

Näin saamme kouluihin terveellisen ilmanvaihdon

Miljoonittain vähemmän sairaspäiviä, miljoonittain vähemmän sairaan lapsen hoitopäiviä.

On vain vaihdettava vanhojen laitteiden tilalle nykyaikaiset STRAVENT-päätelaitteet.

Alimitoitettu ilmanvaihto vaikuttaa heikentävästi ihmisen suorituskykyyn. Tämän vahvistavat lukuisat, mm. tämän artikkelin referenssiluettelossa mainitut tutkimukset, jotka osoittavat, että hyvä huoneilma lisää keskittymiskykyä ja tuottavuutta.

Ilman likaantumisaste määräytyy useista tekijöistä. Esimerkiksi ihmisten lukumäärällä ja heidän toiminnoillaan huoneessa on suuri merkitys. Sama koskee ilman epäpuhtauksia ulkona (2). Tämän osoittavat myös Gustenin ja Strindehagin tutkimukset (6).

Koulujen ilmanvaihdon toteuttaminen niin, että saavutetaan hyvä ilman laatu, on vaativa haaste. Kyseessä on hyvän ilmanlaadun tarjoaminen kaikille ihmisille, vaikka huonetilavuutta on ehkä vain viisi kuutiometriä henkeä kohti, kun vastaava luku toimistoissa on yleensä yli 25 kuutiometriä, josta ilmaa voidaan ottaa.

Kuinka sitten pitäisi koulutilojen ilmanvaihto järjestää, että ilman laatu katsottaisiin hyväksyttäväksi? Jos tarkastellaan tilannetta maailmalla, löydetään lukuisia erilaisia suosituksia.

Esimerkiksi The Chartered Institution of Building Services Engineers (3) määrää raittiin ilman minimimääräksi 8 litraa sekunnissa aikuisille, tupakoimattomille henkilöille toimitoissa ja 8,3 litraa sekunnissa kullekin ihmiselle kouluissa. UK Department for Education and Employment (4) esittää että "lämmitysjärjestelmän tulee pystyä ylläpitämään vaaditut huoneilman lämpötilat keskimääräisellä minimi-ilmanvaihtomäärällä 3 litraa sekunnissa henkeä kohti raitista ilmaa kaikilla alueilla kouluissa." Sama lähde suosittelee myös, että "kaikissa opetustiloissa tulee myös olla mahdollista järjestää ilmanvaihto minimitasoon 8 litraa/s raitista ilmaa henkeä kohti tavanomaiselle henkilömäärälle kyseisissä tiloissa niiden ollessa miehitettyinä". USA:ssa The American Society of Heating, Refrigeration and Air conditioning Engineers – ASHRAE (5) – suosittelee "raittiin tuloilman määrää 10 litraa/s henkilöä kohti yleisiin tiloihin ja 8 litraa/s henkilöä kohti koulujen luokkahuoneisiin".

Kaikkialla maailmassa siis lähdetään siitä, että hyvän ilmanvaihdon perusta on se, kuinka paljon raitista ilmaa tuodaan huoneeseen, tai toisin sanoen, kuinka paljon raitista ilmaa käytetään likaantuneen ilman laimentamiseen huoneessa, niin, että ihminen kokisi sen hyväksyttäväksi. Sen jälkeen luovutetaan. Ohjeita siitä, millä tavalla huoneen ilmanvaihto pitäisi toteuttaa, jotta epäpuhtaudet saataisiin poistetuksi huoneesta tehokkaasti, ei sen vuoksi ole olemassa. Edellytetään, että kaikki ilmanvaihto tapahtuu kaikkialla yleisesti käytetyllä sekoittavan ilmanvaihdon menetelmällä, joka on erityisen tehoton ilmanvaihtomenetelmä ja antaa kaikkien epäpuhtauksien tanssia sambaa ympäri huonetta.

Sekoittavaan tuloilmaan perustuva mekaaninen ilmanvaihto kouluissa = terveyskatastrofi

Vaikka ilmaa puhalletaan huoneeseen kuinka paljon tahansa, ei tällä saada otetta varsinaisesta terveysongelmasta: miten voidaan välttää partikkeleiden kulkeutuminen hengitysilmassa toisten ihmisten neniin ja suihin. Tätä yleisesti käytetty sekoittava ilmanvaihto päinvastoin edistää.

Tunnin aikana yksi ihminen hengittää ulospäin yli puoli miljoonaa partikkelia ympäröivään ilmaan. Suurin osa niistä on harmittomia, mutta monet voivat olla enemmän tai vähemmän haitallisia muille ihmisille.

