

UUSI ILMANJAKORATKAISU TEOLLISUUTEEN

Ilpo Kulmala¹⁾ ja Hannu Salminen²⁾

¹⁾VTT, ²⁾PSL OY

TIIVISTELMÄ

Syrjäytysilmanvaihdon periaatteena on tuoda puhdasta tuloilmaa ilmastoitavan tilan alaosaan ja poistaa muodostuvat epäpuhtaudet termisiä virtauksia hyödyntäen tilan yläosasta. Perinteisen syrjäytysilmanvaihdon toimivuuden edellytyksenä on kuitenkin, että tuloilma on jäähdytettyä. Tämä on rajoittanut syrjäytysilmanvaihdon käyttöä teollisuudessa, missä tuloilmaa käytetään usein teollisuushallien lämmitykseen. Uusi ratkaisu on käyttää puhallussuihkua piennopeusilmanjaon yhteydessä, jolloin alaspäin suunnatun kantosuihkun avulla voidaan kompensoida termisiä nostevoimia. Laboratoriomittaukset osoittavat, että oikein mitoitettuna ja toteutettuna ratkaisun avulla voidaan johtaa myös ylälämpöistä tuloilmaa vedottomasti työskentelyalueelle. Ratkaisu avaa uusia mahdollisuuksia puhtaiden vyöhykkeiden luomiseen ja energiatehokkaaseen ilmanvaihtoon teollisuusympäristössä.

ILMANVAIHTO TEOLLISUUDESSA

Teollisuus on haastava kohde ilmanvaihdolle. Tilat ovat suuria ja korkeita, epäpuhtauksien ja ylälämmön tuotto voimakasta. Lisäksi tiloissa esiintyy voimakkaita häiriövirtauksia trukkiliiikenteen, koneiden, avointen ovien ja kylmien seinien konvektiovirtausten vuoksi. Näissä olosuhteissa ilmanvaihdon tulisi poistaa epäpuhtaudet ja ylälämpö tehokkaasti ja tuoda puhdasta ilmaa vedottomasti.

Eräs keskeinen teollisuusilmanvaihdon toimintaan vaikuttava seikka on tuloilman jako. Teollisuudessa on perinteisesti käytetty sekoitettavaa ilmanjakoa, missä tuloilma puhalletaan suureholla nopeudella hallitilaan ja pyritään sekoittamaan tilan ilman kanssa mahdollisimman tehokkaasti /1/. Epäpuhtauksien pitoisuudet pyritään pitämään riittävän alhaisina laimentamalla epäpuhtaudet suureen ilmatilavuuteen, mikä johtaa voimakkaiden päästöjen tapauksessa suuriin ilmavirtoihin.

Vyöhykeilmanjaossa tuloilma johdetaan tilan alaosassa olevaan oleskeluvyöhykkeelle pystysuoran tai suunnatun puhalluksen avulla. Ilma poistetaan tilan yläosasta. Tavoitteena on, että oleskeluvyöhykkeellä ilma on hyvin sekoittunutta ja sen yläpuolella kerrostunutta /1/.

