rakentamismääräyskokoelman (D2, Rakennusten ilmanvaihto) ohjearvo ilmanvaihdolle on $1,3 m^3/hm^2$. Pienimmissä huoneistoissa se usein ylittyy. Kerrostalokohteessa /10/ poistoilmavirrat m^2 :ä kohti (puhaltimet 1/2-teholla) olivat eri huoneistotyypeissä seuraavat:

1h + kk:	1,9 - 2,2 m^3/hm^2
2h + k (kk):	1,6 - 1,9 m^3/hm^2
3h + k:	0,7 - 2,2 m^3/hm^2
4h + k:	0,5 - 1,4 m^3/hm^2 .

Vastaava ongelma esiintyy myös koneellisella sisäänpuhaluksella ja poistolla varustetuissa rakennuksissa, koska ilmavirrat yleensä mitoitetaan lähtien venttiilikohtaisista poistoilmavirtojen ohjearvoista.

Kenttämittauksissa on usein havaittu, että venttiileistä mitatut poistoilmavirrat poikkeavat huomattavastikin suunnitteluarvoista. Esimerkkinä esitetään eräässä kolmikerroksisessa kerrostalossa tehtyjen mittausten tulokset (kuva 4). Kuvasta ilmenee, että vain 11 prosenttia venttiilien ilmavirroista on +10 prosentin sisällä suunnitelluista arvoista.



Kuva 4. Venttiili- ja huoneistokohtaiset poistoilmamäärät. Ohuella viivalla piirretty pylväs edustaa yhtä venttiiliä. Paksulla viivalla piirretty pylväs edustaa yhtä huoneistoa. Vain 11 % venttiileistä ja 17 % huoneistoista on ± 10 %:n sisällä suunnitelluista arvoista.

2.2.2 Koneellinen sisäänpuhallus ja poisto sekä ilmalämmitys

Palautetietolähteistä (ks. kohta 2.1) on koottu koneellisella sisäänpuhalluksella ja poistolla varustetuissa asuinrakennuksissa havaittuja ilmanvaihdon virhetoimintoja taulukkoon 3. Vastaavantyyppisiä ongelmia on myös rakennuksissa, joissa on ilmalämmitys.

Taulukko 3. Tyypillisiä virhetoimintoja asuinrakennuksissa, joissa on koneellinen sisäänpuhallus ja poisto (taulukko perustuu tutkimuksessa käsiteltyihin palautetietolähteisiin).

VIRHETOIMINTA	VIRHETOIMINNAN SYY	Mahdollinen virhetoiminnan lähtökohta			
		suur-nittelu	asen-nus	huolto	käyttö (asukas)
Meluhaitat	- äänenvaimennus (useimmiten tuloilmapuolella) puutteellinen	x	x		
Kondenssihaitat ikkunoissa	- sisäpuolinen ylipaine, johon syynä on usein * riittämätön ero tulo- ja poistoilmavirtojen mitoituksessa * kanaviston virheellinen säätö	x			
Hajujen leviäminen huoneistojen välillä	* ilmanvaihtojärjestelmän herkkyyden häiriötekijöille (esim. tuuli) johtuen mm. kanaviston alhaisesta painetasosta * ulkovaipan hataruus (tai tuuletusikkunoiden jatkuva aukipito) * heikko rakennuksen sisäinen tiiviys (esim. ilmapuotoja läpivientien ja porraskäytävöiden kautta) * ilmavirtojen vajuus johtuen venttiilien likaisuudesta (tai tukkimisesta)	x	x	x	x
Vetohaitat	- ilman nopeus liian suuri oleskeluvyöhykkeellä johtuen esim. * puutteellisesta ilmanjaoista (suuret ilmavirrat) - tuloilman alhainen lämpötila	x	x		
Huollon vaikeus/ Laitoksen toimivuutta ei voida tarkkailla	- laitteiden tilavarauksissa tai sijoittelussa huollettavuus on unohdettu - laitoksen mitattavuus unohdettu - käyttöohjeet puuttavat - suodattamien huoltovälit määrittelemättä tai rasvasuodatin puuttuu (=puutteellinen suodatus, venttiilien ja kanavien likaantuminen)	x			
		x	x		
		x	x		
		x	x		

Pientaloasukkaiden perehdyttämisessä koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan on toivomisen varaa. Tämän osoitti koko ilmanvaihtojärjestelmän käytön rinnastaminen liesituuletinruoanlaiton aikaiseen käyttöön. Lisäksi käytön aikana ilmanvaihtomäärää pidettiin erittäin suurella, jolloin järjestelmä aiheuttaa kiusallista ääntä ja tilojen viilenemistä. Tästä puolestaan on seurauksena lyhyet käyttäjät, vain muutamissa asunnoissa käyttö on jatkuvaa. Tällöin melko kalliista ilmanvaihto- ja lämmöntalteenottojärjestelmästä on ollut vähän hyötyä /24,39/.

Kerrostalokannan ilmanvaihtojärjestelmänä koneellinen sisäänpuhallus ja poisto on harvinainen, alle 1 % kuutiotilavuudesta /31/. Kokemukset rajoittuvat muutamaankin yksittäiseen kokeiluun (sekä lämmöntalteenotolla että ilman) ja joihinkin saastuneimman ilman alueille rakennettuihin kerrostaloihin.

Täysin koneelliseen järjestelmään on usein asennettavissa energiaa säästävää lämmöntalteenottoa. Lämmöntalteenoton esteenä ovat yleensä korkeat perustamiskustannukset sekä huolto- ja käyttötietämyksen puute ja huoltotarpeen moninkertaistumisen pelko.

Ilmalämmitys on pientaloissa melko uusi lämmönjakojärjestelmä. Se tuli markkinoille nykymuodossaan vuonna 1976, ja alkoi yleistyä nopeasti. Ilmalämmitys saavutti suosionsa tähänastisen huipun vuonna 1980. Jo tuolloin saatiin yksittäisiä negatiivisia palautteita järjestelmän toiminnasta. Ilmalämmitys kohtasi suuria takaiskuja kesällä 1981 eräiden epäonnistumisten tultua julkisuuteen /9/. Kerrostaloissa ilmalämmitystä on käytetty koerakentamiskohteissa.

2.2.2.1 Rakennuksen painesuhteet

Asunnot pyritään yleensä suunnittelemaan alipaineisiksi ulkoilmaan nähden. Ylipaineisessa asunnossa kosteus kulkee sisältä ulospäin aiheuttaen kosteuden tiivistymistä ikkunoihin ja muihin rakenteisiin. Tästä on seurauksena kosteusvaurioriski (esim. lahoaminen, homehtuminen ym.).

Suosittelavaa on mitoittaa huoneiston sisäänpuhallusilmavirta selvästi huoneiston poiston ilmavirtaa pienemmäksi (esim. 80 %). Käytännössä perussäädön toleranssit ($\pm 10\%$), poistokanaviston likaantuminen ja ulkoiset olosuhteet tekevät silti huoneistot joskus ylipaineisiksi /25/.

Täysin koneellisessa ilmanvaihdossa rakennuksen ylipaineisuutta esiintyy helpommin kuin pelkässä poistoilmanvaihdossa. Eräässä kohteessa on havaittu poistoilmavirran piene-
nemistä jopa 20 % vuodessa lähinnä keittiön poistoventtiilin likaantumisen vuoksi. Tulo- ja poistoilmamäärän suhteelle 80/100 säädetty laitos muuttuisi siis jo runsaan vuoden käytön jälkeen ylipaineiseksi - ei kuitenkaan tasaisesti. Tällöin alkavat kondenssihaitat ylipaineisissa huoneistoissa näkyä, ja lisäksi ilma alkaa virrata porraskäytävän kautta ylipaineisista huoneistoista alipaineisiin /25/.

Koneellisella sisäänpuhalluksella ja poistolla varustetussa kerrostalossa / 2 / mitattiin ylimmissä kerroksissa pak-kassäällä jatkuva sisäpuolinen ylipaine, kun ilmanvaihto kävi osateholla. Viidennen ja kuudennen kerroksen ikkunois-ta yli puolessa esiintyi kondenssia ulkolasin sisäpinnassa.

Sisäpuoliseen ylipaineeseen syyt ovat:

- kerrosten väliset ilmapuodot ja ilmapuoto kellarikerrok-sista huoneistoihin putki- ja sähköläpivientien sekä huoneisto-ovien välityksellä
- ilmanvaihtokanaviston paine-erojen pienuus verrattuna termisiin paine-eroihin
- kellarikerroksen korvausilmaventtiilien (näistä osa on tarpeettomia koneellisen sisäänpuhalluksen takia) ja tuuletusikkunoiden aukipito.

Ilmalämmitteisessä asuinkerrostalossa /13/ havaittiin valmistumisen jälkeisenä talvena ikkunakondenssia yli puolessa asunnoista. Seuraavana talvena haittoja esiintyi huomattavasti vähemmän. Syynä saattoi olla ensimmäisenä talvena rakenteista vapautuva kosteus, joka lisäsi huoneilman suhteellista kosteutta.

Huoneistokohtaisella ilmankierrätyksellä varustetussa ilmalämmitteisessä kerrostalossa /12/ kondensoitumisongelmia ilmeni myös rakennuksen valmistuttua. Ilmanvaihtolaitos oli alunperin säädetty tasapaineiseksi (tulo=poisto) rakennuksen tiiviyyteen ja perussäädön onnistumiseen luottaen. Vaikka rakennus em. ominaisuuksiltaan olikin tavallista parempi, pääsi silti mm. koehuoneiston keittiöön syntyämään lähes pysyvä ylipaine ulkoilmaan nähden; paine-ero oli keskimäärin 2 Pa (vaihtelualue ± 5 Pa), mutta silti riittävä ulkolasin pinnan lähes umpeenhuurtumiseen. Ilmiö oli varsin yleinen myös muissa ko. julkisivun ikkunoissa.

Lisäsyiksi ikkunoiden huurtumisessa havaittiin myös LTO-laitteen poistoilmapuolen jäätyminen, poistoilmasuodattimen toistuva likaantuminen sekä ikkunoiden ulkopuitteen alunperin täydellinen tiivistäminen.

2.2.2.2 Ilmanjako

Epäonnistuneesta ilmanjaosta aiheutuu vetohaittoja. Koneellisella sisäänpuhalluksella ja poistolla varustetussa kerrostalossa / 2 / tehdyssä asukashaastattelussa noin puolet asukkaista piti huoneistoa ainakin ajoittain vetoisana. Huoneilman virtausnopeus oli myös mittausten mukaan kriittisin sisäilmastotekijä, vaikkakin mitatut nopeudet jäivät yleensä vaatimuksen maksimiarvoa 0,15 m/s pienemmiksi. Noin puolet vetoisiksi koetuista huoneistoista oli yksiöitä.

Ilmalämmitteisessä asuinkerrostalossa /13/ n. 70 % talouksista oli havainnut asunnossaan ilmalämmityksestä aiheutuva vedon tunnetta, mikä ei ollut yhdessäkään asunnossa häiritsevää. Vetohaittoja havaittiin lähinnä lattialla tai ilmanjakolaitteiden läheisyydessä. Vetoa esiintyi yhtä paljon sekä ylä- että alajakoisissa järjestelmissä.

Ilmavirtojen perussäätöön tulisikin ilmalämmityksessä kiinnittää erityistä huomiota, koska järjestelmän toimivuus vaatii tarkan säädön.

Koerakentamiskohteessa /12/ pyydettiin asukkailta arvio ilmalämmitysjärjestelmän huonoista puolista. Moitteista varsin useat koskivat kylmyyttä ja vetoisuutta. Keskeltä huonetta mitatut ilman nopeudet ovat olleet alle 0,1 m/s niissäkin huoneistoissa, joissa asukkaat ovat tunteneet vetoa. Vetovalitusten paikallisia syitä ei tarkemmin tutkittu.

2.2.2.3 Äänenvaimennus

Tavallinen ja laitteiden käytön kannalta merkittävä ongelma koneellisen ilmanvaihdon yhteydessä ovat äänihaitat. Jos äänitaso on häiritsevä ei ilmanvaihtokojeita haluta tai voida käyttää.

Usein äänihaittoja esiintyy koneellisen sisäänpuhalluksen tiloissa (ts. tulopuolella). Näin ollen myös ilmalämmitysjärjestelmä vaatii hyvän ääneneristyksen ja -vaimennuksen.

Mitattujen kojeiden äänen- ja tärinänvaimennus ei ole ollut riittävä. Varminta onkin välttää kojeiden sijoittamista oleskelutiloihin. Esimerkiksi ilmalämmitteisessä rivitalossa pääkaupunkiseudulla mitattiin melutasoksi 32-36 dB(A) olohuoneen keskellä pienimmällä puhaltimen pyörimisnopeudella. Suurin sallittu arvo asuinhuoneessa on 30 dB(A).

Valitusten pohjalta tehtyjen mittausten jälkeen urakoitsija korjasi järjestelmää. Melutaso vaimeni tuloilmakanaviston äänenvaimentimella 5-7 dB. Silti 30 dB(A) ylitetään 1-8 db tuloilmapuhaltimen 2-nopeudella, jota tarvitaan -15 °C ulkolämpötiloilla. Melu tulee nyt kiertoilmakanavan kautta / 9 /.

Ilmalämmitteisessä asuinkerrostalossa ilmanvaihdon aiheuttama äänitaso ylitti kalustamattomissa huoneissa sallitun arvon 30 dB(A) useimmissa huoneissa. Kalustus vaimentaa tosin äänitasoa -2 dB(A), mutta siitä huolimatta jäi äänekäitä tiloja. Suurimmaksi äänen aiheuttajaksi osoittautui tuloilmasuuttimien heikko ontelohormiin kiinnitys, mikä on korjattavissa /12/.

2.2.2.4 Käyttö ja huolto

Tavallinen syy ilmanvaihdossa esiintyviin puutteisiin on laitteiden ja järjestelmien virheellinen käyttö tai huollon laiminlyöminen. Usein oikean käytön ja huollon merkitystä ei ymmärretä tai suoritusta ei osata.

Mitä monimutkaisemmista laitteista ja järjestelmistä on kyse, sitä todennäköisemmin on puutteita käytössä ja huollossa. Esimerkiksi energiansäästöön pyrittäessä lämmön talteenottojärjestelmät ovat usein osoittautuneet käytön kannalta liian vaikeiksi, jolloin odotettuja säästöjä ei ole saavutettukaan /25/. Varsinkin asuinrakennuksissa, missä käyttö ja huolto hoidetaan "maallikkovoimin" tulisi pyrkiä yksinkertaisiin järjestelmiin.

Varsinkin ilmalämmityksen toimivuus edellyttää, yksinkertaisempaa perinteistä tekniikkaa selvemmin, käytön ja huollon osaamista. Lämmönjako ilman avulla vaatii sekä perussäädön onnistumisen että ilmavirtojen tasapainon pysyvyyden.

Nykyiset käyttösuunnitelma- ja huoltosopimusmallit ovat usein joko liian ylimalkaisia tai maallikoille liian vaikeita. Tavallista on myös, että käyttö- ja huolto-ohjeet puuttuvat kiinteistöistä kokonaan. Näin on ollut jopa keorakentamiskohteissa, joissa tekniikka on keskimääräistä monimutkaisempaa. Esimerkiksi /12/ LTO-laitteen jäätymistä on pyritty estämään lämmitystä lisäämällä ts. täysin epätaloudellisin keinoin.

Järjestelmien oikea käyttö ja toimivuus edellyttävät asukkaiden riittävää perehdyttämistä ja motivoimista. Koerakentamiskohteista /12 ja 13/ saatujen kokemusten mukaan asukkaiden tietämys lämmön- ja ilmanjakojärjestelmien toiminnasta on vähäistä. Kirjallisia käyttöohjeita kyllä oli jaettu, mutta omatoiminen perehtyminen niihin on usein ylivoimaista. Lisäksi ko. ohjeilla on taipumus hävitä viimeistään asukkaiden vaihtumisen yhteydessä. Tyypillisiä asioita, joiden kautta asukas vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan ovat ikkunatuuletuksen käyttö ja poistoventtiilien puhdistus tai puhdistamattomuus tai säätöön kaajoaminen.

2.3 Palautetieto liikerakennuksista

Seuraavan kohdan 3.3 aineisto on esitetty raportissa /27/, jossa lähdeaineistona on käytetty Suomen Talokeskus Oy:n raportointipöytäkirjoja eri kiinteistöjen ilmanvaihtolaitoksista. Ilmastointilaitosten tarkkailu on kiinteistöissä paikan päällä suoritettaviin käynteihin perustuvaa kokonaistaloudellista käytön ja hoidon opastusta ja valvontaa.

Pöytäkirjoja on käyty läpi 330 kpl vuosilta 1977 - 1985. Pöytäkirjoissa esiintyvät virhetoiminnat on huomioitu ainoastaan silloin, kun ne on kirjattu ensimmäisen kerran. Virhetoiminnaksi on luokiteltu kaikki toiminnalliset häiriöt, muuttuneet toiminnalliset vaatimustasot ja energiataloudelliset epäkohdat.

Läpikäynnin kohteena on ollut liike- ja toimistokiinteistöjä, jotka rakenteellisesti ja toiminnallisesti edustavat hyvin käytössä olevaa koko rakennuskantaa. Nuorimmat kiinteistöt olivat olleet vähintään kaksi vuotta käytössä ennen ensimmäistä tarkastuskäyntiä.

Kerätyt virhetoimintatiedot jaettiin tarkastelun perusteella neljään pääluokkaan aiheuttajan mukaisesti:

- työn suunnittelusta ja toteutuksesta johtuvat
- kojeista ja laitteista johtuvat
- käytöstä ja hoidosta johtuvat
- säätimien ja kellojen asettelusta johtuvat.

2.3.1 Suunnittelusta ja toteutuksesta johtuvat virhetoiminnot

Tässä on otettu huomioon ne virhetoiminnot (taulukko 4), joiden on voitu katsoa pohjautuvan suunnitteluun, hankintaan ja asennustyön toteutukseen. Suunnittelun osuudeksi on myös otettu sellaiset tekijät, joita nykyisin pidetään virhetoimintana, mutta kiinteistön suunnittelu- ja toteutusajankohtana ne ovat olleet vallitsevan käytännön mukaisia. Tällaisia ovat mm. ilmanvaihtokojeiston raitis- ja kiertoilmapeltien sekä lämmityspatterin toimintajärjestys tai lämmitystehon säädössä käytetty vakiolämpötila tuloilman mukaan.

Taulukko 4. Suunnittelusta ja toteutuksesta johtuvat virhetoiminnot /27/.

Virhetoiminta	Vaikutus	Syy	Toimenpide
Li-kojeen kiertoilma-/lämmitys-portaiden säätöjärjestys väärä	energiankulutus	suunnittelu	uusi toimintajärjestys -raitis kiinni - kierto auki - lämmitys päälle
LTO-kiekkö pyörii väärinpäin	puhtaaksi puhallus sektorilla ei vaikutusta	asennus, vastaanotto	
liiallinen kiertoilman käyttö	ilman laatu huono	suunnittelussa - lähtötietojen vajavaisuus - tilojen käyttötarkoitus muuttunut	

Virhetoiminta	Vaikutus	Syy	Toimenpide
LTO:n ohituspelti ei ole tiivis	ulkoilma ohittaa LTO:n	asennus, valmiste	
tuloilmakojeen peltimoottorin kiinnitys on löystynyt	pelti ei liiku kunnolla, jäätymisvaara	kiinnityshylly on asennettu heikosti	tukevampi asennus
ilman virtausta suodattimen ohii	patterin ja muiden kanavan osien likaantuminen	asennus, valmiste	
suodatin puuttuu	patterin ja muiden osien likaantuminen	suunnittelu	
LTO-laitteilta puuttuu suodatus	LTO-laitteiden tukkeutuminen	suunnittelu	
suodattimelta puuttuu paine-eromittaus	suodattimen vaihtotarpeen määrittely vaikeaa	suunnittelu	
jäätymisvaaratermostaatti hälyttää	puhaltimet pysähtyvät, käynnistysvaikeuksia aamuisin	termostaatin kapilaari kylmässä tilassa	ks. myös kohta 3. käyttö ja hoito
Li-kojeen patterin pumppu pysähtyneenä	jäätymisvaara, lämmitystehon riittämättömyys	väärä lukituskytkentä	kytkennän kunnostus
vakiosisäänpuhallusohjaus	energiankulutus, säädön tarkkuus	suunnittelu (ei varsinaisen virhe)	muutetaan huone- tai poistokanavaohjaukseksi
tuloilmakojeen patteri jäätyy	käyttöhäiriöitä, vesivahinkoja	vanhat sähkömekaaniset säätölaitteet, patterilta puuttuu kiertovesipumppu, jäätymisvaara-anturi väärässä putkiyhteessä	pumpun lisääminen, automatiikan uusiminen
liian kylmä tuloilma	huonelämpötila alhainen	lämmityspatteri alamittainen, kiertovesipumppu pyörii väärään suuntaan	tehokkaampi patteri, pumpun suunnan vaihto
kojeet käsikäyttöisiä	energiankulutus	suunnittelu	kellokytkimet
tulopuhallin seis, poistopuhallin käy	patterin jäätymisvaara	puhaltimen pakkokytkeä puuttuu	
ilmamäärät epätasapainossa tai riittämättömät	painesuhteet, hajut ja käryt	ilmamääriä ei ole säädetty, palopeltejä kiinni	ks. kohta 3. käyttö ja hoito
kojeen puhallin pyörii väärään suuntaan	painesuhteet, heikko ilmanvaihto	asennus, väärä kytkentä	pyörimissuunnan vaihto
huoltoluukut pieniä ja/tai niitä ei ole oikeissa paikoissa	huollot, puhdistukset, tarkastukset jäävät tekemättä	suunnittelu, asennus, tilan puute	
palopellit laukoo	ilmamäärät	liian voimakas jousi	sopiva jousi/sulake
kojeet alaslasketuissa katoissa	huolto, puhdistus, tarkastus laiminlyödyään	suunnittelu, asennus	tarpeeksi suuret ja helposti käsiteltävät huoltoluukut, hyvät kulku-yhteydet
poistokammiossa ja -kanavissa vettä	korroosio, vesivahingot	suunnittelu, eristämättömät poistokanavat vaakatasossa katolla	kanavien eristys, veden poisto
eri tilojen kojeet käyvät kaikki samaan aikaan	energiankulutus	suunniteltu ja asennettu yksi yhteinen kellokytkin	useampi kanavainen kellokytkin
koje käy "epämääräisesti"	energiankulutus	saman kojeen käynnistinpainikkeita useissa eri tiloissa	ohjaus keskitetyksi
laitteiden väärä käyttö	käyttöhäiriöitä	laitemerkinnot puuttuvat, samoin opastus	merkinnot, laitoksenhoitajan opastus

Hankintavaiheen aikaisesta suunnittelusta ja sen perusteella tehdystä toteutuksesta jääneistä virhetoiminnoista on:

- suunnittelun tai muuttuneiden vaatimusten osuus n. 45 %.

Näistä merkittävimpiä ovat raitis- ja kiertoilmapeltien sekä lämmityspatterin energiataloudellisesti väärä toimintajärjestys ja suodatusosien laitepuutteet. Suodatusosien puutteista yleisimmät ovat suodattimen puuttuminen sekä suodattimen likaisuutta osoittavan paine-eromittarin puuttuminen. Vastaavasti on virhetoiminnoista:

- laitteiden ja asennustöiden osuus n. 55 %.

Näistä merkittävimpiä ovat raitisilmapeltien toimimootto-
reiden väärät asennustavat ja lämmitys- ja puhallinlaitteiden puutteelliset kytkennät sähkötöiden osalta. Varolaitteiden toiminta ei pysäytä kojeistoa, poistopuhallin ei ole pakkokytketty tulopuhaltimeen jne.

2.3.2 Kojesta ja laitteista johtuvat virhetoiminnot

Taulukossa 5 on otettu huomioon ne virhetoiminnot, jotka ovat puhtaasti laitteiden aiheuttamia, kuten teknillistä viasta tai muuttuneesta säädöstä johtuvia häiriöitä.

Taulukko 5. Kojeista ja laitteista johtuvat virhetoiminnat /27/.

Virhetoiminta	Vaikutus	Syy	Toimenpide
ulkoilmapelti ei avaudu/ sulkeudu	ilmamäärät, jäätymisvaara, energiankulutus	säätökeskus tai pelti- moottori epäkunnossa, pellit jäykistyneet	korjattava, pellit herkistettävä
Li-kojeen patterin moottori- venttiili ei sulkeudu tiiviisti	energiankulutus, ylilämpö	viallinen venttiili, väärin viritetty nivelosa	kunnostus tai uusinta
puhaltimen moottorin laakeri- vaurio	ääni, ilmamäärä	kuluminen, huollon puute	laakerin uusinta
puhallin ei toimi	ilmanvaihto ei toimi	moottori rikki, lämpösuoja rikki, sulakkeet palaneet	tarkastus ja korjaus
puhallin tärisee	ääni, laakerien kuluminen	puhallinpyörä epätasa- painossa	tasapainotus
puhaltimen hihnan toistuva katkeaminen	painesuhteet, kasvatavat huoltokus- tannukset, laakerivauriot	hihnapyörien virheellinen linjaus	linjaus
puhallinpyörä hankaa imukartioon	puhallinpyörän vaurioituminen	huollon puute	puhallinpyörän asennus ja lukitus akselille

Virhetoiminnat ovat laitevikoja ja kohdistuvat pääosin kojeiston puhallinosiin seuraavasti:

- puhaltimen sähkömoottorin käämi- ja laakeriviat
- sähkömoottorin jännitesyöttöön liittyvät häiriöt
- puhaltimen tasapainotukseen liittyvät viat.

Näiden osuus kojeista ja laitteista johtuvista virhetoiminnoista on ollut yhteensä 72 %.

Jäljelle jääneet virhetoiminnat ovat olleet raitisilmapel-
listöön tai lämmityspatterin tehonsäätöön kohdistuvia lai-
tevikoja.

2.3.3 Käytöstä ja hoidosta johtuvat virhetoiminnat

Taulukkoon 6 on koottu ne virhetoiminnat, joiden on katsot-
tu johtuvan tekemättömästä, puutteellisesta tai väärästä
työsuorituksesta. Laitteistot tai niiden kunto eivät ole
olleet vaikuttamassa työsuoritukseen.

Taulukko 6. Käytöstä ja hoidosta johtuvat virhetoiminnat /27/.

Virhetoiminta	Vaikutus	Syy	Toimenpide
ulkopeltien vipuvarsi irronnut	jäätymisvaara	hoidon puute	kunnostus
suodatintilan luukku pois paikaltaan tai epätiivisti paikallaan	patterin tukkeutuminen	huollon puute, tiedon puute, huolimattomuus	opastus, viallisen luukun korjaus
likainen suodatin	ilmamäärät, painesuhteet	hoidon puute	suodattimien vaihto, opastus, paine-eromittari
suodatin poistettu	patterin ja koneiston likaantuminen	tiedon puute, hoidon puute	opastus, suodattimen hankinta, paine-eromittari
suodatinosa epätiivis	patterin ja koneiston likaantuminen	tiedon puute, hoidon puute	opastus, tiivistäminen
suodatinkangas väärinpäin	suodattimen ennenaikainen tukkeutuminen	tiedon puute	opastus
kostutus ei toimi	kuiva sisäilma	suuttimet tukossa	puhdistus
lämpömittarien lukemat virheellisiä	vääriä johtopäätöksiä esim. sisäänpuh. lämpötilasta, hyötysuhteesta	mittarit kalibroimatta	opastus, kalibrointi
Li-kojeen patterin pumppu pysähtyneenä	jäätymisvaara	väärä lukituskytkentä, tiedon puute (kesä/talvi-kytkin)	kytkennän kunnostus, opastus
käyntiä osoittava merkkilamppu palanut	epätietoisuus koneen käynnistä	huollon puute	lamppujen uusiminen
hihnasuojuksen puuttuminen puhaltimelta	tapaturmavaara	huolimattomuus, välinpitämättömyys	opastus, hihnasuojan asennus
koneen kiilahihna löysällä tai poikki	painesuhteet, ilmamäärät	tarkastuksen puute	kiristys tai uusi hihna, määräaikainen tarkastus
puhallinosa, moottorit, venttiilit, kanavat likaiset ja rasvaiset	ilmamäärät, ylikuumentuminen, palovaara	hoidon puute	opastus, puhdistus
laitteiden väärä käyttö	käyttöhäiriöitä	laitemerkinnot puuttuvat, puutteellinen opastus	merkinnot, opastus paikan päällä
palopeltien puuttuvat sulakkeet korvattu rautalangalla	palovaara	huolimattomuus, välinpitämättömyys	opastus, sulakkeiden asennus
kiertoilmakoje ei lämmitä riittävästi	alhainen huonelämpötila (esim. halli)	pölystä tms. tukkeutunut patteri	patterin puhdistus, suodattimen asennus, jos mahdollista
ilmamäärät epätasapainossa tai riittämättömät	painesuhteet, hajut ja käryt	tukkeutunut suodatin, tukkeutunut patteri, moottori vaihdettu, mutta ei hihnapyörää, palopel-tejä kiinni	opastus, valvonta ja toimenpiteitä

Tyyppillisimpiä käytöstä ja hoidosta johtuvia puutteita ovat olleet:

- suodatusosan 45 %
 - likaisuus
 - epätiiviyys

- puhallinosien 40 %
 - kiilahihnojen kunto
 - hihnasuojusten kunto
 - merkkilamppujen kunto
 - kojeosien likaisuus

- lämmityspatterin tehonsäätöön
liittyvä väärä käyttö 6 %
 - pumpun kesä/talvi-kytkin
 - lämpömittareiden virhenäyttämät.

Loput ovat olleet lähinnä palvelualueen ilmanjakoon kohdistuvia ongelmia, kuten lauenneet palopellit, ilmamääräsuhteet jne.

2.3.4 Säätimien ja kellojen asetuksista johtuvat virhetoiminnat

Taulukkoon 7 luokitellut virhetoiminnat ovat osittain hyvin lähellä edellistä kohtaa, mutta tarkastelu on tehty ilmanvaihtokcjeiston palvelualueen tarpeiden kannalta.

Virhetoiminnat ovat olleet lähinnä vääriä käyttöaikoja ja säätimien asetuksia, ja ne ovat johtuneet sekä laitteiden puutteista että käyttövirheistä.

Taulukko 7. Säätimien ja kellojen asetuksista johtuvat virhetoiminnat /27/.

Virhetoiminta	Vaikutus	Syy	Toimenpide
Li-kojeen asetus liian korkea	energiankulutus	tiedon puute	opastus
Li-kojeen seisokkiaikainen paluuveden lämpötilasäätö on liian korkea	tarpeeton energiankulutus, käynnistysvaikeudet	tiedon puute	opastus
koneet käyvät jatkuvasti	energiankulutus	kellokytkimet puuttuvat, ovat rikki tai ohitettu käsikytkimellä	asennetaan kellokytkimet, ohjeet käsikytkimen käytöstä
puhaltimen 1/1-tehon tarpeeton käyttö	energiankulutus	tiedon puute	1/1-teho minimiin kellokytkimellä
jäähdytyspuhallin käy jatkuvasti	tarpeeton energiankulutus	väärä asetusarvo ohjaavalla termostaatilla	opastus
kojeiden käyntiajat eivät vastaa tilojen käyttöä	aamulla viileä, ilmanvaihto aamulla/illalla tehoton	kellokytkimet eivät ole vastaavissa ajoissa, tiedon puute	
jaksotaisessa käytössä lämpötilat liian korkeat öisin ja viikonloppuisin	energiankulutus	ohjaavan termostaatin asetusarvo, tiedon puute	opastus

Ilmanvaihtokojeistojen käyttöaikoihin kohdistuvat virhetoiminnat ovat jaettavissa seuraavasti:

- kojeistolla ei ole automaattiseen pysäytykseen ja käynnistykseen tarvittavaa laitteistoa
- kojeistolla on edellä mainittu laitteisto, mutta se ei ole jostakin syystä käytössä.

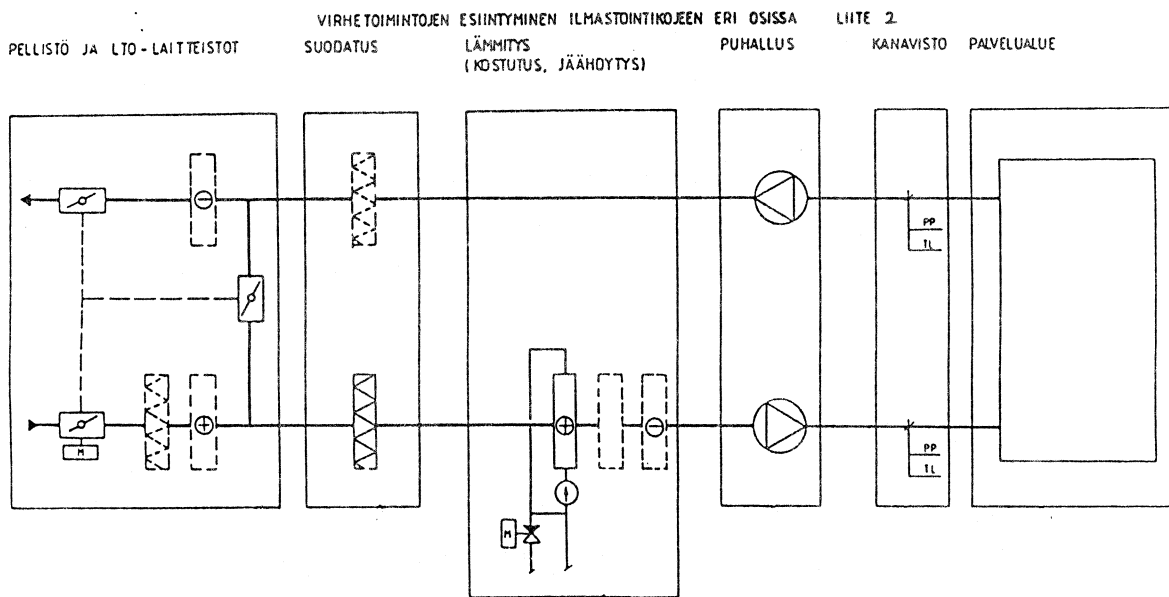
Näiden suoraan puhallinpiiriin luettavien käyttöaikavirheidensä osuus on ollut n. 40 %. Lisäksi on virhetoiminnaksi erikseen määritelty tilanne, jossa ilmastointikojeen käyntiaika ei vastaa palvelualueen tarvetta, vaikka tarvittava laitteisto on olemassa. Näiden tilanteiden osuus on n. 15 %.

Säätövirheisiin luetaan ilmanvaihtolaitteiden asetusarvojen ristiriitaisuus muiden lämmityslaitteiden asetusarvojen tai tarpeiden kanssa sekä seisonta-ajan käyttölämpötilat. Säätimien asetuksista johtuvien virhetoimintojen osuus on ollut yhteensä n. 45 % ja kohdistunut lähes yksinomaan lämmitystehon säätöön.

2.3.5 Yhteenveto liikerakennuksista

Kuvassa 5 on esitetty yhteenveto aiheuttajan mukaisesti luokiteltujen virhetoimintojen esiintymisestä ilmanvaihtokojeiston eri osissa. Kojeeisto on rakenteellisin ja toiminnallisoin perustein jaettu kuuteen eri ryhmään, joihin nähden virheitä on tarkasteltu. Ryhmät ovat:

1. Pellistö ja LTO-laitteistot
2. Suodatus
3. Lämmitys (+kostutus, jäähdytys)
4. Puhallus
5. Kanavisto
6. Palvelualue



Aiheuttaja	Pellistö %	Suodatus %	Lämmitys %	Puhallus %	Kanava %	Palv.alue %
I Suunn. ja toteutus	38	19	17	14	10	2
II Kojeeet ja laitteet	19	-	9	72	-	-
III Käyttö ja hoito	3	45	6	40	1	5
IV Säätimien ja kellojen asetukset	-	-	43	40	-	17

Kuva 5. Virhetoimintojen jakaantuminen aiheuttajaluokittain ilmanvaihtokojeiden eri osien kesken /27/.

Selvityksen /27/ perusteella olemassaolevien liike- ja toimistokiinteistöjen ilmanvaihtolaitteissa esiintyvät pysyväisluontoiset virhetoiminnat tai häiriöt ovat jakautuneet neljän aiheuttajaluokan kesken seuraavasti:

- suunnittelusta ja toteutuksesta johtuvat	25 %
- kojeista ja laitteista johtuvat	15 %
- käytöstä ja hoidosta johtuvat	40 %
- säätimien ja kellojen asetuksista johtuvat	20 %.