Jos nämä partikkelit saisivat häiriöttä kulkea lämpimän, ylöspäin suuntautuvan konvektioilman mukana kustakin huoneesta olevasta ihmisestä, ne katoaisivat ylös kohti kattoa ja poistuisivat sitä kautta huoneesta poistoilman mukana. Mutta sitä ne eivät saa tehdä silloin, kun ilmanvaihto on toteutettu sekoittavana. Sen sijaan ne kohtaavat alaspäin menevän tuloilman, joka painaa niitä hallitsemattomasti uudelleen alaspäin ihmisiä kohti. Nyt tapahtuva partikkelien vaihto kaikkien huoneessa olevien nenien ja suiden välillä aiheuttaa näin ne vaivat, jotka me kaikki niin hyvin tunnemme. Roistona ei siis olekaan alituisesti paneteltu mekaaninen ilmanvaihto, joka haittaa meitä ihmisiä työssämme ja kouluissamme, vaan epäterveellinen ilmanjakomenetelmä.

Särkynyt toive terveellisestä vaihtoehdosta kouluissa

Joitakin vuosikymmeniä sitten otettiin käyttöön ilmanjakomenetelmä, josta oli tarkoitus tulla terveellinen vaihtoehto. Kun johdettiin raitista ilmaa alhaalta lattian tasolta, piti likaantuneen, ihmisistä tulleen ilman poistua huoneesta ilman, että se ylhäältä palaisi terveydelle vaarallisena takaisin ihmisten luo. Menetelmää kutsuttiin – ja sitä kutsutaan edelleen ja virheellisesti – syrjäyttäväksi ilmanvaihdoksi. Tämä käsite on kuitenkin levinnyt niin moneen maahan, että tämän selvityksen kirjoittajat antavat itselleen luvan käyttää sitä myös tässä yhteydessä.

Valitettavasti syrjäyttävä ilmanvaihto ei täyttänyt sille asetettuja suuria odotuksia; osoittautui, ettei se toimi odotetulla tavalla esimerkiksi koululuokissa, joissa on paljon ihmisiä. Tänä päivänä tiedämme, että syy siihen on seuraava: Vedon välttämiseksi on tuloilma tuotava huoneeseen erittäin pienellä nopeudella. (Käytettäviä tuloilmalaitteita kutsutaan sen vuoksi piennopeuspäätelaitteiksi tai matalapainepäätelaitteiksi). Mutta pieni ilman nopeus ilmanvaihdossa johtaa siihen, että myös virtausvoima tuloilmalla jää pieneksi.

Huoneessa, jossa on paljon ihmisiä, jää sen vuoksi kokonaisliikevoima huoneilmalla usein suuremmaksi kuin virtausvoima tuloilmassa. Esimerkiksi koululuokissa muuttuu odotettu syrjäytysvaikutus helposti hallitsemattomaksi, sekoittavaksi ilmanvaihdoksi. Tämä fysikaalinen perusoletus sekä negatiiviset kokemukset menetelmästä sen usein huonon termisen mukavuuden muodossa ovat johtaneet siihen, että asennusten kannalta yksinkertaisempi, mutta epäterveellinen sekoittava ilmanvaihto on saanut taas armon kouluissa.

Wall Confluent Jets – uusi keino terveelliseksi ilmanvaihdoksi – Kerrostava ilmanvaihto

Viimeksi kuluneiden viidentoista vuoden aikana on toisenlainen ilmanjakomenetelmä – Wall Confluent Jets – kehitetty menestyksekkäästi, ja sitä on tutkittu empiirisesti toimistorakennuksissa. Viimeiset kaksi vuotta on kokemuksia näistä tutkimuksista täydennetty kokeellisilla mittauksilla sekä visualisoinneilla CFD:n avulla. Ne ovat osoittautuneet lievästi sanottuna sensaatiomaisiksi. Osia niistä esittivät sen vuoksi syyskuun alussa 2004 englantilaisen Readingin yliopiston tutkijat konferenssissa Air Distribution in Rooms Coimbrassa Portugalissa.

Wall Confluent Jets -järjestelmässä kiihdytetään tuloilma nopeuteen, joka on viidestä viiteenkymmeneen kertaan korkeampi kuin perinteisessä ilmanvaihdossa. Tällä tavalla muodostuu virtausvoima tuloilmassa niin suureksi, että se voittaa termiset ilmanliikkeet huoneessa. Ilmanvaihdon käyttäytyminen ja tehokkuus huoneessa voidaan nyt saada näkyväksi, ja se voidaan myös optimoida ilmanvaihtotekniikan uudella työkalulla, CFD:llä.

