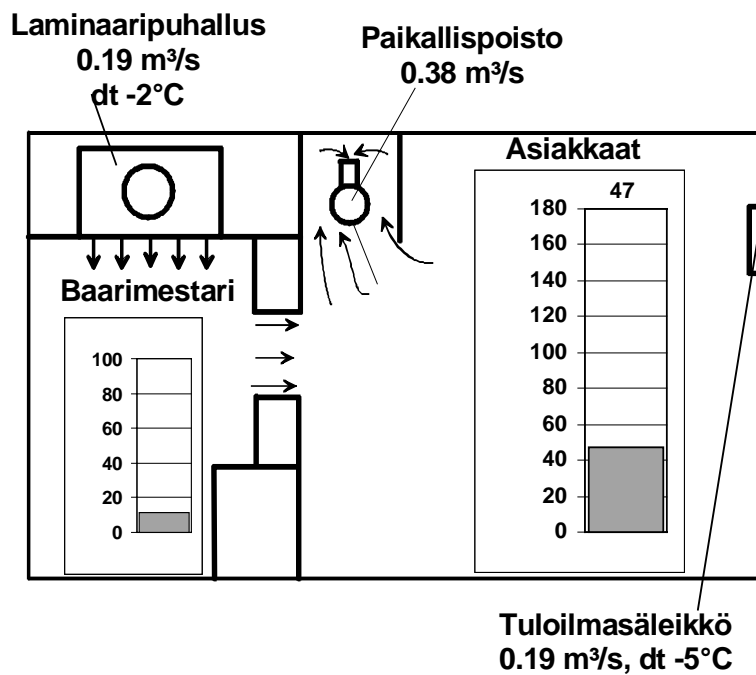


Ravintoloiden tupakansavuhaittojen vähentäminen

Raportti TUR B013

Seppo Enbom



Julkaistu Työsuojelurahaston avustuksella

Tampere 30.3.2000

Luokitus:	A Työraportti	
	B Julkinen raportti	X
	C Luottamuks. rap.	
	Tutkimusselostus	

Raportin nimi Ravintoloiden tupakansavuhaittojen vähentäminen	
Toimeksiantaja/rahoittaja ja tilaus Työsuojelurahasto, Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, SOK Kiinteistötoiminnot ja Jeven Oy	Raportin numero TUR B013
Projekti Tupakansavun haittojen vähentäminen ravintoloissa	Suoritenro S8SU00594
Laatija(t) Seppo Enbom	Sivujen/liitteiden lukumäärä 39
Avainsanat Ravintolat, ilmastointi, tupakansavu	
Tiivistelmä Raportissa tarkastellaan mahdollisuuksia alentaa ravintolatyöntekijöiden ja tupakoimattomien asiakkaiden altistumista tupakansavulle perustuen laboratoriomittauksiin. Tutkimustulosten mukaan ilmanvaihdon lisääminen ei riittävästi alenna altistumista, vaan työntekijöille ja tupakoimattomille asiakkaille on järjestettävä alueita, joissa ei tupakoida. Jos työntekijällä on selvä työskentelyalue, voidaan hänen työpisteensä ilman tupakansavupitoisuus hallita ylhäältä alaspäin suunnatulla piennopeusilmanjaolla. Baarimestari- ja asiakastilan välistä aukkoa kannattaa rajoittaa esim. hyllyratkaisulla. Tarjoilutiloissa työskentelevien työntekijöiden altistumisen alentaminen edellyttää, että ravintola jaetaan savuttomaan ja savulliseen osaan sekä työntekijöiden oleskelua savullisella puolen rajoitetaan mahdollisimman paljon. Myös tupakoimattomien asiakkaiden altistumisen vähentäminen edellyttää ravintolan jakamista savuttomaan ja savulliseen osastoon. Lisäksi ilmastointi on toteutettava niin, että pääosa tuloilmasta tuodaan savuttomaan osaan ja poistetaan savulliselta puolelta. Ravintoloiden mitoitusilmavirta olisi myös syytä nostaa nykytasosta vähintään 50 % sekä rajoittaa savullisen ja savuttoman osaston välinen kulkuaukko 10 – 15 %:iin ravintolan pinta-alasta.	
Allekirjoitukset Tampereella 30.3.2000	
Matti Lehtimäki Tutkimuspäällikön varamies	Seppo Enbom Projektipäällikkö
	Arto Säämänen Tarkastanut
Jakelu: Työsuojelurahasto 5 kpl, Sosiaali- ja Terveystieteiden ministeriö 5 kpl, Johtoryhmän jäsenet 1 kpl VTT Automaatio, 2 kpl	
VTT Automaatio Turvallisuustekniikka PL 1307 33101 TAMPERE	Puh.vaihde: (03) 316 3111 Telekopio: (03) 316 3782 Sähköposti: Seppo.Enbom@vtt.fi WWW: http://www.vtt.fi/aut/safety

Alkusanat

Julkaisu on tutkimushankkeen ”Tupakansavun haittojen vähentäminen ravintoloissa” tutkimusraportti. Tutkimuksen rahoittivat Työsuojelurahasto, Sosiaali- ja terveysministeriö, SOK Kiinteistötoiminnot, Jeven Oy ja VTT Automaatio.

