



Dipl.ins. Ulla Suomi
EKONO Oy



AIVC 1638

2270

Kirjoittaja on LVI-tekniikan osastolla tutkimus-, selvitys- ja suunnittelutehtävissä.

Tarpeettoman ilmastoinnin vaihtoehto — tarpeenmukainen ilmanvaihto

Innostuneimman energiansäästökeskustelun laannuttua on päivän sanaksi muodostunut sisäilmasto ja sen laatu. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdon säätöjärjestelmällä pyritään yhdistämään nämä kaksi tekijää mahdollisimman sopuisasti eli pienennetään ilmanvaihdon energiankulutusta sisäilman laatua huonontamatta. Tulokset järjestelmän soveltamisesta ovat lupaavia, mutta järjestelmän yleistymiseksi kaivataan laitetekniikan kehittymistä kohtuuhintaisten ja samalla luotettavien mittalaitteiden saamiseksi markkinoille.

Mitä on tarpeenmukainen ilmanvaihto?

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdon säätöjärjestelmällä tarkoitetaan ilmanvaihdon säätöjärjestelmää, jonka avulla rakennukseen tuotava ulkoilmavirta sopeutetaan rakennuksessa kunakin hetkenä vallitsevaan tarpeeseen.

Ulkoilman tarpeen määrää rakennusmateriaaleista vapautuvien epäpuhtauksien poistaminen, rakennuksessa olevien henkilöiden lukumäärä ja toiminta tai tupakoinnista aiheutuvien epäpuhtauksien poistaminen.

Tällä hetkellä Suomessa voimassa olevien määräysten (D2) /2/ mukaan määrää tilan vähimmäisilmanvaihdon rakennusmateriaaleista vapautuvien epäpuhtauksien poistuminen. Ko. määräysten tilakohtaisia ohjeita käyttäenkin ihmisten lukumäärä määrittää ulkoilman minimitarpeen tiloissa, joissa ei tupakoida vain silloin, kun ilmatila henkilöä kohden on pieni (< 21 m³/hlö), esim. neuvotteluhuoneet.

Tuntuu kuitenkin siltä, että nykyisten määräysten mukaiset ulkoilmavirratt henkilöä kohti ovat liian pienet täyttämään nykyisin sisäilman laadulle asetettavat vaatimukset. Onkin oletettavissa,

Taulukko 1. Eri lähteissä suositeltuja minimiulkoilmavirtoja/henkilö.

	Ulkoilmavirta l/s, hlö	
	ei tupakoida	tupakointi sallittu
D2/2/	2,8	4,3
NKB, 82 /3/	4,0	10
ASHRAE, 81—82 /4/	2,5	17,5
Cain et. al. 82, USA /5/	7,5	17,5—26,5
Fanger et. al., Tanska 83 /6/	n. 8	—
Weber, Sveitsi 84 /7/	3,3—4,2	6,9—12,5
Rødahl, Norja 83 /3/	—	8
Berglund, Ruotsi 83 /8/	5—6	—
DTH, 82 /8/	n. 6	—

että tulevaisuudessa näitä ilmavirtoja suurennetaan ja määrääväksi tekijäksi ilmanvaihtoa mitoitettaessa muodostuu henkilöiden lukumäärä, kun tilassa ei tupakoida (taulukko 1).