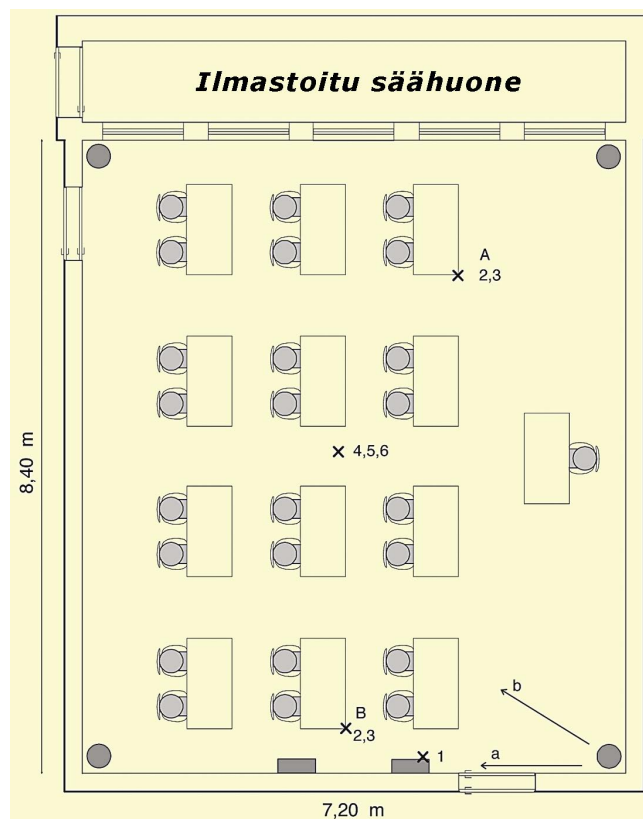
Optimointi johtaa yleensä siihen, että tuloilma tuodaan sisään seiniä pitkin ja lattian kautta ihmisten luo, missä se muodostaa pystysuoran ilmaverhon kunkin ihmisen ympärille. Partikkeleiden vaihto ihmisten välillä saadaan tällä minimoiduksi, koska ihmisten hengityksestä likaantunut ilma voi nyt kulkeutua ylöspäin kohti kattoa niin että se ei sekoitu hallitsemattomasti takaisin muiden ihmisten luo. Tuloksena on se, että huoneilma kerrostetaan kahteen vyöhykkeeseen, puhtaampaan vyöhykkeeseen, jossa ihmiset oleskelevat ja likaantuneempaan vyöhykkeeseen katon lähellä.

Toimistotiloissa tehtyjä tutkimuksia on viime vuosina täydennetty kokeellisilla analyyseillä uuden menetelmän toiminnasta koululuokissa. Joitakin näistä mittauksista ja tutkimuksista on viime aikoina suoritettu BMG:ssä Gävlen korkeakoulussa.

Ajankohtaisten mittauksen tarkoituksena oli määritellä huoneilman keski-ikä eri pisteissä tutkimuksessa käytetyssä koululuokassa. Tällä tavoin voitiin laskea myös paikalliset ilmanvaihtoindeksit samoissa pisteissä. Kaikki Wall Confluent Jets -järjestelmän mittaukset osoittivat silloin, että likaantunut konvektioilma 25 ihmisestä huoneessa liikkui häiriöttä ylös kohti kattoa ja poistui siitä kautta huoneesta.

Ehkä eniten huomiota mittauksissa herätti se, että ilmanvaihto osoittautui yhtä tehokkaaksi ja partikkelien vaihto ihmisten välillä huoneessa yhtä minimaaliseksi, kun tuloilman virtausta pienennettiin 200:sta 120:een l/s, siis 8:sta 4,8:aan l/s henkilöä kohti.

Koska samankaltaisia tuloksia saatiin myös Readingin yliopiston mittauksista, osoittavat tänä päivänä saadut tulokset, että joka puolella maailmaa nykyisin käytettävät koulujen hyvän ilmanvaihdon perusteet tulevat muuttumaan dramaattisesti lähitulevaisuudessa. Kun näin tapahtuu, tulevat huoneessa olevat ihmiset saamaan hengitettäväkseen ainoastaan murto-osan sekä ulkoa että sisältä tulevia epäpuhtauksia verrattuna siihen, mihin heidät on pakotettu tänä päivänä – tietämättään ja tuntemattaan. Käytännössä kaikki mitä tarvitaan, on yksinkertainen ilmanvaihdon päätelaitteiden vaihto.



Kuva 1.

Mittaukset suoritettiin seuraavissa olosuhteissa:

Käytetyn huoneen mitat = 7.2 x 8.4 m.

Katon korkeus = 2.9 m.

Lämpökuorma huoneessa:

25 henkilösimulaattoria à 95 wattia.