Tutkimuksen johtoryhmään ovat osallistuneet johtaja Riitta-Liisa Lappeteläinen (Työsuojelurahasto), neuvotteleva virkamies Olli Simonen (Sosiaali- ja terveysministeriö), LVI-projektipäälliköt Arto Ekström ja Hannu Hyvärinen (SOK Kiinteistötoiminnot), toimitusjohtaja Seppo Vartiainen (Jeven Oy), tutkija Tom Johnsson ja erikoistutkija Tapani Tuomi (Uudenmaan aluetyöterveyslaitos), työsuojelusihteri Irmeli Mäenpää ja sopimussihteri Katja Vierto (Hotelli- ja Ravintolahenkilökunnan liitto), asiamies Pekka Ropponen (Suomen Hotelli- ja Ravintolaliitto), toimitusjohtaja Kaija Tarvainen (Talotekniikan Projektikonsultit Oy), tutkija Markku Hyvärinen (Lappeenrannan aluetyöterveyslaitos), asiamiehet Jari Forss ja Eila Vesanto (PalveluTyönantajat) ja erikoistutkija Seppo Enbom (VTT Automaatio).

Hankkeen projektipäällikkönä ja raportin laatijana toimi erikoistutkija Seppo Enbom. Koejärjestelyihin, mittauksiin ja tulosten analysointiin osallistuivat VTT Automaatiosta tutkimusinsinööri Veli-Pekka Suikkanen, mittaushygieenikko Matti Niemeläinen, laboratorio-mestari Raija Ilme'n, teknikko Kari Kantola sekä erikoistutkijat Arto Säämänen ja Ilpo Kulmala. Hankkeen kokeellisen osuuden nikotiinimittaukset tekivät erikoistutkija Tapani Tuomi ja tutkija Tom Johnsson Uudenmaan aluetyöterveyslaitokselta.

VTT Automaatio lausuu parhaimmat kiitokset tutkimuksen rahoittajille, johtoryhmälle ja tutkimustyöhön osallistuneille henkilöille.

Tampereella 30.3.2000

Seppo Enbom

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Tavoite	6
3	Tupakkalain muutoksen vaikutukset.....	6
4	Ilmanjakoperiaatteet ja tehokkuus	7
	4.1 Ilman jakotavat	8
	4.1.1 Yleisilmanvaihto	8
	4.1.2 Kohdeilmanvaihto ja sen soveltaminen ravintoloihin	11
	4.2 Ilmanvaihdon tehokkuus	12
	4.3 Arvio eri ilmanvaihtoratkaisujen soveltuvuudesta ravintoloihin	13
5	Koetoiminta.....	14
	5.1 Koehuoneet.....	14
	5.1.1 Pieni ravintola.....	15
	5.1.2 Suuri ravintola	16
	5.2 Lämpö- ja epäpuhtauskuormat	18
	5.3 Mittausjärjestelmä	19
6	Tulokset.....	20
	6.1 Pieni ravintola.....	20
	6.1.1 Pelkkä yleisilmanvaihto	20
	6.1.2 Yleisilmanvaihto + kohdeilmanvaihto	22
	6.2 Suuri ravintola	26
7	Savupiippuvaikutus kulkuaukolla.....	29
8	Tupakansavulle altistumistavan vaikutus	33
9	Nikotiini ilmastonin tehokkuuden merkkiaineena	35
10	Tulosten tarkastelu	37
11	Lähdeluettelo	39

1 Johdanto

Ympäristön tupakansavulle altistumisen on todettu lisäävän myös tupakoimattomien henkilöiden kuolleisuutta keuhkosityöpään ja sairastuvuutta muihin tupakansavun aiheuttamiin sairauksiin. Ravintolatyöntekijät ovat merkittävin työntekijäryhmä, joka työssään altistuu tupakansavulle. Tupakoimattomien ravintolatyöntekijöiden keuhkosityöpäkuolleisuusriski on ravintoloissa 3/10 000 ja baareissa 9/10 000 (Morris 1995). Ympäristön tupakansavu aiheuttaa haittaa myös tupakoiville henkilöille.

Ravintoloiden henkilökunnan ja tupakoimattomien asiakkaiden altistumisen vähentämiseksi on ns. tupakkalakia muutettu. Tupakoimattomien asiakkaiden altistuminen estetään jakamalla suuremmat ravintolat erikseen savullisiin ja savuttomiin osastoihin. Samalla tupakansavun kulkeutuminen savulliselta osastolta savuttomalle osastolle tulee estää. Jos työntekijän pääasiallinen työskentelyalue on savuttomalla osastolla, vähenee hänen altistumisensa tupakansavulle huomattavasti. Suurien ravintoloiden tupakointiosastoilla ja pienissä ravintoloissa tupakointi on kielletty baaritiskillä ja pelitilassa, jollei kyseisissä tiloissa työskentelevien työntekijöiden altistumista tupakansavulle voida muuten estää.

Uusitun tupakkalain perusteella on vaikea päättää, mitkä toimenpiteet ovat riittävät estämään tupakoimattomien asiakkaiden ja työntekijöiden altistumisen ja toisaalta eivät rajoita liikaa tupakoivien asiakkaiden palvelumahdollisuuksia. Lainmuutoksen vaikutukset selkeytyvät, kun muutos otetaan huomioon muissa säännöksissä. Säännösmuutoksia on selvittänyt sosiaali- ja terveysministeriön asettama työryhmä, jonka tulokset julkaistiin 20.9.1999. Ravintoloiden työntekijöiden altistumista koskevaa raja-arvoa ei työryhmän toimesta asetettu, koska ei ollut riittävää tietoa eri altistumistasojen aiheuttamista riskeistä. Tupakoimattomien osaston nikotiinipitoisuuden suhteen otettiin kanta, että rakentamismääräysten pohjaksi asetetaan tavoitearvo $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nikotiinia 8 tunnin keskiarvona savuttomassa tilassa.