Selvityksen lähdetiedostosta johtuen ylläolevat luvut perustuvat tarkastuskäynnin yhteydessä havaittuihin, virhetoimintoihin tai puutteisiin, mutta ne eivät kerro kuinka paljon esim. vuotuisesti tulee käyttöhäiriötilanteita, jotka korjataan vian luonteesta johtuen välittömästi. Tällöin on kyseessä virhetoiminta, joka aiheuttaa toimintahäiriötä itse palvelualueella tai vaurioita kojeiston ympäristössä. Tällaisia virhetoiminnan aiheuttajia ovat mm. lähes kaikki säätölaitehäiriöt, ja tästä syystä niiden osuus tässä selvityksessä on hyvin pieni.

Itse selvityksen antamasta tuloksesta on todettavissa se, että puutteellisen käytön ja hoidon sekä näitä lähellä olevien säätimien ja kellojen asetuksien aiheuttamat virhetoiminnot ovat yhteensä 60 % kaikista virhetoiminnoista. Energiataloudelliselta kannalta näiden luokkien merkitys on vielä huomattavasti suurempi. Näiden virhetoimintojen pääasiallisena syynä voidaan pitää käyttöhenkilöstön tiedonpuutetta eli puutetta ymmärtää virheen olemassaolon vaikutus. Asia on muutettavissa ainoastaan pitkäjännitteisellä koulutuksella, opastuksella sekä työn valvonnalla.

Koulutus ja opastus käyttöhenkilöstölle olisi yksi mahdollinen keino suunnittelun ja toteutuksen aiheuttamien virhetoimintojen (yht. 25 %) pienentämiseksi.

Monissa tapauksissa laitteiston lopullinen käyttäjä (=tilaaja) ei osaa vaatia tai tarkastaa urakointivaiheen päätyttyä niitä toimintoja, jotka luovat perustan kokonaistaloudelliselle käytölle lopullisessa käyttötilanteessa. Tästä syystä ammattitaitoisen henkilöstön tulisi aina suorittaa vastaanottomenettelyt riittävän perusteellisesti.

Selvityksen mukaan kojeisto- ja laitevikojen korjaamisista yleisesti ottaen huolehditaan hyvin. Vikojen korjaamatta jättämiset johtuvat usein tietämättömyydestä tai vian pitämisestä vähäpätöisenä.

Selvityksen yhteydessä kerättyjen virhetoimintojen asettaminen tärkeysjärjestykseen on vaikeaa, mutta yhtenä lähestymistapana voitaisiin ryhmittäin pitää sitä, kuinka paljon jostakin sen virheestä on jatkovaikutuksia laitteiston toiminnalle, ympäristölle tai palvelualueelle. Tämän perusteella järjestys voisi olla ilmastointikojeen eri osien kesken seuraava:

1. Lämmityslaitteet
2. Puhaltimet
3. Pellistöt ja lämmöntalteenottolaitteet
4. Kanavisto
5. Suodatinlaitteet.

Perusteena on se, että

- lämmityskaudella häiriöt lämmityslaitteissa keskeyttävät lähes aina koko kojeiston käytön ja saattavat aiheuttaa vakavia vaurioita ympäristölle
- puhaltimien toiminnan keskeytykset tai vajaatoiminnat saattavat aiheuttaa palvelualueella käyttö- ja toimintahäiriöitä sekä välillisesti muita vaurioita

- muiden ilmastointikoneen osien osuus korostuu vastasitten, mikäli niiden häiriötilanteessa eivät lämmitys- ja puhallinlaitteiden varotoiminnot toimi.

2.4 Palautetieto julkisista rakennuksista

2.4.1 Virastotalot

Kohdan 2.4.1 aineisto on esitetty pääosin raportissa /15/, jossa tavoitteena oli selvittää poistoilmaikkunoin varustetun virastotalon ilmalämmitysjärjestelmän energiankulutus, toimivuus sekä sisäilmastotekijät.

Lisäksi on palauteaineistoa virastokäyttöön peruskorjattusta rakennuksesta sekä käytäväsisäänpuhalluksella varustetusta virastotalosta.

2.4.1.1 Sisäilmasto

Tyypillinen valitusten aihe virastotaloissa on vetoisuus. Ilman virtaus on kriittisin termistä sisäilmastoa heikentävä tekijä. Esimerkiksi ilmalämmitteisessä virastotalossa /15/ vetoisuusriski oli suurin kulmahuoneissa, joissa sisäänpuhallusilmavirta on jouduttu mitoittamaan suureksi lämmöntarpeen mukaisesti. Mitatut ilman nopeudet eivät ole suuria sovellettuihin suunnitteluohjeisiin verrattuna, mutta viimeaikaisten tutkimusten ja käyttäjäpalautteen mukaan ihmiset ovat herkempiä vedolle kuin aikaisemmin on oletettu.

Virastokäyttöön peruskorjatussa rakennuksessa /14/ täysin koneellista ilmanvaihtojärjestelmää ei toimistotilojen osalta käytetty mm. vedon takia. Syynä vetoon olivat lähinnä ulkoseinien ja ikkunoiden matalat pintalämpötilat, joita lisäeristyksellä saatiin nostettua hyväksyttävälle tasolle. Lisäksi vetoisuutta aiheuttivat suuret ilmanvaihtomäärät tilojen käyttötarkoituksen muutoksien (esim. neuvotteluhuoneet toimistotiloiksi) ja ilmavirtojen mitoituksen (tupakointi-kriteeri) seurauksena.

Äänihaittoja esiintyy lähinnä tuloilmapuolella. Toimistohuoneiden korkeana pidettävä ylin ohjearvo 40 dB(A) ylitettiin esimerkkikohteen /15/ pistokokeessa 30 %:ssa huoneista.

Käytäväsissäänpuhalluskohteessa /21/ ilmanvaihtojärjestelmä toimii suunnitellulla tavalla vain pidettäessä toimistohuoneiden ovet suljettuina. Tällöin tuloilma siirtyy käytäviltä huonetiloihin siirtoilmaelimien kautta ja poistuu huoneissa sijaitsevien poistoventtiilien kautta. Sen sijaan huoneiden ovien ollessa avoinna (tavallinen käyttötilanne) sekoittuu huoneiden ja käytävän ilma voimaakkaasti. Tällöin ilman sisäänpuhallus muutamaan kohtaan käytävälle ei ole riittävä. Sisäänpuhalluskohdista kauempana sijaitseviin huoneisiin kulkeutuu epäpuhtauksia (esim. tupakan savu) sisäänpuhalluskohtia lähempänä olevista huoneista.

2.4.1.2 Ilmalämmitysjärjestelmän tekninen toimivuus

Tyypillinen tilanne on, että rakennus ainakin osittain ja tietyillä säätyypeillä on ylipaineinen ulkoilmaan nähden. Täysin koneellisen ilmanvaihdon (sekä tulo että poisto) rakennukset ovat tässä suhteessa kriittisimpiä.

Esimerkiksi koerakentamiskohteessa /15/ suunnitelman mukaan rakennusten kokonaistulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtäsuuret. Ilmavirtojen tarkastusmittauksissa havaittiin,

että toinen talo oli selvästi ylipaineinen ulkoilmaan verrattuna. Tuloilmavirtoja pienennettiin siten, että poistoilmavirta oli 15 % tuloilmavirtaa suurempi.

Ulkoilmavirrat säädettiin alunperin siten, että minimiulkoilmavirran osuus tuloilmassa on 40 %. Ilmalämmityksen suuren tuloilmavirran takia tämä johti kuitenkin kohtuuttoman suureen ulkoilmanvaihtoon. Kiertoilmaosuuksia on sen jälkeen lisätty arvoihin 85 % ja 75 %. Ulkoilma- ja kiertoilmavirtojen hallinta osoittautui käytetyillä säätöpelleillä hankalaksi, koska ulkoilmavirtoja ei voitu säätää riittävän pieniksi. Tämä lisäsi tarpeettomasti energian kulutusta.

Korkeimmat tuloilman lämpötilat olivat noin 35 °C. Vyöhykekohtaiset erot olivat suuria. Yhtenä syynä korkeahkoihin tuloilman lämpötiloihin oli se, että tuloilmavirtoja jouduttiin pienentämään joistakin linjoista rakennuksen alipaineisuuden saavuttamiseksi. Tuloilman jäähtyminen kanavistossa ennen ilman sisäänpuhallusta aiheuttaa myös lisäystä ulkovyöhykkeiden jälkilämmityksen tarpeeseen. Tuloilman alkuperäisestä lämmitystehosta tulee sisäänpuhallusventtiilin kautta huoneeseen esimerkiksi vain 65 %. Lopputeosta jää osittain keskivyöhykkeelle ja osittain se tulee ontelolaatasta kyseiseen huoneeseen; tosin muutaman tunnin viiveellä.

Lämmitysjärjestelmän suunnitteluvaiheessa varauduttiin laskemaan lämpötila yöllä ja viikonloppuisin +18 °C:seen. Käytännössä on kuitenkin jouduttu tyytymään pienempään lämpötilan laskuun. Epäjatkuvan lämmityksen käyttöönottoa ovat haitanneet ontelolaattojen viiveen lisäksi seuraavat tekijät:

1. Tilojen jako eri kojeiden kesken ei täysin vastaa tilojen käyttörytmiä.
2. Lämmitys- ja ilmanvaihtoautomaatiikka mahdollistaa kyllä lämpötilan alentamisen, mutta palautuslämmitystä varten tarvittaisiin ohjausjärjestelmään seuraavat lisäykset:

- palautuslämmityksen lisätehontarve tulee voida lainata ilmanvaihdon lämmitystehosta, ts. palautuslämmitysaikana käytetään 100-prosenttisesti kiertoilmaa,
- maanantain palautuslämmitysaika tulee voida asettaa 50 - 100 % pidemmäksi kuin muina arkipäivinä,
- ohjausjärjestelmissä tulee olla ulkotermostaatti, joka estää epäjatkuvan lämmityksen, kun ulkolämpötila on alempi kuin $-10...-15^{\circ}\text{C}$.

2.4.2 Sairaala

Kohdan 2.4.2 aineisto on esitetty raportissa /28/, jossa käsitellään säätö- ja valvontalaitteiden sekä valvontajärjestelmän osuutta ilmastoinnin virhetoimintoihin Oulun yliopistollisessa keskussairaalassa (OYKS).

Ilmastointijärjestelmän laajuutta kuvaavat seuraavat tekniset tunnusluvut:

- | | |
|---------------------|---------------------------------|
| - tuloilmakojeita | n. 190 kpl |
| - poistokojeita | n. 570 kpl |
| - maksimi ilmavirta | n. 2 000 000 m ³ /h. |

Ilmastoinnissa on toteutettu rakennuksittain vyöhykejako. On pyritty ryhmittämään kojeitten vaikutusalueet tilojen toiminta-alueitten mukaan. Kun huonetilojen peruslämmitys hoidetaan patteriverkostolla, on mahdollista jaksottaa ilmastoinnin käyttöä noudattamaan tilojen toiminta-aikoja. Alueet ovat kuitenkin suuria eivätkä vastaa kauttaaltaan toisiaan ja näin varsinkin normaalitoiminta-aikojen ulkopuolella joudutaan suurenkin alueen ilmastointia pitämään käynnissä yksittäisen tilan ollessa toiminnassa.

Oikeitten painesuhteitten sekä luvattomien siirto- ja vuotoilmavirtausten hallinta on sairaalassa vaikeaa. Tämä johtune mm. laajoista yhtenäisistä tiloista, rakenteitten epätiiviydestä, ilmanvaihdon jaksottamisesta, ikkunatuuletuksesta, sisäisen liikenteen vaatimuksista jne.

OYKS:n patteriverkostojen ja ilmastoinnin säätöjärjestelmät on toteutettu lähes poikkeuksetta pneumaattisin säätölaittein. Säätölaitteiden käyttöönotto on tapahtunut useassa vaiheessa sairaalan rakennusosien valmistumisen mukaisesti vuosina 1971 - 1975.

Valvontajärjestelmä on hankittu OYKS:aan 1970-luvun alussa. Vaikka järjestelmä on vanha, sen ohjelmistovalikoima kiinteistön automatisointiin on suhteellisen monipuolinen. Ohjelmistoon sisältyy mm. seuraavat ohjelmat.

- aikaohjelmat
- ristiriitahälytysohjelmat
- raja-arvotarkkailuohjelmat
- laskuriarvon keräysohjelmat
- optimointiohjelmat
- huipputehonrajoitusohjelmat
- jälleenkäynnistysohjelmat.

Nykyisten markkinoilla olevien valvontajärjestelmien käyttö on sujuvaa ja selväkielistä verrattuna OYKS:n valvontajärjestelmään.

2.4.2.1 Ilmastoinnin virhetoimintoja

Lämmitysjärjestelmien vyöhykejako

Keskussairaalan huonetilojen lämmöntarpeesta katetaan kaksi kolmasosaa ilmastoinnin ja yksi kolmasosa radiaattoriverkostojen avulla. Molemmat järjestelmät on suunniteltu vaikutusvyöhykkeeltään laajoiksi. Yksi ilmastointivyöhyke voi ulottua alueelle, jolla sijaitsee useita luonteeltaan sekä lämpötilavaatimuksiltaan erilaisia tiloja. Myös radiaattoriverkostot ulottuvat usean sairaalaosaston alueelle. Sekä ilmastointi- että radiaattoriverkostoja ohjataan omilla itsenäisillä säätölaitteillaan. Laajat vyöhykejaot sekä lämmitysjärjestelmien koordinoimattomuus aiheuttavat yksittäisissä

huonetiloissa normaalista poikkeavia olosuhteita, joko liian kylmää tai lämmintä. Tilannetta on yritetty parantaa mm. radiaattoriverkoston perussäädöin sekä patteritermostaattien asentamisella. Ilmastoinnin osuus lämmöntarpeen täyttäjänä on kuitenkin niin suuri, ettei radiaattoriverkostoon kohdistuvilla toimenpiteillä kyseistä epäkohtaa voi kokonaan poistaa. Tilannetta pahentaa mm. sairaalarakennuksen muoto sekä rakennustekniset tekijät, kuten suuri ikkunapinta-ala, joiden vuoksi rakennus on tavallista alttiimpi sään vaikutuksille.

Ilmastoinnin rakenteissa ja toiminnassa havaittuja virheitä

Ilmastoinnin säätölaitteiden asennuksessa ja suunnittelussa on havaittu virheitä, jotka ovat vaikuttaneet huonetilojen termisiin olosuhteisiin. Asennuksiin on myöhemmin tehty muutoksia, joilla on pyritty normalisoimaan tilanne.

Säädöt ristissä

Kahden tuloilman jälkikäsitteily-yksikön säätökeskusten lämpötila-anturit on kytketty ristiin siten, että anturi ohjaa säätökeskuksen kautta väärää jälkikäsitteily-yksikköä. Asennusvirheellä ei ole suurta vaikutusta huonetilojen lämpötiloihin, kun ne ovat samat molempien jälkikäsitteily-yksiköiden vaikutusalueella. Asennusvirheen takia huonetilojen normaalista poikkeavat lämpötilat ovat kuitenkin korostuneet säädön ristikkäisyyden vuoksi.

Vastaavanlaisia säätölaitteiden virheasennuksia on havaittu 10 - 20 kpl sairaalan toiminnan aikana. Vaikka määrä ei ole suuri säätökeskuksen koko lukumäärään nähden (1 500 kpl), tulee käyttöönottovaiheen tarkastuksilta edellyttää parempaa lopputulosta.

Väärä huonelämpötila-anturi

Suuri osa sairaalan ilmastoinnin lämpötilasäädöstä on toteutettu käyttäen huonelämpötilan säädössä anturia, jonka toiminta-alue on $-20 - +40$ °C. Anturi on epäherkkä normaalin huonelämpötilan alueella ja tästä aiheutuu suurehkoja muutoksia huonelämpötiloihin. Huoltomiehen mukaan kyseistä anturityyppiä käytettiin, koska laitetoimittajalla ei ollut tuolloin sopivampaa anturityyppiä tarjolla. Anturi on muutamissa kohteissa myöhemmin vaihdettu.

Toimimaton kompensointi

Kaksikanavakojeiden kuumen kanavan lämpötilan säätö on toteutettu käyttäen säädön kompensointiin jälkilämmityspatterin yli mitattavaa paine-eroa. Tavoitteena on ollut estää lämmitys kesäisin, jolloin kuumassa kanavassa ilman virtaus voi olla pieni. Käytännössä riittävää paine-eroa jälkilämmityspatterin yli ei ole syntynyt ja säätö ei ole toiminut. Säädön kompensoivaksi anturiksi on myöhemmin muutettu ulkolämpötila-anturi.

Ilman sekoitus

Osa tuloilmakojeista on ns. yksikanavakojeita. Ilma lähtee kojeelta kolmena kanavana. Kojeen jälkeen kaikkien kanavien ilman lämpötilan pitäisi olla sama. Käytännössä vain yhden kanavan lämpötila tottelee säätöä, muissa kanavissa on eri lämpötila. Ilmiö johtuu sekoituskammion pienuudesta.

Ilman sekoitusongelmat tulevat ilmi myös kostutuksen yhteydessä. Samassa tuloilmakojeessa käytetään ns. ohikostutusta. Kostutuksen ohittava ilma ohittaa myös lämmityksen. Sekoituksen heikkoudesta johtuen kostuttamaton ja lämmittämätön ilma pääsee suoraan yhteen kolmesta kanavasta ja kostutettu sekä lämmitetty ilma kahteen muuhun. Edellä olevat sekoitusongelmat on havaittu useissa tuloilmakojeissa.

Yhteinen lämpötila-anturi

Monet sairaalan tuloilmakojepareista on varustettu lämmityksen säädön osalta yhdellä lämpötila-anturilla. Usein kojeet eivät kuitenkaan toimi täysin samalla tavalla, vaan toisen kojeen kautta menee suurempi ilmamäärä kuin toisen. Tämän seurauksena toinen koje puhaltaa lämpimämpää ilmaa. Kesäisin toisen kojeen ilmaa lämmitetään tarpeettomasti. Talvi- sin lämpimän kanavan lämpötila on nostettava tarpeettoman korkealle kylmemmän kanavan takia. Nykyisin kaikkien tuloilmakojeparien lämpötilan säätö on muutettu kojekohtaiseksi alkuperäisen varustuksen huonojen kokemusten takia.

Muita havaittuja virhetoimintoja

Ilmastoinnin kostutuksen käytössä on ongelmia. Potilas- huoneiden ikkunat huurtuvat ja jäätyvät helposti. Ikkunoiden eristys- ja tiiviystaso ei riitä kostutuksen käyttöön.

Vetoisuus on yleisin valitusten aihe. Vetoa aiheuttavat ilmastoinnin suuret ilmamäärät, puutteet ilman jakelutavassa ja suuntauksessa sekä ilman alilämpöisyys. Vedon toinen aiheuttaja on vuotavat ja heikosti eristetyt rakenteet kuten ovet ja ikkunat.

Painesuhteiden vaihtelu ja ilman liikesuuntien muutokset ovat normaalitoiminnassakin suurehkoja. Niitä aiheuttavat mm. ikkunatuuletus, liikennöinnin vuoksi avoinna olevat ovet sekä rakennevuodot. Ilmastoinnin seisontajaksojen aikana aiheutuu auloihin ja käytäviin voimakasta vetoa ulko-ovista. Syynä ovat termiset voimat, puutteet ovirakenteissa ja sulkumekanismissa sekä epätiivit ilmanvaihtokanavat.

2.4.2.2 Säätlaitteiden vaikutus ilmastoinnin virhetoimintoihin

OYKS:n selvityksessä pyrittiin kartoittamaan, miten usein säätlaitteissa esiintyvät viat ovat syynä ilmastointilaitteiden virhetoimintoihin. Tavoitteena ei ollut analysoida säätlaitteiden aiheuttamia virheikäyttyymisen muotoja ilmastointilaitteissa, vaan arvioida, kuinka usein virhetoimintaa esiintyy säätlaitteiden vikaantumisen vuoksi. Säätlaitteiden viat havaitaan usein myös sisäolosuhteiden muutoksina, pieninä tai suurina tapauksesta riippuen. Energiataloudellisesti säätlaitteiden toimintakunnolla on myös merkitystä. Virhetoiminta, jota ei ehkä havaita sisäolosuhteiden muutoksena, voi energiataloudellisesti olla merkittävä turhan kulutuksen aiheuttaja.

Säätlaitteiden käyttövarmuustarkastelu koski sekä ilmastoinnin että patteriverkostojen säätlaitteita. Patteriverkostojen osuus koko säätlaittekannasta on kuitenkin pieni.

Säätlaitteiden käyttövarmuuden arvioimiseksi tutkittiin vuosien 1978 - 1985 välisenä aikana vaihdettujen varaosien määrä. Mainituilta vuosilta oli käytettävissä luettelot koko sairaalan alueella suoritetuista säätlaitteiden varaosahankinnoista.

Lähes puolet kaikista havaituista vioista ilmeni säätökeskuksissa. Tyypillisimpiä olivat kalvoviat. Toiseksi eniten vikaantuvia laitteita olivat magneettiventtiilit, joissa pitopintojen kovettuminen, vuodot tai ohjauskäämin palaminen olivat syynä vaihtoon. Suurin osa muidenkin laitteiden vioista aiheutui erilaisten tiivisteiden, suojakumien ja muoviosien haurastumisesta. Vika tarkoittaa tässä selaista toiminnallista häiriötä, jonka korjaus edellyttää laitteen jonkin osan tai koko laitteen vaihtamista uuteen.

Jotta säätölaitteiden vikataajuus voitaisiin laskea ja verrata niitä muualta saatuihin tuloksiin, on tiedettävä kunkin laitteen kokonaismäärä. Säätölaitteiden suuren määrän takia päädyttiin ratkaisuun, jossa laskettiin piirustuksista kirurgian klinikan säätölaitteet laitekohtaisesti ja kerrottiin lukumäärä sairaalan osien kerrosalojen suhteessa.

Kun verrataan OYKS:n säätölaitteiden vikataajuuksia eri lähteistä / 7, 37/ poimittuihin vikataajuuksiin, voidaan todeta, että ne ovat joko yhtäsuuria tai pienempiä.

Voidaan myös laskelmien pohjalta todeta, että OYKS:n säätöjärjestelmien vikataajuudet ovat yhtä suuria tai pienempiä kuin muualta saadut vertailutiedot.

2.4.2.3 Valvontajärjestelmän vaikutus ilmastoinnin virhe-toimintoihin

Valvontajärjestelmä on kytketty ilmastointilaitteisiin säätölaitteiden kautta. Järjestelmän käyttäjä voi muuttaa säätölaitteiden asetusarvoja tarpeen mukaan esimerkiksi tuulisella tai erityisen kylmällä säällä. Valvontajärjestelmä liittyy ilmastointilaitteiden toimintaan myös suoraan, sillä se ohjaa ilmastointikoneiden aikaohjauksia sekä seuraa ilmastointilaitteiden toimintaa analogiamittauksin ja käyttötilaindikoinnin avulla. Valvontajärjestelmän vikaantumisen näky ilmastointilaitteissa lähinnä aikaohjausten puutteena. Muilta osin ilmastointilaitteiden toiminta jatkuu normaalisti. Valvontajärjestelmän käyttövarmuudella on siten merkitystä huoneilman laatutekijöihin sekä ilmastointijärjestelmän energiatalouteen.

Valvontajärjestelmän käyttövarmuutta on pyritty arvioimaan tutkimalla vikapäiväkirjoista eri vuosina laitteissa esiintyneet viat ja korjausajat. Tietokonelaitteiston viat ovat lähes kaikki sellaisia, jotka ovat aiheuttaneet vakavia toiminnallisia häiriöitä tai järjestelmän pysähtymisen kokonaan.

Muiden järjestelmän osien viat ovat yleensä olleet lievempiä, joissa vain osa laitteista tai toiminnoista on joutunut epä-kuntoon. Tällainen vikakäyttäytyminen on tyypillistä kes-kitetylle valvontajärjestelmälle.

Vaikka OYKS:n valvontajärjestelmän käyttövarmuus on ollut tähän asti suhteellisen hyvä, se jää kuitenkin huonommaksi kuin vikadiagnostiikalla varustetun uuden järjestelmän käyt-tövarmuus. Nykyistä järjestelmää edelleen käytettäessä kas-vaa koko ajan todennäköisyys, että korjausajat pitenevät vaikeutuvien varaosatoimitusten myötä. Lisäksi kasvaa ris-ki jonkin suuremman tietokonevaurion aiheuttamasta pitkä-aikaisesta seisokista vaihtokelpoisten osien puuttuessa.

Säätölaitteiden ja valvontajärjestelmän osuus ilmastoinnin virhetoimintoihin ja häiriöalttiuteen tulee esiin OYKS:ssa suunnittelu- ja asennusvirheiden, epätarkoituksenmukaisten säätölaittevalintojen sekä laitteiden normaalin vikataajuuden ja vanhenemisilmiöiden myötä. Suunnitelmallisen huol-lon osuus on merkittävä pyrittäessä minimoimaan normaalin vikaantumisen aikaansaamia virhetoimintoja ilmanvaihtolait-teissa. Säätölaitteiden puutteellisen toiminnan välillinen vaikutus energiankulutukseen voi olla merkittävä, jos virhei-tä ei havaita.

2.4.3 Helsingin kaupungin kiinteistöjä

Kohdan 2.4.3 aineisto on esitetty raportissa /18/, jossa käsitellään Helsingin kaupungin kiinteistöissä tehtyjä energiansäästötoimenpiteitä. Tutkimuksessa oli mukana mm. päiväkotia, koulu, uimahalli, hotelli ja toimistora-kennuksia.

Laiteteknisten toimenpiteiden kannattavuusjärjestys vanhois-sa rakennuksissa on tutkimuksen aineiston mukaan seuraava:

- ilmavirtojen säätö ja pienennys, jos mahdollista
- lämmityksen ja ilmanvaihdon jaksoittainen käyttö
- lämmityslaitoksen tasapainotus
- ilmaislämpöjen hyödyntäminen.

Lämmöntalteenottolaitteiden rakentaminen erillisenä toimenpiteenä jaksoittain käytettyyn vanhaan rakennukseen kannattaa harvemmin. Sen sijaan jatkuvasti toimivat suurehkot ilmanvaihtokojeet kannattaa varustaa LTO-laittein, jos tulo- ja poistoilmalaitteiden keskinäinen sijainti sekä tilat luovat sille edellytykset. Lämmöntalteenottolaitteiden lämmönsiirtimien suoritusarvot olivat useimmiten valmistajien ilmoituksen mukaisia. Sen sijaan oheislaitteet kuten jäätyminenestoon käytetty vuotava ohituspeltili ja huollon laiminlyönti ovat heikentäneet hyötysuhdetta.

Rakennusteknisistä energiansäästötoimenpiteistä tärkein on tiivistys. Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustetut rakennukset tulee tehdä mahdollisimman tiiviiksi ja huolehtia jaksoittain toimivissa rakennuksissa ns. huuhtelujaksosta. Koneellisen poiston ja painovoimaisen ilmanvaihdon tapauksessa tulee säilyttää ilmanvaihdon tarvetta vastaavat ulkoilman sisäänvirtausreitit vaipassa. Tutkimuksen kokeellisessa osassa todettiin, että vetoiseksi aistittujen rakennusten tiivistämistarve on yleensä paikallista, joten verraten vähäisellä tiivistämisellä pystytään vetoisuusvalitukset poistamaan.

Parempaan käyttö- ja ylläpitosuoritukseen pyrittäessä tulee käyttöhenkilökuntaa kouluttaa aktiivisesti. Myös LVIS-tekni- ninen suunnittelu tulee saada käyttäjäystävällisemmäksi ot- taen erityisesti huomioon:

- järjestelmän selkeys
- järjestelmien säädettävyyden parantaminen
- laitteiden valinta (käytettävyys, luotettavuus, yllä- pidettävyys)
- tarkoituksenmukaiset valvonta- ja ohjausjärjestelmät
- käytön ja ylläpidon informaatiojärjestelmän kehittäminen.

2.4.3.1 Lämmön talteenottolaitteiden käyttö

Lämmön talteenottolaitteiden rakentamisesta saatujen kokemusten mukaan on ensiarvoisen tärkeä seurata laitteiden teknistä toimintaa (= lämmitysenergian säästöä ja käyttö sähköenergian kulutusta) sekä toisaalta kannattavuuslaskelmien toteutumista. Palautetiedon saanti energiansäästötoimenpiteiden suunnittelijoille edellyttää organisoitua toimintaa.

Energiansäästötoimenpiteistä saatu palaute tulisi ottaa huomioon paitsi uusien energiansäästötoimenpiteiden suunnittelussa myös uudisrakennusten suunnittelussa ja suunnitteluvaihtimusten asettamisessa.

Seuraavassa esitetään Helsingin kaupungin rakennusviraston kokemuksia LTO-laitoksen toiminnasta sekä käytöstä ja huollosta.

LTO-laitoksien vastaanottomittauksien perusteella voidaan sanoa, että saavutetut hyötysuhteet vastaavat melko hyvin suunniteltuja. Erot ovat yleensä johtuneet ilmamääristä, ohituspeltien vuodoista sekä häiriöistä huurtumisenestoautomaatikassa. Kiertonestejärjestelmässä laminaarivirtaus saattaa olla suurin syy hyötysuhdevajeeseen.

Lähes kaikissa Helsingin kaupungin kiinteistöjen LTO-laitoksissa seurataan hyötysuhdetta viikoittain. Seurannan mukaan hyötysuhteet vaihtelevat satunnaisesti johtuen suodattimien likaantumisesta, poistoilman lämpötilan vaihteluista sekä lämpötilojen mittaustavan epätarkkuuksista. Mittarit antavat vain pistemäisen lämpötilan, joka voi epätasaisesta ilmavirtauksesta johtuen poiketa suurestikin keskimääräisestä lämpötilasta. Myös käytettyjen mittarien mitta- ja lukemataarkkuus vaikuttavat asiaan. Ristivirta(levy)-lämmönsiirtimessä yksittäinen lämpötilamittaus voi antaa merkittävän systemaattisen virheen hyötysuhteen laskentaan.

Seurantatietojen perusteella voidaan vetää myös johtopäätös, että käyttöhenkilökunta ei useinkaan ole motivoitunutta eikä ymmärrä seurannan tarkoitusta eikä laitoksen toimintaa; mittareita luetaan, vaikka laitos ei ole käytössä, tai lämpötilalukemista ei ole laskettu höytysuhdetta. Vasta kun toiminta-arvot ovat erityisen poikkeavia, aletaan epäillä häiriötä.

Mikäli käyttöhenkilökuntaa ei saada motivoitua, ei viikoittaisella seurannalla ole merkitystä. Toiminta-arvojen kirjaaminen pelkästään siitä syystä, että näin on annettu ohjeet; ei vastanne tarkoitusta. Olisikin perustellumpaa ryhtyä asiantuntijoiden tekemiin esim. vuosittaisiin tarkistusmittauksiin. Viive on kummassakin tapauksessa sama, mutta jälkimmäisellä tavalla (vuositarkistuksella) saadaan luotettavampi tulos.

Jos käytössä on keskitetty valvontajärjestelmä, tulee lämpöntalteenoton höytysuhteen laskenta ja hälytysrajat liittää siihen. Nykyisellään ei valvontajärjestelmiä useinkaan ole varustettu höytysuhteen laskentaohjelmalla, jolloin mitausten hyötykäyttö on huonoa.

Kiinteistöissä tehdyn LTO-laitoksia koskeneen kyselyn eräs tulos oli, ettei laitteita, niiden toimintaa ja häiriöiden vaikutuksia tunneta. Vain niissä kiinteistöissä, joissa on vakituinen käyttöhenkilökunta (sairaalat, suuret koulut, yms.) asiat tunnuttiin tiedettävän. Lähes kaikki ilmoittivat koulutustarpeen suureksi. Urakoitsijan antama opastus ei ehkä ole riittävästi suunnattu "ammattitaidottomille", joten myös tiedon omaksuminen voi olla heikkoa.

Tästä voitaisiin vetää johtopäätös, että varsinkin niissä kiinteistöissä, joissa ammattitaitoinen henkilökunta puuttuu, tulisi laitoksista tehdä mahdollisimman yksinkertaisia siten, että monimutkaiset säädöt ja toiminnot puuttuvat,

ts. virhetoiminnan ja -käytön mahdollisuudet tulisi eliminoida jo laitoksen suunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi jos levylämmönsiirtimen yhteydessä luovutaan ohitusautomaatiikan käytöstä, on järjestelmä pelkkä liikkumattomista osista muodostunut siirrin, jonka huolloksi jää vain puhdistus.

Kyselyn mukaan suodattimet vaihdetaan 1 - 8 kertaa vuodessa. Vaihto suoritettiin yleensä suodattimen paine-eron perusteella, joissakin tapauksissa määräajoin. Noin puolessa tapauksista siirrin puhdistettiin imuroimalla tai harjaamalla. Puhdistus suoritettiin yleensä suodattimien vaihdon yhteydessä ja levylämmönsiirtimissä paine-eron mukaan. Myös näköhavainto tai ns. vuosipuhdistus ilmoitettiin puhdistuksen syyksi.

Poistoilmasuodattimet on käytännössä havaittu tarpeellisiksi. Eräessä lastenpäiväkodissa todettiin, että kun poistoilmasuodattimia ei ollut, levylämmönsiirrin tukkeutui 2 vuodessa siinä määrin, että jäätymisenestoautomaatiikka (ohitussäätö) alkoi toimia. Pahasti tukkeutuneen siirtimen puhdistus on työlästä, koska siirrin joudutaan irrottamaan kanavistosta, mikä yleensä on varsin hankalaa.

Kyselyyn vastanneista (38 kpl) 5 ilmoitti havainneensa vetä tai jäätä siirtimien pinnoilla. Näistä 3 oli sairaaloita, 1 uimahalli ja 1 lastenpäiväkoti. Päiväkodin LTO-laite on regeneratiivinen "kiekko", muut olivat kiertonestejärjestelmiä.

Laitekohtaisesti on havaittu mm. seuraavia ongelmia:

Kiertonestejärjestelmät:

- kiertoneste vuotaa verkostosta; vesi-alkoholi tai -glykoliseokset vuotavat hyvinkin peinistä rei'istä

- verkostoa täytetään väärillä seoksilla, joko vain vedellä tai jäätyminenestoaineella
- vuodoista johtuen ilmaa kerääntyy verkostoon ja kiertoneste ei kierrä hyvin tai ei kierrä ollenkaan
- kiertonestevirtaama on liian pieni; mitoitus on tehty veden arvoilla ja siten pumppu on valittu väärin
- huurtumisenestoautomaatiikka on toiminut liian korkeilla ulkolämpötiloilla
- eri aikaan käyvistä poistopuhaltimista johtuen kiertonestevirtaamissa on tapahtunut sekoittumishäviöitä (lämmennyt kiertoneste sekoittunut lämpenemättömään).

Pyörivät regeneratiiviset LTO-laitteet:

Häiriöt ovat yleensä liittyneet säätöjärjestelmään. On todettu mm. että:

- kierroslukusäätö ei toimi
- pyörimishihna on löystynyt
- moottorin vaihteisto on rikkoutunut.

Yleensä säätö on saatu toimimaan takuuajan aikana kovan työn tuloksena. On kuitenkin tapauksia, jossa takuuajan jälkeen on jouduttu säätöä uusimaan sekä vaihtamaan moottori ja vaihteisto. Yleensä monimutkaiset järjestelmät ovat alttiita häiriöille.

Kyselyn 16:sta kiinteistöstä 4:ssä ilmoitettiin poistoilman hajujen siirtymisestä tuloilmaan. Syynä voi olla esim. poistopuhaltimen sijoitus siirtimen lämpimälle puolelle, josta ovat seurauksena hallitsemattomat ilmavuodot tulopuolelle. Poistopuolella tulisi olla n. 500 Pa:n alipaine tuloilmaan nähden.

Levysiirrin:

Levysiirtimessä häiriöt ovat johtuneet lähinnä vuotavista ja viallisista ohituspelleistä.

Helsingin kaupungin rakennusvirastossa (HKR) on luovuttukoemiellessä ns. normaalikiinteistöissä ohituskanavan käytöstä. Näin lämmöntalteenottolaite on lähes häiriötön, kun se pidetään puhtaana.

Kiinteistöissä, joissa on joko kosteus- tai lämpökuormia, vaaditaan käytettäväksi ilmatiiviitä peltejä.

Yleisesti voidaan sanoa, että erityyppiset lämmön talteenottolaitteistot ovat toimineet HKR:n kokemusten mukaan suhteellisen hyvin. Ainoastaan kiertonestejärjestelmässä on ollut vaikeuksia ja niissäkin lähinnä kiertonesteverkostossa. Nestettä ei aina ole saatu kiertämään suunnitellulla tavalla, mistä on ollut seurauksena laitteiston suorituskyvyn aleneminen.