Lämpötila julkisivua pitkin olevassa kylmätilassa:

– 16° C

Tuloilmamäärä:

200 ja 120 l/s = vastaavasti 8 ja 4.8 l/s per henkilö

Tuloilman lämpötila: 16° 200:lla l/s, 13° 120:llä l/s

Tuloilmapäätelaite:

Softflo S 11 pystysuoraan sijoitettuna nurkkaan

Käsittelijä ja mittauksista vastaava:

Tekniikan lisensiaatti Claes Blomqvist

Mittausdatan työstäminen:

Tekniikan tohtori Taghi Karimipannah

Palaute ja neuvonta: Professori Mats Sandberg

Yhteenveto mittauksista Wall Confluent Jets –järjestelmässä koulu- luokassa

- Ennen kuin luokan neljässä kulmassa olleet matalapaine-tuloilmalaitteet, joiden ilmamäärä oli $4 \times 50 = 200$ l/s, purettiin pois, määriteltiin niiden toiminta. Tämä tapahtui niin, että mitattiin huoneilman paikalliset keski-iat – ja siten paikallinen ilmanvaihtoindeksi – eri kohdissa oleskeluvyöhykettä. Mittauksista kävi ilmi, että huoneilma oli kaikkialta sekoittunut ihmisten suiden ja nenien lähellä.
- Sen jälkeen kun oli vaihdettu neljä matalapainetuloilma-laitetta korkeapainetuloilmalaitteisiin Vasatherm suutinputki S 11, joiden toiminta vastaa Wall Confluent Jets –järjestelmän menetelmää, ja jotka on sijoitettu samalla tavalla – pysty-suoraan, hieman lattian yläpuolelle – suoritettiin mittaukset huoneilman keski-iastä samoissa 50 pisteessä kymmenessä erilaisessa mittaustilanteessa, sekä kahdella että neljällä tuloilmalaitteella ja ilmamäärillä 200 ja 120 l/s.
- Kaikissa pisteissä aina 1,2 m:n istumakorkeuteen asti mitaukset huoneilman keski-iastä osoittivat, että ihmisistä tullut likaantunut ilma pääsi häiriöttä nousemaan ylöspäin ja poistumaan oleskeluvyöhykkeeltä. Kahdessa pisteessä 50:stä oli pyrkimyksiä sekoittuvaan ilmanvaihtoon kehittynyt 1,8 m:n korkeudella, mikä on luonnollisesti 0,6 m istuvien ihmisten yläpuolella. (Eri ihmisistä tulevat ilmapirrat törmäävät kerrostavassa ilmanvaihdossa korkeammalla huoneessa, jossa ne sekoittuvat keskenään, mikä hygienian näkökulmasta on merkitykseltänsä tässä tasossa.)
- Riippumatta siitä, oliko ilmamäärä 200 vai 120 l/s tai oliko käytössä kaksi vai neljä korkeapainepäätelaitetta tuomassa ilmaa sisään, ei ilmanvaihto koskaan muodostunut sekoittuvaksi oleskeluvyöhykkeellä.

Verrattuna sekoittavaan ilmanvaihtoon tai ilmanvaihtoon matalapainetuloilmalaitteilla luokissa huoneilma ei tule vain terveellisemmäksi hengittää, vaan ilmanvaihto lisäksi

muodostuu niin tehokkaaksi, että ihmiset kokevat ilmanvaihdon paremmaksi jopa silloin, kun tuloilmamäärää on pienennetty 40 prosenttia!

- Ilmanvaihdon tehokkuutta mitattiin myös poistoilmassa 10 eri mittauksella. Professori Mats Sandberg – käsitteen *ilmanvaihdon tehokkuus* ”isä” – väitti kuitenkin mittauksissa, että saatuja arvoja suuremmista huoneista, joissa on enemmän lämmönlähteitä, ei pidä katsoa absoluuttisiksi, vaan enemmänkin tendensseiksi. Sen sijaan tulee huoneilman mittauksilla eri pisteissä oleskeluvyöhykkeellä todeta, että ilma ei siellä sekoitu. Huolimatta tästä selviöstä mitattiin kuitenkin myös ilmanvaihdon tehokkuutta kaikissa korkeapainepäätelaitteiden mittauksissa. Se osoittautui 35 prosenttia paremmaksi, kuin mikä on mahdollista saavuttaa sekoittavalla tai syrjäyttävällä ilmanvaihdolla kouluissa.

- Kerrostava vaikutus havainnollistettiin myös savun avulla. Ylöspäin suuntautunut ilma ihmisistä saatiin siinä yhteydessä selvästi näkyviin. Toiminta kuvattiin videolla ja sitä voidaan tarkastella DVD:llä.