Epäpuhtauksien hallintaan perustuva ilmastonin mitoitus voidaan tehdä, kun tiedetään syntyvien epäpuhtauksien määrä, sisäilman tavoitepitoisuus ja ilmastonin ilmanjakojärjestelmän tehokkuus. Toistaiseksi tavoitepitoisuus on edelleen epäselvä, joten nykyään toteutettaviin ravintoloiden tila- ja ilmastointisuunnitelmiin sisältyy se riski, ettei niiden lopputulos ole tyydyttävä.

Aikaisempien tutkimusten perusteella työntekijöiden altistumista voidaan alentaa merkittävästi kohdistamalla tuloilmaa niihin osiin, joissa työntekijät ovat pidempiä aikoja (baarimestarit, pelipöydänhoitajat). Vaikka työntekijän altistuminen saataisiin määrättyissä kohdissa hyvin alhaiseksi, altistuu hän edelleen pöytiintarjoiluvaiheissa, jos tupakointi on sallittu. Työntekijöiden ja tupakoimattomien asiakkaiden altistumisen merkittävä vähentäminen edellyttää käytännössä ravintolan osastoinnista erikseen savuttomiksi ja savullisiksi tiloiksi sekä mm. kassojen, ruuan ja juomien jakelupisteiden sekä naulakoiden ja WC-tilojen sijoittamisen ravintoloiden savuttomiin osiin.

2 Tavoite

Tutkimuksen alkuperäisenä tavoitteena oli alentaa ravintolatyöntekijöiden ja tupakoimattomien asiakkaiden altistumista tupakansavulle kehittämällä ravintoloiden ilmanjakotekniikkaa. Tavoitteena oli myös tutkia, mikä merkitys on ravintolan jakamisella erikseen savuttomiin ja savullisiin osastoihin.

Hankkeen aloituksen jälkeen ryhdyttiin muuttamaan tutkimuksen aihepiiriin kuuluvaa lainsäädäntöä. Tällöin ilmeni, että ravintolatilat tullaan jakamaan savuttomiin ja savullisiin tiloihin. Lainmuutoksesta huolimatta pienien, alle 50 m² ravintoloiden tarjoilutiloissa on tupakointi sallittu, paitsi baaritiskillä ja pelitilassa, ellei työntekijöiden altistumista tupakansavulle voida muutoin estää. Lainsäädäntömuutosten johdosta hankkeessa tutkittiin mahdollisuuksia alentaa tupakansavualtistumista seuraavissa tilanteissa:

- tupakointi on sallittu koko asiakastilassa ja altistumista torjutaan pelkästään yleisilmanvaihdolla,
- tavoitteena on ensisijaisesti torjua baaripöydän vieressä syntyvän tupakansavun haittoja ja torjuntakeinona on kohdeilmanvaihdon ja yleisilmanvaihdon yhdistelmä ja
- ravintola on jaettu savuttomaan ja savulliseen osaan ja tavoitteena on estää tupakansavun kulkeutuminen savuttomalle puolelle yleisilmanvaihdon ja tilojen välisen kulkuaukon koon ja muodon avulla.

3 Tupakkalain muutoksen vaikutukset

Tupakkalain (487/1999) muutos astui voimaan 1.3.2000. Tällöin yli 100 m² tarjoilutilan ravintolasta on osoitettava tupakoiville enintään 70 %. 1.7.2001 alkaen voidaan yli 50 m² tarjoilutilasta varata tupakoiville enintään 50 %. Lisäksi on huolehdittava, ettei tupakansavu pääse kulkeutumaan sille alueelle, jolla tupakointi on kielletty. Jos lain voimaan tullessa käytössä olevassa ravintolassa yksinkertaiset rakenteelliset ja ilmanvaihtoon liittyvät toimet eivät riittävästi estä tupakansavun kulkeutumista tupakoimattomien alueelle, voidaan merkittäviä kustannuksia aiheuttavia toimenpiteitä toteuttaa 1.7.2003 asti. Ravintolatyöntekijöiden suojelemiseksi tarkoitettu tupakointikielto, joka koskee baaritiskiä ja pelitilaa astui voimaan 1.3.2000. Työpaikan tupakansavu tulee myös syöpävaaralliseksi 1.7.2000. Työntekijöiden altistumisen vähentämiseksi on Valtioneuvosto lisäksi tehnyt päätöksen (1153/1999), jossa lähemmin esitetään mihin toimenpiteisiin on ryhdyttävä ravintolatyöntekijöiden suojelemiseksi. Kyseinen päätös astuu voimaan 1.7.2000.

Ilmastoinnin ja tilasuunnittelun toteutukseen tupakkalain muutos (487/1999) tai valtioneuvoston päätös (1153/1999) eivät sinällään anna riittävästi lähtötietoja. Lakimuutosten vaikutus mm. suunnitteluun siirretäänkin eri viranomaisen määräysten ja ohjeiden avulla. Tällaisia määräyksiä ja ohjeita edustaa mm. rakentamismääräykset, joiden valmistelu tapahtuu Ympäristöministeriön toimesta ja työpaikan ilman laatuun liittyvä HTP-luettelo, jonka laadinnasta vastaa Sosiaali- ja terveysministeriö. Tupakkalain muutoksesta aiheutuvia säädösmuutoksia

on selvittänyt Sosiaali- ja terveysministeriön asettama työryhmä, mutta ko. ehdotuksien perusteella ei vielä ole tehty viranomaisohjeita tai määräyksiä.