3 VIRHETOIMINTOJEN ANALYSOINTI

3.1 Suunnittelukäytännön osuus

Osa palautetieto-osassa esille tuoduista ilmanvaihtojärjestelmien toiminnallisista puutteista ja häiriöalttiudesta on aiheutettu jo suunnitteluvaiheessa. Ne eivät välttämättä ole varsinaisia suunnitteluvirheitä vaan voivat johtua valitsevasta ja hyväksytystä suunnittelukäytännöstä. Seuraavassa näitä virhetoimintoja on käsitelty sen mukaan ovatko ne seurausta nykyisten määräysten ja ohjeiden antamasta mitoituskäytännöstä vai muusta suunnittelukäytännöstä.

3.1.1 Määräyksiin perustuva suunnittelukäytäntö

Jäljempänä esitetyt viranomaismääräyksiin ja -ohjeisiin liittyvät virhetoiminnat johtuvat useimmiten tulkinnallisista puutteista; esim. energian säästöön pyrittäessä ohjeita on ruvettu tulkitsemaan vastoin niiden alkuperäistä tavoitetta.

3.1.1.1 Venttiilikohtainen mitoituskäytäntö

Venttiilikohtainen mitoitus aiheuttaa ongelmia asuintiloissa. Niissähän poistoilmavirroille on annettu huonetilakohtaiset (lähinnä keittiö, kylpyhuone, WC, vaatehuone) arvot, jotka ovat samat riippumatta huoneiston koosta. Useimmissa asunnoissa, koosta riippumatta, on kaikki tai ainakin suurimmat em. ilman poistokohteet. Näin ollen ilmanvaihtuvuus (l/h) muodostuu pienissä asunnoissa usein liian suureksi (vetohaittoja) ulkoilman sisäänoton tai ilmanjaon kannalta. Vastaavasti suurissa asunnoissa ilmanvaihto jää liian pieneksi (tunkkaisuus).

Esimerkiksi /10/ tyyppillisissä normaalikorkeuksisissa 91 m²:n (4 huonetta, keittiö, kylpyhuone, WC ja vaatehuone) ja 32,5 m²:n (1 huone, keittiö, kylpyhuone ja vaatehuone) huoneistoissa ilmanvaihtuvuudet muodostavat Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 ohjearvoilla seuraaviksi:

Huoneisto	Poistoilmamäärä	Ilmanvaihtuvuus
4h+k	177 m ³ /h	0,81 h ⁻¹
1h+k	122/148 m ³ /h	1,44/1,90 h ⁻¹

Yksiölle on annettu kaksi ilmanvaihtoarvoa riippuen siitä käytetäänkö keittiön poistoilmamääränä 22 vai 12 dm³/s. Määräysten mukaan pienempi poistoilmamäärä on sallittu, jos kokonaisilmavaihto tulee muutoin yli 1,5-kertaiseksi tai jos on mahdollisuus riittävään ilmanvaihdon tehostamiseen ruoanlaiton aikana.

Venttiilikohtaista mitoitus- varten annettujen arvojen perusteita ei määräyksissä ole esitetty. Estettä ilmamäärien tarkentamiselle asunnon koosta riippuvaksi ei liene olemassa. Tällöin lähtökohtana voisi olla tietty ilmanvaihtuvuus (esim. 0,5 l/h), joka sopivissa suhteissa jaettaisiin em. poistoventtiileiden kesken. Tarvittaessa (esim. ruoanlaiton tai pyykinkuivauksen aikana) ilmanvaihtoa tulisi voida tehostaa.

3.1.1.2 "Tupakointi sallittu" -kriteeri

Tupakoinnin salliminen toimisto- ja kokoustiloissa aiheuttaa määräysten mukaan tuloilmamäärien kaksinkertaistumisen. Tämä asettaa ilman jaolle huomattavia lisävaatimuksia, etteivät ilman liikenopeudet aiheuttaisi veto-ongelmia. Kun sitten usein energian säästön tai muiden syiden (esim. veto) vuoksi siirrytään käyttämään osatehoa, ei laitosta enää käytäkään mitoitus-tilanteessa. Tällöin haluttujen painesuhteiden ja ilmamäärien toteutuminen vaarantuu.

"Tupakointi sallittu" -tiloissa hyväksytään, että tuloilman joukossa on jopa 40 % palautus- (l. kierto-) ilmaa. Näin ollen palautusilman käyttö ja tämän seurauksena esimerkiksi passiivisen tupakoinnin haittojen syntyminen on seurausta ohjetekstin suorasta tulkinnasta.

3.1.1.3 Osatehon käyttö

Ilmanvaihtojärjestelmien käyttö osatehoilla on varsin tavallista. Tällöin ilmamäärät pienennetään laitoksen mitoitus- ja viritystilanteen 1/1-tehosta puoleen. Viranomaisohjeissa

tällainen tilanne on tuotu esille energiahäviöiden pienentämistapana ulkoilman lämpötilan ollessa alle -15°C .

Käytännössä on kuitenkin osoittautunut, että ilmanvaihtojärjestelmiä usein pääsääntöisesti käytetään 1/2-teholla. Syyinä tähän on em. energian säästötavoitteiden lisäksi 1/1-teholla esiintyvät ongelmat, lähinnä vetoisuus. Tiiviissä rakennuksissa paine-ero ulkovaipan yli voi muodostua niin suureksi, että tästä aiheutuu äänihaittoja ja ovien aukaisu- ja sulkemisvaikeuksia.

Osateholla, kanavistopaineiden pienentyessä, on rakennuksen painesuhteiden hallinta vaikeampaa ja järjestelmä on herkempi ulkoisille häiriötekijöille (esim. tuulisuus, ikkunoiden aukaisu ym.).

Ilmanvaihtolaitokset tulisi säätää (kuten määräyksissä edellytetäänkin), nykykäytäntöä paremmin, toimimaan ensisijaisesti pääasiallista käyttötilannetta vastaavasti. Kuormitushuippujen tai muiden syiden aiheuttama ilmanvaihdon tehostustarve hoidetaan kasvattamalla ilmamääriä em. säätötilanteeseen nähden. Tehostuksen tulisi olla mieluiten käyttäjäkohtaisesti toteutettavissa. Esimerkiksi kerrostalokohtaisen (ks. kuva 1) tehostuksen osuminen talouksien ruokailuaikoihin on melko huono. Huomattavassa osassa asuntoja tuuletustarvetta on muina kuin tehostusaikoina.

3.1.1.4 Rakenteiden vaikutus

Ilmanvaihtojärjestelmän oikea toiminta riippuu ratkaisevasti rakenteiden ominaisuuksista, lähinnä ulkovaipan ja rakennuksen sisäisestä tiiviyydestä. Esimerkiksi useampikerroksisissa rakennuksissa ei pelkällä ilmanvaihtojärjestelmän toiminnalla (järkevilla paine- ja ilmamääräarvoilla) voida estää välipohjien kautta tapahtuvia ilmavuotoja. Samoin rakennuksen pitäminen alipaineisena ulkoilmaan nähden

normaaleissakin sääolosuhteissa edellyttää rakenteilta riittävää tiiviyyttä. Kuitenkin esimerkiksi haju- ja kondenssi-ongelmista syytetään helposti pelkästään ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa.

Viranomais määräyksissä ja -ohjeissa tulisikin antaa rakenteiden tiiviydelle ohjeet, koska ne ovat yksi ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelun ja oikean toiminnan perusedellytyksistä.

3.1.1.5 Rakennusten käyttövaihe

Nykyiset rakennusten ilmanvaihdon määräykset ja ohjeet on laadittu pääasiassa rakentamista ajatellen. Rakennusten suunnittelu- ja toteutusvaiheessa järjestelmien ja laitteiden toimivuus- ja huollettavuusnäkökohtia ei oteta aina riittävästi huomioon. Myös käyttö- ja huoltosuunnitelmien laadinta on vähäistä.

Viranomaisohjeissa ei myöskään oteta kantaa laitoksen käyttäjien pätevyysvaatimuksiin. Palauteaineiston perusteella tulisi suunnittelijalta edellyttää mahdollisimman selkeitä, jopa yksinkertaisia laitoksia. Varsinkin jos tiedetään, että laitosta käyttävät ja osin huoltavatkin esimerkiksi tavalliset asukkaat. Nykytilanteessa mm. urakkasummaan perustuva suunnittelupalkkio ei edistä tätä selkeystavoitetta. Suunnitteluvaiheessa tulisikin nykyistä enemmän ottaa huomioon laitoksen tulevien käyttäjien ja huoltajien pätevyys.

3.1.2 Muu mitoituskäytäntö

3.1.2.1 Kanavistomitoitus

Kanavistomitoitus tehdään usein karkeasti ilmannopeuskäyrästäisiin perustuen. Periaatteena on, että sallitaan tietyt nopeusalueet eri kanavatyypeissä (pää-, haara- ja sivukanavat).

Kanaviston mitoituksessa ei aina varauduta riittävästi tuleviin käyttötarkoituksen muutoksiin. Tämä edellyttäisi suhteellisen väljää mitoitusta myös haara- ja sivukanavissa. Tilan ja rahan säästön vuoksi ko. varauksista tingitään.

Ongelmallisia ovat myös ilmanvaihtokojeiden ja kanavien liittymäkohdat. Näiden jakolaatikoiden toteutukset ovat usein mm. tilanpuutteen vuoksi virtausteknisesti huonoja.

3.1.2.2 Puhaltimien mitoitus

Puhaltimen mitoitus jää usein pääasiassa urakoitsijan tehtäväksi puhaltimen valinnan yhteydessä. Tavallista on, että suunnitelmissa ilmoitetaan vain puhaltimelta vaadittu ilmavirta. Sen sijaan paine-erovaatimus jää usein ilmoittamatta (lasketaan vain karkeasti sähköteho-varauksia varten) ja perusteena on, ettei tiedetä mitkä laitteet (patterit, äänenvaimentimet ym.) urakoitsija lopulta valitsee.

Nykytilanteessa esimerkiksi lämmitysverkosto pumppuineen lasketaan huomattavasti tarkemmin. Samaa periaatetta tulisi noudattaa myös ilmanvaihtokanaviston suunnittelussa, jolloin esim. säätöelimien säätöarvot annettaisiin piirustuksissa.

Puhaltimien korkein sallittu äänenkehitys oktaavikaistoit-tain suunnitelmien mukaisella äänenvaimennuksella tulisi myös ilmoittaa. Tällöin voitaisiin äänenvaimennusta tarpeen mukaan muuttaa, mikäli ei käytetä suunnitelmien mukais-ta puhallinta.

3.1.2.3 Äänenvaimennus

Äänenvaimennuksen mitoitus on myös perinteisesti sysätty urakoitsijan tehtäväksi. On ilmoitettu vain eri tiloissa sallitut äänitasot ja velvoitettu urakoitsija tarkastamaan, ettei niitä ylitetä, ja tarpeen mukaan lisäämään vaimennusta. Perusteena on ollut, kuten puhaltimien mitoituksessakin, ettei tiedetä urakoitsijan lopullisia laitevalintoja.

Kuitenkin järjestelmän analysointiin ja tarkkoihin laskelmiin on (ainakin pitäisi olla) suunnittelijalla paremmat mahdollisuudet kuin urakoitsijalla. Näin ollen äänenvaimennuksen mitoitus tulisi olla pääasiassa suunnittelijan tehtävä. Vastuun tulisi siirtyä urakoitsijalle, vain mikäli tämä poikkeaa suunnitelmien mukaisesta toteutuksesta.

3.1.2.4 Ilmanjakoelimien mitoitus

Ilman jaossa esiintyvät puutteet ja virheet ovat usein syynä esimerkiksi vetoon. Nykytilanteessa suunnittelija valitsee ilmanjakoelimet valmistajien esittämien heittopituus- ym. käyrästöjen avulla. Eri valmistajien käyrästöjen vertailukelpoisuus on kuitenkin kyseenalaista.

Ilmanjakoelimille tarvittaisiinkin yhtenäinen mittaus- ja tyyppihyväksymiskäytäntö. Näin voitaisiin varmistua, että eri valmistajien laitteilleen ilmoittamat suoritusarvot on mitattu samoissa olosuhteissa ja samoilla periaatteilla.

Monet ilmanjaon ongelmat liittyvät muuttuneeseen tilanteeseen, jossa ilmamäärät eivät enää vastaakaan suunniteltuja arvoja. Tällöin olisi etuna ilmanjakoelimen mahdollisimman laaja toiminta-alue ja säädettävyys.

3.1.2.5 Huollettavuus

Järjestelmien käytön ja huollon kannalta oleellisten tekijöiden huomioonotto jää usein suunnittelussa puutteelliseksi. Näistä selvimmin havaittavia ja vaikeimmin korjattavia ovat riittämättömät huoltotilat tai huollon kannalta vaikeasti sijoitetut laitteet. Näiden perusvirheiden takana on osittain rakennussuunnittelu; todellisia tilantarpeita ei tiedetä eikä niiden merkitystä ymmärretä. Näin ollen esimerkiksi LVI-suunnittelijan esittämistä tilavarauksista tinnittää.

Käyttö- ja huoltosuunnitelmien laadinta rinnan rakentamista varten suoritettavan LVI-suunnittelun kanssa pakottaisi ottamaan käytön ja huollon näkökohdat huomioon riittävän ajoissa. Nykyisin (silloin) kun käyttö- ja huoltosuunnitelmia laaditaan, työ tehdään yleensä vasta muun suunnittelun jälkeen.

Suunnittelun yhtenä lähtökohtana tulisi nykyistä enemmän olla laitoksen tuleva käyttö- ja huolto-organisaatio. Monimutkaisia järjestelmiä ei tulisi rakentaa ellei käyttäjien LVI-tekkinen pätevyys ole riittävä.

3.2 Hallitsematon ulkoilman sisäänotto

Tässä kohdassa analysoidaan pääasiassa asuinrakennuksiin liittyvää ulkoilman hallitsematonta sisäänottoa ulkovaipan kautta. Ongelma liittyy lähinnä koneellisen poistoilmanvaihdon järjestelmään, jossa tuloilmaa ei yleensä tuoda kanavia pitkin huoneisiin.

Kohdassa 2.2.1 esitetyissä tilanteissa ulkoilman saanti sisään huoneistoon on jäänyt rakennusvaipan epätiiviyshohtien varaan, koska ulkoilman sisäänottoon tarkoitettuja tuloilmareittejä ei asuinhuoneissa yleensä ole. Tästä seuraa kuvassa 2 (kohta 2.2.1.2) esitetty pientalon ulkoilmavirtojen epäedullinen jakautuma eri tilojen

kesken, jolloin suurin osa ilmasta tulee ns. likaisten tilojen (pesuhuone, WC, keittiö) kautta ja ilmanvaihto esim. makuuhuoneissa jää heikoksi. Kerrostalohuoneistoissa on tyyppillisenä haittana porraskäytävän kautta sisään tuleva "käytetty" ulkoilma.

Ulkoilman hallitulla sisäännotolla tarkoitetaan ulkoilman tuomista viihtyisästi oikeisiin huoneisiin oikeana tilavuusvirtana, pyritään siis puhtaan ilman virtauksien hallintaan huoneistossa. Mahdollisimman suuri osa korvausilmasta (ulkoilmasta) tulisi ottaa sisään huoneistoon makuuhuoneiden ja olohuoneen ulkoseinän kautta ja poistaa pääasiassa keittiön, WC:n, vaate- ja kylpyhuoneen tms. tilojen kautta. Hallitsemattomina vuotoina ilmaa sisään otettaessa ongelmina ovat em. ilman epätasainen jakaantuminen huonetiloihin, vetohaitat, sään vaikutus ilmavirtoihin ja joskus hajujen leviäminen huoneistosta toiseen. Nyt on pyrittävä käyttämään sisäänottoelimiä mitoitettuja virtausteitä, jotka valitaan asetettujen toimivuusvaatimusten perusteella /20/.

Eräs ulkoilman sisäänottoon liittyvä ongelma on pienten asuntojen vetoisuus. Tietenkin myös isossa asunnossa voi olla vetoisaa, varsinkin suunnittelemattomia sisäänotto- tapoja käytettäessä, mutta pienten asuntojen ongelma liittyy suuriin huonekohtaisiin poistoilmavirtoihin.

Määräyksissä annettu poistoilmavirta toteutetaan usein sellaisenaan sekä isojen että pienten huoneistojen poistokohteissa, jolloin pienen asunnon vähäisestä ulkovaippapinta-alasta johtuen tulee ko. seinämänosalle liian suuri ulkoilmavirta, jota ei saada vedottomasti sisään. Ongelma yleensä korostuu, jos ulkoilmaelimiä ei ole. Ulkoilmaelimillehän on mahdollista määritellä suunnittelua varten suurin vedoton ilmavirta, jota ei saa ylittää.

Vesihöyryn tiivistyminen ikkunan sisäpintaan voi olla myös eräs oire ulkoilman sisäänoton ja samalla ilmanvaihdon puutteesta. Jatkuvasti esiintyessään se aiheuttaa rakenteiden vaurioita ja visuaalista haittaa. Toinen hyvä indikaattori on tietenkin tunkkainen ilma esim. makuuhuoneessa.

Useissa tapauksissa yleistynyt energiansäästökeino on ulkoilmaventtiilien sulkeminen. Lyhytnäköisesti ajatellen toimenpide on perusteltavissa, koska ulkoilman lämmittämiseksi huonelämpötilaan tarvitaan energiaa. Käytännössä venttiilien sulkeminen johtaa kuitenkin hygienian ja terveyden laiminlyöntiin, joka saattaa viedä energiasäästön tuoman hyödyn menessään. Varsinkin tiiviissä taloissa ulkoilmaventtiilit ovat välttämätön osa toimivaa ilmanvaihtoa ja niiden sulkeminen johtaa ilmanvaihdon tason alenemiseen epäterveellisen alhaiseksi. Sama seuraus on tietenkin myös poistoilmapuhaltimien pysäytyksellä.

Poistoilmakojeen pysäytys voi johtua myös vetoisuudesta. Joskus koetaan vedon aiheutuvan ilman liikkeestä poistoilmaventtiilissä, mutta useimmiten se yhdistetään aivan oikein ulkoilmaelimien ilmavirtauksiin. Vetohaittojen ratkaisuna kojeen pysäytys ei ole suositeltavaa. Sen sijaan vetohaitat tulisi poistaa ulkoilmaelimien kunnollisella suunnittelulla ja toteutuksella. Pahimmin veto haittaa usein satunnaisista vuodoista, varsinkin lattianrajassa, aiheutuvasta kylmyydestä.

Ulkoilman hallitsematon sisäänotto aiheuttaa erityisesti kerrostaloissa usein hajujen leviämistä huoneistojen välillä. Hajut leviävät, varsinkin ulkovaipaltaan tiiviissä kerrostaloissa, pääasiassa porraskäytävöiden (postiluukun) kautta. Myös kerrosten väliset läpivientikohdat (putket, sähköjohdot) toimivat usein vuotoilmareitteinä. Läpivientikohden ilmatiiviyyden edellytyksenä onkin ensisijaisesti tiivistyksen merkityksen tiedostaminen, mahdollisesti uusien työmenetelmien ja -tapojen kehittäminen sekä huolellisuus tiivistystyössä.

Ulkoilmaelimiä kautta tuleva melu (esim. liikenne kaupungissa) saattaa olla hyvinkin haitallista, joten se on otettava huomioon. Äänenvaimennukset aiheuttavat negatiivisena piirteinä usein ulkoilmaelimiä virtausvastuksen kasvun. Tästä asiasta tarkemmin kohdassa 4.1.

Ulkoa tuleva pöly on otettava huomioon ulkoilman sisäännotossa varsinkin, jos ulkoilman laatu on heikko. Pöly voi heikentää myös ulkoilmaelimiä toimintaa jos elimen huolto (puhdistus) laiminlyödään. Tästä voi olla seurauksena mm. ilmanvaihdon tason lasku. Käytettäessä pölysuodatinta on säännöllinen huolto välttämätöntä. Lisäksi on otettava huomioon lisääntyvä virtausvastus verrattuna ilman suodatinta olevaan ulkoilmaventtiiliin.

3.3 Sään vaikutus ilmanvaihtoon

3.3.1 Ulkolämpötilan vaikutus kerrostalon ilmanvaihtoon

3.3.1.1 Yleistä

Ulkolämpötilan laskiessa sisälämpötilaa alemmaksi alkaa ns. savupiippuvaikutus (termiset voimat) vaikuttaa ilmanvaihtoon.

Koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä termiset paine-erot ovat haitallisia koska ne muuttavat ilmavirtoja. Sekä kokonaisilmavirrat että ilmavirtojen jakautumat eri tilojen kesken muuttuvat.

Ilmavirtamuutosten suuruuteen vaikuttavat terminen paine-ero, ilmanvaihtokanaviston paine-ero sekä rakennuksen ulkoinen ja sisäinen tiiviys.

Tässä luvussa esitetään näitä suureita ja niille asetettuja tavoitearvoja. Jäljempänä esitetään laskelmin mikä on näiden tekijöiden yhteisvaikutus.

Terminen paine-ero on

$$\Delta p_t = (\rho_u - \rho_s) gh \approx \rho_s gh (T_s - T_u)/T_u, \quad (1)$$

missä

- ρ_u on ilman tiheys ulkona, kg/m^3
- ρ_s ilman tiheys sisällä, kg/m^3 ($\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$ lämpötilassa $20 \text{ }^\circ\text{C}$)
- g gravitaatiokiihtyvyys ($9,82 \text{ m/s}^2$ Suomessa)
- h rakennuksen korkeus
- T_s ilman lämpötila sisällä, K
- T_u ilman lämpötila ulkona, K.

Toinen kaavoista (1) jättää huomiotta ilman kosteuden ja paine-erot, joiden merkitys on tavallisesti hyvin pieni. Taulukossa 8 esitetään terminen paine-ero eri ulkolämpötiloissa.

Taulukko 8. Terminen paine-ero eri ulkolämpötiloilla metriä kohti, kun sisälämpötila on $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ulkolämpötila $^\circ\text{C}$	Terminen paine-ero Pa/m
20	0,00
10	0,42
0	0,86
- 10	1,34
- 20	1,86
- 30	2,42

Ulkolämpötilassa $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ terminen paine-ero on $5,2 \text{ Pa}$ kerrosta kohti kerroshuonekorkeudella $2,8 \text{ m}$.

Ilmanvaihtokanaviston paine-erolle on annettu ohje-arvoja / 1 / eri kerroskorkeuksille. Taulukossa 9 ovat eräät paine-eron suositusarvot, jotka perustuvat 5 - 10 % sallittuihin ilmavirtapöikkeämiin. Kanaviston paine-erosuositus on noin kolminkertainen termiseen paine-eroon verrattuna.

Taulukko 9. Suositeltavat paine-erot ilmanvaihtokanavistossa /45/.

Rakennuskorkeus, kerrosta	kanaviston paine-ero, Pa
5	90 - 100
6	110 - 120
8	140 - 160
10	170 - 200

Rakennuksen ulkovaipan tiiviydelle on laadittu vaatimukset /32/, mutta niitä ei ole toistaiseksi otettu käyttöön. Vaatimusarvot on asetettu lähinnä vuotoilmanvaihdon energiankulutuksen ja viihtyisyyshaitan perusteella, mutta myös rakennuksen kannalta tarkoituksenmukaiset paine-erot ja rakennevaurioiden välttäminen ovat lukuarvojen perusteena (ks. taulukko 10).

Taulukko 10. Rakennuksen ulkovaipan ehdotettu tiiviysvaatimus n_{50} , vaihtoa tunnissa 50 pascalin paine-erolla /32/.

Rakennustyyppi	n_{50} , 1/h
Omakotitalot	2
Rivitalot	1,5
Kerrostalot ja muut rakennukset	1

Rakennuksen sisäisen tiiviyyden vaatimuksena on esitetty /32/, että huoneiston tms. huonetilan ilmavuoto ympäröivistä tiloista saa olla 50 pascalin paine-erolla enintään 30 % edellä mainituista ulkovaipan sallituista vuodoista. Lähtökohtana on pidetty sitä, että huoneiston tarvitsemasta tuloilmamäärästä enintään 20 % tulee muista huonetiloista tai porraskäytävästä.

3.3.1.2 Esimerkkilaskelman rakennus

Esimerkkitarkastelun kohteeksi on valittu asuinkerrostalo, koska asuintalon ilmavirrat ovat pieniä ja sen takia vuoto-ilmavirtojen hallinta vaikeampaa kuin esimerkiksi toimistorakennuksessa.

Laskelmilla pyritään esimerkein osoittamaan, mitä vaikutuksia rakennuksen sisäisillä ilmavuodoilla, ilmanvaihtokanaviston paineilla ja ulkoilman lämpötilalla on ilmanvaihdon toimintaan.

Talossa on kuusi asuinkerrosta ja kellarikerros (ks. taulukko 11). Laskentarakennuksen mallina on 1980-luvun alussa valmistunut todellinen kerrostalo, jonka ilmanvaihdon toimintaa on tutkittu tarkasti noin kahden vuoden ajan / 2 /.

Rakennuksessa on ongelmana uloimman ikkunalasin sisäpuolen huurtuminen pakkasella. Huurtumista esiintyy lähinnä kahdessa ylimmässä kerroksessa, joissa on mitattu pakkasella jatkuvasti sisäpuolinen ylipaine käytettäessä ilmanvaihdon osatehoa (puolitettut ilmavirrat, $\frac{1}{2}$). Ylin kerros on ylipaineinen pakkasella myös käytettäessä täyttä ilmanvaihdon tehoa (1/1). Ylipaineisuuden syyksi on oletettu välipohjan ilma-
vuodot sekä venttiilien pienet painehäviöt.

Taulukko 11. Esimerkkilaskelmissa käytetyn asuinkerrostalon tietoja. Merkintä 1/1 tarkoittaa ilmanvaihdon täyttä tehoa.

Rakennustilavuus	6870 m ³
Huoneistoala	1668 m ²
Huoneistoja	30
Kerroksia	6 asuinkerrosta ja kellarikerros
Kerroskorkeus	2,8 m
Porraskäytäviä	1
Ilmanvuotoluku 50 Pa:lla n ₅₀	0,64 /h (huoneistot)
Huoneisto-oven vuoto 50 Pa:lla	9 l/s
Välipohjan vuoto 50 Pa:lla	23 l/s / 59 m ²
Poistoilmavirta (1/1) asunnoissa	0,92 /h
Poistoilmavirta (1) kellarissa	1,09 /h
Tuloilmavirta asuinnoissa	80 % poistoilmavirrasta
Tuloilmavirta kellarissa	40 % poistoilmavirrasta
Ilmavirrat osateholla (½)	50 % täyden tehon (1/1) arvoista
Porraskäytävän koneellinen ilmanvaihto	-
Poistoilmaventtiilien painero (1/1)	50 - 70 Pa
Tuloilmaventtiilien painero (1/1)	40 - 60 Pa
Ilmanvaihdon täyden tehon (1/1) käyttö	0 - 6 h/vrk (ulkolämpötilaraja -10 °C)
Ilmanvaihdon osatehon (½) käyttö	18 - 24 h/vrk

Rakennuksen ulkovaipan tiiviys on mitattu huoneistoista, joten porraskäytävän ja kellarikerroksen vuodot eivät ole mukana kokonaisvuodossa. Kuitenkin rakennuksen ulkovaippa on tiivis ja vuoto on pienempi kuin tiiviysvaatimusehdotuksessa (taulukko 10).

Huoneisto-oven vuoto on kaksinkertaisen ovikokonaisuuden vuoto, jossa on mukana myös karmivuoto sekä postiluukun vuoto. Vuoto on mitattu tästä talosta vain yhdestä huoneistosta. Vertailun vuoksi mainittakoon toisesta samanikäisestä koekohteesta mitatut kolmen huoneisto-oven vuodot. Keskimääräinen vuoto 50 pascalin paine-erolla ilman karmivuotoa oli 5,3 l/s (vaihteluväli 4 - 8 l/s) josta postiluukun osuus oli 1,8 - 2,0 l/s.

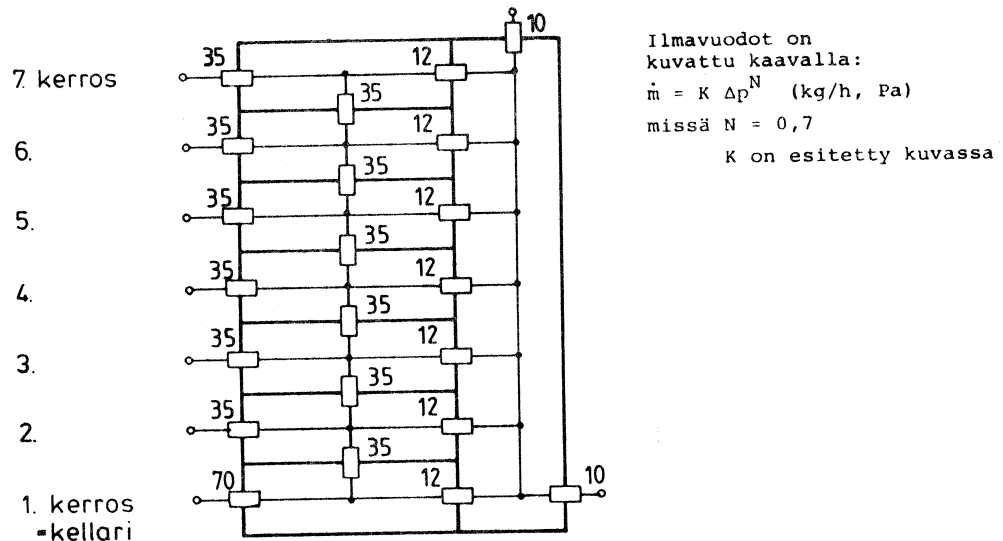
Välipohjan vuoto on mitattu yhdestä ylimmän kerroksen huoneistosta. Vuodot keskittyivät vesi-, viemäri- ja sähköläpivienteihin. Vastaavia välipohjan vuotomittauksia on tehty hyvin vähän. Laajin mittaus on tehty 1985 valmistuneessa asuinkerrostalossa /8/, jossa pyrittiin tietoisesti tavallista parempaan välipohjien tiiviyyteen. Kellarikerroksen ja ensimmäisen asuinkerroksen välinen vuoto välipohjan pinta-alaa kohti oli 79 % taulukossa 11 esitetystä arvosta ja kahden asuinkerroksen välinen vuoto 38 % em. arvosta.

Esimerkkirakennuksen sisäinen tiiviys ei täytä kohdassa 3.3.1.1 esitettyjä vaatimuksia.

Myöskään ilmanvaihtokanaviston paine-ero ei ole taulukon 9 suositusarvojen mukainen, mikäli tarkastellaan venttiilien (= kerroskohtaisten kuristuselinten) paine-eroja. Sen sijaan puhaltimien paine-ero on 1/1-teholla riittävä, noin 300 Pa. Ilmanvaihdon osateholla kanaviston paine-erot ovat pienempiä, noin neljäsosa täyden tehon arvoista.

3.3.1.3 Lasketut tapaukset

Laskennan lähtökohtana on ollut edellä esitetty asuinkerrostalo, jossa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Tässä esitettävät laskelmat on tehty ilmanvaihdon osateholla ($\frac{1}{2}$ -teho), joka vastaa noin 0,5-kertaista poistoilmanvaihtoa. Ulkolämpötila on laskelmissa -20°C , sisälämpötila 20°C ja tuulen nopeus nolla. Mallissa kerrokset on kuvattu yhtenä tilana kuvan 6 mukaisesti.



Kuva 6 . Laskentarakennuksen ilmavuotojen mallintaminen pistemäisillä vuodoilla. Ulkovaipan, välipohjien ja porrastöiden (5 kappaletta/kerros) vuoto vastaa likimain esimerkkirakennuksessa mitattuja arvoja. Kellarikerroksen ja porraskäytävän ilmavuodot on arvioitu.

Laskelmilla pyritään esimerkein osoittamaan mitä vaikutuksia rakennuksen sisäisillä ilmavuodoilla ja ilmanvaihtokanaviston paineilla on ilmanvaihtoon matalissa ulkolämpötiloissa.

Tapaukset on yksilöity taulukossa 12. Perustapauksen lisäksi on käytetty seuraavia lähtöarvoja:

- painehäviötä tulo- ja poistoilmaventtiileissä on lisätty alkuperäisestä 15 pascalista 100 pascaliin
- välipohjien ilmavuotoa on pienennetty neljäsosaan alkuperäisestä
- porrastöiden ilmavuotoa on pienennetty neljäsosaan alkuperäisestä.

Taulukko 12. Lasketut tapaukset. KTP = koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä, KP = koneellinen poistoilmajärjestelmä. Käyttötapa $\frac{1}{2}$ tarkoittaa ilmanvaihdon osatehoa (noin 0,5 vaihtoa tunnissa). Kanavistopaine tarkoittaa keskimääräistä painehäviötä venttiileissä tai muissa kerroskohtaisissa säätöelimissä. Normaalivuoto (merkintä N) tarkoittaa kuvan 1 mukaista vuotoa, N/4 neljäsosaan vähennettyä vuotoa.

Nume- ro	Järjes- telmä	Käyt- tö	Kanavis- topaine	Ulkoläm- pötila	Ulkovai- pan vuoto	Porras- oven vuoto	Välipoh- jan vuoto	Huomau- tuksia
			Pa	°C				
1	KTP	$\frac{1}{2}$	15	+20	N	N	N	
2	KTP	$\frac{1}{2}$	15	-20	N	N	N	
3	KTP	$\frac{1}{2}$	15	-20	N	N/4	N	
4	KTP	$\frac{1}{2}$	15	-20	N	N/4	N/4	
5	KTP	$\frac{1}{2}$	100	-20	N	N	N	
6	KTP	$\frac{1}{2}$	100	-20	N	N/4	N	
7	KTP	$\frac{1}{2}$	100	-20	N	N/4	N/4	
8	KTP	$\frac{1}{2}$	100	-20	N	N	N	Säätö 0°C:ssa
9	KTP	$\frac{1}{2}$	100	-20	N/2	N/4	N/4	
10	KP	$\frac{1}{2}$	15	+20	N	N	N	
11	KP	$\frac{1}{2}$	15	-20	N	N	N	
12	KP	$\frac{1}{2}$	15	-20	N	N	N	Ikkuna auki
13	KP	$\frac{1}{2}$	100	-20	N	N	N	
14	KP	$\frac{1}{2}$	100	-20	N	N	N	Ikkuna auki
15	KP	$\frac{1}{2}$	100	-20	N	N	N/4	
16	KP	$\frac{1}{2}$	100	-20	N	N/4	N/4	

Lisäksi on laskettu yksittäisiä esimerkkejä, joissa on avattu ikkuna, pienennetty ulkovaipan vuotoa tai säädetty kanaviston ilmavirrat 0 °C:ssa. Muissa kuin edellä mainitussa laskelmas- sa kanaviston ilmavirrat on säädetty oikeiksi ulkolämpötilan ollessa +20 °C.

Ilmanvaihdon kokonaisilmavirrat puhaltimien läpi on oletettu vakioiksi riippumatta ulkolämpötilasta tai tiiviyyden vaihte- lusta. Tilanne vastaa sitä, että ilmanvaihtokojeella paine- häviöt ovat suuria tai puhaltimien ominaiskäyrät jyrkkiä. Perusteluina menettelyyn on, että esimerkkirakennuksessa koko- naisilmavirtojen muutokset olivat pieniä ja laskennan tarkoi- tus on selvittää kerroskohtaisten ilmavirtojen muutoksia.

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon lisäksi on tehty vastaavat laskelmat pelkän koneellisen poiston järjestelmällä. Ulkoilman sisäänotto on järjestetty ulkoilmaventtiilillä, joka on mitoitettu niin, että sen kautta tulee säätötilanteessa (+20 °C) ulkoilmaa likimain yhtä paljon kuin ulkovaipan kautta.

Virtaustaseet on ratkaistu Ruotsissa kehitetyllä /11/ MOVECOMP-laskentamallilla. Koska mallista puuttui kanavistoa kuvaava osa, kanavistot muodostettiin rakennuksen korkuisista tiloista, joihin kerroksista on vuotoreitit (= ilmanvaihtoventtiilit). Kanavistojen pystysuorissa osissa oleva painehäviö on oletettu nolaksi laskennan yksinkertaistamiseksi. Tulokseen tällä oletuksella ei ole suurta merkitystä.

Seuraavassa esitettävät ilmavirrat on normitettu havainnollisuuden vuoksi siten, että asuinhuoneistojen poistoilmavirta säätötilanteessa on 0,5 vaihtoa tunnissa esimerkkirakennuksessa olevan 0,46 (taulukko 11) sijasta. Esimerkkirakennuksen kaikki ilmavirrat saadaan kertomalla esitetyt arvot suhteella 0,46/0,5. Vaihtoehtoisesti voidaan ajatella, että esitetyt ilmavirrat koskevat sellaisenaan hieman vuotavampaa rakennusta, jossa:

- poistoilmanvaihto asuinkerroksissa on 0,5/h säätölämpötilassa 20 °C
- poistoilmanvaihto kellarikerroksessa on 0,6/h säätölämpötilassa 20 °C
- ulkovaipan ilmavuotoluku asuinkerroksissa $n_{50} = 0,70/h$
- ulkovaipan ilmavuotoluku kellarikerroksessa $n_{50} = 1,4/h$ (sisältää myös korvausilmaventtiilien ilmavirran)
- välipohjien vuoto on yhtä suuri kuin asuinkerrosten ulkovaipan vuoto
- porrastönnöjen vuoto on noin kolmannes asuinkerrosten ulkovaipan vuodosta.
- porraskäytävän ulkovaipan tiiviys on yhtä hyvä kuin asuinkerroksissa.