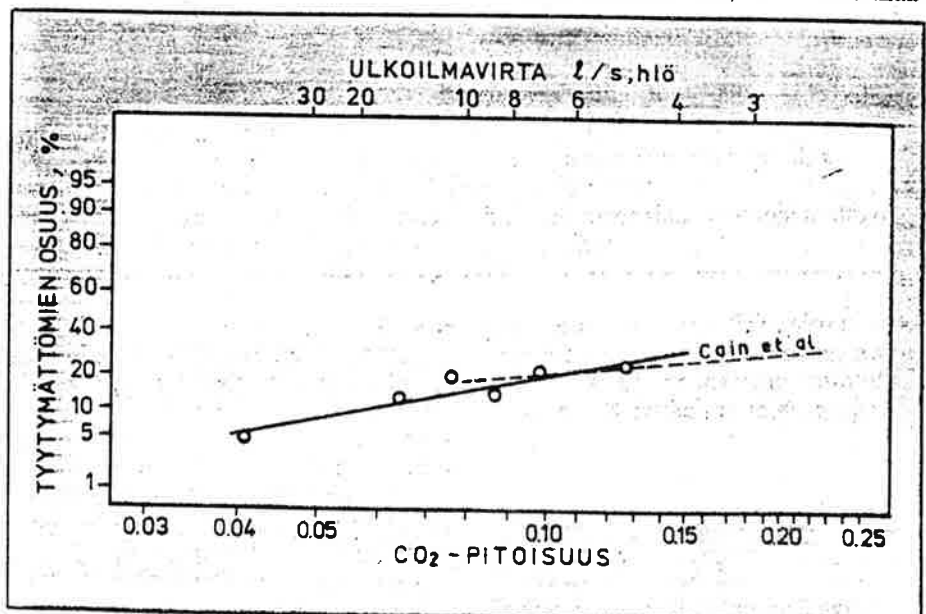
Tanskalaisten tutkimusten /6/ mukaan 80 % ihmisistä on tyytyväisiä ilmanlaatuun, kun ulkoilmavirta on 7 l/s, hlö. ASHRAEn suositama 2,5 l/s, hlö aiheuttaa niiden mukaan jopa 50 %:n tyytymättömyyden. Vastaavia tuloksia on saatu myös muissa tutkimuksissa /5/. Samoissa tutkimuksissa on myös todettu, että CO₂-pitoisuus korre-

Kuva 1. Ilmanlaatuun tyytymättömien määrä ulkoilmavirran/henkilö ja CO₂-pitoisuuden välillä /6/.

loi hajuaistimusta hyvin tiloissa, joissa tupakointi ei ole sallittu. Sen sijaan tupakoinnin aiheuttamien hajujen ja epäpuhtauksien tuulettamiseen tarvittava ulkoilmavirta/henkilö on huomattavasti suurempi, n. 17,5—26,5 l/s, hlö /5/ (kuva 1).

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon soveltaminen

Periaatteessa tarpeenmukaista ilmanvaihtojärjestelmää voidaan käyttää kaikissa rakennuksissa, joissa ilmanvaihdon tarve päivän mittaan vaihtelee. Se on helppo liittää sekä uuteen että olemassa olevaan rakennukseen, koska sen lisää-



Tarpeettoman ilmastoinnin....

minen ei vaadi rakennusteknisiä muutostöitä eikä yleensä suuria asennuksia.

Koska tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tavoitteena on energiansäästö ulkoilmavirtoja pienentämällä, se sopii parhaiten rakennuksiin, joissa ilmavirrat ovat suuria ja henkilökuormitus ja näin myös ulkoilman tarve vaihtelee selvästi.

Esimerkiksi saneerattaessa ennen energiakriisiä valmistuneita rakennuksia, joissa ilmavirrat ovat yleensä selvästi suuremmat kuin nykyisten määräysten mukaan rakennetuissa, voidaan tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla saavuttaa huomattavia säästöjä tinkimättä sisäilman laadusta. Samoin on asian laita kohteissa, joissa tuloilmavirrat ovat jäädytystarpeen vuoksi suuria. Tällöin lämmityskaudella voidaan rakennukseen tuotava ulkoilmavirta sopeuttaa vallitsevaan ilmanvaihdon tarpeeseen ja näin säästää energiaa.