Viranomaismääräysten ja ohjeiden puutteista huolimatta lakimuutoksen perusteella on selvää, että ravintolatyöntekijöiden ja tupakoimattomien asiakkaiden altistumista tupakansavulle tulee vähentää merkittävästi. Esimerkiksi Sosiaali- ja terveysministeriön työryhmämuistion perusteella savuttoman osaston ilma voitaisiin katsoa riittävän puhtaaksi, jos savuttoman puolen ilman nikotiinipitoisuus ei ylitä arvoa $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 8-tunnin keskiarvona. Verrattuna seurusteluravintoloiden ilmastonin mitoitustilanteen nikotiinipitoisuuteen $35 - 45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hyvärinen et al. 1998), on tavoitearvo alle 2 % ko. pitoisuudesta. Ilman puhtauden suhteen tavoite merkinnee sitä, ettei asiakasaltistuminen alene riittävästi pelkästään osastoinnilla, jos savuton ja savullinen tila ovat yhteydessä toisiinsa suuren, avoimen kulkuaukon kautta. Vaikuttaa myös epätodennäköiseltä, että työntekijöiden altistuminen alenisi riittävästi vain kieltämällä tupakointi baaritiskillä ja pelitilassa. Lakimuutos siis todennäköisesti edellyttää verraten suuria muutoksia mm. ravintoloiden ilmastointiin, mutta tässä vaiheessa ei kuitenkaan ole riittävää selvyyttä, mikä tulos on vähintään saavutettava, jotta ratkaisu on lain mukainen.

4 Ilmanjakoperiaatteet ja tehokkuus

Rakennusten ilmastoinnin tavoitteena on pitää sisäilman puhtaus ja lämpöolosuhteet rakennuksissa oleskelevien ihmisten ja tuotannon kannalta riittävän hyvinä. Yleensä ei riitä, että pystytään estämään sisäilman epäpuhtauksien terveyshaitat, vaan tavoitteena on usein myös saavuttaa ns. viihtyvyysolosuhteet. Jos ilmaan vapautuu huomattavasti epäpuhtauksia, tulee viihtyvyysolosuhteiden saavuttaminen vaikeaksi. Tällöin sisäilman laadun tavoite asettuu käytännössä viihtyvyysolosuhteiden mukaisten tavoitearvojen ja terveyshaittojen perusteella asetettujen tavoitearvojen välimaastoon.

Ilmastoinnin toimitasuureista sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat ilmavirta, tuloilman epäpuhtauspitoisuus, lämpötila, kosteus, jakotapa ja poistoilman jakotapa. Yleensä tuloilman epäpuhtauspitoisuus on olematon verrattuna sisäilman epäpuhtauspitoisuuteen, joten ilmavirran lisääminen alentaa sisäilman epäpuhtauspitoisuutta. Koska ilmavirran lisääminen kasvattaa ilmastointilaitoksen investointi- ja käyttökustannuksia sekä energiantuotannon päästöjä ulkoilmaan, on tulo- ja poistoilman jakotapojen kehittämisen kautta pyritty tehostamaan ilmastoinnista saatavaa hyötyä eli ilmanjaon hyötysuhdetta. Tehokkaan tuloilman jaon tavoitteena on saada mahdollisimman suuri osuus tuloilmasta virtaamaan mahdollisimman suoraan ensisijaisen kohteen (esim. hengitysvyöhyke) kautta ennen sekoittumistaan huoneilmaan. Jos ilmastoitavassa tilassa vapautuu merkittävästi epäpuhtauksia, on ensisijaisesti pyrittävä estämään niiden leviäminen hengitysvyöhykkeelle tehokkailla tuloilman ja poistoilman jakotavoilla.

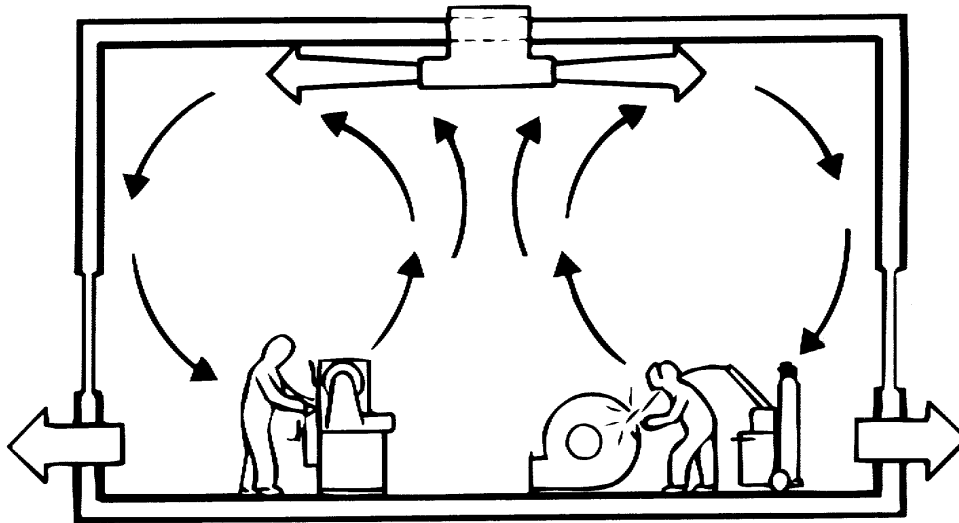
4.1 Ilman jakotavat

4.1.1 Yleisilmanvaihto

Ilman jakotavoilla tarkoitetaan yleensä yleisilmanvaihdon tuloilman jakotapoja. Tämä on ymmärrettävää, koska sisäilman virtauskenttään vaikuttaa tuloilma suuremman liikemääränsä ansiosta huomattavasti enemmän kuin poistoilma. Tuloilman perusjakotavat ovat:

- sekoittava ilmanjako
- syrjäyttävä ilmanjako ja
- yhdensuuntainen ilmanjako.