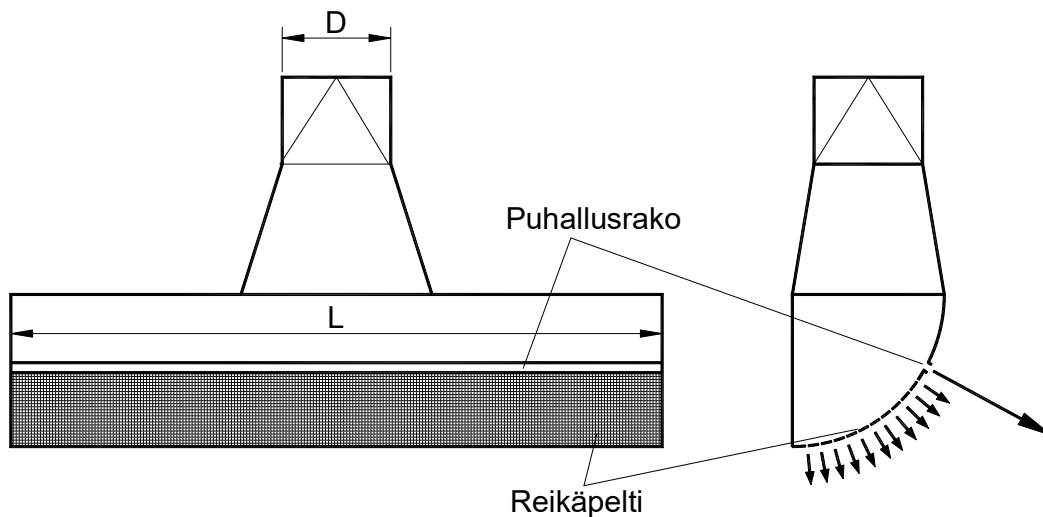
Syrjäyttävässä ilmanjaossa pyritään ilma saamaan kerrostumaan siten, että epäpuhtaudet nousevat konvektiovirtausten avulla kohti katon rajaa, josta ne poistetaan. Tilan alaosaan puhalletaan alilämpöistä ilmaa pienellä nopeudella niin, että lämmönlähteistä syntyvät konvektiovirtaukset eivät sekoitu, vaan jatkavat kohti tilan yläosaa. Oleskeluvyöhykkeen on tarkoituksena pysyä koko ajan puhtaampana, kuin sitä ylempänä olevan ilman /2/. Toimiessaan syrjäyttävä ilmanjako olisi ihanteellinen ratkaisu myös teollisuudessa. Syrjäyttävän tuloilman alhainen nopeus ja siitä johtuva heikko liikemäärä aiheuttaa kuitenkin sen että tuloilman virtaukset häiriintyvät helposti. Lisäksi syrjäyttävässä ilmanjaossa tuloilman

pitää olla sisäilmaa viileämpää, joten se ei toimi kohteissa joissa tuloilmaa käytetään tilan lämmitykseen, kuten teollisuudessa usein on laita.

Teollisuudessa on siten tarve järjestelmälle, jonka avulla puhdasta tuloilmaa voidaan johtaa suoraan työntekijöiden hengitysvyöhykkeelle hallitusti ja vedottomasti ja joka toimisi sekä yli- ja alilämpöisellä ilmalla. Koska tällaista ratkaisua ei löytynyt valmiina, päätettiin kehittää uudenlainen ilmanjakoratkaisu, jossa yhdistyisivät sekoittavan ja syrjäyttävän ilmanjaon parhaat ominaisuudet.

UUSI TULOILMALAITE

Tuloilmaelimen periaate on esitetty kuvassa 1. Ilmanjako muodostuu rei'itetyn levyn läpi puhallettavasta piennopeusosasta sekä rakosuihkusta. Tuloilmaelimen on suunniteltu asennettavaksi n. 2-3 m korkeudelle, jolloin se ei vie lattiapinta-alaa eikä ole trukkien kolhittavana.



Kuva 1. Uuden tuloilmaelimen mitat ja rakenne. $L=1500$ mm ja $D=250$ mm.

Tuloilmaelimen alaspäin suuntautuva ohjaussuihku toimii kantosuihkuna, joka indusoi reikälevyn läpi tulevaa piennopeusilmaa mukaansa. Koska puhallussuihkun leveys suhteessa sen korkeuteen on suuri, voidaan se kuvata 2-ulotteisena tasosuihkuna. Tasosuihkun nopeus U riippuu etäisyydestä x seuraavasti:

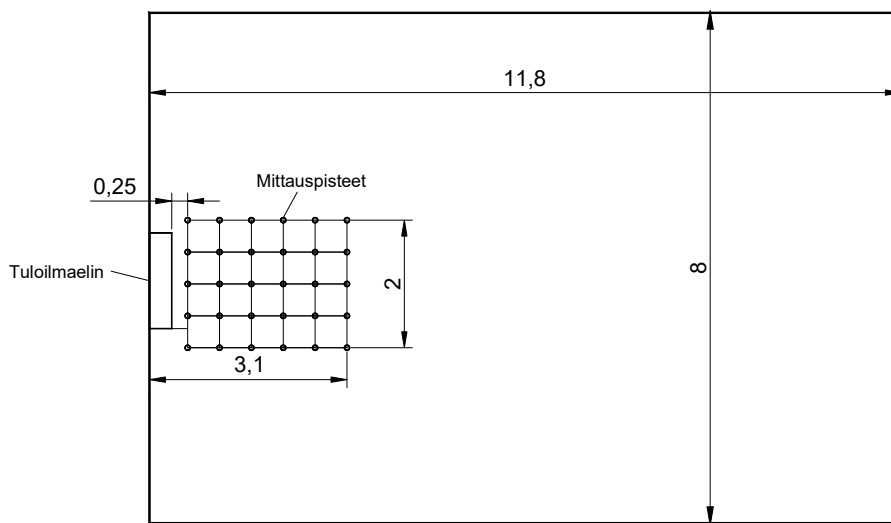
$$\frac{U}{U_0} = K \sqrt{\frac{b}{x}}$$

missä U_0 on keskimääräinen nopeus puhallusaukossa ja b puhallusraon korkeus. K on vakio, jonka arvo on luokkaa 2.4-2.67 [3]. Tasosuihkun nopeus pienenee siten kääntäen verrannollisesti etäisyyden neliöjuureen kun pyöreällä ja radiaalisella suihkulla nopeus pienenee kääntäen verrannollisena etäisyyteen. Tämä tarkoittaa sitä että tasosuihkulla on mahdollista saavuttaa suurempi vaikutusetäisyys kuin muilla suihkutyypeillä.

Tuloilman virtausnopeuden tulisi olla riittävän suuri jotta se kykenisi voittamaan tilan häiriövirtaukset ja yltämään oleskeluvyöhykkeelle. Toisaalta ilman virtausnopeus oleskelualueella ei saa olla liian korkea jottei oleskeluvyöhykkeelle synny vektoriskiä. Kyse on siis tasapainoilusta hyvän ilmanvaihdon ja vedottomuuden välillä. Vedon tunne on yksilöllistä ja siihen vaikuttaa työn fyysinen raskaus, ilman lämpötila ja nopeus.

TULOILMAELIMEN MITTAUKSET

Uusi tuloilmaelin mitattiin Fläkt Woodsin laboratoriossa. Koehuoneen mitat ovat 8x11.8 m ja korkeus 3.8 m. Tuloilmaelimen sijainti koehuoneessa ja mittauspisteiden sijainti on esitetty kuvassa 2. Kussakin pisteessä nopeudet mitattiin 16 eri korkeudelta Dantec 905R0102 nopeusantureilla. Mittaukset tehtiin kolmella eri tuloilman lämpötilalla: 3 astetta alilämpöisellä, tasalämpöisellä ja 3 astetta ylitämpöisellä.