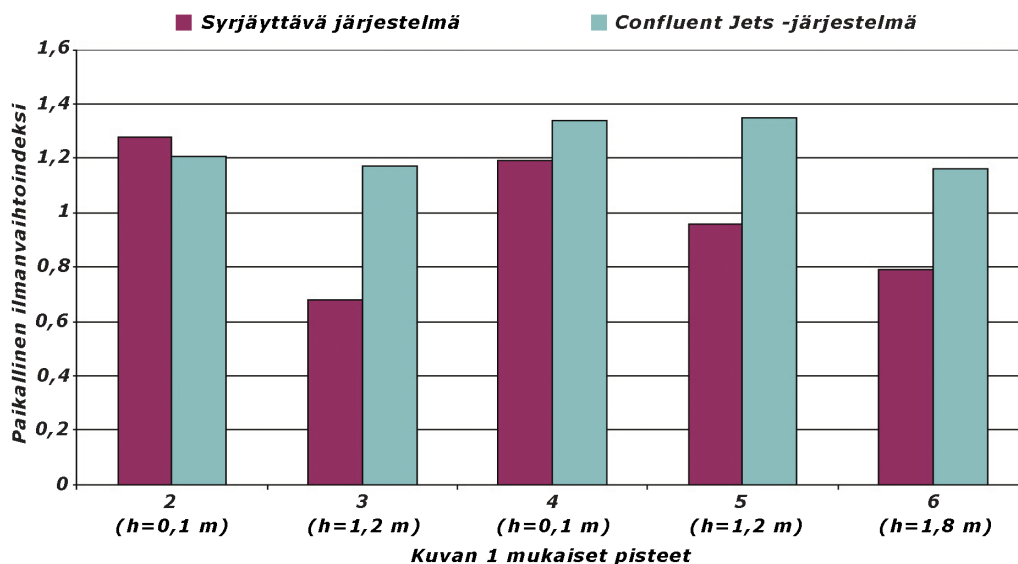
- Käytetyt S 11 ilmanvaihtopäätelaitteet eivät muodostaneet mitään lähivyöhykkeitä tai heittopituuksia huoneessa. Seinän pintaa pitkin muodostui 30 mm paksu suurinopeuksinen ”ilmapatja”. Tämän ilmapatjan ulkopuolella havaittiin ainoastaan sen vastaisia sekoittuneen huoneilman liikkeitä, joilla oli merkitykseltömän alhainen nopeus.

Kuvaan 2. liittyviä kommentteja

- Jos paikallinen ilmanvaihtoindeksi on korkeampi kuin 1,0, se merkitsee, että ilman keski-ikä on alhainen. Se liikkuu silloin ylöspäin ihmisten kehojen mukaisesti kerrostaen muuttumatta sekoittavaksi ilmanvaihdoksi.

Vihreät pylväävät osoittavat, että näin on aina laita Confluent Jets –järjestelmän kohdalla. Tämä pitää paikkansa myös pisteissä 2 ja 4 kerrostavassa järjestelmässä. (Vertailua sekoittavaan ilmanvaihtoon ei suoritettu, koska yli 1,0:n arvot ovat siinä fysikaalisia mahdottomuuksia.)

Kuva 2. Graafinen kooste mittauksista: Vertailu syrjäyttävän järjestelmän ja Confluent jets –järjestelmän välillä luokahuoneessa, jossa 4 päätelaitetta (1 kussakin kulmassa, á 50 l/s)



- Pisteet 2 ja 4 ovat yhteensä kolme pistettä 0,1 metrin korkeudella lattiasta. Tässä tulee ilman keski-ikä aina alhaiseksi ja paikallinen ilmanvaihtoindeksi on sen vuoksi yli 1,0.

Kumpikin verrattuista ilmanvaihtomenetelmistään tuo tuloilmaa lattiaa pitkin ja sen vuoksi tuo jatkuvasti uutta ilmaa mitattuihin pisteisiin. Menetelmien keskinäisessä vertailussa pitäisi sen vuoksi ehkä jättää pisteet 2 ja 4 huomioimatta.

- Pisteet 3 ja 5 ovat yhteensä kolme pistettä huoneessa 1,2 metrin korkeudella, siis korkeammalla kuin lämmönlähteiden nenät ja suut tässä tapauksessa. Jos paikallinen ilmanvaihtoindeksi on tässä yli 1,00 – kuten aina on laita Confluent Jets –järjestelmällä – on ilmalla edelleen ylöspäin nouseva suunta, eikä se siis ole vielä muuttunut sekoittavaksi ilmanvaihdoksi, kuten on tilanne kerrostavassa ilmanvaihdossa.

- Piste 6 on piste keskellä huonetta 1,8 metrin korkeudessa, siis 0,6 lämmönlähteiden yläpuolella tässä tapauksessa. Myöskään tässä ei ilma ole vielä muuttunut sekoittavaksi ilmanvaihdoksi Wall Confluent Jets –järjestelmällä.