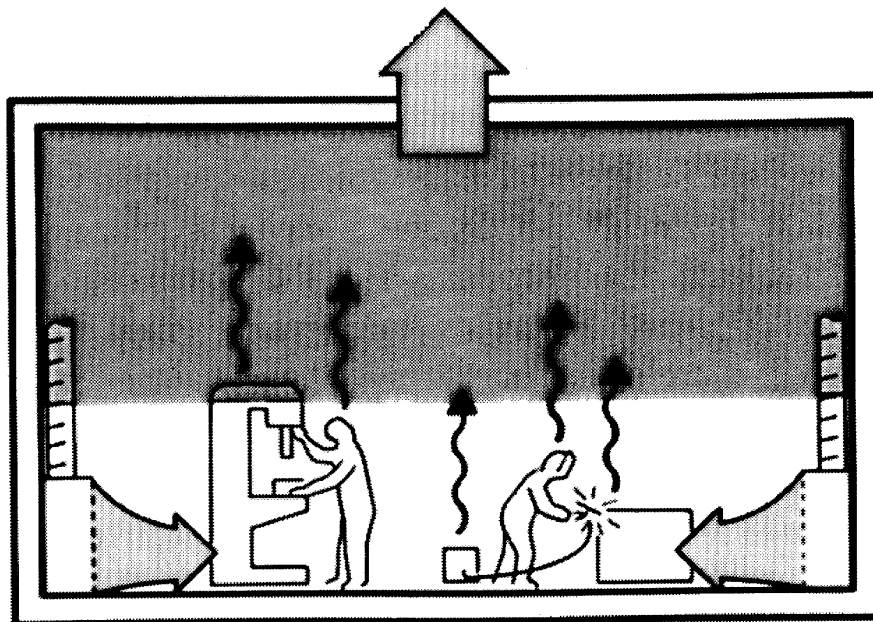
Perinteinen ja tavallisin ilmanjakotapa on sekoittava (Kuva 1). Menetelmällä pyritään sekoittamaan tuloilma tehokkaasti sisäilmaan, jolloin sisäilman olosuhteet saadaan lähes samoiksi koko tilassa. Järjestelmän etuina on mm. mitoituksen yksinkertaisuus, joustava ilmanjakolaitteiden sijoittelu eri puolille ilmastoitavaan tilaan ja verraten vakaa, häiriötön virtauskenttä. Järjestelmän suurin heikkous on sen huono tehokkuus. Huoneen miehittämätön osa ilmastoidaan yhtä hyvin kuin miehitetty osa.



Kuva 1. Periaatekuva sekoittavasta ilmanjakoista (Halminen ym. 1994).

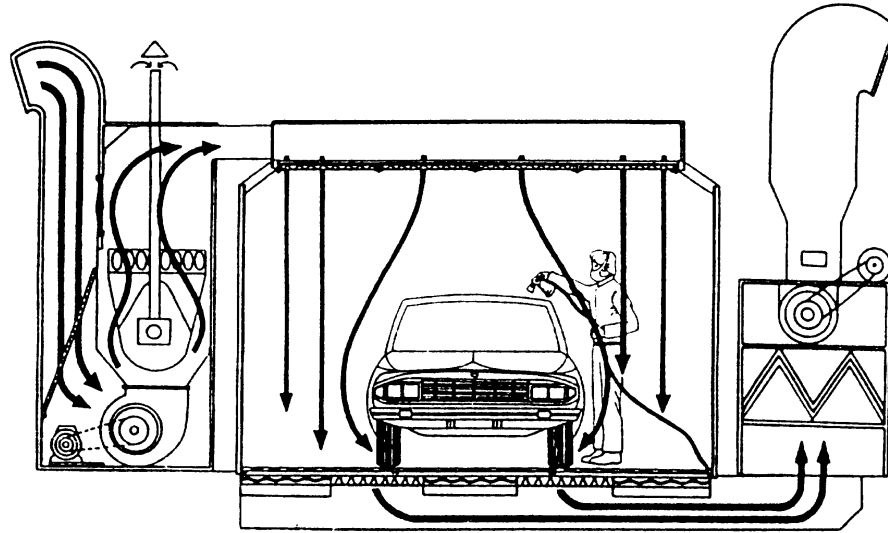
Toinen, lisääntyvä ilmanjakotapa on ns. syrjäyttävä tuloilmanjako. Tavoitteena on tällöin tuoda tuloilma alhaisella nopeudella oleskeluvyöhykkeelle, josta se edelleen nousee oleskeluvyöhykkeellä olevien lämpölähteiden nostevaikutuksen kautta huoneen miehittämättömään yläosaan ja edelleen poistoon (kuva 2). Järjestelmän toiminnan kannalta on oleellista, että oleskeluvyöhykkeelle tuodaan vähintään yhtä paljon ilmaa, kuin lämpölähteiden nostevirtaukset nostavat ilmaa huoneen yläosaan ns. kerääntymisvyöhykkeelle. Jos ilmaan vapautuvat epäpuhtaudet mitoittavat ilmanvaihdon, täytyy epäpuhtauslähteessä vapautua riittävästi lämpöä synnyttämään epäpuhtauden poistoon tarvittava nostevirtaus. Verrattuna sekoittavan ilmanvaihdon mitoittamiseen, on syrjäyttävän järjestelmän mitoittaminen huomattavasti vaike-

ampaa, koska epäpuhtaus- ja lämpökuormien ohella on tiedettävä lämpökuormien aiheuttamien nostevirtausten ilmapirratt. Järjestelmän toimintaa vaikeuttaa myös talvisin kylmien seinäpintojen sisäpintoja pitkin alaspäin virtaavat konvektiovirtaukset (Lehtimäki ja Säämänen 1994).