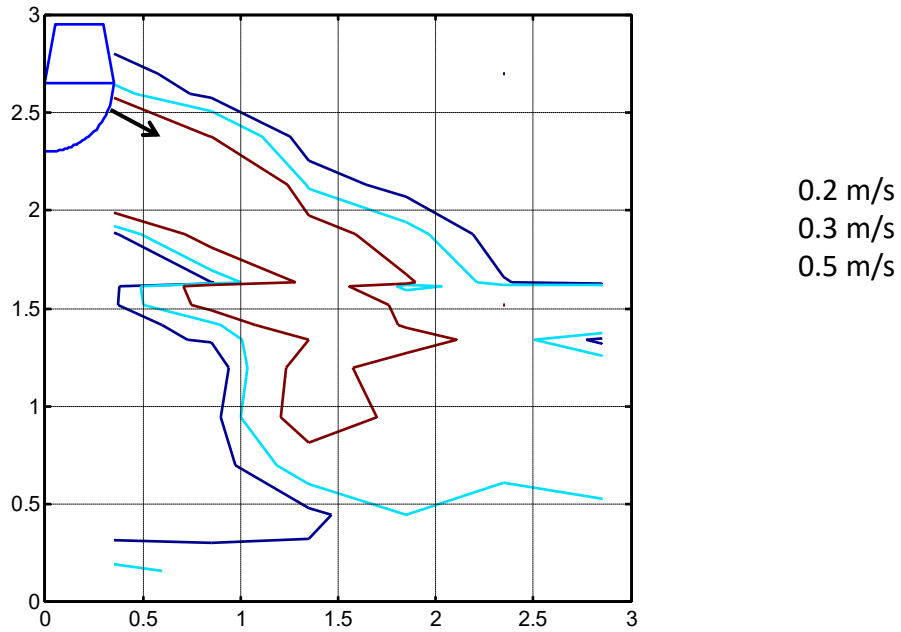


Kuva 2. Koehuoneen mitat ja mittauspisteiden sijainti. Huoneen korkeus 3.8 m.

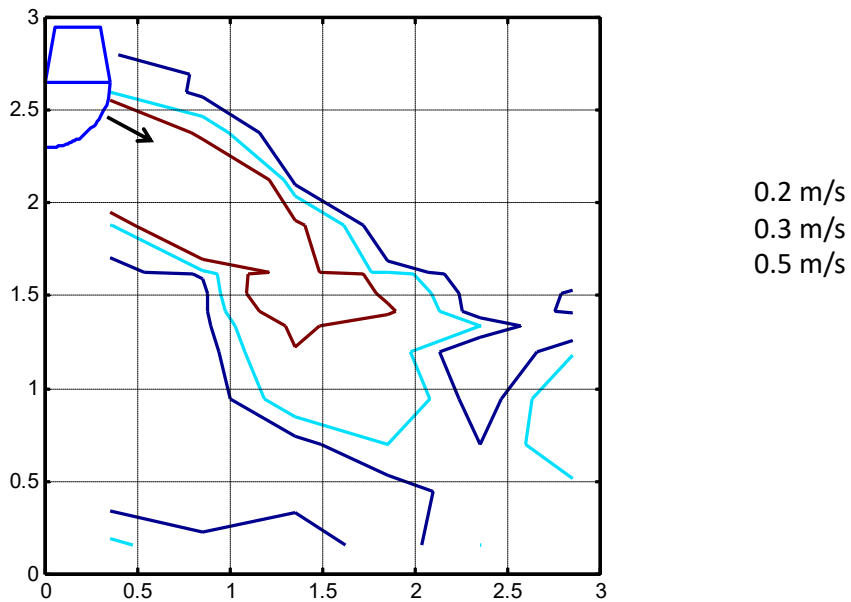
TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Mittaustulokset käsiteltiin Matlab-ohjelmistolla, joka laski mittausarvoista tasanopeuskäyrät vertikaalitasossa tuloilmaelimen keskiakselilla. Nopeusjakaumat on esitetty kuvissa 3-5 tilanteessa jossa tuloilmavirta oli 300 l/s. Tasanopeuskäyrät on laskettu nopeuksille 0.5, 0.3 ja 0.2 m/s.