- Keskimääräinen paikallinen ilmanvaihtoindeksi vertailun kannalta mielenkiintoisissa pisteissä 3, 5 ja 6 on Confluent Jets –menetelmällä 1,2 ja kerrostavalla ilmanvaihdolla 0,63. Nämä luvut osoittavat, että huoneessa olevien ihmisten pitäisi kokea ilman laatu huomattavasti paremmaksi Confluent Jets –menetelmällä.

Mikä on paikallinen ilmanvaihtoindeksi?

Ilman keskimääräinen ikä monessa pisteessä huoneen oleskeluvyöhykkeellä. Mitataan merkkikaasun avulla.

Paikallinen ilmanvaihtoindeksi = nimellisaikavakio / aikavakio mitatussa pisteessä.

Jos paikallinen ilmanvaihtoindeksi on yli 1,0

Ilman keskimääräinen ikä ihmisten ympärillä on alhainen. Se liikkuu siis yhteen suuntaan. Tässä tapauksessa ylöspäin.

Ihminen kokee huoneilman raikkaaksi.

Ihmistä ja muista lämmönlähteistä peräisin olevat partikkelit hakeutuvat ylöspäin ja poistuvat huoneesta käymättä tarpeettomasti muiden ihmisten suissa ja nenissä.

Jos paikallinen ilmanvaihtoindeksi = 1,0

Ilman keskimääräinen ikä ihmisten ympärillä on alin mahdollinen sekoittavassa ilmanvaihdossa. Ihminen kokee huoneilman tyydyttäväksi.

Ihmistä peräisin olevat partikkelit käyvät niin monissa suissa ja nenissä kuin mahdollista ennen poistumistaan huoneesta. (Ilmanvaihto tulee kokonaan sekoittavaksi, kun ilmanvaihdon tehokkuus = 50 %.)

Jos paikallinen ilmanvaihtoindeksi on alle 1,0

Ilman keskimääräinen ikä ihmisten ympärillä on korkea. Se on siis enemmän tai vähemmän passiivinen.

Ihminen kokee huoneilman vähemmän raikkaasta tunkkaiseksi ja kaikkea siltä väliltä.

Ihmistä peräisin olevat partikkelit käyvät niin monissa suissa ja nenissä kuin mahdollista ennen poistumistaan huoneesta.

Kooste mittauksista Wall Confluent Jets -menetelmällä 29.9.2004 asti

- Verrattuna sekoittavaan ilmanvaihtoon voidaan yleisesti pienentää tuloilmamäärää 40 %.

– myös kouluissa. Huoneessa olevat ihmiset tulevat silti kokemaan ilmanvaihdon paremmaksi. Mittaukset Readingin yliopistossa Englannissa ja MG:llä Gävlessä ovat yhtäpitäviä.

- ”Partikkelitanssi” ihmisten nenien ja suiden välillä vähenee murto-osaan kaikenlaisissa tiloissa

– myös kouluissa. Lisätutkimuksia tarvitaan tämän vähene-
misen tarkentamiseksi. Koska seuraukset ihmisten tervey-
delle muodostuvat niin merkitykselliseksi, täytyy tämä
tutkimus asettaa etusijalle.

- Mittauksissa on käynyt ilmi, että lämmönsiirto huoneessa seuraa suhteellisen hyvin tehostunutta ilmanvaihtoa Wall Confluent Jet –järjestelmässä. Tämä tarkoittaa sitä, että huoneen jäähdyttämiseen tarvittavaa energiaa voidaan vähentää olennaisesti. Vielä suurempi on säästöpotentiaali teollisuudessa, jossa suuria tiloja lämmitetään sekoittavalla ilmanvaihdolla.

Suuri ero tuotteen jäähdytystehossa ja sen huonelämmön poistokyvyssä

Jos jäähdytämme huoneita yleisesti käytetyllä sekoittavalla ilmanvaihtomenetelmällä, ei vaikutusaste lämmönvaihdossa huoneessa voi muodostua koskaan korkeammaksi kuin 50 prosenttia optimaalisesta 100 prosentista. Syy tähän tehottomuuteen on helppo ymmärtää, jos analysoidaan, mitä puh-
taasti fysikaalisesti tapahtuu, kun jäähdytämme huonetta
katossa olevalla tuloilmalaitteella tai nykyisin niin tavanomai-
silla tuloilmalaitteilla:

- Alaspäin suunnattu, jäähdytetty tuloilma häiritsee ylöspäin suuntautuneen, lämpimän konvektioilman pääsemistä kat-
toon ja lämmön poistamista huoneesta.

- Sen sijaan tuloilma pyrkii painamaan alaspäin lämmintä konvektioilmaa, takaisin lämmönlähteitä kohti. Näille tuodaan
nyt lämpöä takaisin. Tämä jatkuvasti esiintyvä uudelleenläm-
mitys johtaa siihen, että huoneeseen täytyy tuoda jatkuvasti
enemmän jäähdytysenergiaa.