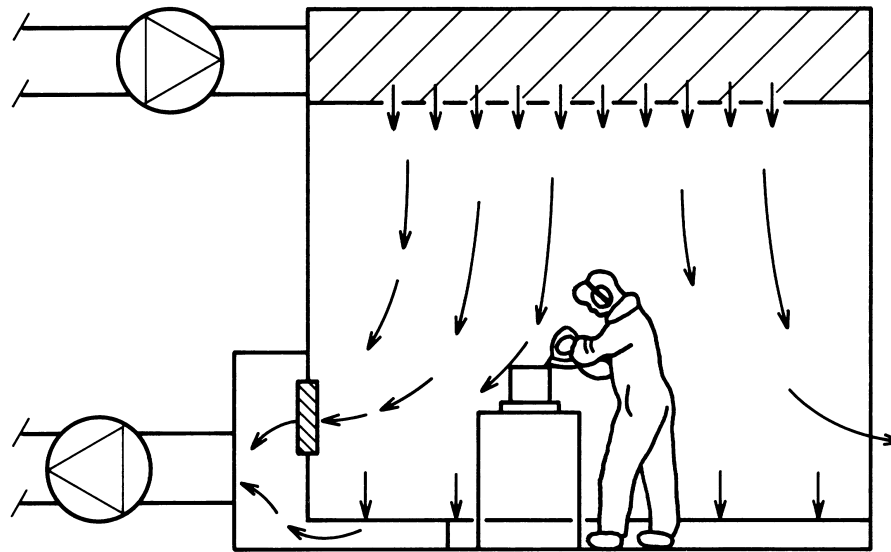


Kuva 2. Periaatekuva syrjäyttävästä ilmanjaoista (Halminen ym., 1994).

Tehokkain tuloilmanjakotapa on yhdensuuntaisen ilmanjako (kuva 3). Koko tilan ilmastointiin sitä käytetään lähinnä elektroniikka- ja lääketieteellisuuden puhdistiloissa sekä mm. maa-laamoissa. Periaatteena on tällöin pitää suojattava kohde puhtaan tuloilmavirtauksen sisässä, jolloin sisäilmassa olevat epäpuhtaudet eivät pääse ilmastoidulle alueelle. Samaa sovellutusta käytetään, kun halutaan suojata vain huoneessa oleva yksittäinen kohde. Tyypillinen sovellutuskohde on esim. leikkauspöydällä oleva potilas. Leikkaussalien ilmastointiin käytetäänkin usein leikkauspöydän yläpuolelle asennettua alaspäin puhaltavaa yhdensuuntaisilmanjakoa. Vastaavasti työpaikoilla käytetään samaa periaatetta suojaamaan työntekijää ympäristössä olevilta epäpuhtauksilta (kuva 4).



Kuva 3. Yhdensuuntaisvirtaus automaalaamossa (Heinsohn, 1991).



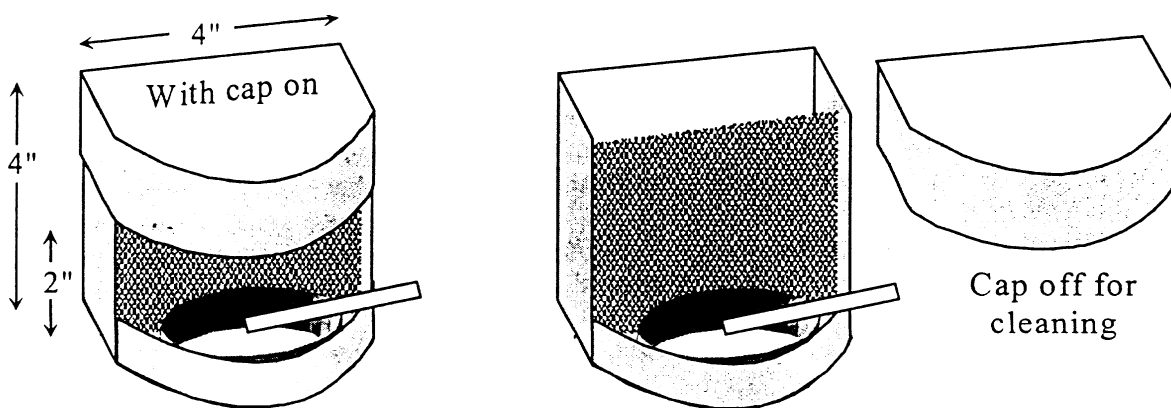
Kuva 4. Valukappaleiden puhdistuskopin ilmanvaihto (Enbom, 1986).

Poistoilman jakoon yleisilmanvaihdon yhteydessä ei ole kiinnitetty niin suurta huomiota, kuin tuloilman. Sekoittavan ilmanjaon yhteydessä tämä on ymmärrettävää. Syrjäyttävän ilmanjaon järjestelmissä on poisto luonnollisesti sijoitettava ilmastoitavan tilan yläosan kerääntymisvyöhykkeelle. Syrjäyttävän järjestelmän poistokohtia ei sen sijaan ole riittävästi pyritty sijoittamaan siten, että kerääntymisvyöhykkeelle kulkeutuvat epäpuhtaudet poistettaisiin suurlta osin ennen niiden sekoittumista kerääntymisvyöhykkeen ilmaan. Sijoittamalla yleispoistot kerääntymisvyöhykkeellä epäpuhtauslähteiden yläpuolelle, voidaan syrjäyttävän ilmanvaihtojärjestelmän tehokkuutta parantaa huomattavasti (Lehtimäki ja Säämänen, 1994).