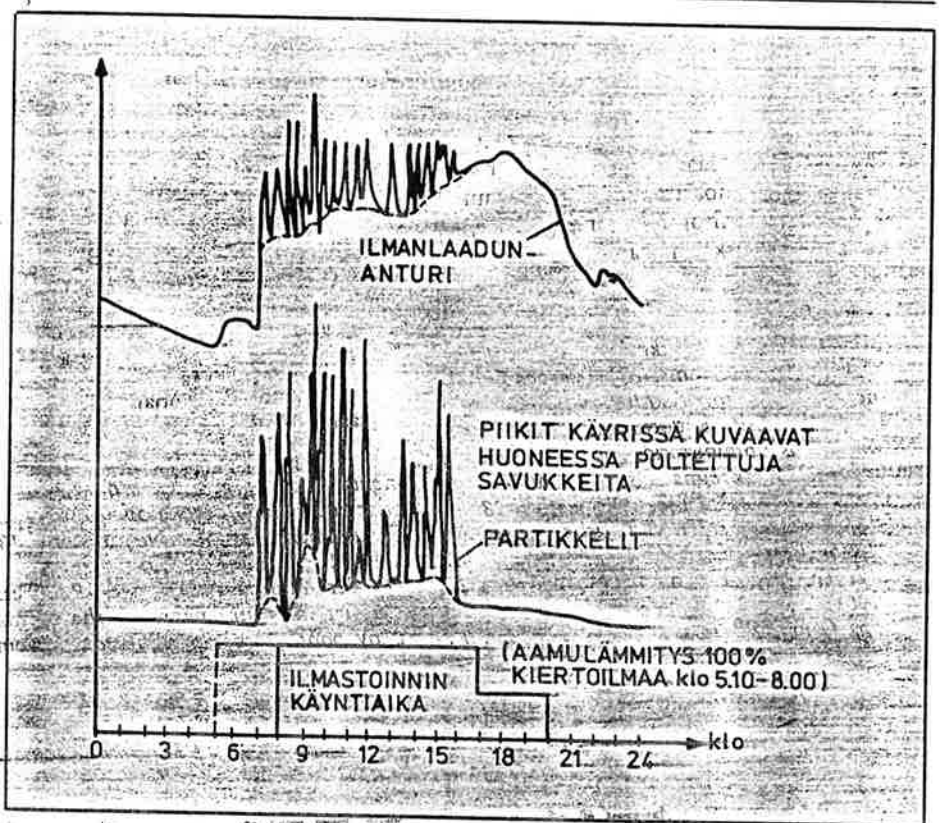
Tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä yhdistetään normaalin lämpötilasäädön rinnalle siten, että lämmityskaudella rakennuksen ulkoilmavirtaa ohjataan sisäilman laadun perusteella ja kesäaikana lämpötilasäätöön perustuen. Valintakytkimelle tulee viesti sekä ilmanlaadun säätimeltä että lämpötilasäätimeltä, ja valintakytkin ohjaa ulkoilmavirtaa sen säätimen viestin perusteella, joka vaatii suuremman ulkoilmavirran.

Yksinkertaisinta tarpeenmukaisen ilmanvaihdon säätöjärjestelmää on soveltaa, mikäli rakennuksessa käytetään kiertoilmaa. Tällöin ulkoilmavirtaa voidaan muuttaa kiertoilmaosuutta muuttamalla, eikä tällä ole vaikutusta esim. sisäänpuhalluselinten heittovirtuksiin, koska tuloilmavirrat tilaan eivät muutu (taulukko 2).

Useimmissa rakennuksissa, joihin tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä sopii hyvin, on suuria hallimaisia tiloja (teatterit, urheiluhallit, ravintolat, palvelutilat, pankit, kirjastot jne.), jolloin ilmanvaihdon ohjaus voidaan hyvin toteuttaa poistoilman pitoisuuden mukaan. Myös mm. toimistorakennuksissa ja oppilaitoksissa voidaan säätö suorittaa poistoilman pitoisuuden mukaan, mikäli ilmanlaadun asetusarvoa määritettäessä otetaan huomioon, että poistoilman pitoisuus edustaa kaikkien tilojen keskiarvoa. Parempaan tulokseen esim. toimistorakennuksissa päästään,

Taulukko 2. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon sovellettavuus eri ilmastointijärjestelmiin 1/.