Mainitut tiiviysarvot koskevat taulukon 12 mukaista perustilannetta, josta tiiviyyttä on lähdetty muuttamaan.

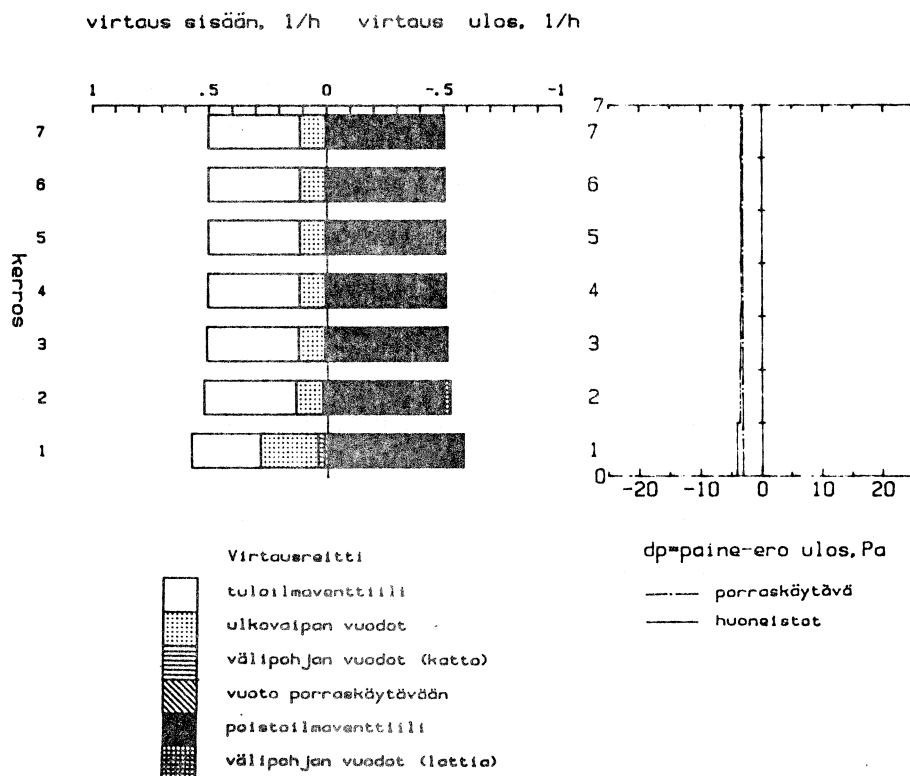
3.3.1.4 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Ilmanvaihdon säätötilanteessa (kuva 7) ilmanvaihto toimii hyvin. Poistoilmavirrat ovat

- asuinkerroksissa (kerrokset 2 - 7) 0,5/h
- kellarikerroksessa (kerros 1) 0,6/h.

Tuloilmavirrat ovat

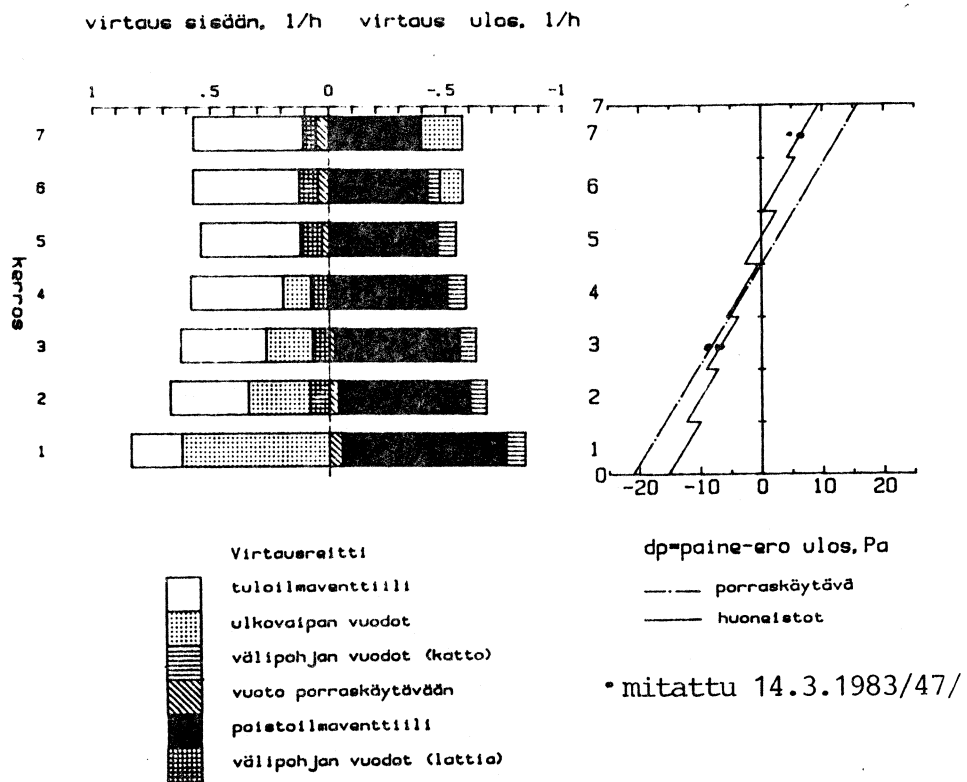
- asuinkerroksissa 80 % poistoilmavirrasta
- kellarikerroksessa 40 % poistoilmavirrasta.



Kuva 7. Laskenta numero 1. Kanavistopaine 15 Pa, ulkolämpötila +20 °C, normaali tiiviys.

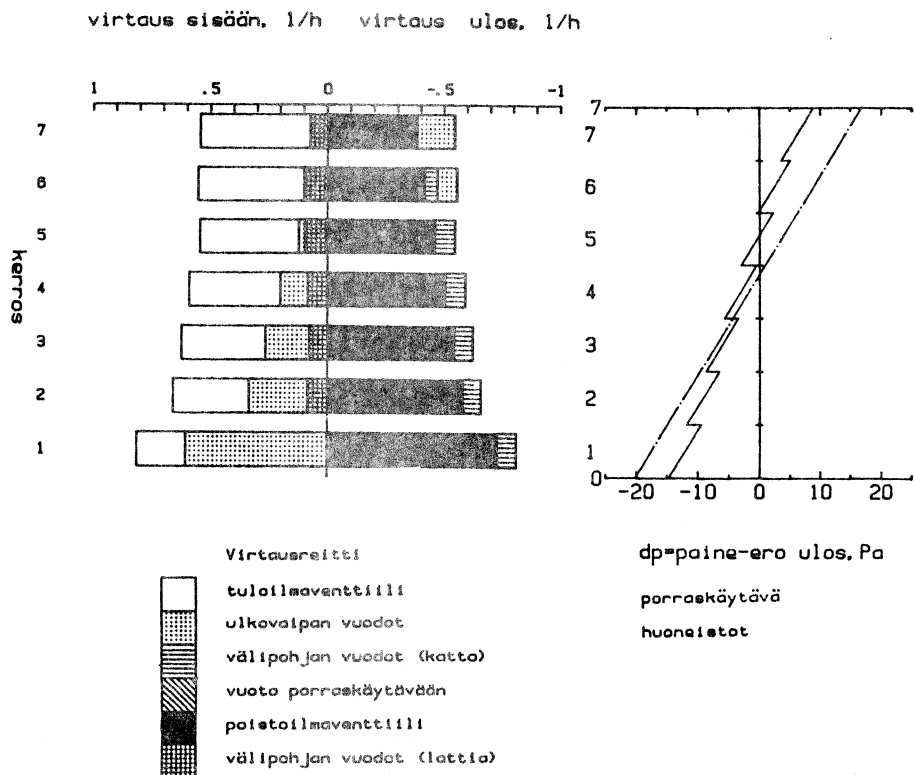
Ulkolämpötilan muutos -20°C :seen muuttaa kerroskohtaisia ilmavirtoja (kuva 8) niin, että poistoilmavirta pienenee ja tuloilmavirta lisääntyy ylimmissä kerroksissa. Tuloilmavirta on ylimmässä kerroksessa 21 % poistoilmavirtaa suurempi.

Kaksi ylintä kerrosta ovat ylipaineisia ulkoilmaan verrattuna kuten oli myös esimerkkirakennuksessa. Kuvassa 8 esitetään myös esimerkkitapauksessa mitatut paine-erot, jotka vastaavat hyvin laskettuja.

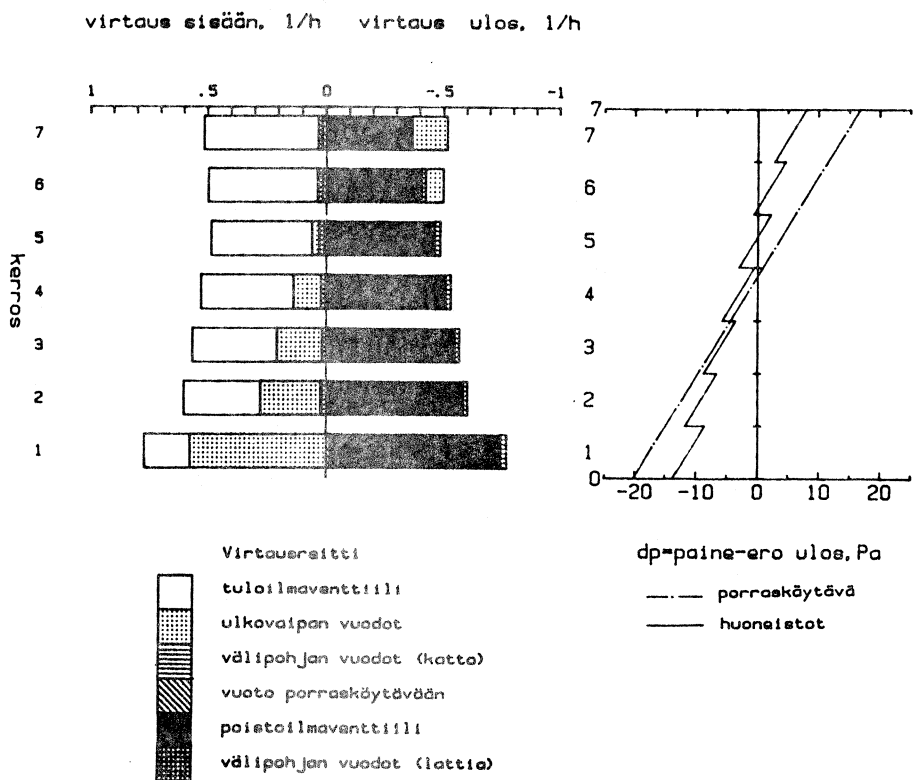


Kuva 8. Laskenta numero 2. Muutos edelliseen: ulkolämpötila -20°C . Kuvaan on merkitty myös esimerkkirakennuksessa -14°C ulkolämpötilalla neljässä huoneistossa mitatut paine-erot.

Rakennuksen sisäisen tiiviyyden parantaminen (kuvat 9 ja 10) pienentää ylipaineisuutta, mutta ei kykene sitä poistamaan.

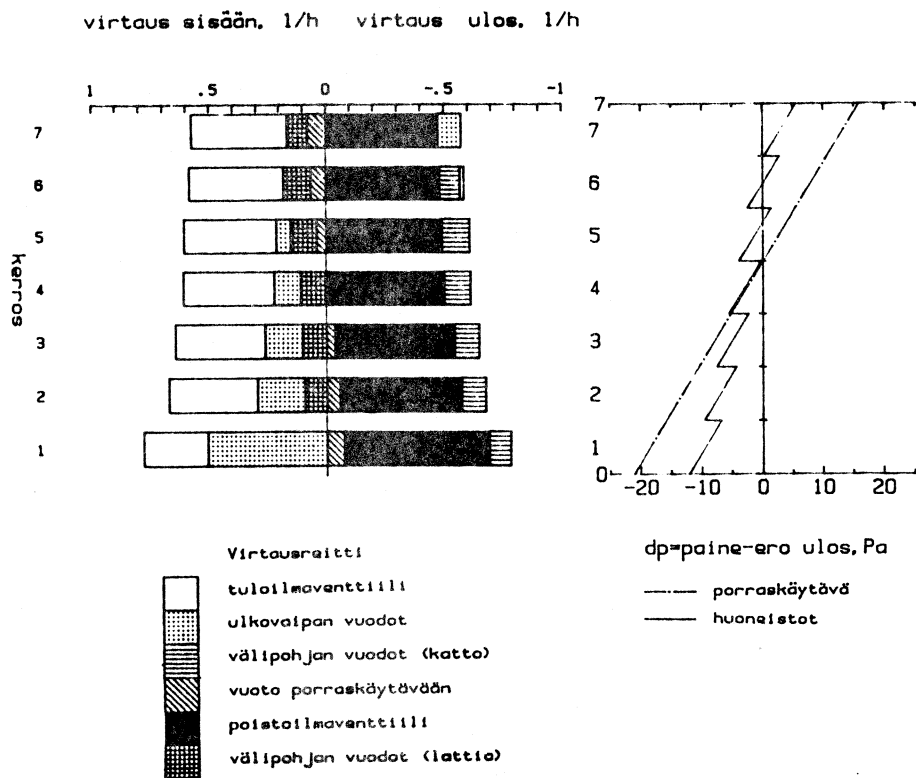


Kuva 9. Laskenta numero 3. Muutos edelliseen: porraskäytävän vuoto pienennetty neljäsosaan.



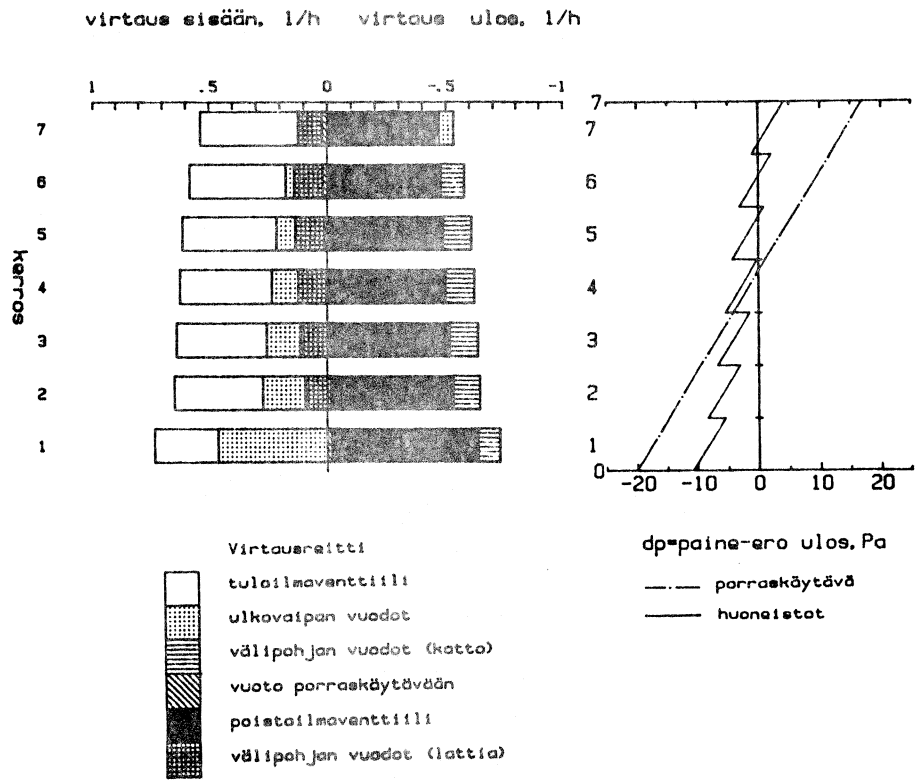
Kuva 10. Laskenta numero 4. Muutos edelliseen: välipohjan vuoto pienennetty neljäsosaan.

Kanavistopaineen lisäys 100 pascaliin (kuva 11) saa ilmavirtasuhteet oikeiksi kaikissa kerroksissa (ylimmässä kerroksessa suhde tulo/poisto on 0,87), mutta ylin kerros ja osittain toiseksi ylin ovat silti ylipaineisia. Tilanne ei ole ilman laadunkaan suhteen tyydyttävä, sillä suuri osa (esim. 4. kerroksessa noin kolmannes) kerrokseen tulevasta ilmavirrasta tulee alemmasta kerroksesta tai porraskäytävästä.

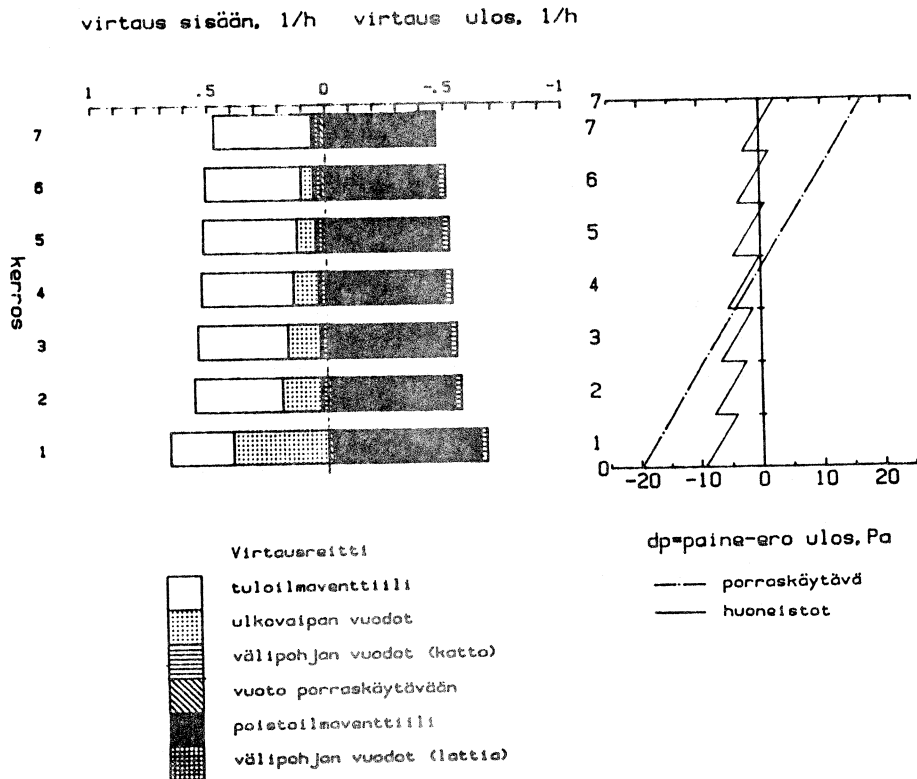


Kuva 11. Laskenta numero 5. Kanavistopaine 100 Pa, ulkolämpötila -20°C , normaali tiiviys.

Porrasovien ja välipohjien tiivistys (kuvat 12 ja 13) pienentävät rakennuksen sisäiset ilmavirtaukset tasolle 0,05/h. Ylipainetta on vielä ylimmän kerroksen yläosassa.

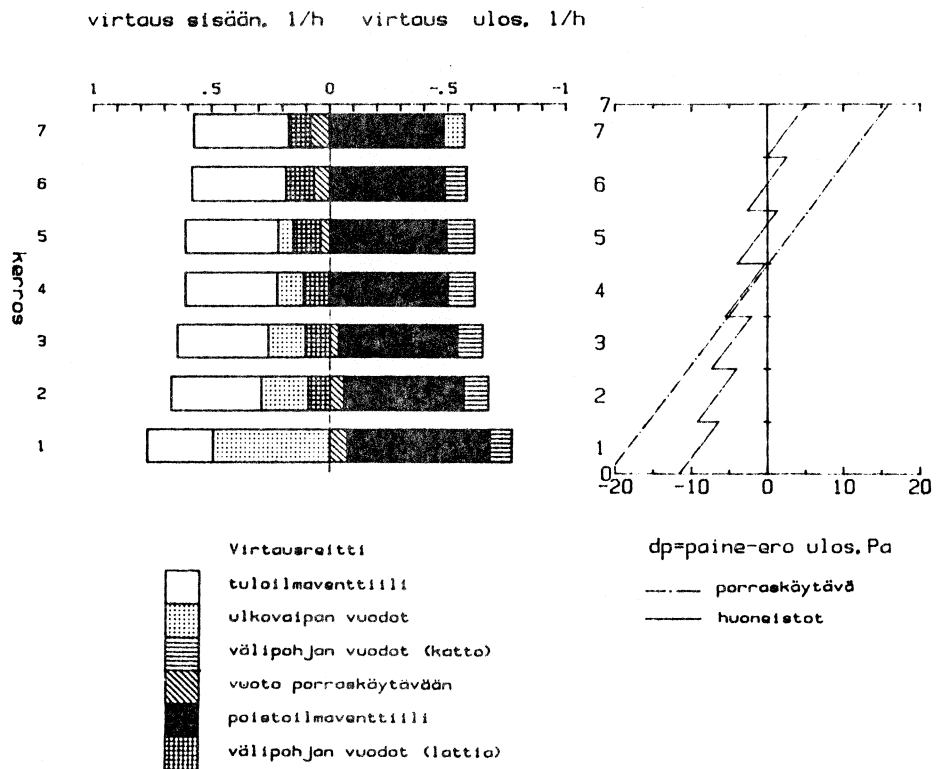


Kuva 12. Laskenta numero 6. Muutos edelliseen: porraskäytävien vuoto pienennetty neljäsosaan.



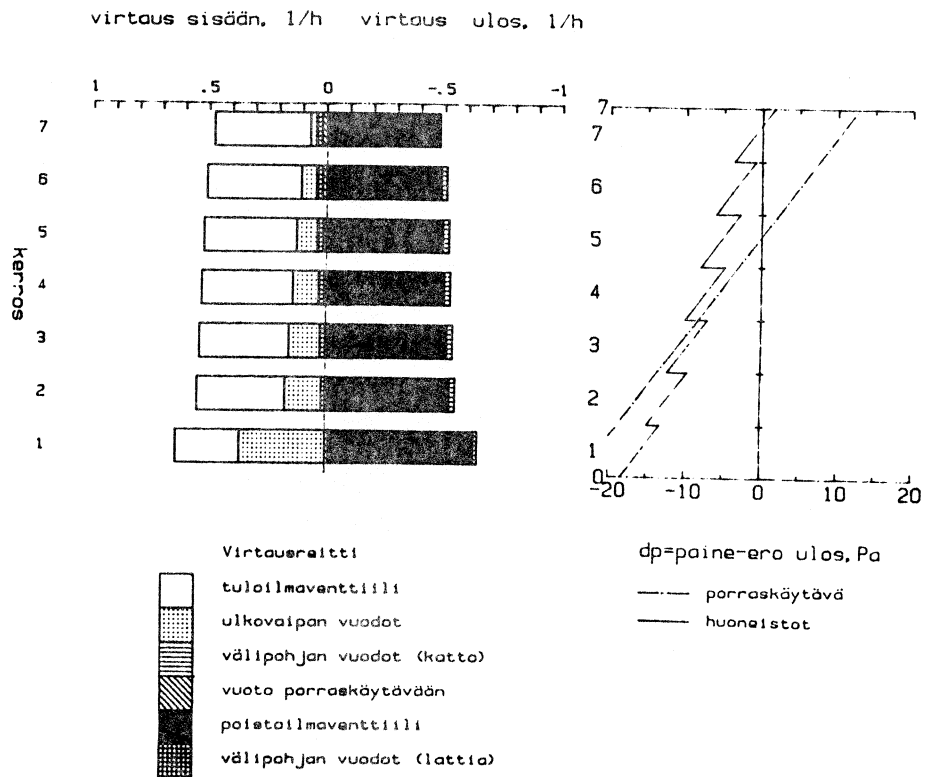
Kuva 13. Laskenta numero 7. Muutos edelliseen: välipohjan vuoto pienennetty neljäsosaan.

Kuvassa 14 on esitetty tilanne, jossa ilmavirrat on säädetty oikeiksi 0°C ulkolämpötilalle.



Kuva 14. Laskenta numero 8. Kanavistopaine 100 Pa, ulkolämpötila -20 °C, normaali tiiviys. Ilmavirrat on säädetty oikeiksi ulkolämpötilalla 0 °C.

Vasta rakennuksen ulkovaipan vuodon pienentäminen puoleen saa ylimmän kerroksen alipaineiseksi (kuva 15).



Kuva 15. Laskenta numero 9. Kanavistopaine 100 Pa, ulkolämpötila -20°C , porrassovien ja välipohjien vuodot pienennetty neljäsosaan, ulkovaipan vuoto pienennetty puoleen alkuperäisestä.

Jos alipaineisuutta -20°C ulkolämpötilassa pidetään suunnitteluperusteena, toteutuu se laskelmien mukaan mm. seuraavilla arvoilla:

- venttiilien (tai muiden kerroskohtaisten säätöelimien) painehäviö yli 100 Pa
- tuloilmavirran ja poistoilmavirran suhde 0,8
- ulkovaipan ilmavuotoluku n_{50} pienempi kuin 0,5/h
- välipohjien vuoto 50 Pa:n paine-erolla noin $0,1 \text{ l/sm}^2$
- porrassovien vuoto 50 Pa:n paine-erolla noin 2 l/s.

Esitetyt tiiviysvaatimukset lienevät nykyisellä normaalilla rakennustekniikalla liian tiukkoja.

Venttiilien painehäviötä ei voi enää lisätä 100 Pa:n yli ilman, että äänitaso nousee liian korkeaksi. Ratkaisuna voisi olla kerroskohtaiset äänenvaimennetut säätöelimet, kerroskohtainen ilmavirtojen säätö (tulo-poistosuhde pieneksi ylimmissä kerroksissa, jolloin kerrosten väliset vuotoilmavirrat lisääntyvät) tai tulo- ja poistoilman suhteen pienennys. Viime mainitussa tapauksessa lämmön talteenotolla saatava energia pienenee.

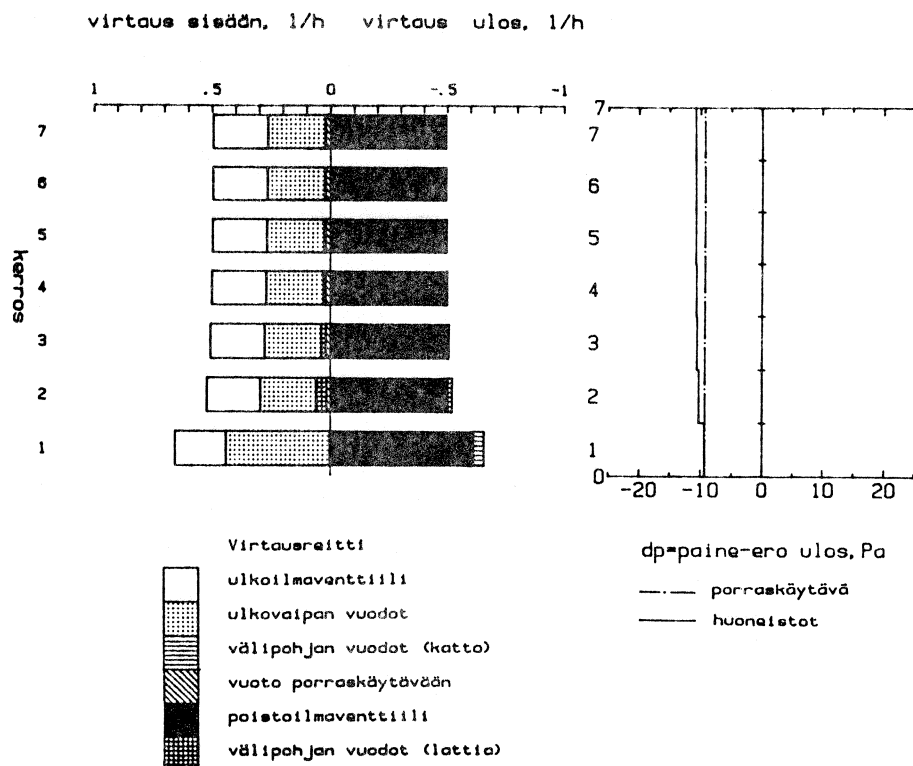
Ns. kaksinopeusjärjestelmällä, jossa ilmavirrat voidaan puollittaa, ei ole laskelmien mukaan tällaisessa rakennuksessa ja ilmanvaihtojärjestelmässä toimintaedellytyksiä.

3.3.1.5 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän poistoilmavirrat ovat säätötilanteessa (kuva 16):

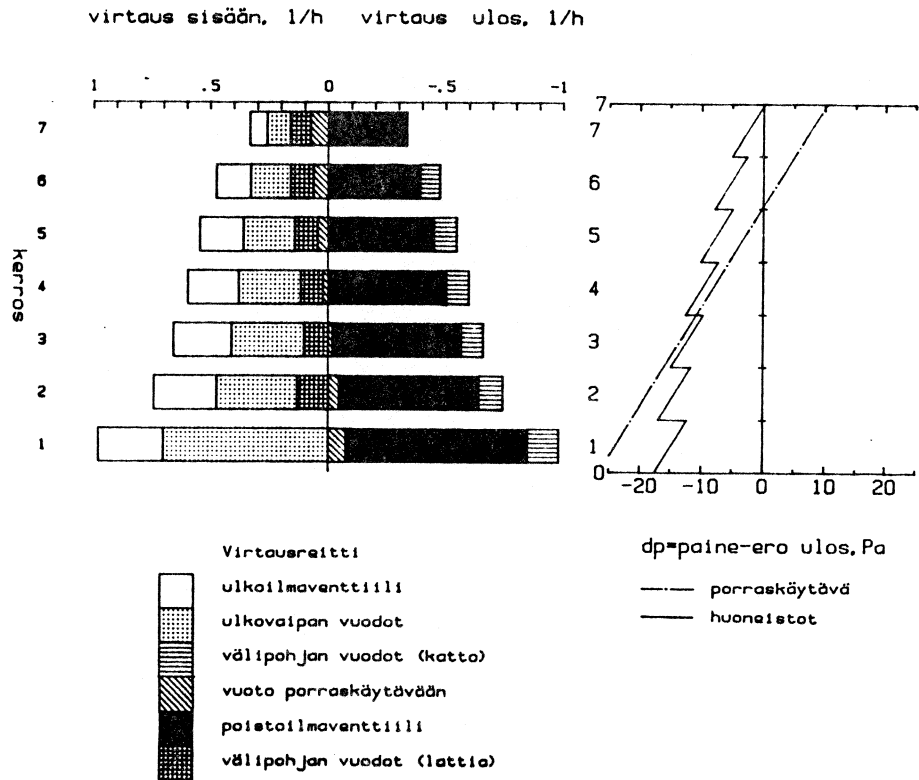
- asuinkerroksissa (2. - 7. kerros) 0,5/h
- kellarikerroksessa (1. kerros) 0,6/h.

Ulkoilmaventtiilien kautta tulee säätötilanteessa ilmaa likimain yhtä paljon kuin ulkovaipan läpi. Ulkoilmaventtiilit on asennettu 2,2 metrin korkeudelle lattiasta. Paine-ero ulkovaipan yli on 9 - 11 Pa.



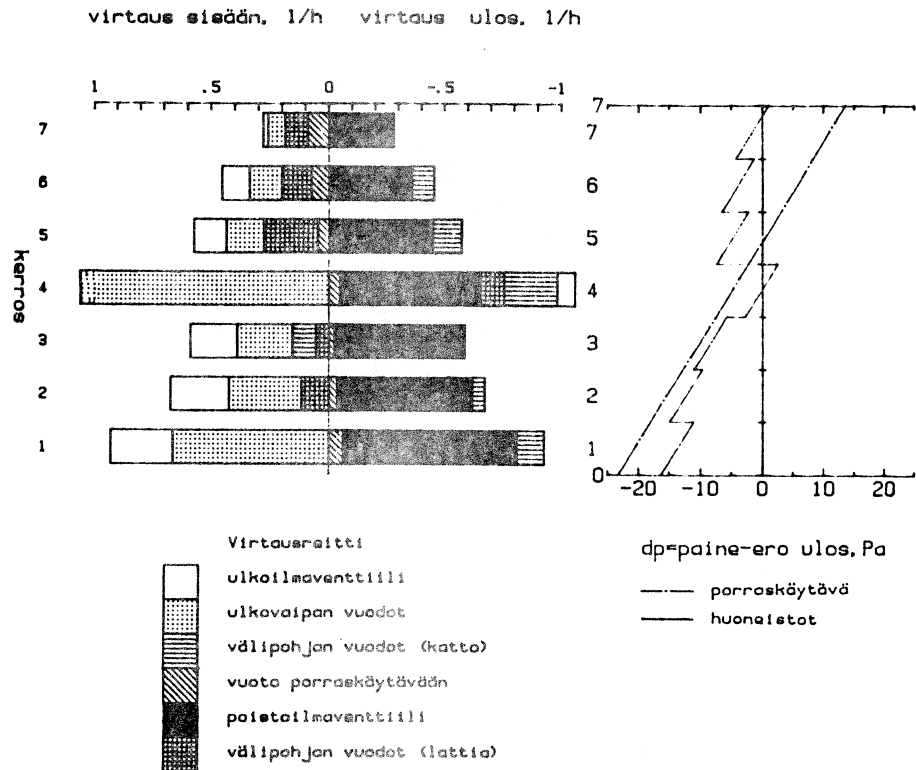
Kuva 16. Laskenta numero 10. Kanavistopaine 15 Pa, ulkolämpötila +20 °C, normaali tiiviisyys.

Ulkolämpötilassa -20 °C (kuva 17) poistoilmavirrat lisääntyvät alimmissa kerroksissa. Ylimmässä kerroksessa poistoilmavirta on 0,32/h. Korvausilmasta vain vajaa 0,1/h tulee ulkoa ja loput alakerrasta ja porraskäytävistä. Ilman laadun kannalta tilanne on heikko.



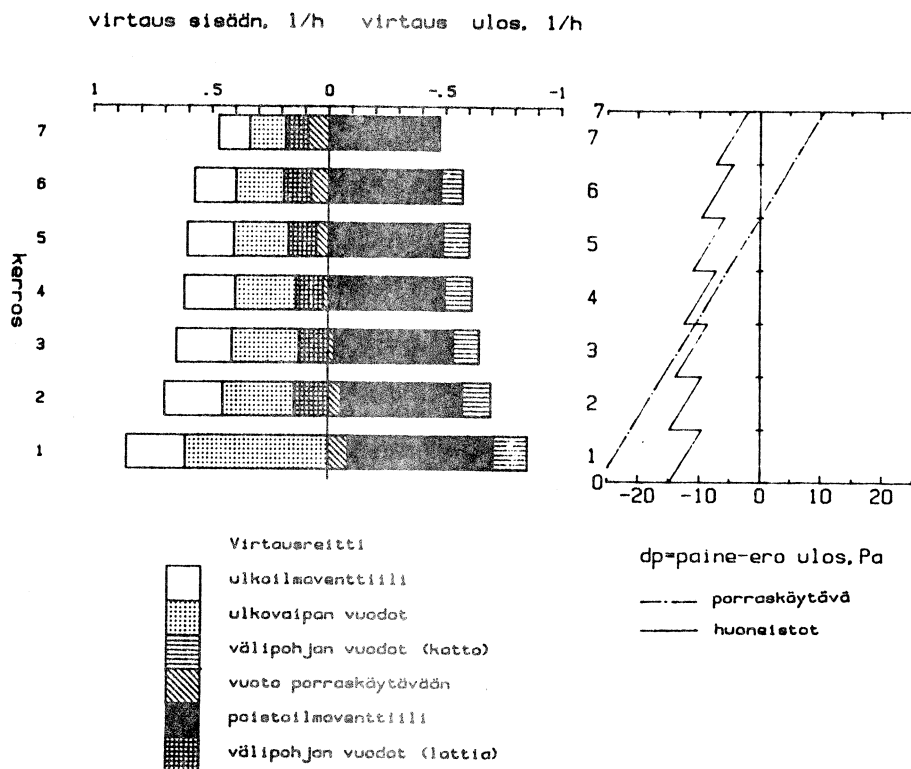
Kuva 17. Laskenta numero 11. Muutos edelliseen: ulkolämpötila -20°C .

Ikkunan tai parvekeoven avaaminen yhdessä kerroksessa heikentää ilmanvaihtoa entisestään muissa kerroksissa (kuva 18). Heikoin tilanne on 5. kerroksessa, jossa alakerrasta tulee yli $0,2/h$ vastaava ilmavirta.