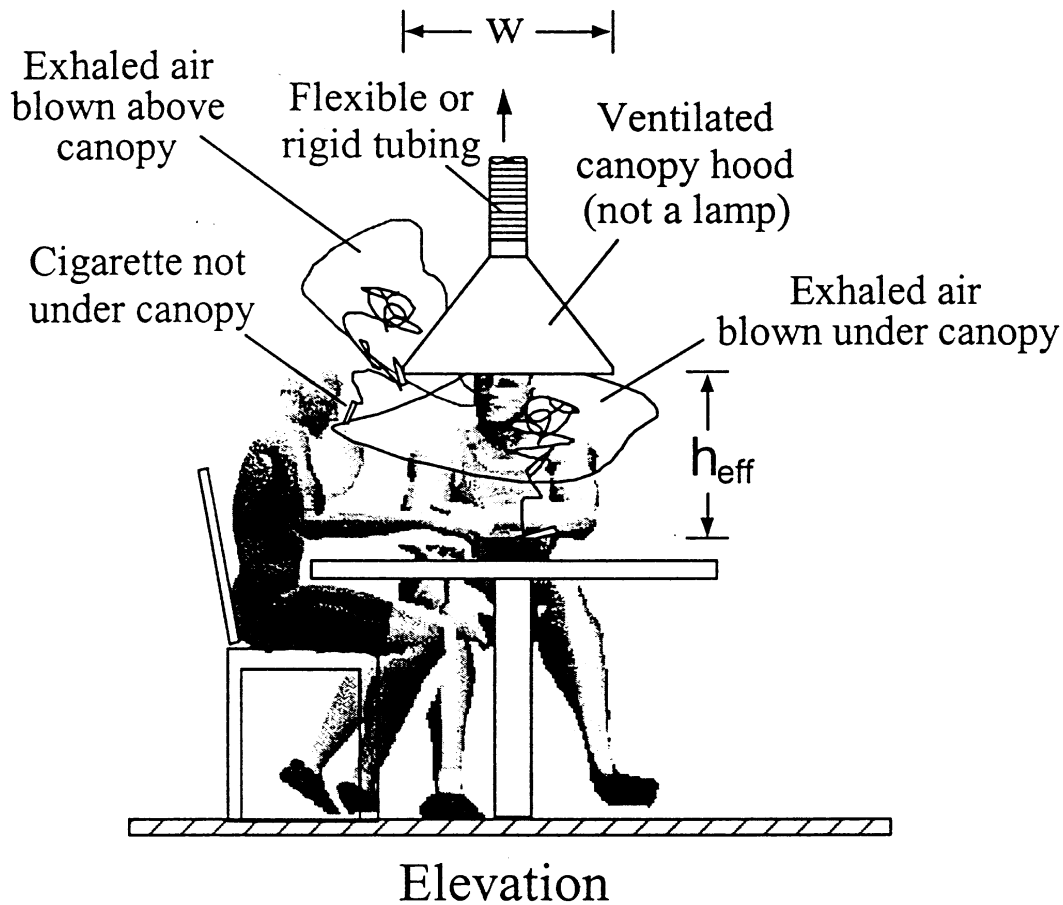
4.1.2 Kohdeilmanvaihto ja sen soveltaminen ravintoloihin

Yleisilmanvaihdon ohella ilman epäpuhtauksien hallintaan käytetään kohdeilmanvaihtoa. Kohdeilmanvaihto voi tarkoittaa kohdepoistoa, jolla poistetaan epäpuhtaudet ennen niiden leviämistä sisäilmaan tai kohdepuhallusta, jolla estetään taustailmassa olevien epäpuhtauksien kulkeutuminen suojattavaan kohteeseen. Esimerkiksi kuvassa 4 ylhäältä alaspäin virtaavalla tuloilmalla (kohdepuhallus) suojataan työntekijää hiontapölyltä ja puhdistamon yleisilmasta ko. työpisteeseen kulkeutuvilta epäpuhtauksilta. Puhdistuskopin poisto (kohdepoisto) vähentää kopista ulos kulkeutuvan pölyn määrää ja suojaa näin puhdistamon muita työntekijöitä, mutta on verraten tehoton suojaamaan puhdistuskopissa työskentelevää henkilöä.

Kohdepoistoilla voitaisiin periaatteessa vähentää myös ravintolailmaan vapautuvan tupakan savun määrää. Ravintoloiden kohdepoistoratkaisujen periaatteista on esimerkkejä kuvissa 5 ja 6. Kohdepoistojen toimivuus riippuu asiakkaiden käyttäytymisestä, jolloin on vaikea arvioida niiden vaikutusta käytännössä. Ylhäältä alaspäin virtaavalla kohdepuhalluksella voidaan luonnollisesti myös suojata ravintolatyöntekijöitä ja asiakkaita. Koska ko. järjestelmien toiminta edellyttää verraten suuria ilmavirtoja, voidaan niillä olettaa hallittavan käytännössä lähinnä vain työntekijöiden kiinteitä työpisteitä (esim. baarimestarit, pelipöydänhoitajat).



Kuva 5. Kohdepoistolla varustettu tuhkakuppi (Guffey, 1998).



Kuva 6. Kohdepoistohuuvratkaisu (Guffey, 1998).