- Koko huone tulee jäädytetyksi – myös ne monet paikat, joissa ei ole ihmisiä eikä muita lämmönlähteitä.

Nämä tekijät vaikuttavat siis siten, että huoneen jäähdytyksen teho sekoittavalla ilmanvaihdolla muodostuu erittäin alhaiseksi, usein vain 40 %:ksi.

Sekoittavan ilmanvaihdon avulla tapahtuvan huoneilman jäähdytyksen tehottomuus kävi ilmi vasta kun kerrostavaa ilmanvaihtoa alettiin tutkia lähemmin, ja vertailuja voitiin tehdä. Koska kokeellisia tutkimuksia on sekä monimutkaista että kallista suorittaa, on vasta CFD:n kehittymisen myötä

ollut mahdollista havainnollistaa lämmönsiirron tehokkuutta. Tämä mahdollisuus on kuitenkin edelleen niin tuntematon, että myös ilmaisu "lämmönsiirron tehokkuus (ϵ_t)" on tuntematon käsite asiantuntijoiden keskuudessa, ainakin Ruotsissa.

Yhdistämällä CFD:llä suoritettuja kokeellisia mittauksia on Readingin yliopisto pystynyt toteamaan, että toimistohuoneessa lämmönsiirtoa tehostettiin yli 70 %, jos Confluent Jets -menetelmän avulla pienennetään jatkuvasti esiintyvää ja tarpeetonta lämmönlähteiden uudelleen lämmitystä, joka on tuloksena sekoittavasta ilmanvaihdosta.

Bengt Sellö
bengt@fresh.se

Taghi Karimipناه
taghi.k@comhem.se



Mittaukset BMG luokahuoneessa, Gävlessä.

– Y.J. Cho ja Hazim Awbi (Readingin yliopisto, Englanti) & Taghi Karimipناه (Fresh AB, Ruotsi)