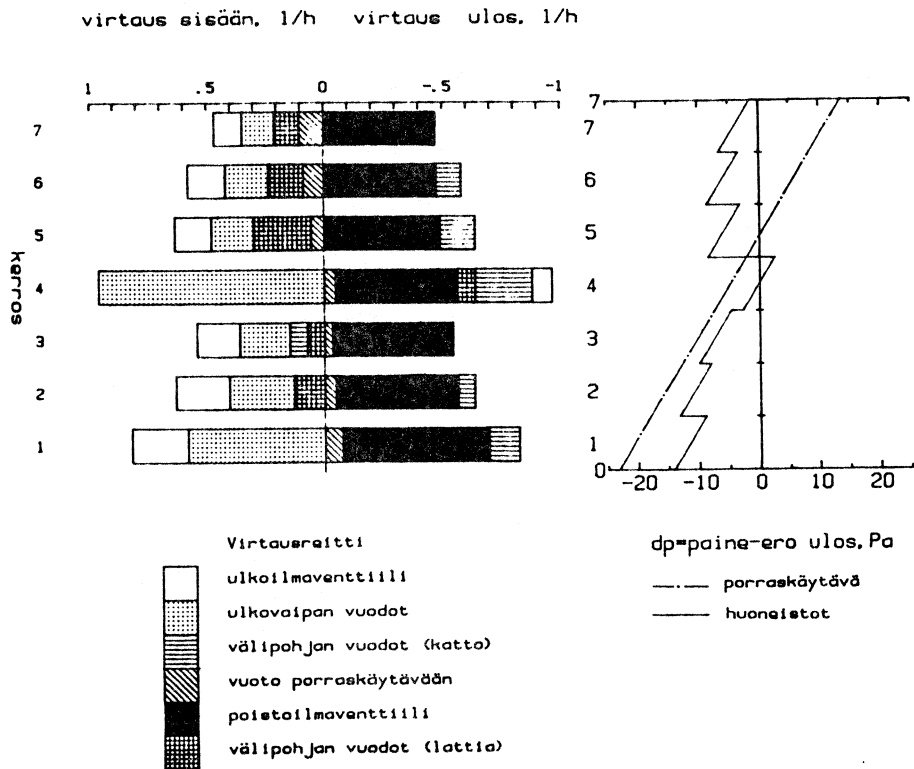
Kuva 18. Laskenta numero 12. Muutos edelliseen: ikkuna tai parvekeovi avattu 4. kerroksessa.

Kanavistopaineen lisäys 100 pascaliin tasaa kerrosten poistoilmavirrat tyydyttävästi (kuva 19).



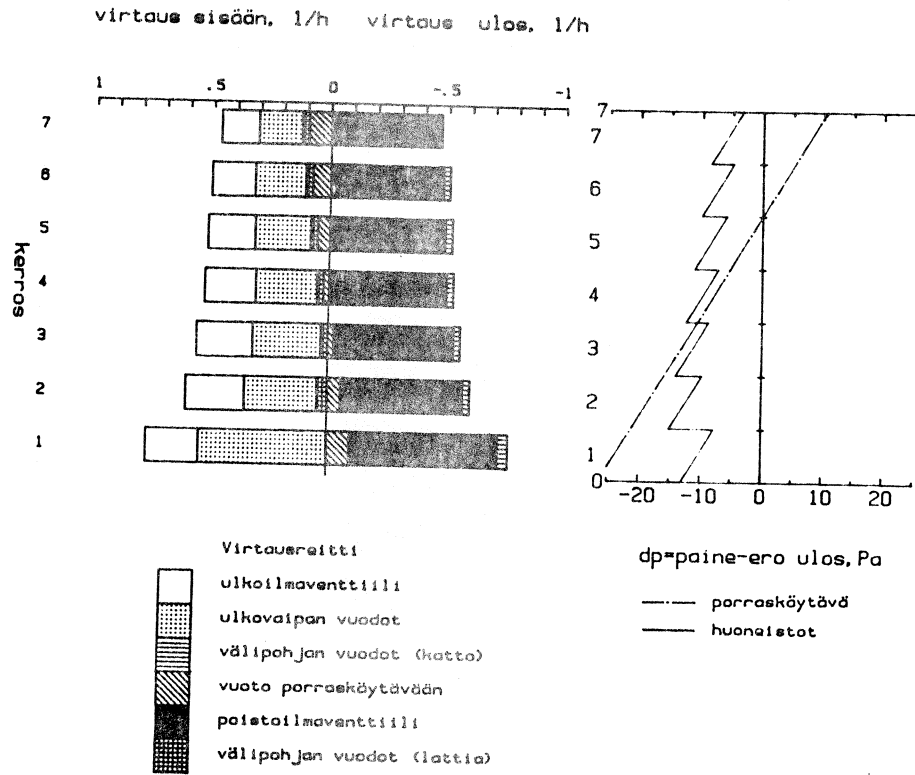
Kuva 19. Laskenta numero 13. Ulkolämpötila -20°C , kanavistopaine 100 Pa, normaali tiiviys.

Kuvassa 20 on esitetty tilanne, jossa on ikkuna tai parveke-
ovi avattu neljännessä kerroksessa.

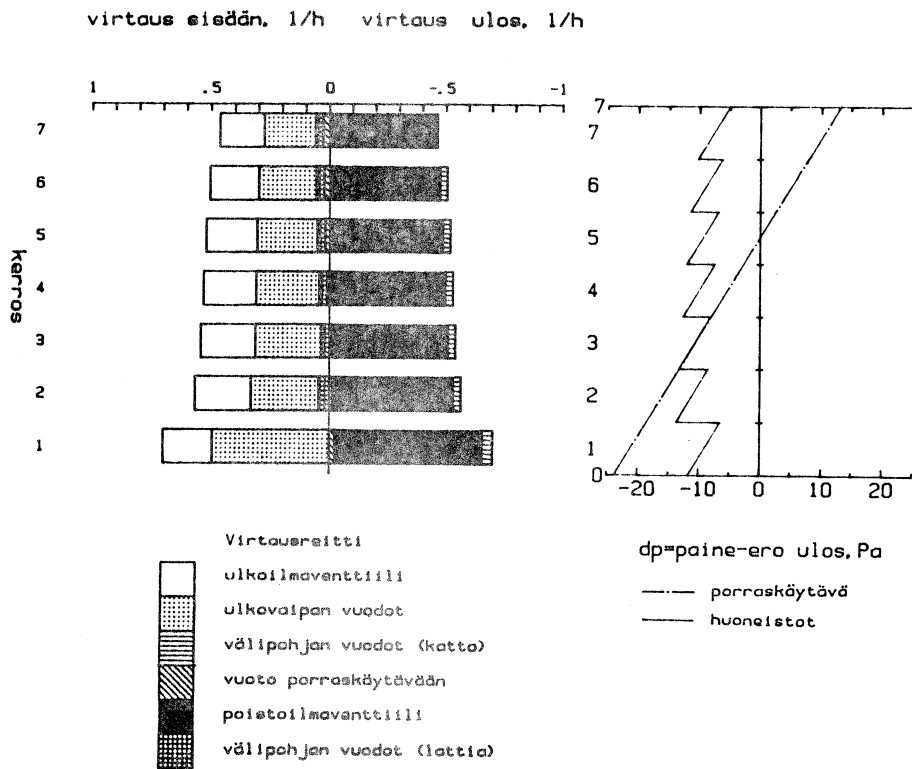


Kuva 20. Laskenta numero 14. Muutos edelliseen: ikkuna tai
parvekeovi avattu 4. kerroksessa.

Välipohjien ja porraskäytävien tiivistyksellä (kuvat 21 ja 22)
saadaan sisäiset ilmavuodot pienennettyä alle 10 %:iin koko-
naisilmanvaihdosta.



Kuva 21. Laskenta numero 15. Muutos numeroon 13 verrattuna: välipohjan vuoto pienennetty neljäsosaan.



Kuva 22. Laskenta numero 16. Muutos edelliseen: porrastöiden vuoto pienennetty neljäsosaan.

Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän asettamat vaatimukset ilmanvaihtokanavistolle ja rakennuksen ulkovaipalle ovat oleellisesti väljempiä kuin täysin koneellisessa järjestelmässä. Jopa kaksinopeusjärjestelmä voi toimia tyydyttävästi. Rakennuksen sisäinen tiiviys on ilman laadun kannalta yhtä tärkeää kuin täysin koneellisessa järjestelmässä.

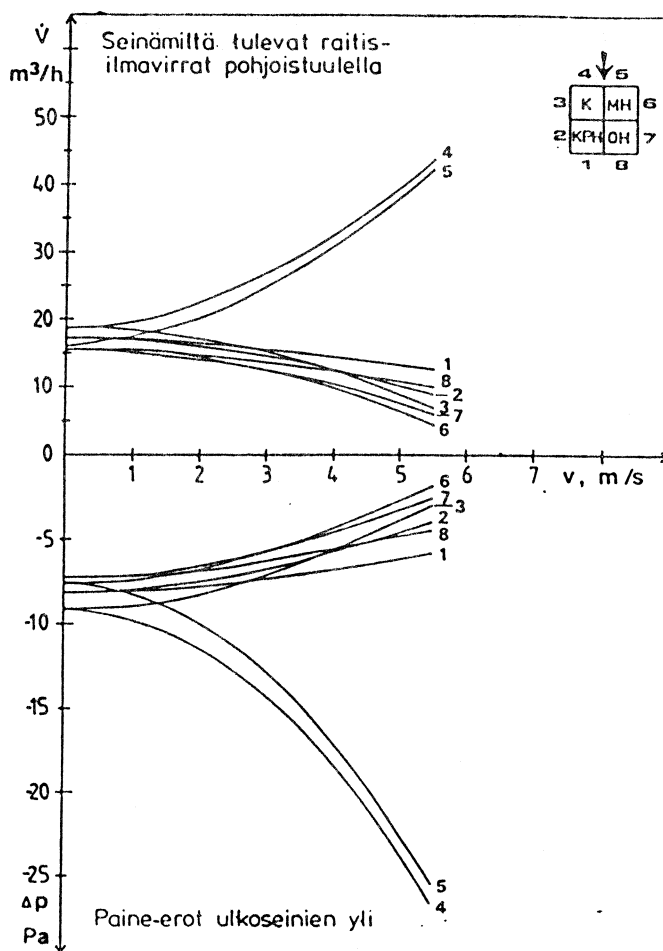
3.3.2 Tuulen vaikutus ilmanvaihtoon

Tuulen vaikutusta pientalon ilmanvaihtoon (ts. ilmanvaihtojärjestelmän häiriöalttiutta) on tarkasteltu laskennallisesti seuraavassa kohdassa /23/.

3.3.2.1 Pientalo

Tuulen nopeuden ja suunnan vaikutusta pientalon ilmanvaihtoon selvitettiin verkkomallilla /17/. Tarkasteltavassa rakennuksessa on koneellinen poisto, ja sen vuotoluku 50 Pa:n paineerolla on 2, mikä vastaa tiivistä taloa. Lähtötietoja on yksinkertaistettu siten, että ulko- ja sisäilman välinen lämpötilaero on nolla ja rakennuksen kokonaisvuodot jakautuvat tyyneellä säällä tasan ulkoseinillä olevien kahdeksan vuotoreitin kesken. Katon ja lattian kautta ei tapahdu vuotoja. Tuulen vaikutus otetaan huomioon painekertoimilla /35/.

Kuvassa 23 esitetään eri seinämien vuotoilmavirrat ja painerot ulkoseinien yli pohjoistuulella.



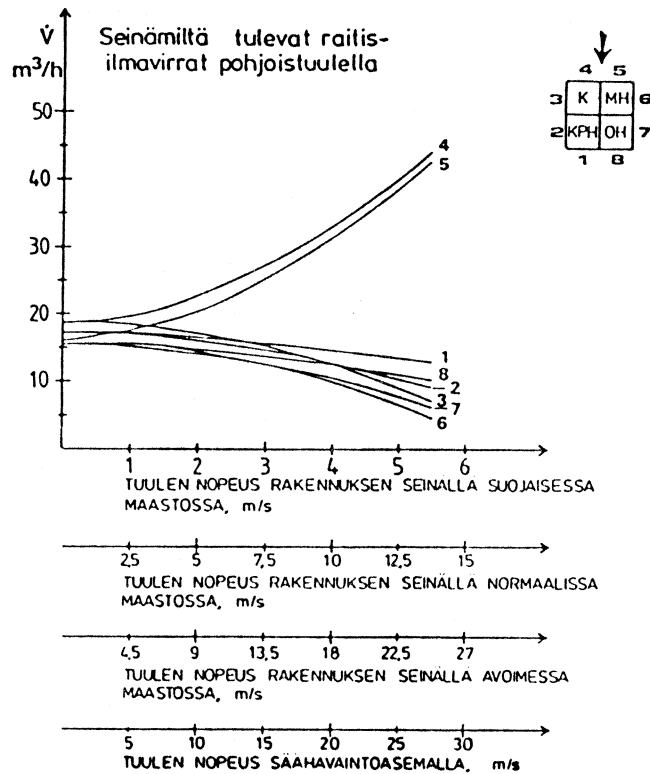
Kuva 23. Ilmavirrat ja paine-erot pohjoistuulella /23/.

Tuulennopeuden kasvaessa lisääntyy vuotoilmavirta tuulen puolella ja vähenee suojan puolella. Vastaavasti ulkoseinän yli vallitseva paine-ero kasvaa tuulen puolella ja pienenee suojan puolella. Ilmiö on lievempi väli-ilmansuunnilla johtuen käytetyistä painekertoimista (väli-ilmansuunnilla tuulen puolella +0,5 ja suojan puolella -0,4, pääilmansuunnilla tuulen puolella +0,9, sivuseinillä -0,4 ja suojan puolella -0,3).

Tuulen nopeuden kasvaessa rakennuksen kokonaisilmavirta ei juuri muutu, mikä johtuu siitä, että paine-ero puhaltimen yli oli suuri (noin 313 Pa).

Maaston vaimennus

Seuraavassa kuvassa tarkastellaan maaston vaimennusta säähavaintoasemalla mitattuun tuulen nopeuteen /16/.



Kuva 24. Maaston vaimennus tuulen nopeuteen /23/.

Jos säähavaintoasemalla mitataan tuulen nopeudeksi 10 m/s, vaimenee tuuli avoimessa maastossa 9 m:iin/s, normaalissa 5 m:iin/s ja suojaisessa maastossa 2 m:iin/s, kun tarkasteltavana on yksikerroksinen rakennus.

Pitkäaikaisten tilastojen /16/ mukaan tuulen nopeuden vuosikeskiarvo on Helsingissä 4,1 m/s.

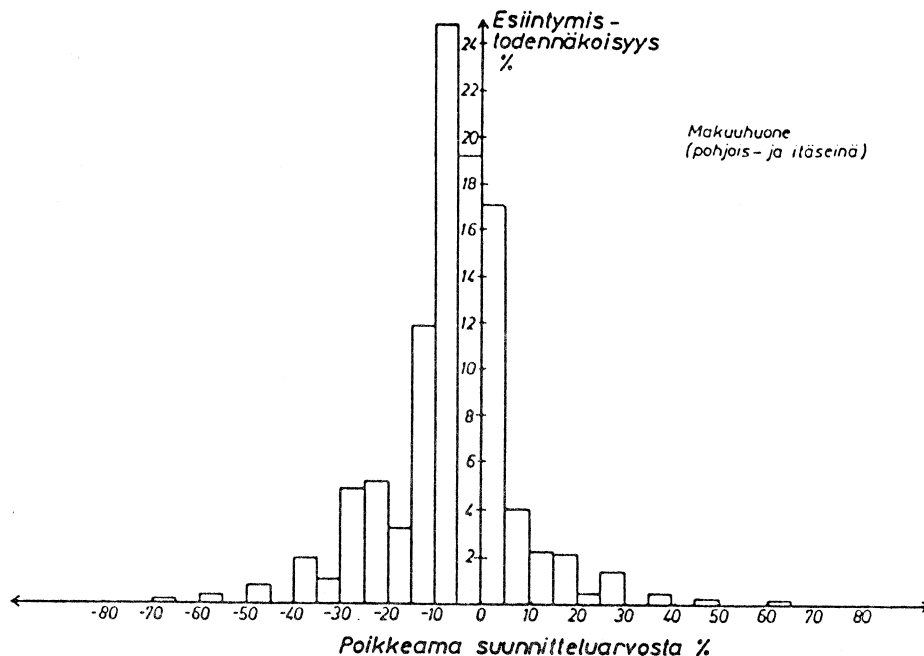
Tarkastellaan rakennuksen ilmanvaihdon toimivuutta tuulen keskinopeudella 4,1 m/s, kun tuuli puhaltaa pohjoisesta. Avoimessa maastossa rakennuksen pohjoisseinältä tulee noin 50 % kokonaisvuodosta. Normaalissa ja suojaisessa maastossa vuotoilmavirtojen jakautuma on tasainen.

Kriittinen tilanne on silloin, kun painesuhteet ovat sellaiset, että tuulen puoleiselta seinältä tulee niin paljon ilmaa, että se pyrkii suojan puolelta ulos. Näin käy, kun tuulennopeus on rakennuksen läheisyydessä noin 6 m/s suojaisessa maastossa, mikä vastaa säähavaintoasemalla mitattua tuulennopeutta 30 m/s. Lähteen /16/ mukaan 99,5 % tuulista on kuitenkin alle 30 m/s. Jos rakennus sijaitsee normaalissa maastossa, on säähavaintoasemalla mitattu kriittinen nopeus noin 12 m/s. Lähteen /16/ mukaan 99,2 %:ssa tapauksista on tuulen nopeus alhaisempi. Jos rakennus sijaitsee avoimessa maastossa, on kriittinen nopeus noin 7 m/s säähavaintoasemalla. 84,7 % tuulista on alle 7 m/s.

Vastaavasti voidaan tarkastella tilannetta muilla tuulen suunnilla. Yleisesti voidaan todeta, että kriittisiä tuulennopeuksia esiintyy vain 20 % tai vähemmän.

Huonekohtainen tarkastelu

Seuraavassa tarkastellaan normaalissa maastossa sijaitsevaa rakennusta, jolle on huonekohtaisesti laskettu raitisilmavirran poikkeama suunnittelutilanteesta. Kuvassa 25 tarkastellaan makuuhuonetta, jossa on ulkoseinä pohjoiseen ja itään.



Kuva 25. Makuuhuoneen raitisilmavirran poikkeama suunnittelu arvosta /23/.

Kuvasta havaitaan, että suurien (yli 40 %) poikkeamien esiintymistodennäköisyydet ovat pieniä. Ilmavirta pysyy todennäköisyydellä 65 % alueella ± 10 % suunnitteluarvosta. Liian suuria ilmavirtoja esiintyy harvoin. 73 %:ssa tapauksista on ilmavirta alle suunnitteluarvon. Huone sijaitsee rakennuksen koillisnurkassa. Vallitseva tuulen suunta on lounaasta, jolloin makuuhuoneen painekerroin tulee usein negatiiviseksi.

Vastaavasti muille huoneille tehdyistä tarkasteluista havaitaan, että kunkin huoneen ilmavirta pysyttelee yli 65 %:n todennäköisyydellä ± 10 %:n alueella suunnitteluarvosta.

Vuotoluku 2 kuvaa tiivistä taloa ja 6 melko hataraa. Tiiviissä talossa alkaa esiintyä ongelmia olohuoneessa tuulennopeudella noin 5,5 m/s, kun ilman virtaussuunta kääntyy sisältä ulospäin. Hatarassa talossa vastaava tilanne syntyy jo nopeudella noin 2,5 m/s. Hatarassa talossa paine-erot ulkoseinän yli ovat alle 3 Pa, kun ne tiiviissä talossa ovat alle 9 Pa.

Koneellisen poiston osateholla ilmenee nopeammin läpivirtausta kuin 1/1-teholla. Osatehot ovat kuitenkin satunnaisia tilanteita.

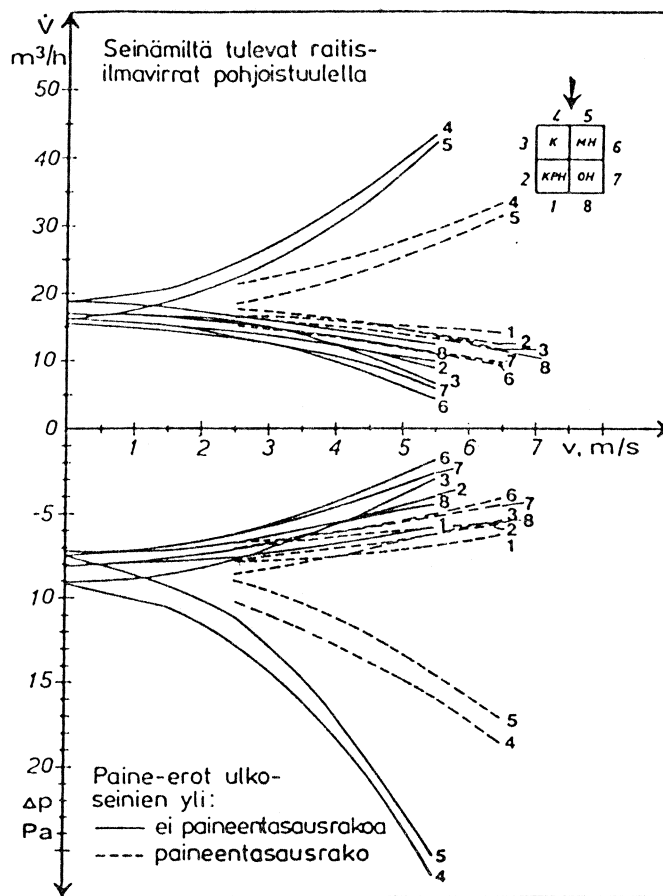
Tuulen vaikutuksen eliminoiminen

Ympäröivän maaston vaikutus säähavaintoasemalla mitattuun tuulennopeuteen ilmenee kuvasta 24. Suojaisessa maastossa olevan pientalon seinään vaikuttava tuulennopeus on enää 20 % säähavaintoasemalla mitatusta arvosta, ja "normaalissakin" maastossa vain puolet.

Hataran rakennuksen ilmanvaihto häiriintyy jo melko usein esiintyvillä tuulennopeuksilla, kun tiiviissä talossa on vastaavien ongelmien esiintymistodennäköisyys paljon pienempi. Myös koneellisen poiston osatehoja käytettäessä on rakennuksen ilmanvaihto herkempi tuulelle.

Tuulen vaikutuksen eliminoimiseksi on VTT:n 1½-kerroksiseen koetaloon rakennettu ns. tuulivaippa, millä tarkoitetaan ulkoverhouksen alla olevaa koko rakennusta ympäröivää paineentasausrakoja. Paineentasausraon toimintaa on selvitetty tekemällä kokeita, joissa on mitattu paine-ero paineentasausraosta sisätilaan ja ulkoilmasta sisätilaan. Paineentasausrako vaimentaa hyvin tuulen aiheuttamia paine-eron vaihte-
luja.

Kuvassa 26 esitetään paineentasausraon vaikutus eri seinämien vuotoilmavirtoihin ja paine-eroihin.



Kuva 26. Paineentasausraon vaikutus huoneisiin tuleviin raitisilmavirtoihin pohjoistuulella /23/.

3.4 Laitetekniikan puutteet

Seuraavassa on käsitelty niitä palauteaineiston ongelmalueita, jotka ainakin osittain aiheutuvat laitetekniikan puutteista.

3.4.1 Äänenvaimennus

Tyypillinen ilmanvaihtojärjestelmien aiheuttama syy valitukseen ja käyttöhaluttomuuteen on järjestelmien aiheuttama melu. Varsinkin koneellisen sisäänpuhalluksen järjestelmissä melu on tavallista. Yleensä syynä on puutteellinen äänen vaimennus puhaltimen jälkeen. Myös ilmanvaihtokojien tärinän- ja ääneneristyksessä on puutteita.

Osa meluhaitoista syntyy pääte- ja säätöelimissä. Rakennuksen ja kanaviston painesuhteiden hallinnan ja näin ollen järjestelmän toimintahäiriöiden välttämisen kannalta riittävä painetaso ja -häviö on kuitenkin tarpeen esim. elimissä. Tällöin vaarana ovat äänihaitat. Erikoisesti kanavien ja laitteiden liitoskohdat ovat kriittisiä. Vuotokohdissa syntyy ääntä. Sama pätee myös kanaviston muihin liitoskohtiin, esimerkiksi työmaalla "käsityönä" tehdyt kanavahaarat ja liittymäkohdat rakenneaineisiin kanaviin (mm. ontelolaattoihin) ovat aiheuttaneet ongelmia.

Yleinen tilanne on, että nykyisten määräystenkään mukaisia äänitasoja ei aina saavuteta. Määräysten mukaisia arvoja voidaan kuitenkin pitää viihtyisyyden ja laadun kannalta minimitasona. Huomattava osa ilmanvaihtoon kohdistuvasta negatiivisesta arvostelusta ilmeisesti vältettäisiin, jos ilmanvaihtojärjestelmät toteutettaisiin nykyistä määräystasoa äänettömämpinä.

3.4.2 Säätoelimet

Tavallinen tilanne on, että ilmanvaihtojärjestelmän suunnitellut ilmamäärät eivät toteudu. Usein syynä on järjestelmän puutteellinen perussäätö tai käytön ja huollon laiminlyönneistä aiheutuvat ilmavirtojen muutokset.

Osasyynä perussäädön puutteisiin voivat olla myös säätöelimet. Niiden ominaisuudet eivät ole aina riittäviä eikä niissä saavuteta riittävää painehäviötä ilman ääni- ja virtausteknisiä haittoja. Myös säätöelimien laatutaso on usein heikko, joten nykyistä parempi laadun tarkkailu olisi tarpeen.

Lisäksi säätöelimien ominaisuuksia ei aina tunneta, jolloin laitteiden oikea valinta vaikeutuu. Yleensäkin eri valmistajien laitteiden keskinäinen vertailu on nykyisin mahdollista vain valmistajien laatimien käyrästöjen perusteella.

3.4.3 Pääte-elimet

Pääte-elimien tyypillisiä ongelmia ovat likaantuminen ja äänihaitat. Molempien aiheuttajana voivat olla pääte-elimien ja kanaviston epätiivit liittymäkohdat.

Laitteiden toiminta-alue on usein suppea, jolloin likaantumisen, käyttötarkoituksen muutoksen tms. syyn takia ilman jako ei onnistukaan uudella ilmamäärällä hyvin. Tällöin voi aiheutua joko vetohaittoja tai ilmanvaihdon tehokkuus jää heikoksi. Käyttäjäkohtaisella vaikutusmahdollisuudella (ilmamäärän säätö ja suuntaus) em. ongelmat saataisiin usein eliminoitua.

Pääte-elimienkin valinta ja vertailu on laitevalmistajien

antamien tietojen varassa. Samoin laadun valvonta jää valmistajan vastuulle. Yhtenäinen mittaus- ja tyyppi hyväksyntäkäytäntö voisi selkeyttää tilannetta.

3.4.4 Muut laitteet

Puhaltimien yhteydessä ongelmat liittyvät (em. äänihaittojen lisäksi) oikeaan laitevalintaan. Valintaa vaikeuttaa valmistajien ilmoittamien suoritusarvojen kirjavuus, mm. liittymistavalla kanavistoon on huomattava merkitys.

Puhaltimien sijoittelulla on huomattava vaikutus myös ilmavirtojen jakaumaan puhaltimen jälkeisissä laitteissa. Esimerkiksi lämmönsiirtimien tai LTO:n ohituskytkentöjen heikon toimivuuden syy voi olla puhaltimen sijoittelu.

Puhaltimien käynnissä esiintyneitä virhetoimintoja ovat myös väärä pyörimissuunta tai katkenneet kiilahihnat. Vaikka näiden epäkohtien syyt löytyvätkin lähinnä ylläpito-puolelta, tulisivat ne ilmi, jos yksinkertaisissakin järjestelmissä (esim. koneellinen poisto) käytettäisiin ilman virtausnopeuden muutoksiin tai kanaviston painetasoon reagoivia virtausvahteja.

Lämmön talteenoton ongelmat liittyvät usein jäätyminenestolaitteiden toimintaan. Toimivuuden kannalta paras ratkaisu olisi toteuttaa LTO niin, ettei jäätymistä tapahdu eikä LTO:n ohituskytkentöjä tarvita.

Kosteiden tilojen LTO:ssa kondensoitumista kuitenkin tapahtuu ja se lisää LTO-laitteen painehäviötä. Tällöin ilmavirrat voivat joutua epätasapainoon ts. poistoilmavirta pienenee, mikä lisää edelleen jäätymisvaaraa. Tärkeää onkin huolehtia kosteuden poistumisesta siirtimestä. Lisäksi ohituspeltien toiminta ja tiiviys ovat LTO:n toimivuuden kannalta kriittisiä kohtia.

Myös laitteiden huollettavuudessa on usein parantamisen varaa. Huoltotoimien perusedellytyksenä riittävien tilanvarauksen lisäksi on mm. riittävän isot ja oikein sijoitetut huoltoluukut.

Ilmanvaihtokojeiden suodattimien kiinnityksissä on esiintynyt puutteita. Epätiivin kiinnityksen vuoksi osa ilmavirrasta ohittaa suodattimen, jolloin suodatustulos jää puutteelliseksi.

Liesikupujen aktiivihiiლისუოდattimien kohdalla erotuskyky jää myös usein heikoksi. Syynä on liian pieni aktiivihiihimäärä. Koska hajuhaittoja ei suodattimella saada poistettua, jää ilmankierrätysperiaatteella toimivien liesikupujen toiminta puutteelliseksi. Liesikupujen ongelma on myös melu, erikoisesti käytettäessä ruoanlaiton aikaista tehostusta. Lisäksi niiden epäpuhtauksien keräyskyky on yleensä heikko.

3.5 Käytön ja huollon puutteet

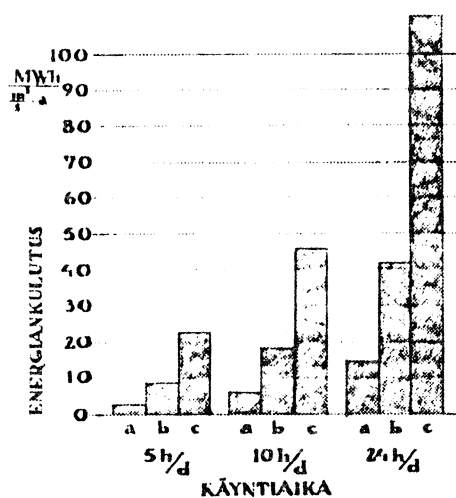
Varsin usein ilmanvaihtojärjestelmiin kohdistuvien valitusten perussyyt löytyvät virheellisestä käytöstä tai puutteellisesti suoritettusta huollosta. Samoin energian säästöön pyrittäessä tulisi ensimmäiseksi kiinnittää huomio järjestelmien käyttöön ja huoltoon. Tältä alueelta on yleensä löydettävissä huomattavaa säästöpotentiaalia. Vastaavasti energian säästöön tähtäävät investoinnit menevät helposti hukkaan ellei samalla huolehdi käytön ja huollon toimivuudesta.

Käyttö- ja huoltotoiminnan ensisijaisena ongelmana tuntuu olevan tavoitteellisuuden puute, joka usein vielä yhdistyy puutteelliseen tieto- ja koulutustasoon.

Olosuhteille, joita rakennuksessa pyritään ylläpitämään, olisi määriteltävä selvät (mieluiten mitattavissa olevat) tavoitearvot (esim. lämpötila, ilman nopeus, epäpuhtauspitoisuus jne.). Näitä sisäilmaston tekijöitä sitten käytön

tarkastuksissa jatkuvasti seurattaisiin. Mikäli poikkeamia tavoitearvoihin nähden esiintyy, on seurauksena epäkohdan korjaaminen ts. huoltotoimenpiteet. Sama periaate pätee myös energian kulutusseurantaan. Poikkeaminen normaali-tavoitearvoista käynnistää vian etsinnän.

Tyypillisiä käyttöön liittyviä virheitä ovat ilmanvaihtokojeden väärät käyttöajat. Syynä tähän on joko kojeiden käyttö käsiohjauksella tai ohjausautomaatiikan puutteet, esim. ohjauskellot ovat väärässä ajassa tai epäkunnossa. Väärät käyttöajat aiheuttavat huomattavaa energian tuhlausta ja sisäilmasto-ongelmia, esim. tunkkaisuutta (ks. kuva 27).

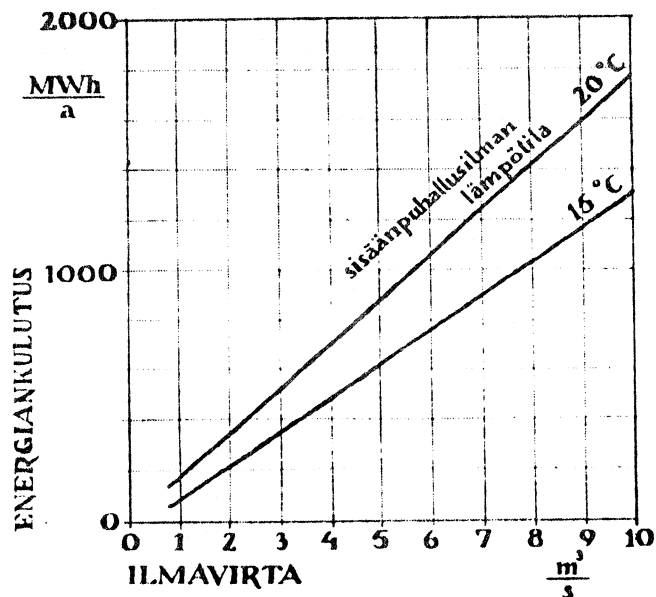


Kuva 27. Ilmanvaihdon käyntiajan muuttamisen vaikutus ominaisenergiankulutukseen / 4 /.

- (a) kiertoilmasuhte tai lämmön talteenoton hyötysuhde = 0,7
- (b) kiertoilmasuhte tai lämmön talteenoton hyötysuhde = 0,5
- (c) ei kiertoilmaa eikä lämmön talteenottoa
- pelkkä poistojärjestelmä = ei kustutusta (c)

Vastaavia haittoja aiheutuu, jos kojeiden palvelualueen tilojen käyttötarkoitus on muuttunut (esim. neuvottelutilat ovat muuttuneet toimistotiloiksi tai päinvastoin).

Tavallinen syy turhaan energiankulutukseen on kojeiden suuret palvelualueet, jolloin jonkin yksittäisen tilan käytön takia joudutaan pitämään koko alueen ilmanvaihtoa päällä.



Kuva 28. Ilmavirran vaikutus energiankulutukseen. Ilmanvaihdon määrän pienentäminen tai suurentaminen on suoraan verrannollinen kulutuksen muutokseen / 4 /.

4 JÄRJESTELMÄ- JA LAITETEKNISET KEHITYSTARPEET

4.1 Ulkoilman sisäänotto

Ulkoilman sisäänoton pääongelmia ovat vetohaitat, ilman epätasainen jakaantuminen huonetilojen kesken ja sääolojen vaikutus ilmavirtoihin.

Ulkoilman sisäänoton järjestäminen hallitusti ulkovaipan kautta näyttäisi edellyttävän ainakin seuraavia seikkoja:

- 1 Talossa on oikein säädetty koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä, jonka ilmavirrat tunnetaan
- 2 Ulkoilmareittien ja -elimien virtausfunktiot sekä säätö- ja suuntausominaisuudet tunnetaan
- 3 Talon ulkovaipan sekä huoneistojen välisten seinämien tiiviys on riittävä ja niiden ilmavuodot paine-eron funktiona tunnetaan
- 4 Sään (tuuli, ulkolämpötila) vaihteluista johtuvat häiriöt tunnetaan ja voidaan riittävästi eliminoida
- 5 Ulkoilmaelimien synnyttämä virtaus- ja lämpötilakenttä huoneessa on mitattu ja arvosteltu viihtyisyyskriteerein

Lähtöedellytysten 1 - 3 perusteella voidaan valita talossa käytettävä alipaine, mitoittaa ulkoilmavirrat ja säätää ne häiriöttömässä säätilassa haluttuihin arvoihin. Sopivalla laskentamallilla arvioidaan sään vaikutus ilmavirtoihin ja siten arvostellaan mitoituksen sopivuus eri sääoloissa. Lähtöedellytyksen 5 perusteella puolestaan päätellään valittavan ilmanottoratkaisun soveltuvuus ko. kohteeseen viihtyisyyden kannalta /20/.

Kaikki nämä edellytykset voidaan täyttää vain rajatuissa tutkimustilanteissa, joissa tulos voidaan vielä tarkastaa mittauksin. Tuloksia yleistäen on kuitenkin mahdollista johtaa käytäntöön sopivia ulkoilman sisäänoton mitoitus- ja valintaohjeita tiettyihin tyyppitapauksiin.