Järjestelmä	Sovellettavuus
Koncellinen poisto	Helppo toteuttaa
Yksivöhyke-, jälkilämmitys-, monivöhykejärjestelmä, kiertoilman käyttömahdollisuus	Helppo toteuttaa
Yksivöhyke-, jälkilämmitys-, monivöhykejärjestelmä, ei kiertoilmaa	Toteutettavissa, jos ilmavirran vaihtelualue ei ole suuri. Ilmavirran vaihtelu vaikuttaa sisäänpuhalluskuvioon ja heittovirtuuteen tuloilmalaitteissa.
Ilmamääräsäätöinen järjestelmä, kiertoilman käyttömahdollisuus	Helppo toteuttaa
Ilmamääräsäätöinen järjestelmä, ei kiertoilmaa	Toteutettavissa huonekohtaisella säädöllä. Kallis
Suutinkonvektorit, kiertoilman käyttömahdollisuus	Helppo toteuttaa
Suutinkonvektorit, ei kiertoilmaa	Vaikea toteuttaa, koska ilmavirran vaihtelurajat ovat pienet



Kuva 2. Hiukkaspitoisuuden ja ns. ilmanlaadun anturin näyttämän vaihtelu tupakointihenkilön toimistohuoneessa 1/.

jos esim. neuvottelutilat, joiden kuormitus on tavallisia toimistohuoneita suurempi, voidaan hoitaa omana säätövöhykkeenä.

Mikäli ilmanvaihtoa säädetään poistoilman pitoisuuden perusteella, vaihtelevat ilmanlaadun tekijät (esim. CO₂-

pitoisuus, hiukkaspitoisuus, ns. ilmanlaadun anturin näyttämä) yleensä niin tasaisesti, että hyvään säätötulokseen päästään helposti. Säätimeksi riittää jopa P-säädin, mikäli pysyvä poikkeama asetusarvosta sallitaan. Jos sen sijaan säädetään huonekohtaisesti esim. toimistossa, jossa tupakoidaan (kuva 2), säätöön tarvittaisiin PID-säädin, jotta jyrkät hetkittaiset piikit voitaisiin vaimentaa ja saada tyydyttävä säätötulos.

Tarpeettoman ilmastoinnin...

vetta suurempi, on tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla saavutettu energiansäästö suurempi (kuva 3).

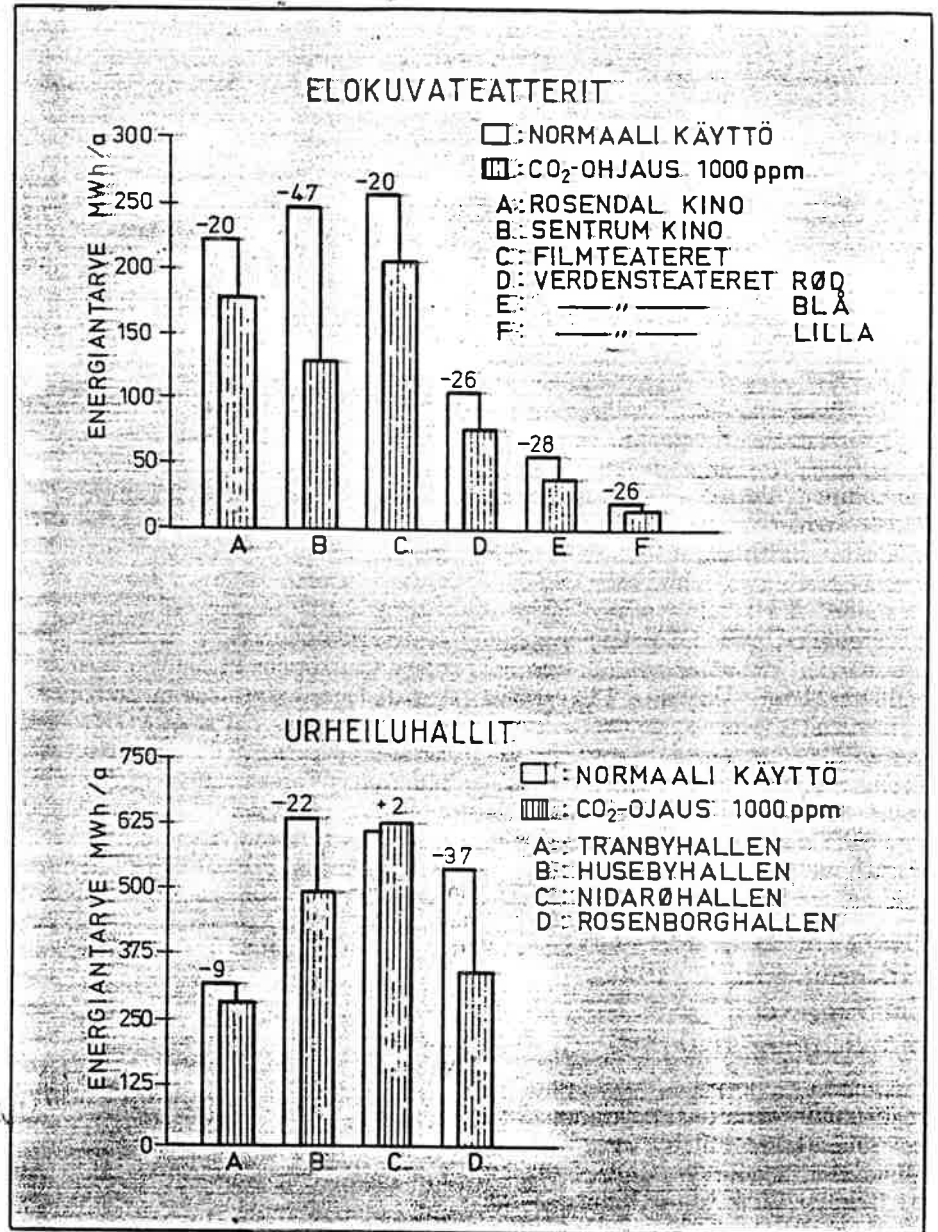
CO₂-analysointoreiden korkean hinnan vuoksi muodostuu CO₂-säästö tällä hetkellä kannattavaksi lähinnä suurissa rakennuksissa, joissa henkilökuorma päivän mittaan selvästi vaihtelee. Puoli-johdetekniikkaan perustuvien antureiden avulla tapahtuva säätö kannattaa jo pienemmissäkin rakennuksissa, mutta niiden luotettavuus kuormitusvaihtelujen (henkilöt) seuraajana kaikissa tilanteissa ei ole vielä riittävä /1/.