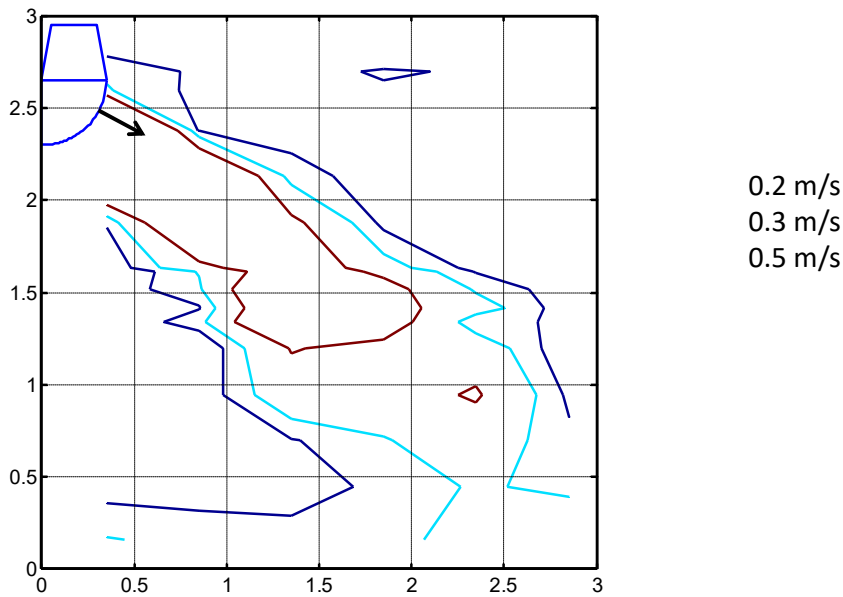
Tulokset osoittavat, että uusi tuloilmaelin toimii suunnitellusti: tuloilma saavuttaa tehokkaasti hengitysvyöhykkeen. Suihkun vertikaalinen nopeuskomponentti estää ylöspäin pyrkivää ylitämpöistä tuloilmaa nousemasta ylös ennen kuin se on saavuttanut oleskeluvyöhykkeen (kuva 3). Suihku myös estää alilämpöisen tuloilman putoamisen ennen aikojaan (kuva 5). Kuten kuvista 3-5 nähdään, käytetyllä ilmavirralla (300 l/s) heittokuvio on verrattain stabiili, eikä muutu paljoakaan tuloilman lämpötilan vaihdeltaessa. Tämä on merkittävä etu, ja tarkoittaa sitä että ilmanvaihto toimii samalla tavoin hallitusti eri vuodenaikoina.



Kuva 3. Tasanopeuskäyrät yllämpöisellä tuloilmalla ($dt=+3^{\circ}\text{C}$). Ilmavirta 300 l/s. Vaaka- ja pystyakseleiden mitat metreinä.



Kuva 4. Tasanopeuskäyrät isotermisellä tuloilmalla. Ilmavirta 300 l/s.



Kuva 5. Tasanopeuskäyrät alilämpöisellä tuloilmalla ($dt = -3^{\circ}\text{C}$). Ilmavirta 300 l/s.

Teollisuudessa tehdyt savukokeet olivat yhdenmukaisia laboratoriomittausten kanssa. Tuloilma kulkeutui hallitusti lattiatasolle ja tuloilman vaikutusalueella olevalle työskentely-alueelle.

YHTEENVETO

Suurten teollisuushallien ilmanvaihto on haasteellinen tehtävä voimakkaiden päästölähteiden ja häiriövirtausten vuoksi. Kehitetyn tuloilmalaitteen avulla puhdasta ilmaa voidaan johtaa suoraan sinne missä sitä tarvitaan eli työntekijöiden hengitysvyöhykkeelle. Ilman vaihtuvuus on siten suurinta oleskeluvyöhykkeellä ja epäpuhtaudet pääsevät kerrostumaan niin että likainen, ylitämpiäinen ilma nousee ylöspäin. Tämä on huomattava etu varsinkin korkeissa tiloissa: ilmanvaihdon ei tarvitse sekoittaa koko hallitilan ilmaa vaan riittää että ilma vaihtuu tehokkaasti oleskeluvyöhykkeellä. Oikein mitoitettuna ja toteutettuna ohjaussuihkun ansiosta tuloilman heittokuvio pysyy samanlaisena tuloilman lämpötilasta riippumatta, joten ilmanvaihtoa voidaan käyttää hallitusti sekä lämmitykseen että jäähdytykseen. Ratkaisu antaa uusia mahdollisuuksia puhtaiden vyöhykkeiden luomiseen ja energiatehokkaaseen ilmanvaihtoon teollisuusympäristössä.

LÄHDELUETTELO

1. Tähti, E., Selin, M., Railio, J., Sainio, S., Hagström, K., Niemelä, R., Kulmala, I., Sulamäki, H., Sjöholm, P., Laine, J., Kuoksa, T. & Pöntinen, K. (2002) Teollisuusilmastoinnin opas.
2. Skistad, H., Mundt, E., Nielsen, P., Hagstrom, K. and Railio, J. (2002) Displacement Ventilation in Non-industrial Premises. Rehva Guidebook No. 1.
3. Awbi, H. (1991) Ventilation of buildings. E&FN Spon, London.