On siis pyrittävä käyttämään mitoitettuja virtausteitä, kuten venttiileitä tai ikkunan puiterakoja ilman sisäänottoelimiä. Itseasiassa järjestelmänimike poistoilmanvaihto tulisi muuttaa enemmän järjestelmää kuvaavaksi, esim. ulko- ja poistoilmanvaihto, jotta puolinaisia järjestelmiä ei syntyisi.

Mitoitusperusteiden laadinta ulkoilman sisäännotolle on selvä kehitystarve, jossa on huomioitava kytkentä ulkoilmaelin - rakennuksen vaippa. Osa ulkoilmasta tulee aina satunnaisina

vuotoina, jolloin kokonaisulkoilmanvaihto on elimien kautta ja ulkovaipan vuotoina tuleva ilmanvaihto. Tämä aiheuttaa suunnitteluun epävarmuuden satunnaisen vuodon osuudesta. Mitä tiiviimpi rakennus on, sitä suurempi osuus ulkoilmasta tulee ulkoilmaelimien kautta ja sitä hallitumpaa (suunnitelmallisempaa) ilmanvaihto on.

Koska sää on suurin satunnaistekijä, on sen vaikutusten minimointi ulkoilmaelimissä tärkeää. Mm. tuulen aiheuttamat muutokset ulkovaipan yli vaikuttavassa paine-erossa ovat merkittäviä. Toisaalta yleensä järjestelmän toimiessa ovat käytettävät paine-erot pieniä, kun taas ulkoilmaelimet on useimmiten valmistettu käytännössä liian suurilla paine-eroilla ajatellen.

Seuraavassa esitetään muutamia laitekohtaisia kehitysmahdollisuuksia /20/.

Tuuletusluukkua tai -ikkunaa käytetään yleisesti ilmanvaihdon hetkelliseen tehostamiseen esim. kesäkuumalla. Tuuletusluukut ja -ikkunat ovat olleet käsin säädettäviä ja vailla teknisiä säätötietoja (virtaus-painehäviökäyrästä) ilmavirran asettelua varten.

Kiinni ollessaan tuuletusluukku ei toimi ilman sisäänotto-tienä. Avattuna kylmä ulkoilma vajoaa suoraan lattialle, koska tuuletusluukussa ei ole lämmitystä eikä virtauksen suuntausmahdollisuutta ja ilman lähtönopeus on pieni.

Suodattimen käyttömahdollisuus on tuuletusluukun ehkä vahvimpia ominaisuuksia. Koska luukun otsapinta-ala on suuri, ei suodattimen lisääminen aiheuta yhtä suurta painehäviötä kuin pieniauukoisissa venttiileissä tilavuusvirran ollessa sama. Suodattimen otsapinnan alaa voitaisiin säätää tai mitoittaa se esim. vain osittain läpäiseväksi, jolloin luukku olisi vain sulkuelin.

Jos tuuletusluukku käytetään ulkoilman sisäänottoon, ei sitä pidä sijoittaa nykyiseen tapaan WC:hen, keittiöön tms. tiloihin, jotta ilma kulkisi oikein vain puhtaammista li-
kaisempiin tiloihin.

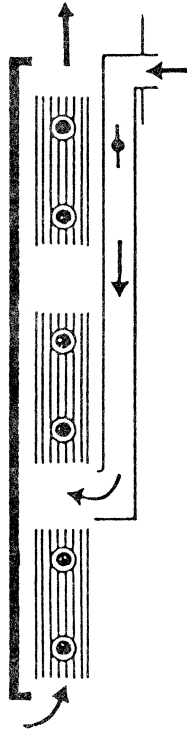
Tavanomaisten ulkoilmaventtiilien, kuten lautasventtiilien tai läppien ja laatikkoventtiilien ongelmana on vetoisuus. Useimmiten lähtönopeus on liian pieni venttiilin aukossa ja ilma virtaa huoneeseen suuresta keskitetystä aukosta. Parempaan tulokseen päästään käyttämällä esim. ylös suuntaavaa pitkää rakomaista venttiiliä, jossa suihkun lähtönopeus on riittävä (yli 2 m/s).

Tavanomaisten ulkoilmaventtiilien ongelma on myös suuresta aukosta johtuva huono säädettävyyys ja suunnattavuuskin, jolloin niitä ei toistaiseksi ole voitu käyttää mitoitettavina ilmanvaihtojärjestelmän osina. Tavoitteena voisi olla ulkoilmaventtiili, jossa ilmavirran suuruutta, suuntaa ja lähtönopeutta voitaisiin asetella käyttöolosuhteiden ja venttiilin testattujen tyyppitietojen mukaan.

Huoneeseen ulkoa tulevan ilman lämmittämiseksi on tehty venttiilikonstruktioita, joissa ilma johdetaan tavallisen patterin läheisyyteen tai taakse (kuva 29). Näissä on vaarana ilmavirran valuminen lattialle, kun tilavuusvirta on suuri tai patterin lämpötila alhainen. Uusimmissa hinnaltaan korkeammassa konvektorin ja ulkoilman sisäänoton yhdistelmissä lattialle valuminen on estetty käyttämällä koteloitua sekoitusosaa ennen ilman johtamista huonetilaan ikkunapenkistä.

Vaarana ulkoilman johtamisessa lämmittämättömänä vesipatterin taakse on mahdollinen jäätyminen ja siitä aiheutuva vaurio. Sähköpattereita käytettäessä tätä vaaraa ei ole, mutta ylikuumenemissuoja on tarpeen. Selvänä kehitysnäkymänä ovatkin ilman sisäänottoon tarkoitetut lämmityksellä

ja tarvittaessa jäätymisen estolla varustetut venttiilit, joiden sijoittelukin on vapaampaa lämpimän ilman vedottomuuden ansiosta. Näiden laitteiden automatiikka ja raskaampi laitekniikka nostaa hintaa tavanomaisiin venttiileihin verrattuna.



Kuva 29. Ulkoilman sisäänottojärjestely, jossa ilma johdetaan konvektoripatterin taakse / 6 /.

Melko uutena kehityssuuntana ovat itsesäätyvät venttiilit, joissa pyritään sään (etenkin tuulen) vaikutukset ilmavirtaan eliminoimaan jollakin paine-eron tai lämpötilan mukaan säätyvällä osalla. Esim. eräs ruotsalainen venttiili säätyy ulkoa tulevan ilman lämpötilan vaikutuksesta, jolloin säätöelimenä toimiva bimetallinen spiraali avaa ja sulkee venttiilin virtausaukkoa lämpötilan mukaan.

Eräät Suomessakin jo markkinoilla olevat ns. vakiovirtausventtiilit on suunniteltu pitämään ilmavirta vakiona riippumatta sisä- ja ulkolämpötilan välisestä paine-erosta. Näiden herkkyyks ei kuitenkaan vielä riitä, vaan venttiilit

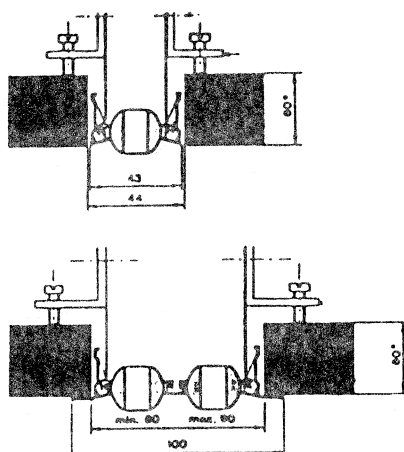
toimivat täysin passiivisesti tavallisesti esiintyvällä paine-eroalueella (<50 Pa). Kehittyneempää suuntausta vakiovirtausventtiileissä edustaa patentoituun /29/ kaskadiperiaatteeseen perustuva venttiili, jossa ulkoilmavirran oletetaan pysyvän lähes vakiona ($20 \text{ m}^3/\text{h}$) paine-eroalueella 10 - 50 Pa.

Itsesäätyvien venttiilien odotetaan tuovan uuden ratkaisun ilmavirtojen hallinnan ongelmaan. Kuitenkin vaikutus sisäilmastoon riippuu lähes yksinomaan sisäänpuhallussuihkun nopeudesta ja suuntauksesta, jotka on suunniteltava näissä kuten muissakin sisäänottoratkaisuissa huolella.

Liittämällä itsesäätyvä venttiili johonkin ilmaa esilämmitävään rakennusosaan, kuten tuloilmaikkunaan, tai varustamalla se aktiivisella lämmittimellä, päästään ehkä ihan teelliseen ilmanottoratkaisuun.

Vedon tunnetta voitaisiin vähentää myös suuntaamalla sisään tuleva ilmavirta sopivasti. Tällöin ulkoilma ohjattaisiin pois oleskeluvyöhykkeeltä tietoisesti alueelle, jossa ei ainakaan jatkuvasti oleskella. Tällöin varsinainen työkentelypiste jää vedottomaksi.

Suuntaavina venttiileinä voidaan käyttää mm. säleikköjä tai lentokoneissakin käytettyjä palloventtiilejä asennettuna riviin esim. ikkunan yläpuitteeseen (kuva 30).



Kuva 30. Suuntaava palloriviventtiili, jolla ilmavirta voidaan ohjata haluttuun osaan huonetta / 3 /.

Ulkoilman sisäänottoon on ajateltu myös huokoista seinärakennetta, jossa ulkoilma esilämpenisi ja osa johtumishäviöistä voitaisiin hyödyntää. Vaikeutena on suoritetuissa kokeissa /20/ ollut ilman epätasainen jakautuminen koko huokoisen kerroksen alueelle. Suurin osa ilmasta tuli läpi alueen alareunasta valuen lattialle. Tästä syystä myös huokoisen seinän tapauksessa tarvitaan sisäpinnassa ilmavirtaa ohjaavia seinälevyjä yms. Käytännössä tarvittaisiin ilmeisesti jo tehtaalla valmistettuja ulkoseinäelementtejä, joissa on tarvittavat järjestelyt.

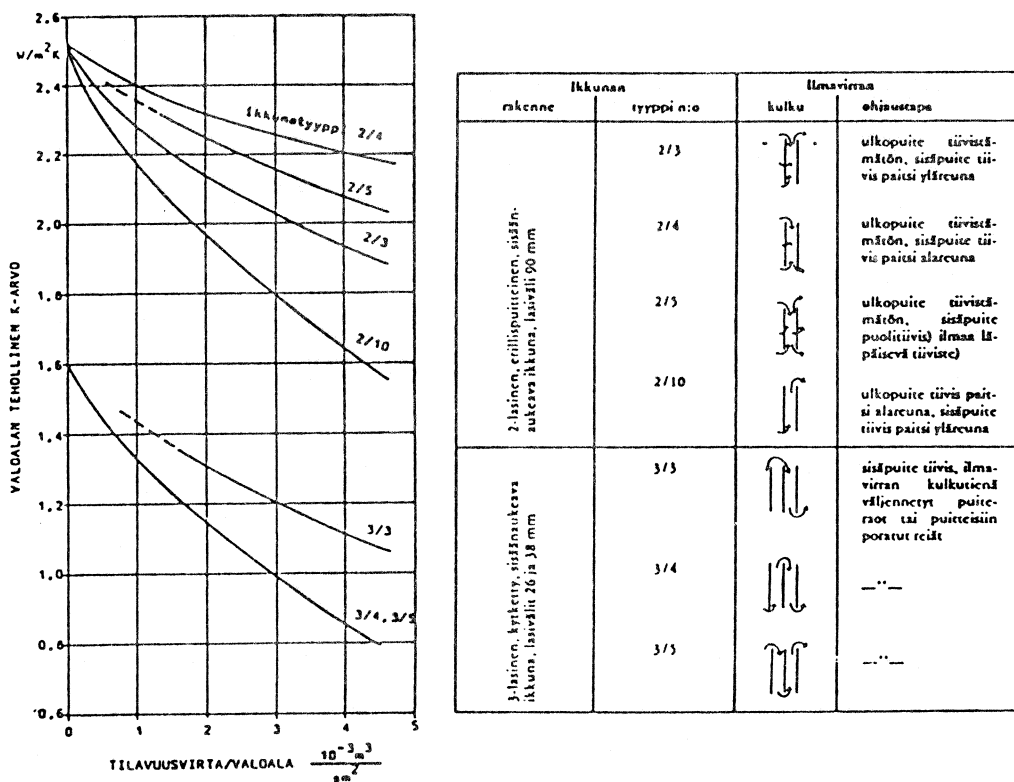
Huokoisen seinärakenteen painehäviön suuruuteen voidaan vaikuttaa materiaalinvalinnalla, huokoisen kerroksen paksuutta säätämällä sekä mitoittamalla virtausteitä.

On epäselvää miten hyvin ilmavirtaus pysyisi asetusarvossaan seinämää käytettäessä. Sääolot vaikuttavat ainakin tuulelta suojaamattomaan rakenteeseen ja korkeissa rakenteissa saattaa ilman tiheyseroista johtuva paine-ero tuoda ongelmia. Ainakaan tällä hetkellä ei ilman suuntaamiselle ja säädölle ole esitetty ratkaisua huokoisen seinärakenteen yhteydessä.

Huokoinen seinärakenne toimii myös eräänlaisena suodattimena. Ei ole kuitenkaan tiedossa miten tällainen kiinteä seinän osa puhdistetaan. Pienen alueen ollessa kyseessä puhdistamista tarvitaan, mutta suuren seinän kohdalla puhdistamista ei ilmeisesti sen eliniän aikana tarvita.

Koska huokoisessa seinärakenteessa ei käytetä höyrysulkua, on ilman virtauksen seinämässä oltava oikean suuntainen. Jos kostea sisäilma virtaa sisältä ulospäin on odotettavissa kosteusvaurioita. Käyttö edellyttää talon muilta rakenteilta hyvää ilmanpitävyyttä ja jatkuvaa alipainetta ulkoilmaan nähden.

Tuloilmaikkunassa pyritään ulkoa otetulla ilmalla muodostamaan lasien väliin ilmaverho, joka ottaa vastaan osan sisältä tulevasta lämpövirrasta ja palauttaa sen takaisin huoneeseen tuloilman lämpenemisen muodossa. Ilma voidaan johtaa lasivälissä eri tavoin mm. riippuen siitä onko ikkuna kaksi- vai kolmepuitteinen ja -lasinen (kuva 31). Sisään huoneeseen ilma tuodaan joko puiteraosta tai puitteeseen asennetusta sisäänottoelimestä, jolla järjestelyn säädettävyys myös paranee.



Kuva 31. Tuloilmavirran vaikutus kaksi- ja kolmelasisen ikkunan valoalan k-arvoon /38/.

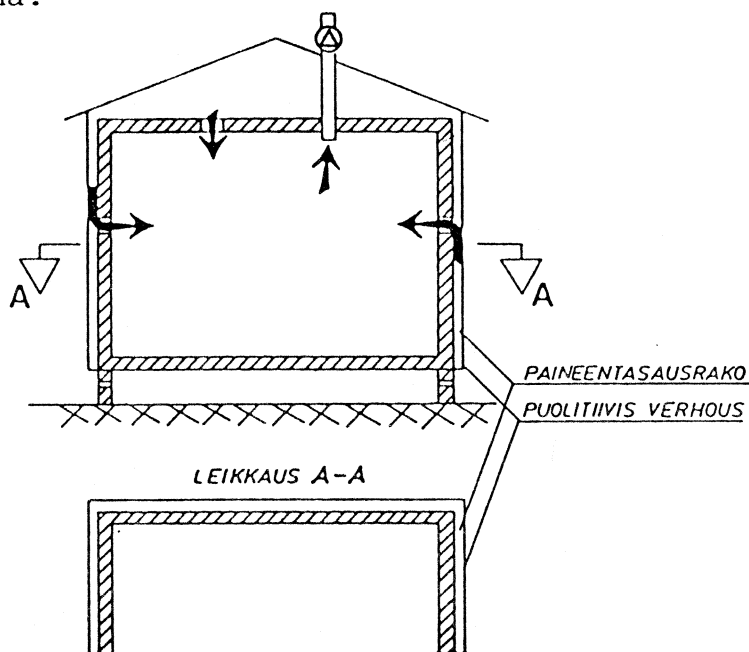
Ikkunan k-arvo paranee tuloilmavirtaa lisättäessä ja tietyllä tilavuusvirralla saadaan kaksilasisen tuloilmaikkunan k-arvo samaksi kuin kolmilasisen normaalin ikkunan. K-arvon pienenemisen muodostama säästö toteutuu tuloilman lämpenemisenä ikkunassa, jolloin ikkuna lämmittää tuloilmaa huoneesta siirtyvällä lisäenergialla. Huoneenpuoleiset lämmönsiirron esteet, kuten rullaverhot estävät ilman lämpenemistä ikkunassa.

Selvänä haittana tuloilmaikkunassa on sisäpuolisen ruudun pintalämpötilan lasku, joka saattaa aiheuttaa vesihöyryn tiivistymistä lasipinnalle. Perustoimenpiteitä tämän välttämiseksi ovat ikkunan sijoittaminen oikeisiin huonetiloihin ja eristävien verhojen välttäminen. Tuloilmaikkunaa ei saa sijoittaa huoneisiin, joissa on jatkuva korkea suhteellinen kosteus.

Huoneen sisällä on pyrittävä pitämään jatkuva alipaine, jotta ilma kulkisi ikkunassa aina ulkoa sisälle ja jotta vältettäisiin ilman virtaaminen ulospäin sekä siitä johtuva huoneilman vesihöyryn tiivistyminen ulkolasin sisäpintaan. Alipaineen ylläpito edellyttää koneellista poistoilmanvaihtoa, jonka säädöt ja siirtoilman vaatimat oviraot ovat paikallaan. Toinen mahdollisuus ulosvirtauksen estämiseksi on jonkinlainen takaiskuventtiili virtausraossa, mutta tällä hetkellä ei ole tiedossa ratkaisua, joka on riittävän herkkä ja jolla on riittävän pieni virtausvastus.

Tuloilmaikkunaa voidaan kehittää lisäämällä siihen esim. suodatin, säädettäviä venttiilejä ja ulkoseinärakenteisiin yhdistettyjä ilmanottoratkaisuja.

Tuulen aiheuttamia häiriöitä voitaisiin vaimentaa rakentamalla talon ympärille yhtenäinen ilmarako, joka tasaisi painetta eri julkisivujen välillä. Edellytyksenä on sopiva raon väljyys ulkokuoren virtausteihin verrattuna ja raon jatkuvuus myös nurkkien yli (kuva 32). Tällaisena paineentasausrakona tai ontelona voi toimia myös ullakko, ryömintätila tai sopiva kanavisto talon läpi, ali, yli tai ympäri sijoitettuna.



Kuva 32. Periaatepiirros talon ympäri kulkevasta paineentasausraosta tuulen aiheuttamien paineenvaihteluiden tasaamiseksi. Mahdolliset tulo- ja poistoilmaelimet on merkitty nuolilla /20/.

Paineentasausontelo on sopiva ulkoilman sisäänottopaikka, koska paine-ero pysyy tietyllä, lähes vakiotasolla sisäilmaan nähden. Tällöin on ulkoilmaelimiä suunnittelu ja säätö helpompaa kuin suoraan ulkoilmaan johtavissa aukoissa. Paineentasausraon avulla myös vaipan tahattomien ilmavuotojen riippuvuus tuulesta vähenee. Näin pystytään myös paremmin ennustamaan ilmavirtaus huoneessa ja välttämään vetoa.

Jatkokehityskohteena paineentasausontelolle on jonkin ilman sisäänottoelimen yhdistäminen siihen ja mahdollisen kesäajan yllämpöongelman tutkiminen.

4.2 Ilmanvaihtokanaviston mitoitus

Ilmakanavien mitoitus perustuu nykyisin yleensä pääomakustannusten ja puhaltimien käyttökustannusten minimointiin. Mitoitustapa johtaa suurehkoihin kanaviston painehäviöihin ja pieniin kanaviin. Myös tarve vähentää kanaviston tilantarvetta johtaa mahdollisimman pienten kanavakokojen käyttöön.

Ilmanvaihdon toimivuuden kannalta olisi edullista, jos kanavisto toteutettaisiin niin, että se on /22/:

- yksinkertainen suunnitella
- helppo perussäätää
- virtausteknisesti stabiili
- lääniteknisesti hallittu
- kuormitusmuutoksia salliva.

Näin suunniteltavalle kanavistolle on ominaista, että tulo- ja poistoilmaelimiä painehäviöt ovat suuria verrattuna kanavien painehäviöihin. Kanavat ovat väljiä, jolloin käyttötarkoituksen muutos tai siirtyminen tarpeenmukaisesti ohjattuun ilmanvaihtoon on mahdollista kanavistoa muuttamatta. Kanaviston painetaso on korkea ja lähes sama kaikkien pääte-elinten läheisyydessä.

Ilmanvaihdon toimivuuden ja joustavuuden huomioonottava kanavistosuunnittelu vaatii tuekseen uusia optimointimenetelmiä, joissa edellä mainitut hyötynäkökohdat on otettu huomioon. Kanaviston "ylimitoitus" on saatava takaisin kanaviston käyttöaikana pienentyneinä energia- ja työkustannuksina tai parantuneena sisäilmastona. Erilaisissa olosuhteissa hyvin toimiva kanavisto on käyttökelpoinen erityisesti kohteissa, joissa ilmavirtojen tarkkuusvaatimukset ovat suuret ja käyttötaroituksen muutokset yleisiä.

Suuret kanavistopaineet aiheuttavat lisävaatimuksia kanaviston tiiviydelle ja pääte-elinten äänenkehitykselle. Laitetekniikan kehitystarpeista on enemmän kohdassa 4.4.

4.3 Rakennuksen painesuhteet

Rakennuksen ulkovaipan ja väliseinämien täydellinen tiiviys olisi ilmanvaihdon suunnittelun kannalta ihanteellista. Tällöin jokaisen tilan painetaso olisi ilmanvaihtosuunnittelijan valittavissa. Ulkoilma- ja siirtoilmaelimet voitaisiin mitoittaa luotettavasti.

Rakennukset kuitenkin vuotavat. Ilmanvaihtosuunnittelija voi siitä huolimatta mitoittaa järjestelmän kuten täysin tiiviissä talossa. Ilmavirrat tulo- ja poistovenktiileistä saadaan suunnitelman mukaisiksi kunhan kanaviston painetaso on riittävä. Sen sijaan paine-erot ja ilmavirrat ulkoilma- ja siirtoelimissä voivat olla mitä tahansa eivätkä ne ole hallittavissa ilmanvaihtosuunnittelijalla normaalisti käytettävissä olevin keinoin. Paine-erojen hallinta on vaikeinta kun ilmanvaihdon ilmavirrat ovat pieniä ja vuodot suuria.

Jos rakennuksen painesuhteiden hallinta on tarpeen esimerkiksi ikkunoiden huurtumisen välttämiseksi tai rakennuksen sisäisten ilmavirtausten hallitsemiseksi, on ilmanvaihtojärjestelmän ja rakennuksen yhteistoiminta simuloitava sopivalla laskentamallilla (kuten kohdassa 3.3.1). Helppokäyttöisiä

laskentamalleja alkaa jo olla käytettävissä. Sen sijaan puuttuu tietoa rakennusten vuotoreiteistä ja vuotojen suuruudesta.

Laskentamalleilla voidaan toisaalta laskea rakenteiden tiivisvaatimukset, jotta paine-erot saataisiin oikeiksi. Edelleen puuttuu helpot mittausmenetelmät rakennuksen sisäisten vuotojen mittaamiseksi.

4.4 Ilmanvaihtolaitteiden kehitystarpeet

Seuraavassa on käsitelty ilmanvaihtolaitteiden kehitystarpeita jaoteltuna nykyisten perinteisten ja tulevaisuuden ilmanvaihtojärjestelmien laitteisiin.

4.4.1 Nykyiset järjestelmät

Moniin nykytekniikalla ja -periaatteella toteutettujen ilmanvaihtojärjestelmien ongelmiin voitaisiin vaikuttaa laitetekniikkaa kehittämällä.

Tyypillistä on, että ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnot aiheutuvat puutteellisesta toteutuksesta. Usein laitoksen perussäätöä ei ole tehty tai se on jäänyt kesken. Syyinä tähän on monesti kireät rakentamisaikataulut ja ko. viritystyön ajoittuminen rakentamisen loppuvaiheeseen, jolloin yleensä rakennuksen käyttöönotolla on kiire.

Ilmanvaihtolaitteita tulisi kehittää nykytilanteesta niin, että tarkkuutta vaativat ja toimivuuteen ratkaisevasti vaikuttavat laitteet olisivat mahdollisimman pitkälle valmistettu ja viritetty jo tehtaassa. Urakoitsijan tehtävänä olisi nykyistä enemmän vain koota valmiista komponenteista järjestelmä, joka toimisi ilman työläitä viritteilyjäkin jo kohtuullisesti.

Säätöelimien tulisi olla etukäteen viritettävissä oikeisiin asetusarvoihin ja niiden pitäisi pystyä pitämään ilmavirrat riittävän vakiona myös kanavisto- ym. paineiden vaihteluissa.

Riittävä säätöalue (paine-ero) ja äänenvaimennus ovat myös lähtökohtia säätöelimien kehitystyössä. Eri komponenttien (säätö- ja pääte-elimet ym.) liitosten tulisi olla tiiviitä ja helposti ja nopeasti työmaalla tehtävissä.

Ilmanvaihdon keskuskojeiden toteutuksessa tulisi pyrkiä mahdollisimman pitkälle teollisesti valmistettuihin kokonaisuuksiin. Tällöin esimerkiksi eri komponenttien liitoksilla ja säätöelimien ja -antureiden sijoituksilla on parhaat mahdollisuudet onnistua.

Järjestelmien vastaanoton ja käytön aikaisten toimivuuden tarkastusten takia ilmamäärien mittausten tulisi olla mahdollisimman helposti ja luotettavasti suoritettavissa. Esimerkiksi tärkeimpien kanavaosuuksien ilmamäärien oikeellisuus tulisi voida tarkistaa rutiininomaisena käyttötarkastuksena esimerkiksi näyttölaitetta vilkaisemalla.

Ilmanvaihdon tehostusmahdollisuus edellyttää laiteteknistä kehitystä mm. pääte-elimiltä ja puhaltimilta. Pääte-elimien kohdalla ongelmia aiheuttaa myös likaantuminen, jolla on ulkonäköhaittojen lisäksi huomattava vaikutus myös ilmapurtoihin.

Laitteiden kehityksessä tulisi äänitekniikkaan kiinnittää erityistä huomiota, koska äänihaitat ovat nykytilanteessa hyvin tavallisia. Mm. kojeiden äänen- ja värinäneristykset sekä liitosten tiiviyydet ovat tällöin ratkaisevia.

4.4.2 Tulevaisuuden ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihtojärjestelmien ja -laitteiden tulee olla riittävästi ohjattavissa yksilöllisesti ja todellisen ilmanvaihtotarpeen mukaan. Tämä on yksi pääperiaate ja lähtökohta tulevaisuuden järjestelmä- ja laiteteknisiä kehitystarpeita pohdittaessa. Perusteena tarpeenmukaisesti ohjattavalle ilmanvaihtojärjestelmälle on sekä energiatalouden että sisäilmasto-olosuhteiden paraneminen.

Perinteisestä poikkeava ilmanvaihtotekniikka asettaa uusia vaatimuksia ilmanvaihtojärjestelmän mitoitusperusteille ja perussäädölle sekä samalla laitteilta vaadittaville ominaisuuksille.

Tarpeenmukaisesti ohjattavan ilmanvaihtojärjestelmän kanaviston säädettävyys, ilmavirtojen pysyvyys ja painetason nostaminen vaativat puhaltimilta, LTO-laitteilta, kanavistolta, pääte-elimiltä ja painetasojen hallintalaitteilta erityisiä virtaus-, mittaus-, säätö-, tiiviys- ja äänitekniisiä ominaisuuksia, jotta uutta järjestelmätekniikkaa voidaan toteuttaa.

Uuden ilmanvaihtotekniikan kehittäminen vaatii laajaa tutkimus- ja kehitystyötä, jossa on ratkaistava mm. seuraavat asiat:

- Järjestelmien toimivuuden toteamista varten on sisäilmastotekijöille määriteltävä tavoitearvot eritasoisiin (1. laatuosiin) olosuhteisiin pyrittäessä (ks. kuva 33).
- Rakennuksen painesuhteiden merkitys on selvitettävä rakennusfysiikan kannalta ts. missä määrin sisäpuolinen ylipaine rakennuksissa voidaan sallia.

Näiden kehitystyön lähtökohtien kiinnittämisen jälkeen voidaan vasta pidemmälle ideoida uusia järjestelmäperiaatteita. Uusien järjestelmien analysointi ja kehittäminen voidaan alkuvaiheessa tehdä tietokonesimulointien avulla. Niiden pohjalta valitaan (sisäilmaston, energiatalouden ym.) kannalta parhaat järjestelmät ja määritetään komponenttien ja rakenteiden suoritusarvot.

Uusien ilmanvaihtojärjestelmien vaatimien laitteiden toimintojen ja suoritusarvojen määrittämisen jälkeen voidaan edetä kehitystyössä laitetasolle. Tällöin

- valitaan ilmanvaihtojärjestelmiin sopivat kaupalliset laitteet ja tarkastetaan teknisten tietojen paikkansa pitävyys laboratoriokeuin,
- kaupallisten laitteiden puuttuessa kehitetään tarvittavat laitteet.

Todennäköistä on, että kehitystyössä tarvitaan laajaa työpanosta ja yhteistyötä laitevalmistajien ja eri tutkimustahojen kesken.

Sopivien laitteiden löytymisen tai kehittämisen jälkeen on mahdollista testata ilmanvaihtojärjestelmien osakokonaisuuksia laboratoriokeuin tai pienimuotoisen koerakentamisen avulla. Vasta tämän jälkeen ilmanvaihtojärjestelmän toimivuutta ja hyödyntämismahdollisuuksia yleisemmin rakennustuotannossa tulisi selvittää koerakentamisen avulla todellisessa rakentamisprosessissa. Tällöin on oleellista, että tutkimustahot ovat mukana jo rakennuksen suunnittelu- ja urakointivaiheessa.

Myös asuntoilmanvaihdossa on syytä pyrkiä selkeisiin laatu-määrittelyihin. Asunnon ostajat ovat laatutietoisia, mutta heille ei tänä päivänä aktiivisesti tarjota hyvää sisäilmastoa.

Kehitteillä olevan laatuluokituksen pohjaksi on sisäilman-talon tavoitearvoja esitetty Teknillisen korkeakoulun tekemän sisäilmastotutkimuksen loppuraportissa /33/. Laatuluokituksen perusfilosofia on esitetty kuvassa 33.

TAVOITTEET

= SISÄILMASTO \Rightarrow KEINOT,
TODENTAMINEN

SISÄILMASTON TASO	YKSILÖLLISET TAVOITETASOT	(YKSILÖLLINEN TAVOITEKESKEINEN TOTEUTUS;) "SISÄILMASTOKONTROLLI"
	PERUS-TAVOITETASO	(TAVOITTEET LÄHTÖKOHTANA, YKSILÖLLISYYS RAJOITETUŠTI HUOMIOON)
	PERUSTASO	("TYYPPIRATKAISUT", "TEKNINEN KONTROL- LI") hyväksymisraja
	PUUTTEELLINEN TASO	(KEINOT LÄHTÖKOHTANA, PUUTTEITA TOTEUTUKSESSA JA/TAI KÄYTÖSSÄ) riskiraja
	HAITALLINEN TASO	("KÄYTTÖKIELTO")

Kuva 33. Periaate-ehdotus sisäilmaston luokittelemiseksi eri tasoihin laadun mukaan.

Käytännön toteutus lähtee liikkeelle tapauskohtaisesti määriteltävistä sisäilmaston tavoitearvoista (ts. laatuluokitusta ei noudateta orjallisesti, vaan se on lähinnä ohjeellinen). Näiden perusteella valitaan järjestelmätoiminnot, jotka edelleen ovat järjestelmävalinnan perusteena.

Alin hyväksyttävä laatutaso määritellään viranomais määräyksissä. Tätä korkeampia tavoitetasoja on kaksi, joista toinen (alempi) voidaan vielä toteuttaa nykyisellä järjestelmäteknikalla, perusedellytyksenä riittävät ilmavirrat ja lämmitetty tuloilma. Ylempi tavoitetaso edellyttää jo yksilöllisesti ohjattavissa olevaa järjestelmää, jolla myös on saavutettavissa paras mahdollinen energiatalous.

5 VIRHETOIMINTOJEN VÄLTÄMISKEINOJA RAKENNUKSEN SUUNNITTELU-, TOTEUTUS- JA KÄYTTÖVAIHEESSA

Seuraavaan on koottu palauteaineiston perusteella asioita, joiden avulla ilmanvaihtojärjestelmien virhetoimintoja voidaan välttää tai korjata. Asiat on pyritty ryhmittelemään eri vaikuttajien mukaan.

5.1 Viranomaisten osuus

Perussäätöjen oikeellisuus tulisi rakennuksen käyttöönotto- vaiheessa varmistaa nykyistä paremmin. Tämä edellyttää systemaattista tarkastusmenettelyä ja riittävää asiantuntemusta tarkastusten suorittajalta. Viranomaiset voisivat edellyttää rakennuttajilta kyseisiä tarkastuksia. Tavoitteena tulisi olla, ettei keskeneräisiä rakennuksia otettaisi käyttöön.

Ilmanvaihtolaitosten meluhaittojen välttämiseksi voitaisiin vaatia suunnitteluvaiheessa ääniteknisiä laskelmia tarkastettavaksi (vrt. rakennusten energiantarve). Lisäksi nykyisten äänitasojen tarkastaminen voi olla tarpeen pyritessä minimitasoa parempiin ratkaisuihin.

Kanaviston tiiviysvaatimuksia tiukentamalla voitaisiin välttää vuotokohtien aiheuttamia ongelmia (äänet, likaantuminen, energian turha kulutus ym.). Tehdasvalmisteisia osia ja huolellista asennustapaa käyttäen ei ole vaikeuksia päästä huomattavasti nykyvaatimuksia /34/ parempaan tiiviystasoon.

Ilmanvaihdon mitoituksessa tulisi eri tiloissa lähteä liikkeelle tietystä perusilmanvaihdosta (esim. asunnoissa $0,5 \dots 1,0 \text{ h}^{-1}$), jota tarvittaessa voitaisiin tehostaa. Lähtökohtana tulisi olla, että laitos suunnitellaan toimimaan ensisijaisesti pääasiallisesti käytettävillä ilmamäärillä. Esimerkiksi vetohaitat eivät ole kovin kriittisiä esiintyessään vain tilapäisten tehostusjaksojen aikana.

Palautusilman käyttöä ei tulisi sallia, jos siitä on esimerkiksi terveydellistä haittaa. Näin ollen esimerkiksi työpaikoilla, joissa tupakoidaan, ei voitane käyttää palautusilmaa. Tupakoinnista aiheutuvan ilmavirtojen lisäyksen käyttö- ja energiakustannusten merkitys tulisi tehdä tietäväksi. Tällöin voitaisiin paremmin harkita erityisratkaisujen (esim. tarpeenmukainen tehostus) toteuttamista.

Ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelussa tulisi enemmän painottaa rakennuksen käyttövaiheen osuutta. Riittävien käyttö- ja huoltosuunnitelmien laadinta rakennuksen käyttöjaksoa ajatellen olisi useimmiten tarpeen.

Poistoilmanvaihtojärjestelmissä on kiinnitettävä huomiota myös ulkoilman sisäänoton järjestämiseen. Käytännön tasolla tämä merkitsee ulkoilmaelimiä tai muiden vastaavien mitoitettujen sisäänottojärjestelmien tarkastamista sekä suunnittelussa että toteutuksessa. Ainoastaan poikkeustapauksessa perusteltuna (esim. mitattu huoneiston tai rakennuksen suuri vuotoilmanvaihto) hyväksyttäisiin pelkästään avattavilla ikkunoilla varustetut ratkaisut. Vähitellen voitaisiin ulkoilman sisäänottojärjestelmien toiminta-arvoja vaatia piirustuksiin ja mitattaviksi kuten koneellisissa tuloilmajärjestelmissäkin.

Ulkoilmaan sisäänottoon on laadittava mitoitusperusteet ja -vaatimukset mieluummin määräyskokoelmiin sisällytettynä. Erityisen ongelmallinen on painovoimainen ilmanvaihto, jota ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa ole käsitelty /19/.

5.2 Suunnittelun osuus

Perussäädön onnistumisessa suunnittelijalla on ratkaiseva osuus. Sopivien säätö- ja mittauselimiä oikea ja riittävä sijoittelu on säätötyön perusedellytys. Lähtökohtana tulisikin olla se, että suunnitteluvaiheessa ilmanvaihtokanaviston säätöarvot lasketaan (vrt. lämmitysverkosto) ja ne merkitään piirustuksiin.