Nykytilanne

Nykyisellä tietämyksellä ja tekniikalla on mahdollisuus soveltaa tarpeenmukaista ilmanvaihtojärjestelmää taloudellisesti normaaliin lämpötilasäätöön yhdistettynä jo useissa rakennuksissa. Tästä huolimatta tarvitaan lisää tutkimusta ja tuotekehitystä halvempien ja luotettavampien mittalaitteiden ja säätimien markkinoille saamiseksi. Vasta tämän jälkeen on odotettavissa tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän yleistymisen rakennuskannassamme.

Lähteet:

- /1/ Kuusela L., Pekkonen J., Suomi U., Rakennusten sisäilmasto ja tarpeenmukainen ilmanvaihto, Teknillinen korkeakoulu, LVI-laboratorio, Raportti G-9.
- /2/ Sisäasiainministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma D2, Rakennusten ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet, 1978.
- /3/ Rødahl, E., Romklimatiske opinionsundersøkelser, Norsk VVS 8-83, s. 581-587.
- /4/ The Ashrae ventilation standard 62-1981.
- /5/ Cain, W. et al., Ventilation require-



Kuva 3. Vuotuisen energiankulutuksen muutos käytettävässä tarpeenmukaisessa ilmanvaihtossa (CO₂-säätö) norjalaisten mittausten mukaan /9/.

- ments in buildings I, Control of occupancy odor and tobacco smoke odor, Atmospheric Environment Vol. 17 No. 16 pp 1183-1197, 1983, Great Britain.
- /6/ Berg-Munch, B., Fanger P.O. et al., Ventilation requirements for the control of body odor in spaces occupied by women,

Indoor Air -84, Volume 5, Sweden 1984, s. 227-231.

/7/ Weber, A., Ventilationsåtgärder till skydd för passive rökare, VVS Special 2/83, s. 72-73.

/8/ Lindvall, T., VVS-seminarium Behovsstyrd Ventilation, Göteborg 1984, suullinen esitys.