Tutkimuksia perinteisestä ilmanvaihdesta kouluissa

- [1] Myhrvold, A.N., Olsen, E., Lauridsen, O., 1996, *Indoor Environment in Schools – Pupils Health and Performance in Regard to CO₂ Concentrations*, Proc. of 7th Int. Conf. on Indoor air Quality and Climate, July 21-26, Nagoya, Japan, Vol. 4, 369-374.
- [2] Wark, K., Warner, C.F., 1981, *Air Pollution, its Origin and Control*, New York, Harper-Collins.
- [3] CIBSE, 1986, *Ventilation and Airconditioning Requirements*, CIBSE Guide Section B2.
- [4] UK Department for Education and Employment, 1997, *Guidelines for environmental design in schools*, Building Bulletin 87 (Revised note 17) ISBN 0112710131 (London DfEE Architects and Building branch).
- [5] ASHRAE, 1989, *ASHRAE Standard 62-1989: ASHRAE Atlanta, USA*.
- [6] Gusten, J., Strindehag, O., 1995, *Experiences of measures taken to improve the air quality in schools*, Air Filtration Review, 16, 5-8.
- [7] Jones, P. 1995, *Healthy and Comforting Offices*, The Architects Journal, June 8th, 33-36.
- [8] Raw, G.J., Roys, M.S., Leaman, A., 1990, *Further Findings From the Office Environment Survey: Productivity*. Indoor Air Quality'90, Fifth International Conference on Indoor Air Quality and Climate 1, 231-236.
- [9] Burt, T.S., 1997, *The Sick Building Syndrome in Offices*, Thesis for Licentiate of Engineering, Institute for Uppvarmnings- Och Ventilationsteknik, ISSN 1100-8997. Also PhD Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- [10] Wilson, S., Hedge, A., 1987, *A Study of Building Sickness*, Office Environment survey Sponsored by The Health Promotion Research Trust, Building Use Studies Ltd., (Bustrode Press Ltd).
- [11] Baldry, C et al., 1997, *Sick and Tired? Working in the Modern Office*, Work Employment Society, 11 (3), 519-539.
- [12] Andersson, K., 19998, *Epidemiological Approach to Indoor Air Problems*, Indoor Air, Suppl. 4, 32-39.
- [13] Hill, B.A., Craft, B.F., Burkart, J.A., 1992, *Carbon Dioxide Particulates, and Subjective Human Response in Office Buildings without Histories of Indoor Air Quality Problems*. Applied Occupational and Environmental Hygiene, 7, 101-111.
- [14] Schulz, U.W., Andersson, K., Stridh, G., 1990, *Indoor Climate of a Swiss Building Evaluated with Adapted Swedish Questionnaires*, In: Proc. of Toronto Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Inc, Ottawa, Ontario, Canada, 647-655.
- [15] Clements-Croome, D.J. 2000, *Creating the Productive Workplace*, Spon-Routledge
- [16] Clements-Croome, D.J., 1997, *Specifying Indoor Climate*, in: *Naturally Ventilated Buildings*, E & FN Spon (Chapman & Hall), ISBN 0419215204, 35-91.
- [17] Jaakkola, J.K., Heinonen, O.P., Seppanen, O., 1991, *Mechanical Ventilation in Office Building Syndrome. An experimental Epidemiological Study*. Indoor Air 2, 111-121.
- [18] Sterling, E.M., Sterling, T., 1983, *The Impact of Different Ventilation Levels and Fluorescent Lighting Types on Building Illness: An Experimental Study*. Canadian Journal of Public Health, 74, 385-392.
- [19] Hedge, A., 1994, *Sick Building Syndrome: Is It An Environment Or A Psychological Phenomenon?* La Riforma Medica, Vol. 109, Supp. 1, (2), 9-21.
- [20] Sundell, J., 1994, *On the association Between Building Ventilation Characteristics, Some Indoor Environmental Exposures, Some Allergic Manifestations, and Subjective Symptoms Reports*. Indoor Air, Supp. 2.
- [21] Wargocki, P., Wyon, D.P., Baik, Y.K., Clausen, G., Fanger, P.O., 1999, *Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity in an Office with Two Different Pollution Loads*, Indoor Air, 9, 165-179.
- [22] Fanger, P.O., 2000, *Provide Good Air Quality for People and Improve their Productivity*, in: *Air Distribution in Rooms*, (ROOMVENT 2000, Editor: H.B. Awbi), Vol. 1, 1-5.
- [23] Wargocki, P., Wyon, D.P., Fanger, P.O., 2000, *Productivity is Affected by the Air Quality in Offices*, In: Proc. of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, August 6th – August 10th, 658-662.
- [24] Lagercrantz, L., Wistrand, M., Willen, U., Wargocki, P., Witterseh, T., Sundell, J., 2000, *Negative Impact of Air Pollution on Productivity: Previous Danish Findings Repeated in New Swedish Test Room*, Proc. of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, 6th – 10th August 2000, 653-658.
- [25] Burge, S.A et al., 1987, *Sick Building Syndrome: A Study of 4373 Office Workers*, Ann. Occ. Hygiene 31, 493-504.
- [26] Holcomb, L.C., Pedelty, J.F., 1994, *Comparison of Employee Upper Respiratory Absenteeism Costs with Costs Associated with Improved Ventilation*, ASHRAE Trans., 100 (2), 914-920.
- [27] Collins, J.G., 1989, *Health Characteristics by Occupation and Industry: United States 1983-1985*. Vital Health and Statistics 10 (170), Hyattsville, MD: National Centre for Health Statistics.
- [28] Cyfracki, L., 1990, *Could Upscale Ventilation Benefit Occupants and Owners Alike?* Indoor Air '90, 5th International Conference indoor Air Quality and Climate, 5, 135-141 (Aurora, ON: Inglewood Printing Plus).
- [29] Rosenfeld, S., 1989, *Worker Productivity: Hidden HVAC Cost*. Heating/Piping Air Conditioning, September, 69-70.
- [30] Dorgan, C.E., et al, 1994, , In: Proc. of Productivity Link to the Indoor Environment Estimated Relative to ASHRAE 62-1989 Healthy Buildings '94, Budapest, 461-472.
- [31] Koo, L.C.L., Luk, M.Y., Mok, M.Y., Yuen, J.H.F., Yuen, T.Y.S., 1997, *Health Effects from Air Conditioning: Epidemiologic Studies on Schools and Offices in Hong Kong*, In: *Proceedings of Indoor and Built Environment Problems in Asia at Kuala Lumpur, Malaysia*, 4-5 September.
- [32] Myhrvold, A.N., Olsen, E., 1997, *Pupil's Health and Performance due to Renovation of Schools*, USA, Washington DC, Healthy Buildings/IAQ '97, Proc. of Conf. Held in Bethesda MD, USA, September 27- October 2, Vol. 1, 81-86.
- [33] Lee, S.C., Chang, M., 1999, *Indoor Air Quality Investigations at Five Classrooms*, Indoor Air, 9, 134-138.
- [34] Lugg, A.B., Batty, W.J., 1999, *Air Quality and Ventilation Rates in School Classrooms I: Air Quality Monitoring*, Proc. CIBSE: Building Serv. Eng. Res. Technol. 20 (1) 13-21.
- [35] Gamberale, F., Iregren, A., Kjellberg, A., 1989, *SPES; The Computerised Swedish Performance Evaluation System*. Arbete och Helse, 6.