Vastaava laskentamenettely tulisi toteuttaa myös äänenvaimennusta mitoitettaessa. Tällöin ilmoitettaisiin piirustuksissa, mille puhaltimien äänitasoille äänenvaimennus on mitoitettu. Vasta jos urakoitsija poikkeaa esitetyistä äänitasoista, vastuu äänenvaimennuksen tarkastamisesta siirtyy hänelle.

Suunnittelun ensisijaisena lähtökohtana tulisi olla rakennuksen tuleva käyttövaihe. Tällöin tulisi käyttötarkastuksen lisäksi kiinnittää rittävästi huomiota ilmanvaihtojärjestelmien tuleviin käyttäjiin. Yleensä järjestelmien selkeys, jopa yksinkertaisuus, on eduksi. Tämän periaatteen noudattamisen edellytyksenä voi kuitenkin olla suunnittelupalkkioiden perustuminen käytettyyn aikaan (ei esimerkiksi ilmanvaihtourakkasummaan).

Ulkoilman sisäänoton suunnittelussa on otettava huomioon kytkentä: ulkoilmaelin - rakennusvaippa. Vain hyvin hatara rakennus voi olla perusteltua jättää pelkkien ilmavuotojen varaan. Tällöin kuitenkin ilmavirtojen jakautumien eri tilojen kesken ja ilmanvaihdon hyötysuhde jäävät sattumanvaraisiksi. Nykyaikainen tiivis rakennus vaatii poistoilmanjärjestelmän avuksi ulkoilmanvaihtojärjestelmän eli mitoitettut suunnitelmalliset ulkoilmaelimet. On otettava huomioon myös ilman kulkureitit sisällä (oviraot, -venttiilit), ulkoilmaventtiilien heittokuviot, ulkoilman suodatus ja ulkoisen melun torjunta.

Ongelmallinen tekijä on myös sisä- ja ulkoilman välinen mitoituspaine-ero, jota ei voida mitata uudisrakennuksen suunnitteluvaiheessa.

LVI-suunnittelija joutuu asettamaan vaatimuksia myös muille rakennusprosessiin osallistuville: esim. ovi- ja ikkunarakojen toteuttaminen ja seinämien, välipohjien (erikoisesti läpivientikohdat) sekä porraskäytävöiden (postiluukut) tiiviys.

5.3 Rakennuttajan osuus

Rakennuttajan osuus ilmanvaihtojärjestelmien toteutuksessa on ratkaiseva. Rakennuttaja voi hyvin paljolti ohjata suunnittelijoita ja urakoitsijoita rakentamaan tarpeittensa mukaisesti. Näin usein onkin, jos kyseessä on kokenut rakennuttaja joka vielä vastaa myöhemmin rakennuksen käytöstä ja huollosta. Mikäli kyseessä on kertarakennuttaja, jolla ei ole riittävästä kokemuksesta, tulisi rakennuttamisvaiheessa käyttää riittävästi asiantuntija-apua. Tällöin voi olla perusteltua kytkeä mukaan suunnittelijoista ja urakoitsijoista riippumaton rakennuttajakonsultti, jonka tehtävänä on valvoa työtä ja suorittaa tarvittavia tarkastuksia.

Rakennuksen tulevat käyttäjät tulisi ottaa mukaan toteutukseen jo suunnitteluvaiheessa, mikäli mahdollista. Usein on myös perusteltua palkata rakennuksen tuleva käyttöhenkilökunta jo hyvissä ajoin ennen rakennuksen valmistumista. Toimenpiteellä varmistetaan riittävä perehtyminen ja koulutus rakennuksen teknisiin järjestelmiin.

Ilmanvaihtojärjestelmän toteutukseen liittyvät asiat (perussäätö, äänitekniikka, kanaviston tiiviys, ilmanvaihdon mitoitus, ulkoilman sisäänotto ym.) ovat pitkälti samat mitä on esitetty viranomaisten osuutena kohdassa 5.1. Oleellista on, että suunnittelijalle tehdään ajoissa tietäväksi tavoitteet (ts. mitä halutaan) ja tavoitteiden toteutumista kontrolloidaan riittävästi rakentamisvaiheen aikana.

5.4 Käytöstä ja huollosta vastaavien osuus

Ilmanvaihtolaitteiden käytöstä ja huollosta vastaavien osuus on ratkaiseva järjestelmien oikean toiminnan kannalta. Yleensä laitteiden ja järjestelmien toimintaan tulee ennen pitkää häiriöitä, joiden havaitsemiseksi säännölliset toiminnan ja kunnon tarkastukset ovat tarpeen.

Oleellisissa käytön tarkastuskohteita ovat säädöt (lämpötilat, ilmamäärät jne.) ja energiankulutus. Poikkeamat normaalitasoista ovat yleensä järjestelmien toimintahäiriöiden merkkejä, joiden perusteella vikaa tiedetään etsiä.

Energiatalouden ja sisäilmaston kannalta oleellisia ovat myös ilmanvaihdon oikeat käyttöajat.

Tyypillisiä huollon laiminlyönnin seurauksia ovat myös suo-
datusosien (likaisuus, epätiiviyys) ja puhallinosien (kiilahi-
hinat, merkkilamput, likaisuus) virhetoiminnat.

Myös ulkoilman sisäänottoelimet vaativat huoltoa (puhdistus) toimiakseen suunnitellulla tavalla. Energiansäästökeinona ei saa käyttää elimien sulkemista tai poistokojeiden pysäyttämistä, koska ilmanvaihtoa on oltava jo pelkästään terveydellisten haittojen välttämiseksi.

5.5 Asennekasvatus

Ratkaiseva vaikutus ilmanvaihtojärjestelmien virhetoimintoihin on usein tilojen käyttäjillä (asukkaat, työntekijät ym.). Useimmiten tällaiset käytön puutteet johtuvat tietämättömydestä. Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaperiaatetta ja vaikutuksia ei tunneta. Näin ollen esimerkiksi pidetään ilmanvaihtokojeita käynnissä vain lyhyitä aikoja kerrallaan ruoanlaittojen aikana tai pysäytetään kojeet yöajaksi.

Jotkut käyttäjien aiheuttamat virhetoiminnat johtuvat myös välinpitämättömydestä ts. käyttövirhe tehdään ainakin osin tietoisena toimenpiteen haitallisuudesta. Tällaisia virheitä ovat esimerkiksi poistoilmanventtiilien irroittaminen tai tukkiminen. Näidenkin käyttövirheiden takana on kuitenkin useimmiten ilmanvaihtojärjestelmän toiminnalliset puutteet (esim. ilmanvaihdon tehostusmahdollisuus puuttuu, ilmanvaihtojärjestelmä aiheuttaa vetoa tms.).

Käyttäjien aiheuttamien häiriöiden välttämiseksi lähtökoh-
tia ovat lähinnä:

- yleinen tietotason parantaminen (asukkaat, rakennuttajat, päättäjät...)
- Järjestelmien suunnittelu käyttäjien kannalta helppo-
käyttöisiksi (yksinkertaisuus) ja toimintavarmiksi ts.
yksittäisen käyttäjän aiheuttama virhetoiminto ei saa ai-
heuttaa häiriötä muille
- tavoitetasojen määrittely niin, että odotukset ilmanvaihtojärjestelmän toiminnasta ovat realistisia (ts. ettei minimitasolle ja minimikustannuksin rakennetulta ilmanvaihtolaitokselta odotetakaan täydellisyyttä
- riittävien käyttöohjeiden antaminen; lähinnä laitteiden yhteydessä olevien tarrojen avulla (esim. venttiilien ja suodattimien puhdistusohje).

Ilmanvaihtoalan ammattilaisten tulisikin aktiivisesti kampanjoida alaa koskevan yleisen tietotason parantamiseksi.

Kysymys on myös paljolti alan tulevaisuudesta ja arvostuksesta. Tällä hetkellä on vallalla monia täysin virheellisiäkin ilmanvaihtoon liittyviä käsityksiä.

"Suuri yleisö" ja päättäjät (rakennuttajat) tulisi nykyistä paremmin saada tietoisiksi ainakin seuraavista pääperiaatteista:

- sisäilmastolla (ilmanvaihdolla) on kiistaton vaikutus terveyteen, työtehoon ym. hyvinvointiin
- rakennuksiin haluttu sisäilmasto ei synny itsestään, vaan se on tehtävä (lähinnä LVI-alan eri osapuolten toimesta)
- käyttäjän ja rakennuttajan tulee osata ja saada valita sisäilmaston laatu ja hänen tulee olla valmis myös maksamaan tavoitteen toteuttamisesta
- rakennus suunnitellaan ja toteutetaan käyttöä varten ei vain rakentamisen vuoksi.

LÄHDELUETTELO

1. Aittomäki, A., Ilmavirtojen jakaantuminen ja perusasetus ilmastointikanavistossa. Osa II. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, LVI-tekniikan laboratorio, Tiedonanto 7. Helsinki 1970. 7 s.
2. Asuinkerrostalon lämmöntalteenoton seurantatutkimus. Helsinki 1985. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Sarja D:77. 84 s.
3. Ball Diffusor rail type KS. Riiti 1984, Hesco Pilgersteg AG. Esite. 6 s.
4. Energiakäsikirja. Suomen Arkkitehtiliitto. Rakennuskirja Oy, Helsinki 1983. 429 s.
5. Energiatalouden seuranta Torpparinmäen pientaloalueella Yhteenvetoraportti. Helsinki 1984. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Sarja D:58A. 60 s.
6. Erikson, B. E. & Mellin, A., Undersökning av den för F- och S-system. Gävle 1979, Statens institut för byggnadsforskning, Meddelade/bullerin M78:19. 49 s. + liitt. 4 s.
7. Hasan, A., Reliability of heating, ventilating and air conditioning equipment - introduction and literature survey. The heating & ventilating research association, Brackwell Berks, USA 1969.
8. Heikkinen, J., Koerakentamisprojekti "Lammasmäki, LTO". Osaraportti 1. Rakennusaikainen seuranta ja valmistusvaiheen mittaukset. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, LVI-tekniikan laboratorio. Espoo 1986. Julkaisematon. 24 s.

9. Heikkinen, J., Railio, J., Heinola, R., Pientalojen ilmalämmitys. Espoo 1982. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia 132. 106 s.
10. Hekkanen, M., Salomaa, H., Korjausrakentamisen energia-tekniikka ja talous. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Rakennuslaboratorio, Esitutkimuksen loppuraportin luonnos 14.6.1985.
11. Herrlin, J. K., MOVECOMP: A Static-Multicell- Airflow-Model. ASHRAE Transactions 1985, V. 91, Pt. 2.
12. Huoneistokohtaisella ilmankierrätyksellä toimivan kerrostalon ilmalämmitysjärjestelmän seuranta. Helsinki 1983. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Sarja D:19.
13. Ilmalämmitteinen asuinkerrostalo. Koerakentamisprojekti. Helsinki 1983. Puolimatka-yhtymä Oy. 107 s.
14. Ilmanvaihtojärjestelmä virastotalossa. Hallituskatu 3, Koerakentamiskohde n:o 3, loppuraportti. Helsinki 1981. Rakennushallitus, Raportti 5:1981. 50 s.
15. Kirkkonummen virastotalon seurantatutkimus, Koerakentamiskohde n:o 18, loppuraportti. Helsinki 1985. Rakennushallitus, Raportti 10:1985. 63 s.
16. Kivistö, T. et al. Asuntoalueiden kaavoitus ja käyttökustannukset (ASTA II), Raportti 1: Laskentaperiaatteet sekä alustavia tuloksia. Helsinki 1982. Sisäasiainministeriön tutkimuksia 7/1982. 162 s.
17. Kohonen, R. et al. Vesiradiaattoriverkoston virtaus- ja lämpötekniikka. Espoo 1985. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia 359. 185 s.

18. Kokemuksia julkisten rakennusten energiasäästötoimenpiteistä. Helsinki 1985. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Sarja D:86. 168 s.
19. Korkala, T., Karvonen, M-L., Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaedellytykset. Espoo 1987. Teknillinen korkeakoulu, LVI-laboratorio, Sisäilmastoprojekti. Raportti C:36. 163 s. + liitt. 10 s.
20. Korkala, T., Siitonen, V., Ulkoilman sisäänoton ratkaisumalleja. Espoo 1986, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 604. 33 s. + liitt. 4 s.
21. Korvausilman sisäänjohtaminen ja käytäväsisäänpuhailuksen toimivuus toimisto-olosuhteissa, Koerakentamiskohde n:o 29, loppuraportti. Helsinki 1986. Rakennushallitus, Raportti 7:1986. 38 s.
22. Laine, J., Ilmastointilaitoksen virtaus- ja äänitekniinen säätö. Helsinki 1986. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. Osa VII julkaisussa 48 - 86. 38 s.
23. Luoma, M., Tuulen vaikutus pientalon koneelliseen ilmanvaihtoon. Laskennallinen tarkastelu. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 700. 35 s. + liitt. 4 s.
24. Lämmönjakojärjestelmän vaikutus pientalon energiankulutukseen. Helsinki 1984. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, sarja D:68. 53 s.
25. Lämmön talteenotto poistoilmasta vanhoissa asuinkerrostaloissa. Helsinki 1983. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, sarja D:33. 97 s.
26. Metiäinen, P., Saarimaa, J., Saarnio, P., Salomaa, H., Tulla, K., Viitanen, H., Rakennusten ilmanpitävyyden pysyvyys. Espoo 1986. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 422. 136 s. + liitt. 31 s.

27. Nousiainen, M., Tonteri, P., Selvitys liike- ja toimistorakennusten ilmastointilaitteissa esiintyvistä virheetoiminnoista, niiden syistä sekä vaikutuksista. Suomen Talokeskus Oy. Julkaisematon. 6 s.
28. Pakanen, J., Santalo, E., Säätolaitteiden ja valvontajärjestelmän merkitys ilmanvaihtojärjestelmien virhetoimintoihin ja häiriöalttiuteen Oulun yliopistollisessa keskussairaalassa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Rakennuslaboratorio. Oulu 1985. Julkaisematon. 23 s.
29. Pat. FI 60069. Menetelmä ja laite ilman ja muiden kaasumaisten väliaineiden virtauksen vakioimiseksi ja/tai säätämiseksi. Erkki J. Niskanen, Suomi. App. 791761, 1.6.1979. Julk. 10.11.1981. 16 s.
30. Pientalon ilmanvaihtolämmitys. Helsinki 1985. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Sarja D:82. 47 s.
31. Railio, J., Ilmanvaihdon energiatalouden parantamismahdollisuudet asuinkerrostaloissa. Espoo 1980. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, LVI-tekniikan laboratorio, Tiedonanto 49. 156 s.
32. Railio, J., Saarnio, P., Rakennusten tiiviysvaatimusten määrittely. Espoo 1983. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 234. 91 s.
33. Rakennuksen sisäilmaston laatu ja ilmanvaihdon tarve. Helsinki 1986. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Sarja D:104. 239 s. + liitt. 11 s.
34. Rakennusten ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. Sisäasiainministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki 1978.

35. Sachs, P., Wind forces in engineering. 2nd ed. Pergamon Press, 1978. 400 s.
36. Salomaa, H., Pormestarinluodon energiataloudellinen koerakentaminen. Porin kaupungin tutkimuksia 71/1986. 32 s. + liitt. 15 s.
37. Siddal, J., Analytical decision-making in engineering and design. Prentice-Hall, New Jersey 1972.
38. Siitonen V., Tuloilmaikkuna, vanha konsti uudelleen lämmitettynä. LVI-lehti 30 (1978) 7, s. 24 - 28, 81 ja 82.
39. Taimisto, O., Asumistottumusten ja tilajärjestyksen vaikutus energiakulutukseen. Espoo 1985. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 434. 57 s.

Diplomi-insinööri Jorma Railio
Suomen ilmateknillinen toimialayhdistys r.y.

ILMANVAIHDON MITOITUSKÄYTÄNNÖN HISTORIA

Sisällysluettelo

	Sivu
NYKYISEN MITOITUSKÄYTÄNNÖN TAUSTA	2
1 Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin historiaa	2
2 Ilmanvaihdon tarve	5
3 Ilmanvaihdon kehityksen ja normitoiminnan lähihistoria	10
4 Syitä ilmavirtojen minimointiin	13
5 Nykyisen käytännön kriittiset kohdat	14
5.1 Kiertoilmatulkinta	14
5.2 Vuotoilmatulkinta	15
5.3 Ilmavirtojen puolittaminen	16
5.4 Ulkoilman sisäänotto	17
5.5 Painovoimainen ilmanvaihto	18
5.6 Poistoilmavirtojen mitoittaminen	19
6 D2-ehdotuksen kannanottoja	20
LÄHDELUETTELO	21

NYKYISEN MITOITUSKÄYTÄNNÖN TAUSTA

Tässä tarkastelussa luodaan katsaus ilmanvaihdon mitoituksen historiaan ja sen perusteella arvioidaan tämän päivän mitoituskäytännön ongelma-alueita ja kehitysmahdollisuuksia.

Olemassaolevissa ilmanvaihtojärjestelmissä on todettu runsaasti toiminnallisia puutteita. Jotta löydettäisiin keinot niiden estämiseksi uusissa rakennuksissa, on syytä perehtyä mitoituserusteisiin ja rakentamisprosessin eri osapuolten tulkintoihin. Vanhassa rakennuksessa voidaan enää korjata virheitä tai muuttaa käyttötottumuksia.

Tämä katsaus jakautuu seuraaviin osa-alueisiin:

- ilmanvaihdon historia (3000 vuoden aika, yleiskatsaus)
- sisäilmastotietämyksen lähihistoria (1800-luvulta, ilmanvaihdon tarve; miten käsitykset muuttuvat ja miksi)
- normitoiminta ja mitoituskäytäntö Suomessa, vaikutus ilmanvaihtotekniikkaan
- nykyisten Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kuuluvien, rakennusten ilmanvaihtoa koskevien määräysten, (käytetään tässä raportissa lyhennettä D2), kriittiset kohdat tulkintoineen.
- asuntoilmanvaihto ja rakentamisprosessi, kriittiset kohdat.

1. Ilmanvaihdon ja ilmastonin historiaa

Kaikki rakentaminen sai alkunsa noin 9000 vuotta sitten, kun ihminen alkoi rakentaa itselleen pysyviksi tarkoitettuja asumuksia suojaksi tuulelta, sateelta, kylmyydeltä ja kuumuudelta. Ihmisellä oli siis voimakas tarve luoda itselleen keinotekoinen sisäilmasto.

Pelkkien rakenteiden antama suoja katsottiin kuitenkin riittämättömäksi noin 3000 vuotta sitten Assyriassa, sillä ilmaa haluttiin myös puhdistaa ja jäähdyttää. Ilmastoinnin historian voitiin katsoa alkaneen.

Sivistyksen siirtyessä viileämpään ilmastoon kehittyi lämmitystekniikka. Ilmalämmitystä käytettiin jo Rooman kylpylöissä, ja keskiajalla se oli varsin yleinen mm. linnoissa ja luostareissa. Lämmitys ja ilmanvaihto toteutuivat samalla järjestelyllä.

Keskiajalla otettiin käyttöön sisäänlämpiävät tilakohtaiset tulisijat. Palamisilmaa tietenkin tarvittiin, ja lämmitys ja ilmanvaihto hoituivat yhtäaikaa. Vanhan ajan uunilämmitykseen yhdistetyillä painovoimaisilla ilmanvaihtojärjestelmillä oli käyttövoimaa siis huomattavasti enemmän kuin nykyisillä sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroihin perustuvilla järjestelmillä.

Sisäilman laadusta tai energiataloudellisuudesta (yhtäikäisenä) ei voi puhua tuon ajan tekniikalla. Valtaosa ihmisistä eli äärimmäisessä köyhyydessä. Parannuksia (savupiippu, uloslämpölämpöuunit) otettiin käyttöön vähitellen 1400 - 1500 -luvulta alkaen, mutta vasta teollinen vallankumous 1700 - 1800 -luvun vaihteessa loi edellytykset laajemmalle hyvinvoinnille. Varaava ns. kakluuni kehitettiin 1700 -luvun lopulla ja oli aikanaan suuri edistysaskel lämmitystekniikassa.

Sisäilmaston perusteita, alussa ihmisen fysiologiaa, alettiin tutkia myös 1700-luvun lopulla.

Historian pääkohtia on koottu taulukkoon 1. Sen jälkiosa (1800-) tarkastellaan seuraavissa luvuissa eri näkökulmista (vrt. /1/, /2/).

Taulukko 1. Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin historian pääkohdat

Yleisesti

n. 1000 eKr.:	jäähdytys, kostutus, puhdistus vettä haihduttamalla (suihkulähde, Assyria)
n. 0	ilmalämmitys (Rooma)
keskiaika	sisäänlämpiävät tulisijat, painovoimainen ilmanvaihto
n. 1500	kaakeliuuni (Keski-Eurooppa)
1600-luku	savupiippu yleistyi Euroopassa
1736	ihmisvetoiset puhaltimet (Englannin parla- mentti)
1700-luku	varaavat uunit, erillinen savuhormi ja ilmahormi yleistyivät teollinen vallankumous - laajan hyvinvoin- nin alku
1800-luku	höyrykäyttöiset puhaltimet kaloriferi-ilmalämmitys
1900-luvun alku	sähkökäyttöiset puhaltimet keskuslämmitys yleistyi, painovoimainen ilmanvaihto menetti käyttövoimaa
1930-luku	koneellinen ilmanvaihto yleistyi teollisuus- ja liikerakennuksissa
1950-luku	yhteiskuntarakenteen muoto - urbanisoitu- minen; kerrostaloihin koneellinen poisto, yhteiskanavajärjestelmä
1960-luku	"halvan energian aika", koneellinen ilman- vaihto yleistyi edelleen
1970-luku	energiakriisi ilmanvaihdon minimointi lämmöntalteenotto
1980-luku	sisäilmasto: uusi tiedostaminen

2. Ilmanvaihdon tarve

Ihmisen ilmanvaihdon tarve on ollut tiedossa jo kauan. Silti siitä annetut ohjearvot vaihtelevat suuresti. Tämä siksi, että

- hengissäpysymisen vaatima hapentarve ei ole mitoitettava tekijä, ts. eksaktia raja-arvoa ei ole olemassa.
- ihmiset ovat erilaisia, ts. eri ihmisten yksilölliset vaatimukset ilman laadulle poikkeavat toisistaan.
- ilmanvaihdon hinta ja ihmisten maksuvalmius vaihtelevat. Energian saatavuus ja hinta vaikuttavat myös ilmanvaihtoon.

Varhaisimmat tutkimustulokset /1/ esittävät hajuaistimukseen ja hiilidioksidipitoisuuksiin nojautuen ilmanvaihdon tarpeeksi keskimäärin $5 \text{ dm}^3/\text{s}$, hlö.

Suositusarvot nousivat 1800-luvulla jyrkästi /1,3/. Hyvin toimeentulevilla ihmisillä oli varaa parempaan sisäilmaan. Tiedossa ei kuitenkaan ole, miten halutun ilmanvaihdon toteutuminen tarkastettiin.

Otavan pieni tietosanakirja vuodelta 1925 määrittelee ilmanvaihdon tarpeen seuraavasti:

"Terveystieteiden vaatiman ilmanvaihdon tarkoituksena on poistaa hengityksen kautta syntynyt hiilihappo ja vesihöyry sekä eritekaasut, valaistuksesta johtuvat palamiskaasut, tomu ja mikrobit. Hiilihappomäärää pidetään ilman turmelumisen mittana. Kun täysikasvuinen henkilö tunnittain hengittää ulos 18 - 30 l hiilihappoa, tulisi ilmanvaihdon henkilöä kohden olla 100 m^3 tunnissa. Tähän tulisi ainakin sairaaloissa pyrkiä. Tehtaissa ja työpajoissa tulisi sen olla 60 m^3 , teattereissa 40 - 50 m^3 , kouluissa 12 - 30 m^3 , asuinhuoneissa 15 - 20 m^3 , makuuhuoneissa 40 m^3 ."

Kirjassa mainitaan myös "luonnollinen ilmanvaihto", "ilmanvaihtouuni" (mm. kaloriferijärjestelmä) ja "keinotekoinen ilmanvaihto" (kaloriferi-ilmalämmitys, sisäänpuhallus, poistopuhallin ...).

Tyttökoulun (Bulevardi 18) historiikissa ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmää kuvaillaan taas seuraavasti:

"Lämmitysjärjestelmä on kuumailmalämmitys, jossa lämmittäminen tapahtui lämminvesilaitteen välityksellä matalapaineella ja lämpö jaettiin luokkiin ripauunien kautta. Ilmanvaihto oli jatkuvasti toimiva imusysteemi, joka vei pois käytetyn ilman ja toi tilalle lämmitettyä raikasta ilmaa. Ilmanvaihtomäärä oli 1 300 kuutiojalkaa tunnissa (= 10 dm³/s, hlö) vanhemmille ja 500 - 700 kuutiojalkaa tunnissa (= n. 4 - 6 dm³/s, hlö) nuoremmille oppilaille. Ilman luokkahuoneissa piti siis joka hetki oleman täydellisen raikasta ja puhdasta."

Koneellisen ilmanvaihdon mitoituslaskemia tehtiin jo 1900-luvun alussa. Esimerkkinä ote Helsingin Teknillisen Oppilaitoksen (ent. TKK:n rakennus) rakennushistoriallisesta inventoinnista /4/. Kyseessä on vuonna 1901 tehty laajennus.

"Ilmanvaihto rakennettiin riippumattomaksi lämmitysjärjestelmästä. Kirjastosiivessä sen tehoksi laskettiin 1 200 m³, eteläsiivessä 9 000 m³ ja pohjoissiivessä 10 000 m³ tunnissa. Uusien siipien ilmanvaihtoa oli mahdollista tehostaa sähkökäyttöisillä puhaltimilla."

Taulukko 2. Ihmisen hiilidoksidin (CO₂-) tuotto eri aktiiviteeteissa /5/.

Toiminnan luonne	Lämmön- tuotto, W	CO ₂ -tuotto, 10 ⁻³ dm ³ /s	mg/s
Äärimmäinen ponnistus	1 055	44,4	88
Raskas urheilu tms.	703	29,5	59
Kohtuullinen ponnistus	469	19,7	39
Lievä rasitus, ruumiillinen työ	293	12,2	24
Kevyt seisomatyö	176	7,2	14
Kevyt istumatyö	117	5,0	10
Lepo	88	3,6	7

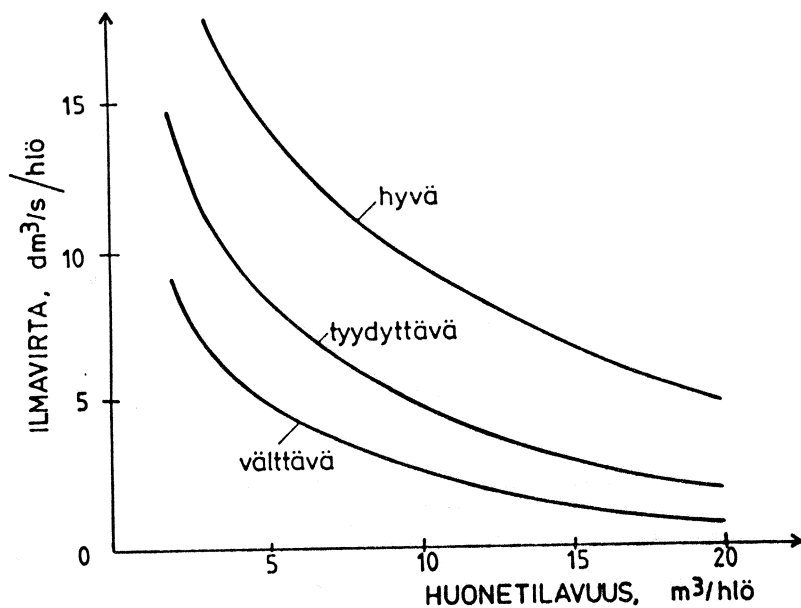
Ihmisen CO₂-tuotto on taulukon 1 mukainen. 1800-luvulla mainittiin /6/ jo suositeltavana CO₂:n pitoisuusrajana 0,1 %, mikä vastaa jatkuvuustilassa, kevyessä istumatyössä noin 8 dm³/s, hlö ilmanvaihtoa. Eräät lääkärit ovat päätyneet vielä alhaisempiin suosituspitoisuuksiin 0,06 - 0,07 %. CO₂ on otettu määrääväksi kriteeriksi, koska sen on katsottu täysin korreloivan ihmisen kokonaishajuintensiteetin kanssa.

Pitoisuuden suositus- ja raja-arvot vaihtelevat, mm:

- 800 ppm: asetusarvo CO₂-ohjatussa ilmanvaihdossa
- 1 000 ppm: tiukin normiarvo (Japani)
- 2 500 ppm: raja-arvo useissa maissa, mm. Suomessa
(uusi D2-ehdotus)
- 5 000 ppm: yleinen työhygieninen raja-arvo (tällöin CO₂ on yleensä peräisin prosessista, ts. hallitseva päästö, ihmisellä CO₂-tuottoon liittyy haju- yms. emissioita).

Ilmanvaihdon mitoituksen pääperusteena on viimeisten vuosikymmenien aikana ollut Yaglou'n kriteeri, kuva 1. Yaglou teki 1930-luvulla laajoja kokeellisia tutkimuksia hajuais-
timuksista. Koehenkilöiden taustatietoja selvitellessä kysyttiin mm. peseytykö henkilö viikon vai kahden väli-
ajoin.

Herää kysymys, voitaisiinko nyt ilmanvaihdon suositusarvoa hygieniatason paranemisen myötä pienentää. Energiakriisin jälkeen olikin helppo siirtyä soveltamaan Yaglou'n alinta käyrää. Nykyinen D2-ohje perustuu vielä Yaglou'n kriteeriin. D2-ohjeen yhtenä esikuvana on ollut myös pohjoismainen epävirallinen suositus sekä NKB-suositus /7/, jossa ulkoilma-
virran alaraja on asetettu arvoon $4 \text{ dm}^3/\text{s}$, hlö.



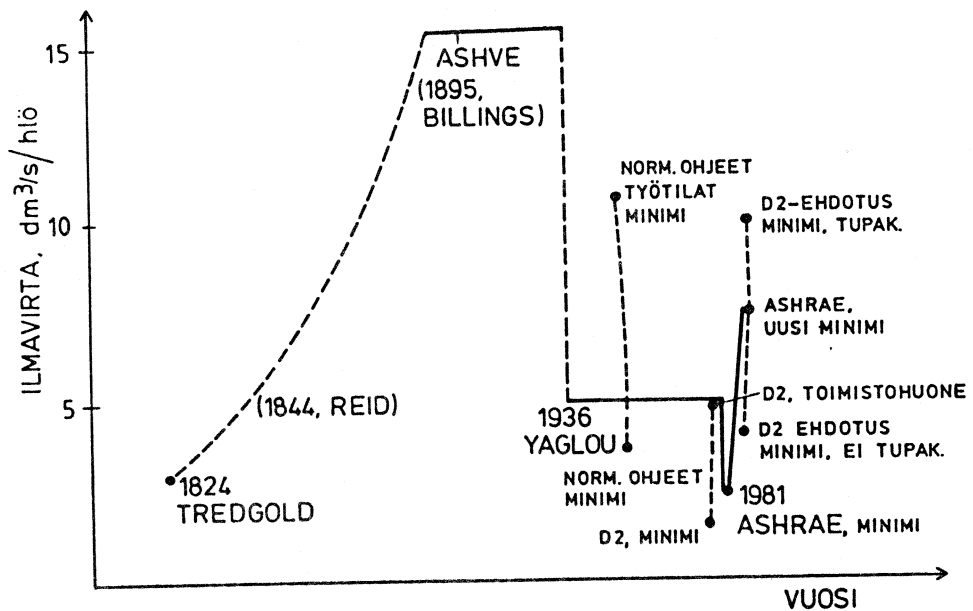
Kuva 1. Ulkoilmavirrat Yaglou'n (1936) mukaan.

ASHRAE-standardin 62-81 esittämä alhaisin ilmavirran ohje-
arvo $2,5 \text{ dm}^3/\text{s}$, hlö sai heti voimakasta kritiikkiä osakseen. Standardia uusivan toimikunnan tämän hetken näkemyksen mu-
kaan minimiraja nousee ehkä kolminkertaiseksi, /8/, mikä
vastaa monien viimeaikaisten tutkimusten tuloksia, joissa
on päädytty suositukseen $7 - 10 \text{ dm}^3/\text{s}$, hlö.

Tällä hetkellä kiistellään myös siitä, vaikuttaako käytettävissä oleva ilmatilavuus ilmanvaihdon tarpeeseen, vrt. kuva 2. Todennäköisesti vaikutus on olemassa, mutta lievämpi kuin Yaglou'n esittämä. Kiistatonta on, että ahtaassa tilassa epäpuhtauspitoisuudet nousevat kuormitustilanteissa nopeammin kuin väljässä.

Kuvaan 2 on koottu yhteenveto suositusten kehityksestä. Kuva antaa vain likimääräistä tietoa, koska eri ohjeissa huonetyypin, tupakoinnin, huonetilavuuden jne. vaikutukset on esitetty eri tavalla.

Vaikkakaan ei ole tarkkaan dokumentoitua tietoa siitä, miten ohjearvot ovat toteutuneet (huomioiden vuodot, ilmanvaihdon tehokkuus jne.), on turha syyttää tämän päivän rakentajia ilmastointivimmasta (vrt. /9/). Tänä päivänä suositellaan pienempää ilmanvaihtoa kuin koskaan aikaisemmin.



Kuva 2. Ilmanvaihdon ohjearvojen kehityskulku.

3 Ilmanvaihdon kehityksen ja normitoiminnan lähihistoria

Uunilämmitys ja painovoimainen ilmanvaihto olivat Suomessa vallitsevina aina 1900-luvun alkupuolelle asti, maaseudulla vielä myöhemmin. Viime vuosisadan lopulla asennettiin Suomeen ensimmäiset koneelliset ilmanvaihtojärjestelmät, ensimmäinen tiettävästi Kirurgiseen sairaalaan 1880-luvulla. Julkisissa rakennuksissa oli tuolloin yleinen ns. kaloriferijärjestelmä (painovoimainen ilmakeskuslämmitys). Ateneumissa tehostettiin 1890-luvulla ilmalämmitystä höyrykäyttöisten puhaltimien avulla. Sähkökäyttöiset puhaltimet tulivat kuvaan vuosisadan vaihteessa (tekn. oppilaitoksen laajennus ym.). Poistoilman painovoimaista virtausta tehostettiin usein poistoilmaa lämmittämällä, mm. kaasuvalaistuksen palamiskaasuilla tai johtamalla ilmahormi savuhormin vierestä.

Lämmityksessä siirtyminen ensin höyry-, sittemmin vesikeskuslämmitykseen oli luonnollista: lämmitystyö helpottui koko ajan. Luopuminen (huone- tai keskus-) uunilämmityksestä vei painovoimaiselta ilmanvaihdolta käyttövoimaa. Koska ilma oli aikaisemmin vaihtunut "itsestään", ei ilmanvaihdon järjestelyihin lämmönjakotavan muttuessa yleensä osattu kiinnittää huomiota. Ilman laatu heikkeni yleisesti, ja koneellisenkin ilmanvaihdon suunnitteluohjeet olivat käytännössä poistokeskeisiä. Ilman sisäänottoon ei kiinnitetty paljonkaan huomiota ja painovoimaisessa ilmanvaihdossa siirryttiin vähitellen ns. keskitettyyn poistoon, kuten Ruotsissa oli käytäntö vakiintynyt. Keskitetyssä poistossa ilmaa poistettiin vain likaisista tiloista (edelleen suositeltiin huonekohtaisia poistohormeja). Mitoituksen määräsivät huonekohtaiset poistotarpeet, eikä esim. huoneiston kokonaistarve.

Rakennukset olivat kuitenkin sen verran epätiiviitä, että katastrofeilta voitiin välttyä. Koneellinen ilmanvaihto yleistyi vähitellen teollisuudessa sekä liike- ja

julkisissa rakennuksissa. Asuinrakennuksissa otettiin kustannussyistä (kanava- ja tilakustannukset) käyttöön ns. yhteishormijärjestelmä (koneellinen poisto) 1950-luvun puolivälistä lähtien.

Vuonna 1952 asetettiin ns. normaalimääräyskomitea, joka sai valmiiksi lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeet vuoden 1954 lopulla. Normaaliohjeista muodostui yleisin mitoituskäytäntö aina 1970-luvulle asti. Huonekohtaiset ilmavirrat ovat normaaliohjeissa lähes nykyisten kaltaiset.