/9/ Drangsholt, F., Behovsstyrt Ventilasjon, Erfaringer fra prosjekt i Norge, VVS-seminarium Behovsstyrd Ventilation, Göteborg 1984.

Tilaa LVI-lehti NYT!

Vuosikerran hinta 250,—
Kestotilauksena 220,—

Ulkoilmavirran säätö voidaan suorittaa portaattomasti, jolloin peltien tai puhaltimen toiminta on suoraan verrannollinen ilmanlaadun muutoksiin. Mikäli tähän ei ole mahdollisuutta, voidaan ilmanlaadun indikaattorille asettaa asetusarvo esim. siten, että pitoisuuden ollessa alle asetusarvon pelti on kiinni tai puhallin pysähtyneenä ja asetusarvon yläpuolella pelti aukeaa tai puhallin lähtee käyntiin. Vastaavalla periaatteella voidaan kahden asetusarvon avulla toteuttaa säätö kaksinopeuksisella puhaltimella. Viimeksi mainituilla säätötavoilla ei tietenkään saavuteta yhtä tasaista sisäilman laatua kuin portaaton säätöä käytettäessä, mutta useimmiten tulos on riittävän hyvä.

Mikä ohjaa ilmanvaihtoa — onko sopivia mittalaitteita saatavilla?

Sisäilmassa esiintyvistä yksittäisistä ilmanlaatuun vaikuttavista kaasumaisista epäpuhtauksista tulevat ilmanvaihdon ohjaukseen soveltuvina kyseeseen lähinnä hiilidioksidi (CO₂) ja hiilimonoksidi (CO). Hiilidioksidi sisäilmassa on lähes kokonaan ihmisperäistä, ja sen on todettu useissa tutkimuksissa kuvaavan hyvin ilmanlaatua tiloissa, joissa ei tupakoida. Tiloissa, joissa tupakointi on sallittu, soveltuisi CO paremmin ilmanvaihdon ohjauksen indikaattoriksi. Toisaalta tällöin aiheuttavat ongelmia tilanteet, jolloin tilassa esiintyy ainoastaan henkilökuormitusta, koska ihmisten tällöin aiheuttama CO-pitoisuuden nousu on kovin vähäistä. Tyydyttävään ratkaisuun ilmeisesti päästäisiin mittamalla sekä CO₂- että CO-pitoisuus ja valitsemalla ulkoilmavirta suuremman tarpeen mukaan. Tämä vaihtoehto on kuitenkin nykyisellä laitetekniikalla liian kallis toteuttavaksi.

Sekä CO₂:n että CO:n mittaukseen on olemassa runsaasti erilaisia suoraan osoittavia mittalaitteita, joista yleisimpiä ovat infrapunasäteilyn absorptioon perustuvat kaasuanalysaattorit. Laitteet ovat kuitenkin lähinnä laboratoriomittauksia varten, eivätkä ne usein hinnaltaan (25 000—50 000 mk) eivätkä myöskään kaikilta ominaisuuksiltaan (huolto) ole sellaisinaan sovellettavissa yleisesti tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjaukseen.

Puolijohdetekniikkaan perustuvat ns. ilmanlaadun anturit, jotka reagoivat yhtä aikaa useisiin ilmassa oleviin palamiskykyisiin kaasumaisiin epäpuhtauksiin, lienevät tällä hetkellä ainoat varsinaisesti ilmanvaihdon tarpeenmukaista ohjausta varten kehitetyt laitteet maassamme. Tästä johtuen niillä onkin useita hyviä ominaisuuksia, joita mm. kaasu-analysaattoreilla ei ole. Ne ovat melko edullisia, huoltovapaita, niitä ei tarvitse myöskään erillistä näytteenotto-pumppua. Toisaalta näiden antureiden ongelmat keskittyvät "oikean" ilmanlaadun asetusarvon ja sopivan säätökäyrän määrittämiseen. Tämä perustuu käytännössä täysin kustakin kohteesta saataviin kokemuseräisiin tietoihin, koska ilmanlaadulle ei voida ennakoita määrittää selvää asetusarvoa. Tämä on tehtyjen mittausten mukaan /1/ osoittautunut melko vaikeaksi, koska anturilta tuleva viesti vaihtelee ajoittain epäluotettavasti samankaltaisissakin olosuhteissa.