Painovoimaisesta ilmanvaihdosta annetaan melko tarkkojakin ohjeita (mm. poistohormien mitoitus, joka perustuu lähinnä saksalaisissa käsikirjoissa esitettyihin laskelmiin) /10/. Koneellisen poiston ilmavirrat on mitoitettava siten, että suurissakin asunnoissa asuinhuoneiden tuloilmavirrat toteutuvat. Näin on ainakin periaatteessa, mutta ulkoilman sisäännotosta sanotaan vain, että se on järjestettävä. Selkeät vaatimukset puuttuvat. Käytännössä ulkoilma-aukot suljettiin vedon vuoksi ja ilma tuli sisään epätiiviyshohdistista. Tällöin niistä tuli ilmaa vielä riittävästi, mutta rakenteiden tiiviyyden parantuessa muodostui ongelmia. Normaaliohjeiden toinen tarkistettu painos julkaistiin vuonna 1966, /11/. Samanaikaisesti laati Lämpöinsinööriyhdistys (LIVI) pohjoismaiseen normityöhön tukeutuvan esityksen asuinrakennusten ilmanvaihtonormeiksi, /12/. Normeja ei kuitenkaan virallistettu.

LIVIn normiehdotuksessa minimirajaksi oli asetettu Yaglou'n käyrä. Huonekohtaiset ilmavirtasuositukset eivät oleellisesti poikenneet normaaliohjeista, paitsi asuinhuoneissa, joille ei ohjearvoa annettu yksikäsitteisesti. Ulkoilmajärjestelyille annettiin useita vaihtoehtoja, jotka sinällään eivät takaa ulkoilman jatkuvaa, hallittua saantia huone-tiloihin.

Helsingissä oli mitoitusperusteena rakennusvalvontaviraston

ohjeet, jotka antoivat yleisesti suurempia ilmavirtoja kuin normaaliohjeet ja joita sisällöltään muutenkin pidettiin tiukkoina.

Nykyisin voimassaolevat D2-määräykset ja ohjeet /13/ astuivat voimaan pitkän laadintatyön jälkeen vuonna 1979. Niiden esikuvina käytettiin em. kotimaisia ohjeita ja suosituksia sekä myös ulkomaista ohje- ja normiaineistoa. Vasta D2:n tultua voimaan saatiin Suomeen yhtenäinen ilmanvaihdon mitoituskäytäntö.

Eräitä D2-määräysten ja ohjeiden yksityiskohtia ja niiden tulkintoja on analysoitu kohdassa 5. Ohjeiden laadinnassa ei tietoisesti pyritty ilmanvaihdon minimointiin, mutta niiden tulkintaan vaikutti energiakriisi erittäin voimakkaasti. Ilmavirtojen pienentämismahdollisuus talviaikana oli jo vuonna 1966 esitetty LIVIn ehdotuksessa /12/, joka näin virallistettiin. Puolitetun ilmavirran käyttö perustilanteena ja 1/1-teho tehostuksena tuli vallitsevaksi ilmavirtataulukon tulkinnaksi.

D2-ohjeita arvioitaessa on muistettava, että ne koskevat vain rakentamista, eivät rakennuksen käyttöä.

D2-ohjeissa on painovoimaista ilmanvaihtoa koskeva luku 4. Sen sisältö on normaaliohjeista oleellisesti supistunut eikä anna mitoitusohjeita. (Tosin rakentamismääräyskokoelman ei pidäkään olla suunnitteluohje, mutta yleiseksi tavaksi muodostui, että suunniteltiin ilman vanhojenkaan ohjeiden tuntemusta). Normaaliohjeissakaan ei oteta huomioon esim. käytettävissä olevan hormikorkeuden eikä tuulen vaikutusta, vaan niissä on ilmeisesti sitouduttu käytössä oleviin tiilidimensioihin. Vastaavanlaisia ohjeita on annettu mm. Tanskassa /14/.

4. Syitä ilmavirtojen minimointiin

Rakentamismääräyskokoelma määrittelee alimman hyväksyttävissä olevan tason, ei siis maksimi-, hyvää tai edes suositeltavaa tasoa.

Tämän päivän rakennuttamiskäytäntö ja rakentamisprosessi suosivat määräysten ja ohjeiden tulkintoja suositusarvoina siten, että ilmanvaihtolaitos minimoidaan. Varsin yleisen tinkimiskäytännön syitä voivat olla:

- ohjeista puuttuu tavoitteellisuus - rakentaja on korkeintaan vastuussa siitä, että ilmavirrat tarkastustilanteessa toteutuvat. Määräysten tulisi koskea ensisijaisesti tavoitteita, ts. sisäilmastoa. Nykytilanne mahdollistaa siis sen, että toteutusvastuu on vain määrällinen, ei laadullinen.
- kun tavoite on epämääräinen, ei rakennuksen lopullinen käyttäjä tiedä, mitä haluaa. Käyttäjä odottaa ehkä täydellisyyttä, mutta ei maallikkona pysty vaikuttamaan toteutukseen.
- rakennuttaja ei ole lopullinen käyttäjä. Kun käyttäjätaho ei pysty asettamaan selkeitä vaatimuksia, pyritään minimi-investointeihin. Toimivuus ja käyttökustannukset eivät kiinnosta rakennuttajaa eivätkä pääurakoitsijaa, koska he eivät niistä vastaa.
- suunnittelijana ja urakoitsijana voi toimia kuka tahansa. Työt saadaan tiukan tarjouskilpailun perusteella, laatuun ei kannata panostaa. Suunnittelijan tärkein (usein ainoa) lähde mitoitukseen on D2-ohjeet. Suunnittelijalla ei useinkaan ole "eväitä" hyvän laitoksen perusteluihin.
- urakoinnissa pyritään saamaan voitto kotiin korvaamalla suunnittelijan määrittelemä tuote halvimmalla vastaavalla tuotteella, mikä tuotevaatimusten puuttuessa merkitsee yleensä myös laadun heikkenemistä.

- yleisen käsityksen mukaan ilmanvaihto tuhlaa energiaa.

Käyttöönoton ja käytönsuunnittelun puutteet johtavat siihen, että suunniteltua (tingittyäkään) tasoa ei läheskään aina saavuteta /15/.

Painovoimaisen ilmanvaihdon huonekohtaiset poistohormit, ulkoilman sisäänottojärjestelyt tms. ovat suositusluonteisia mainintoja. Minimisuuntaus johtaa lähes automaattisesti niiden poisjättämiseen.

5 Nykyisen käytännön kriittiset kohdat

5.1 Kiertoilmatulkinta (D2/2.2.1.4)

Seuraava ote on D2-ohjeista /13/. Kohdan 2.2.1.4 mukaan on mahdollista korvata ulkoilmaa kiertoilmalla niissä tiloissa, joissa kiertoilman käyttö yleisesti on sallittua (D2/luku 5). Kohta 2.2.1.5 edistää ilmanvaihtoa korvaavien, usein arveluttavienkin puhdistuslaitteiden yleistymistä, kunnes tyyppihyväksynnän tms. avulla tuotekenttä todella saadaan kuriin.

"2.2.1.4 Tulo- ja poistoilmavirrat voidaan mitoittaa myös lähtien taulukon 1 tilakohtaisista ohjeistoista. Taulukon arvot edellyttävät myös, että tuloilma täyttää sille asetetut laatuvaatimukset.

Taulukon arvot on tarkoitettu sovellettavaksi lähinnä vain kussakin kohdassa mainitulla huonetiloilla, mutta niitä voidaan soveltuvin osin käyttää myös muiden vastaavien tilojen ilmanvaihtoa mitoitettaessa.

Riittävän ilmanvaihdon takaamiseksi tuloiilmassa olla ulkoilmaa vähintään, joko kuvan 1 mukaisesti henkilö- ja tilavuuden avulla laskettu osuus tai 40 % kokonaistuloilmavirrasta tiloissa, joissa tupakointi on kielletty tai 60 % kokonaistuloilmavirrasta tiloissa, joissa tupakointi on sallittu.

2.2.1.5 Edellä esitetyistä vähimmäisulkoilmavirroista voidaan kuitenkin poiketa, jos tuloilman riittävän laadun varmistamiseen käytetään ilmanpuhdistuslaitteita, joiden luotettava toiminta ja tehokkuus voidaan luotettavalla tavalla esim. tyyppihyväksynnällä osoittaa."

Ohjeissa ei sanota selkeästi, käytetäänkö pienempää vai suurempaa ilmavirtaa, jos eri kohdat antavat erilaiset arvot (2.2.1.2, 2.2.1.3, 2.2.1.4). Tulkinnat poikkeavat ja houkutus minimivalintaan on suuri, sillä sanamuoto "... voidaan mitoittoa myös..." mahdollistaa kaikki tulkinnat.

5.2 Vuotoilmatulkinta

D2-ohjeiden /10/ kohdassa 2.2.1.2 käsitellään tahatonta ilmanvaihtoa:

"2.2.1.2 Rakenteista lähtevien haitallisten aineiden vuoksi johdetaan kaikkiin huonetiloihin joissa ihmiset joutuvat oleskelemaan tai työskentelemään enemmän kuin tilapäisesti,

vähintään $0,35 \frac{\text{dm}^3}{\text{sm}^2} \left(1,3 \frac{\text{m}^3}{\text{hm}^2} \right)$ ulkoilmaa,

mikä vastaa normaalikorkuisissa huoneissa 0,5 kertaista ilmanvaihtoa. Tässä voidaan ottaa huomioon rakenteiden epätiiviydestä tms. johtuva tahaton ilmanvaihto, jonka voidaan arvioida olevan läpi talon olevissa huoneistoissa ja tiloissa 0,2-kertainen ja muissa tiloissa 0,1-kertainen."

Tahaton ilmanvaihto (0,2 tai 0,1 vaihtoa tunnissa) otetaan huomioon esim. pientaloasuntojen puhallinmitoituksessa (pientalossa ei tarvitse poistoa mitoittoa huonekohtaisten poistojen summan mukaan, koska liesikuvun läppä mahdollistaa paikallisen ohjauksen). Tämän päivän tiiviissä talossa ei tahatonta ilmanvaihtoa ole juuri lainkaan. Mikäli tahatonta ilmanvaihtoa on, se ei jakaannu yleensä läheskään tarkoituksenmukaisesti, vaan keskittyy muutamaan satunnaiseen vuotokohtaan.

Tässä kohdassa voidaan viitata mm. PIKO-projektin tuloksiin /16/.

5.3 Ilmavirtojen puolittaminen

D2-ohjeiden /13/ kohdassa 6.2.1.2 käsitellään ilmavirtojen puolittamista (ks. seuraava ote).

"6.2.1.2 Ilmanvaihtolaitoksen ilmavirtoja voidaan pienentää erittäin kylmällä säällä energiahäviöiden pienentämiseksi, jos tästä ei aiheudu ilmeistä terveydellistä tai muuta haittaa. Tarkoituksenmukaisena voidaan pitää esim. ratkaisua, jossa tilakohtaiset ulkoilmavirrat puolitetaan ulkoilman lämpötilan laskettua vain 15°C korkeammaksi kuin paikkakunnan mitoitusulkolämpötila. Tätä voidaan käyttää perusteena myös ilmanvaihtolaitoksen lämmityslaitteita mitoittaessa. Em. tavalla toimimaan tarkoitettun ilmanvaihtolaitoksen toiminnasta on tarvittaessa esitettävä selitys."

Huone- tai huoneistokohtaisen ohjauksen puuttuminen on puoltanut kaksinopeuskäyttöä, koska sen avulla veto pystytään eliminoimaan. Kaksinopeuskäyttöä puoltaa myös se, että esim. pienissä asunnoissa mitoitusilmavirta (poisto) johtaa paljon suurempiin ilmanvaihtuvuuksiin kuin 0,5 l/h, joka on muotoutunut yleiseksi käsitykseksi sopivasta ilman vaihtuvuudesta. Ohjearvojen puolitusperiaate poikkeaa muiden maiden ohjeista ja standardeista, joissa annettu minimi on todellinen minimi, josta ilmanvaihtoa voidaan lähteä tehostamaan.

Ohjeessa 3.4.1.4 määritellään teho, jolla perussäätö tehdään. Sen kirjaimellinen noudattaminen johtaa siihen, että yleisesti käytössä olevalla pienemmällä teholla on järjestelmän toimivuus heikko.

"3.4.1.4 Ilmavirtojen mittauksissa tulee ilmanvaihtolaitteiden olla käynnissä laitoksen mitoitus-tehoa vastaavalla nopeudella.

Mikäli laitoksella tai sen osalla on useita mitoitus-tehoja, tulisi mittaukset suorittaa laitoksen pienimmällä tai yleisimmin käytettävällä teholla ja tarkistaa ilmavirtojen jakautumat muilla tehoilla tarkoituksenmukaisin pistokoemittauksin.

Suodattamien tulisi olla mittauksissa paikoillaan ja säätöpeltien laitoksen mitoitus-tehoa vastaavissa asennoissa.

Ilmanvaihtolaitoksen toiminta-alueella ikkunoiden, ovien yms. virtausteiden tulisi olla suljettuna, ellei laitoksen toiminta muuta edellytä. Laitoksen toiminta-alueella mahdollisesti vaikuttavien muiden tulo- ja poistoilmalaitteiden tulisi olla käynnissä."

Ilmanvaihdon ajallinen ja paikallinen ohjaus on jo mahdollista pientaloasunnoissa. Kerrostaloissa tehostus ja puolitus tapahtuvat kollektiivisesti. Ohjauksen kehittymisen esteenä on yhteiskanavajärjestelmän halpuus huoneistokohtaiseen poistoon verrattuna. Myös esim. ajastimella varustetut huonekohtaiset poistoventtiilit ovat tavanomaisiin verrattuna paljon kalliimpia.

5.4 Ulkoilman sisäänotto

Ulkoilman sisäänottoa käsitellään D2-ohjeiden /13/ luvuissa 2.3.3 ja 2.3.3.1:

"2.3.3 TULOILMALAITTEINA SAADAAN KÄYTTÄÄ AVAITTAVAA JA SÄÄDETTÄVÄÄ IKKUNAA, ERILLISTÄ ULKOILMAVENTTIILIÄ TAI TARKOITUKSEN MUKAISESTI JÄRJESTETTYÄ IKKUNARAKOA VAIN, MIKÄLI ULKOILMAN LAATU TÄYTTÄÄ TULOILMALLE ASETETUT VAATIMUKSET. HAITALLISEN VEDEN ESTÄMISEEN ON TÄLLÖIN KIINNITETTÄVÄ ERITYISTÄ HUOMIOTA.

2.3.3.1 Tuloilman ottaminen lämmittämättä suoraan ulkoa ikkunan, ulkoilmaventtiilin tai ikkunaraon kautta soveltuu pääasiassa vain asuntoihin ym. tiloihin, joissa huonekohtainen ilmanvaihto on suhteellisen vähäinen. Sen toteuttaminen riittävän vedottomasti on tosin sielläkin vaikeaa.

Tiloissa, joissa ilmanvaihto on suurempi, esim. toimistot tai joissa vedottomuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota esim. hoitolaitokset, tulisi tuloilma järjestää varsinaisten koneellisten tuloilmalaitteiden avulla. Tällainen järjestely mahdollistaa myös lämmöntalteenoton poistoilmasta, millä on huomattava energiataloudellinen merkitys.

Erityisesti rakennuksissa, joiden ympärillä oleva ulkoilma ei kaikkien huonetilojen kohdalla täytä tuloilmalle asetettavia vaatimuksia, esim. vilkkaan liikenneväylän läheisyyden vuoksi, tulisi käyttää tuloilman koneellista sisäänpuhallusta."

Avattava ikkuna riittää esim. asuinhuoneen ainoaksi ulkoilmareitiksi. Tänä päivänä avattavat ikkunat ovat tiiviitä ja valtaosan lämmityskaudesta täysin suljettuina. Energiansäästövalistus on rajoittanut tuuletuksen muutama minuuttiin päivässä. (Tämä olisikin riittävä, jos ulkoilman jatkuva saanti olisi järjestetty). Sana "TAI" määräyksien kohdassa 2.3.3 on mahdollistanut nykytulkin.

Järjestetyt sisäänottotavat maksavat, ja siksi ne jätetään pois. Myöskään teollisuus ei ole niiden kehittämiseen panostanut, koska niitä ei ole vaadittu. Vaikka LVI-suunnittelija merkitsisi, että tiivisteestä jätetään paloja pois, asentaa pääurakoitsija ikkunat yhtenäisin tehdastiivistyksin. Tämä johtuu siitä, että suunnittelija ei valvo asennustyötä eikä tiedonkulku ja koordinointi toimi rakennustyömaalla parhaalla mahdollisella tavalla. Ikkuna ei turvaa perusilmanvaihtoa, mutta ikkunan avaaminen on silti hyvä ilmanvaihdon tehostuskeino. Ikkunan avattavuudella on myös psykologinen merkitys /17/.

5.5 Painovoimainen ilmanvaihto

Ilmavirtojen perussäätöä käsitellään D2-ohjeiden /10/ kohdassa 3.4.1.

"3.4.1 KONEELLISET TULO- JA POISTOILMAVIRRAT ON PERUSSÄÄDETTÄVÄ SUUNNITELMIEN MUKAISIKSI JA MITATTAVA ENNEN RAKENNUKSEN KÄYTTÖÖNOTTOA."

Määräyksessä mainitaan erittäin korostetusti KONEELLINEN ilmanvaihto. Koska asia on kohdan 3.4 ensimmäisellä rivillä, tulkitaan se yleensä siten, että painovoimainen ilmanvaihto ei vaadi mitään käyttöönotto- ja käyttötoimenpiteitä. Määräyksen taustalla on se, että painovoimaisen ilmanvaihdon säätö ja mittaus on paljon vaikeampaa kuin koneellisen, joskus jopa käytännössä mahdotonta. Ohjeiden laadintavaiheessa 1970-luvulla oli vallalla LVI-alan ulkopuolisissa piireissä vahvoja käsityksiä painovoimaisen ilmanvaihdon paremmuudesta.

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaedellytyksiä, kehitysmahdollisuuksia ja suunnitteluohjeiden perusteita on viime vuosina Suomessa selvitetty sisäilmastotutkimuksen yhteydessä /18/.

5.6 Poistoilmavirtojen mitoittaminen

Tulo- ja poistoilmavirtojen tilakohtaisia ohjearvoja on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Tulo- ja poistoilmavirtojen tilakohtaisia ohjearvoja /13/.

Huonetila	Ilmanvaihto	Huomautuksia
Asuintilat		Yksiköt dm^3/s (m^3/h), jollei toisin mainita
keittiö keittokomero keittokaappi	22 (79)	12 (43) riittää, jos on mahdollisuus riittävään ilmanvaihdon tehostamiseen ruoanlaiton aikana tai jos pienasunnon kokonaisilmanvaihto tulee muutoin yli 1,5 kertai seksti.
apukeittiö, huoltohuone	12 (43)	
kylpyhuone	16 (58)	8 (29) riittää, jos on joko mahdollisuus tuuletukseen helposti avattavan ikkunan kautta tai muuhun ilmanvaihdon riittävään tehostamiseen käytön jälkeen.
WC	8 (29)	4 (14) riittää, jos on mahdollisuus ilmanvaihdon riittävään tehostamiseen käytön jälkeen. Oltava alipaineinen.
vaatehuone ($> 1 \text{ m}^2$)	3 (11)	Helposti avattava tuuletusluukku tai ikkuna korvaa ilmanvaihdon.
muut tilat		Kaikissa asuinhuoneissa tulisi olla kohdan 2.2.1.2 mukainen ilmanvaihto. Tämä on erityisesti huomioitava käytettäessä edellä olevia huomautuksissa annettuja pienempiä ilmavirtoja.

Taulukon 3 huomautussarake antaa mahdollisuuden mitoittaa keittiön poistoilmavirta pienemmäksi ($12 \text{ dm}^3/\text{s}$), mikäli ilmanvaihtuvuus muuten on yli 1,5 /h. Poistoilmavirta on joka tapauksessa asunnon ilmanvaihdon mitoittava tekijä vähintäänkin 4 h+k-asuntoihin saakka.

Rakennuksen ulkovaipan painehäviötä ei oteta mitoituksessa huomioon. Mikäli poistoventtiilien painehäviö on riittävä, (vähintään noin 100 Pa täydellä teholla) ja puhaltimen toimintapiste oikein mitoitettu, pysyy poistoilmajärjestelmä

stabiilina. Monissa matalapainelaitoksissa ikkunoiden ja ovien avaaminen vaikuttaa huoneiston (ja myös naapureiden) poistoilmavirtoihin jopa kymmeniä prosentteja, ks. esim. /19/.

Mitoituskäytäntö (jälleen energiakriisin vakiinnuttama) johtaa siihen, että isoissa huoneistoissa valitetaan ilman tunkkaisuutta ja pienissä (erityisesti yksiöissä) liian suurta ilmanvaihtoa ja vetoa.

6 D2-ehdotuksen kannanottoja

Edellä luetellut epäkohdat on pyritty poistamaan nyt lausunnolla olevasta uudesta D2-versiosta. Yksityiskohtaisemmin ja perusteluineen on tästä kerrottu LIVIn työryhmän laattimassa perustelumuiistiossa, jota on referoitu viitteissä /20/ ja /21/. Taulukko 4 osoittaa, kuinka pienillä ulkoilmavirroilla on nykyisin voitu ilmanvaihtoa käyttää, kun ilmavirrat puolitetaan ja kun käytetään maksimimäärää kiertoilmaa. Näihin sisältyy vielä vuotoilman oletettu osuus, (D2/2.2.1.2).

Taulukko 4. Vertailutaulukko: Minimiulkoilmavirrat dm^3/s , $\text{m}^2/22/$. (Taulukossa on D2-ehdotuksen 1985 lausunnolla ollut versio ja ASHRAE 62-1981).

	Nyk. D2'	D2-ehdotus	NKB''	ASHRAE''	BS 5720	DIN 1946'''
Toimistohuone	0,5 (1,6)	1	0,7	0,7/0,2 (tup/ci tup)	1,3	4/hlö—n. 0,5
Neuvotteluhuone	3 (10)	4	5	10/3,5	6	4/hlö—n. 2
Luokkahuone	0,4 (2)	3	3	12/2,5		4/hlö—n. 2
Opetuslaboratorio	2 (4)	3	1,6	-/3	8/hlö n. 4	
Ravintolasali	5 (10)	10	7		8/hlö n. 8	
Kahvila	5 (10)	10	10	175,5/3,5	8/hlö	4/hlö—n. 4
Hotellihuone	0,5 (1)	1		15/7,5 huone!	1,7	4/hlö—n. 0,4
Myymlä	0,4 (2)	2	1,5	4/1	3	3/hlö—n. 1
Teatteri- ym. katsomo	1,5 (7,5)	8	12	25/5	5/hlö n. 8	3/hlö—n. 4,5
Potilashuone	0,7 (1,4)	1		3,5/0,7		
Asuinhuone****	0,35	0,6—1	4/hlö—n. 0,4	5/huone		

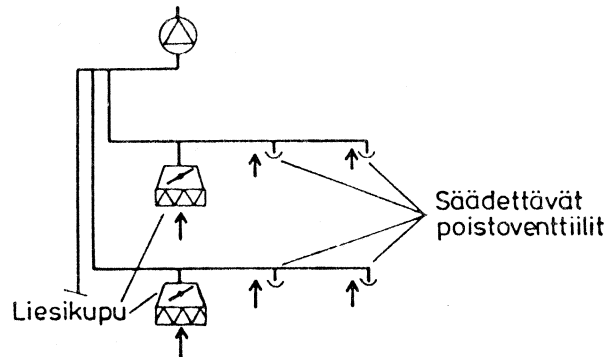
* Talviaikana puolituksen ja luvun 5 mukaisen kiertoilman käyttömahdollisuuksien mukaan. Taulukon antama kokonaistuloilmavirta suluisissa.

** Ko. normissa annettujen henkilöuhkeuksien (tai lähinnä vastaavien) mukainen.

*** Talviajaa minimi, mitoitusarvo kaksinkertainen. Tiloissa, joissa tupakoidaan, suuremmat ilmavirrat.

**** Muutos nykyiseen D2:een on todellisuudessa vähäinen, koska poistoilmavirta säilyy ennallaan ja mitoittavana ainakin 4 h + k huoneistoihin asti.

Kuvassa 3 esitetään esimerkinomaisesti uuden ohje-ehdotuksen mukainen poistoilmanvaihdon toteutus. (Esimerkki on periaatteellinen eikä kuvaa mitään toteutettua rakennusta).



Kuva 3. Periaatekaavio poistoilmanvaihdon ohjausjärjestelystä. Liesikuvussa läppäohjaus, muissa huoneissa venttiilikohmainen tehostus ajastimella. Perusasetus esim. D2-ilmavirtojen mukaan, tehostusilmavirta esim. 2-kertainen (huonekohtaisesti).

Ilmavirtojen puolittamiskäytäntöön on ohje-ehdotuksessa otettu kielteinen kanta terveydellisistä ja toiminnallisista syistä. On kuitenkin taloudellisia seikkoja, jotka puoltavat puolittamista edelleenkin: lämmityksen mitoitusaste kasvaa, ellei ilmanvaihtoa ohjata ajallisesti ja paikallisesti.

Vasta ohje-ehdotuksen jatkokäsittely näyttää, mitkä tekijät painavat enemmän. Vaatimusta ulkoilman hallitusta sisään-otosta vaikeuttaa sopivien laitteiden (erityisesti täysin vedottomien) puuttuminen, mutta vaatimukselle toisaalta löytyy vahvat terveydelliset ja toiminnalliset perusteet.

Ohje-ehdotus, samoin kuin sovellutuksiin keskittyvät LVI-alan yleiset laatuvaatimukset (LVI-RYL-ohjeisto) korostavat ilmanvaihdon oikeaa suunnittelua, erityisesti asiakirjojen dokumentointia. Tavoitteena on ollut nostaa suunnitelmien ja toteutuksen yleinen taso lähelle tämän

päivän huipputasoa. Tason nousu ei kuitenkaan voi resurs-
sistyistä tapahtua hetkessä. Myös rakennusvalvonnan ja
rakennuttajien riittävä tietotaso on D2:n täysipainoisen
toteutumisen edellytyksenä.

Suotuisan kehityksen perusedellytykset ovat olemassa, mutta
tässä vaiheessa on vaikeaa ennustaa niiden toteutumista
ja aikataulua.

Ilmanvaihdon mitoituskäytäntöön vaikuttaa moni tekijä.
Koska eksaktia, jyrkkää raja-arvoa hyvän ja huonon ilman
laadulle ei ole asetettavissa, ovat mitoitusarvot aina
kompromisseja.

Viranomaismääräykset määrittelevät alimman sallitun tason
uudisrakentamisessa. Olemassaolevassa rakennuksessa voi
sisäilman laatu laskea paljon alemmaksi, sillä viranomai-
set puuttuvat asiaan vasta, kun terveyshaitta on ilmeinen.
Mutta määräysten antamasta minimitasosta tulee pyrkiä toi-
seen suuntaan, parempaan sisäilmastoon, /17/.

LÄHDELUETTELO

1. Billington, N. S & Roberts, B. M., Building Services Engineering, a review of its development. Oxford 1982. Pergamon Press Ltd. 537 s.
2. Leskinen, S. & Railio, J., Ilmastoinnin historiaa. Rakennustekniikka 1985:2, 137-142.
3. Woods, J. Et al., Subjective and objective evaluation of a CO₂-controlled variable ventilation system. Atlanta 1982. ASHRAE Transactions. Vol. 88, Part 1. S. 1385 - 1408.
4. Helsingin teknillinen oppilaitos, rakennushistoriallinen inventointi. 31.1.1984, Vedunta. (Moniste)
5. ASHRAE Handbook 1982. Applications. S. 11.5.
6. Heyman, E., Om luften i våra bostäder. Stockholm 1881. Samson & Wallin. 77 s. Uusintapainos: KTH, Inst. för Uppvärmings- och Ventilationsteknik, Tekniska Meddelanden nr. 292. Stockholm 1985.
7. NKB-rapport 40 (1981), Inomhusklimat.
8. Janssen, J. E., The ASHRAE Ventilation standard 62-1981: a status report. Stockholm 1984. Swedish Council for Building Research, INDOOR AIR, Vol. 5. D20-1984. S.199 - 206.
9. Haahtela, T., Ilmanvaihto koskettaa jokaista. Tuberkuloosi ja keuhkosairaudet. Vuosikirja 13. Helsinki s. 59 - 65.
10. Gröber, H., Rietschels Leiffaden der Heiz- und Lüftungstechnik. 9 p. Berlin 1930, Verlag von Julius Springer. 293 s.

11. Lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeet. Normaalimääräyskomitea. Helsinki 1966.
12. Asuinrakennusten ilmanvaihtonormit. LVI-lehti. 1966:4.
13. Rakennusten ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. Sisäasiainministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki 1978.
14. Boligventilation. Hørsholm 1984. Statens byggeforskningsinstitut, ABI-rapport 161.
15. Allhammar, G. & Sundell, J., Funktionskontroll av ventilationssystem - en chock. VVS & Energi 1985:2, s. 57 - 62.
16. Energiatalouden seuranta Torpparinmäen pientaloalueella. Yhteenvedoraportti. Helsinki 1984. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Sarja D:58A. 60 s.
17. LVI-päivät 24. - 25.4.1985, Helsinki.
18. Korkala, T., Karvonen, M-L., Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaedellytykset. Espoo 1987. Teknillinen korkeakoulu, LVI-laboratorio, Sisäilmastoprojekti. Raportti C:36. 163 s. + liitt. 10 s.
19. Lämmön talteenotto poistoilmasta vanhoissa asuinkerrostaloissa. Helsinki 1983. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, sarja D:33, 97 s.
20. LVI-lehti 1985:5 (uscita artikkeleita uudesta D2-ehdotuksesta).

21. Railio, J., Ilmanvaihtoa koskevat viranomaismääräykset. Energianeuvojien koulutuspäivät, Pieksämäki 26.4.1985. Suomen Ilmateknillinen Toimialayhdistys ry.

- 22, Railio, J., D2-määräysehdotuksessa korostuu suunnittelun, käyttöönoton ja kunnossapidon merkitys. LVI-lehti 37 (1985) 5, s. 64 - 66.

Julkaisija



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

Julkaisun sarja, numero ja raporttikoodi

VTT Tiedotteita 737

FI+VTTTIED-87/737

Julkaisu-aika

Elokuu 1987

Projektin numero

LVI4005

Tekijät Heikkinen, Jorma Korkala, Tapio Luoma, Marianna Salomaa, Heikki	Projektin nimi Olemassa olevien ilmanvaihtojärjestelmien virhetoimintojen ja	
Nimeke ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIEN VIRHETOIMINNAT JA HÄIRIÖALTTIUS	Toimeksiantaja Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto	
Tiivistelmä Tutkimuksessa on selvitetty ilmanvaihtojärjestelmien tyypillisimmät virhetoiminnat, niiden syyt ja parannuskeinoja epäkohtien välttämiseksi. Useista tutkimuksista viime vuosina kertynyt vikatietyös koottiin yhteen. Lisäksi kartoitettiin virhetoimintoja liike- ja toimistorakennuksista sekä sairaalakompleksista seurantapöytäkirjojen perusteella. Kenttämittauksin tutkittiin korvausilman jakautumista kerrostalohuoneistoissa. Analysoinnilla selvitettiin virhetoimintojen syitä ja parannuskeinoja sekä ilmanvaihtojärjestelmien herkkyyttä häiriötekijöille. Tyypillisimmiksi ilmanvaihdon epäkohdiksi osoittautuivat veto, huoneilman tunkkaisuus, hajujen leviäminen huoneistojen välillä ja sisällä, kondenssivaiheet rakenteissa sekä melu. Energiatalouden ja sisäilmaston kannalta merkittävimmät virhetoiminnat liittyvät ilmanvaihtojärjestelmien lämmityslaitteisiin, puhaltimiin ja pellistöihin sekä lämmön talteenottolaitteisiin. Puutteet ulkoilman sisään-otossa ja ilmavirtojen säädöissä sekä ulkovaipan ja rakennuksen sisäinen heikko tiiviys aiheuttavat myös ongelmia. Melu aiheutuu puutteellisesta äänenvaimennuksesta tai kanaviston heikosta tiivyydestä. Monet epäkohdat ovat peräisin jo rakentamisvaiheesta, useimmiten syynä ovat kuitenkin käytön ja huollon puutteet. Lähtökohdana epäkohtien välttämiseksi on mahdollisimman yksinkertaisien ja selkeiden järjestelmien toteuttaminen. Ilmanvaihtojärjestelmien stabiilius häiriötekijöiden suhteen ja helppo säädettävyys edellyttävät, että kanavistopaineet ovat riittävän korkeita, kanaviston painehäviöt pieniä ja pääte-elimien painehäviöt suuria. Pitkälle viety esivalmistus mahdollistaisi kokoonpanoon keskittyvän urakoinnin, jolloin työmaa-aikainen säätö- ja viritystyö minimoituu. Rakennuttajat ovat avainasemassa suunnittelun ja urakoinnin tavoitteiden asettamisessa ja rakentamisen valvonnassa. Tulevaisuuden ilmanvaihtojärjestelmiltä edellytetään ilmavirtojen ja lämpötilojen ohjausmahdollisuutta yksilöllisten tarpeiden mukaan. Tämä asettaa uusia vaatimuksia mitoitusperusteille, perussäädöille ja laitteilta vaadittaville ominaisuuksille. Sisäilmaston, energiatalouden tms. kannalta parhaat järjestelmät voidaan valita sekä komponenttien ja rakenteiden tavoitearvot määrittellä tietokonesimulointien avulla. Vasta tavoitearvojen edellyttämän tuotekehitysvaiheen jälkeen on perusteltua siirtyä koerakentamisvaiheeseen.		
Toimintayksikkö LVI-teknikan laboratorio, Lämpömiehenkuja 3, 02150 Espoo		
ISSN ja avainnimeke 0358-5085 Tiedotteita - Valtion teknillinen tutkimuskeskus		
ISBN 951-38-2954-5	Kieli suomi, Engl. abstr.	
Luokitus (UDK) 697.9:628.86:69.059	Avainsanat ventilation, air conditioning equipment, failure, odor control, humidity control, temperature control	
Myynti: Valtion painatuskeskus Kirjakaupat Helsingissä: Annankatu 44 Eteläesplanadi 4 Puh. (90) 17341 Puh. (90) 662801 Postimyynti: PL 516, 00101 Helsinki Puh. (90) 56601	Sivuja 127 s. + liitt. 25 s.	Lisätietoja
	Hinta 0,0000	



Authors Heikkinen, Jorma Korkala, Tapio Luoma, Marianna Salomaa, Heikki		Name of project Olemassa olevien ilmanvaihtojärjestelmien virhetoimintojen ja	
		Commissioned by Ministry of Trade and Industry, Energy Department	
Title FAULT OPERATIONS AND SUSCEPTIBILITY TO DISTURBING FACTORS OF VENTILATION SYSTEMS			
Abstract <p>The investigation describes the most typical fault operations of the ventilation systems, the causes of them and means to avoid these defects.</p> <p>The fault knowledge based on many research projects carried out during last years was collected together. Besides, the fault operations were gathered from checking minutes of business and office buildings and a hospital complex. The distribution of the supply air was measured in a few flats. The reasons for and the cures of the defects were sought by analysing. The influences of the disturbing factors (weather, wrong use, leaky constructions etc.) on the operation of the ventilation systems were studied computationally. The most typical defects of the ventilation proved to be:</p> <ul style="list-style-type: none"> - draught - bad smell of indoor air - spreading of odours between and inside flats - condensation on windows - noise. <p>The most important fault operations from the viewpoint of energy consumption and indoor climate are linked with heaters, fans, dampers and heat recovery units. The problems are often caused by a defective intake of outdoor air or air distribution, incorrect adjustment or poor air tightness of external and internal constructions or ducts. Many defects date from the construction process, but in most cases the reasons are due to failures of operation and maintenance.</p> <p>The main point in avoidance of the defects is to build as simple clear-cut ventilation systems as possible. Because of the stability and the easy adjustment of the systems, the duct pressures must be high, pressure drops in ducts low and in terminal devices high. Highly developed preliminary preparations make possible installations, where building-time adjustments and handwork are minimized. It is very important to set exact targets for the design and contract and to supervise the work.</p> <p>The ventilation systems of the future are expected to have the possibility to vary the air flow rates and the temperature according to individual needs. This will lead to new demands for design, adjustment and equipment. The selection of the best ventilation systems from the viewpoint of indoor climate and energy consumption is possible with computer simulations. After the research and development period necessary due to the new target values of components there is cause for experimental buildings.</p>			
Activity unit Laboratory of Heating and Ventilating, Lämpömiehenkuja 3, SF-02150 Espoo, Finland			
ISSN and series title 0358-5085 Tiedotteita - Valtion teknillinen tutkimuskeskus			
ISBN 951-38-2954-5		Language Finnish, Engl. abstr.	
Class (UDC) 697.9:628.86:69.059		Key words ventilation, air conditioning equipment, failure, odor control, humidity control, temperature control	
Sold by Government Printing Centre P.O. Box 516 SF-00101 HELSINKI phone internat. + 358 0 56601		Pages 127 p. + app. 25 p.	Note
		Price ████████	