Koska sisäilman hiukkasmaisten epäpuhtauksien tärkeimmät lähteet ovat tupakointi, ihminen ja hänen liikkumisensa, siivous sekä ruoanlaitto jne, soveltuisi hiukkaspitoisuus periaatteessa hyvin ilmanvaihdon ohjauksuureeksi. Sen etuna tilan kuormitusta kuvaavana tekijänä on, että se ottaa huomioon sekä tilassa olevat henkilöt että tupakan polton (mitä esim. CO₂ ei tee). Ilman hiukkaspitoisuuden käyttöä ohjauksuureena rajoittaa kuitenkin ilmanvaihdon ohjaukseen yleisesti soveltuvien mittalaitteiden puute ja olemassa olevan laitekannan kalleus.

Yleensä ottaen voidaan todeta, ettei Suomessa ole tällä hetkellä tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän vaatimukset täyttävää ja samalla hinnaltaan kohtuullista laitteistoa hiilidioksidi- tai hiilimonoksidipitoisuuden mittaamiseen eikä myöskään hiukkaspitoisuusmittauksiin. Puolijohdetekniikkaan perustuvilta ilmanlaadun antureilta taas vaaditaan luotettavuuden paranemista kuormitusvaihtelujen seuraamisessa ennenkuin niiden käyttöä voi hyvin suositella ilmanvaihdon ohjaukseen kaikissa tiloissa /1/.

Sisäilmastolliset vaikutukset ja riskitekijät

Kun ilmanvaihtoa ohjataan vain yhden tietyn aineen (esim. CO₂) tai aineryhmän (esim. ilmanlaadun anturi) avulla, saattavat jonkin tai joidenkin muiden aineiden pitoisuudet nousta liian suuriksi. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että jos rakennuksessa ei tupakoida, aiheuttavat suurimman riskin rakennusmateriaaleista vapautuvat epäpuhtaudet. Asettamalla ilmanvaihdolle minimiraja esim. 0,5 l/h ja ohjaamalla ilmanvaihtoa sen ylitse menevältä osalta ihmisten lukumäärän mukaan (esim. CO₂) voidaan useimmissa tapauksissa estää rakennusmateriaalien haitalliset päästöt. Mikäli maaperän lajin tai rakennusmateriaalien laadun vuoksi voidaan kuitenkin epäillä korkeita radon-, formaldehydi- tms. pitoisuuksia, tulisi aina tarkistaa riittääkö puolikertainen ilmanvaihto pitämään pitoisuudet riittävän alhaalla /1/.

Tiloissa, joissa tupakoidaan, on ulkoilmantarve huomattavasti suurempi kuin rakennuksissa, joissa pääasiallinen epäpuhtauslähde on ihminen. Tästä johtuen ohjattaessa ilmanvaihtoa CO₂:n mukaan tiloissa, joissa tupakointi on sallittu, ei saavuteta sisäilman kuormitusta (tupakointia) vastaavaa ulkoilmavirtaa. Tätä ei tosin saavuteta normaalilla ilmanvaihtojärjestelmälläkään, jos ulkoilmavirrat on suunniteltu nykyisten määräysten /2/ mukaisesti.

Energiansäästö ja taloudellisuus

Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän asentamisesta aiheutuvat kustannukset koostuvat lähinnä ilmanlaadun mittarin ja säätimen aiheuttamista hankintakustannuksista sekä peltien tai puhaltimien muuttamisesta säädettäväiksi.

Järjestelmällä saavutettu energiansäästö riippuu paljon rakennustyyppistä ja rakennuksen käyttöasteesta. Voidaan arvioida, että keskimäärin säästö ilmanvaihdon energiankulutuksessa on 20—30 %. Em. luvut koskevat tilannetta, jossa rakennukseen tuodaan ulkoilmaa vain ilmanvaihdon tarvetta vastaava määrä. Jos kiertoilmaa ei käytetä ja tuloilmavirta esim. kesäaikaisen jäähdystystarpeen vuoksi on ilmanvaihdon tar-