4.2 Ilmanvaihdon tehokkuus

Käsitteellä ilmanvaihdon tehokkuus tarkoitetaan joko tuloilman jaon tehokkuutta tai epäpuhtauksien poistumisen tehokkuutta. Yleisilmanvaihdon osalta käsite ilmanvaihdon tehokkuus tarkoittaa usein tuloilman jaon tehokkuutta. Tällöin tehokkuutta kuvaavana suurena voidaan käyttää ilmanvaihdon hyötysuhdetta, mikä kuvaa, kuinka nopeasti ilma tarkasteltavassa kohdassa korvautuu puhtaalla tuloilmalla. N_s -mäntä- eli yhdensuuntaisvirtauksessa (kuva 3) ei tarkastelupisteen ohittanutta ilmaa enää palaudu takaisin samaan kohtaan, jolloin ko. tapauksessa ilmanvaihdon hyötysuhde on 100 %. N_s -oikosulkuvirtauksessa kaikki tuloilma kulkeutuu suoraan poistoon, jolloin hyötysuhde on 0 %. Täydellisessä sekoituksessa jokaisessa huoneen pisteessä tuloilman osuus ja viipymäaika on sama, ja ilmastoinnin hyötysuhde on 50 %. Käytännössä sekoittavalla ilmanjaolla tapahtuu osittaista tuloilman virtausta poistoon, jolloin hyötysuhde on hieman alle 50 %. Syrjäyttävä ilmanjako toimii osittain N_s -mäntävirtausperiaatteella, jolloin sen hyötysuhde on usein yli 50 %.

Ilmanvaihdon hyötysuhteen tarkastelulla saa käsityksen, miten tehokkaasti puhdas tuloilma tulee käytettyä. Jos ilmanvaihdon ongelmana kuitenkin on ilmaan vapautuvat epäpuhtaudet, ei ko. hyötysuhteella välttämättä ole enää käyttöarvoa, kun arvioidaan, kuinka tehokkaasti epäpuhtaudet poistuvat. Ilmanvaihdon tehokkuutta kuvaa tällöin paremmin epäpuhtauksien

poistotehokkuus ε , joka on poistoilman epäpuhtauspitoisuuden C_p ja tarkasteltavan kohdan ilman epäpuhtauspitoisuuksien suhde. Yleensä tavoitteena on hallita sisäilman epäpuhtauspitoisuus hengitysvyöhykkeellä eli C_{hv} . Tällöin epäpuhtauksien poistotehokkuudelle ε on voimassa kaava

$$\varepsilon = \frac{C_p}{C_{hv}}. \quad (1)$$

Jos esim. hengitysvyöhykkeen epäpuhtauspitoisuus on sama kuin poistoilman, on epäpuhtauksien poistotehokkuus 1. Epäpuhtauksien poistotehokkuus vaihtelee runsaasti riippuen mm. epäpuhtauslähteen sijainnista suhteessa tarkasteltavaan kohtaan. Vaikka tulo- ja poistoilmajärjestelmät kokonaisuutena toimisivat tehokkaasti, voi mm. epäpuhtauslähteen vieressä työskentelevä henkilö altistua siinä määrin, että hänen kannaltaan tarkasteltuna järjestelmän tehokkuus on heikko. Keskimäärin voidaan kuitenkin todeta, että sekoittavan järjestelmän epäpuhtauksien poistotehokkuus on usein alle 1 ja syrjäyttävän yli 1. Tehostamalla huonetilan yläosaan nousevien epäpuhtauksien poistumista kattorakenteiden lohkoratkaisuilla, voidaan yleisilmanvaihdon poistotehokkuus syrjäyttävällä ilmanjaolla parantaa selvästi (Lehtimäki ja Säämänen, 1994). Kohdepoistojen avulla voidaan epäpuhtauksien poistotehokkuus nostaa hyvinkin suureksi.

4.3 Arvio eri ilmanvaihtoratkaisujen soveltuvuudesta ravintoloihin

Uusien ravintoloiden ilmastoinnin ilmavirran tulee nykyisten ilmanvaihtomääräysten mukaan olla vähintään $10 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Tämä merkitsee, että ravintolan ilma vaihtuu noin 10 kertaa tunnissa. Jos ravintola on varustettu sekoittavalla ilmanjaolla, ja halutaan alentaa tupakansavun pitoisuus puoleen entisestä, on ravintolan ilmamäärää lisättävä 100 %. Toisaalta pitoisuuden alentaminen 50 % ei ole vielä merkittävä muutos. Sekoittavalla ilmanjaolla ja realistisilla ilmavirroilla ei voitane alentaa tupakointitilan epäpuhtauspitoisuutta niin paljoa, että ilman laatu olisi työntekijöiden ja samassa tilassa olevien tupakoimattomien asiakkaiden kannalta riittävän hyvä. Syrjäyttävällä ilmanjaolla tilanne on parempi etenkin, jos ravintolan huonekorkeus on riittävä (esim. yli 3,5 m). Todennäköistä syrjäyttävällä ilmajaollakaan ei saavuteta tupakoimattomien asiakkaiden kannalta riittävän hyvää ilman laatua tupakointitilassa.

Työntekijöiden ja tupakoimattomien asiakkaiden altistumisen oleellinen vähentäminen on mahdollista kohtuullisin ilmastoinnin ilmavirroin vain, jos ravintola jaetaan erikseen savuttomiin ja savullisiin osastoihin. Lisäksi savullisten osastojen työntekijöiden työpisteisiin on syytä järjestää ylhäältä alas suunnattu piennopeusilmanjako.

Ensisijaisena toimenpiteenä on varmistaa, että ilmastoinnin ilmavirtojen kulkusuunta on pääosin savuttomalta osastolta savullisen kautta poistoon. Tuloilman jakotavoista syrjäyttävä toimii todennäköisesti tehokkaammin kuin sekoittava. Koska syrjäyttävässä järjestelmässä tuloilmalaitteet joudutaan sijoittamaan usein lattiatasoon, vaikeuttaa ko. järjestelmä myöhempien sisustusmuutosten toteutusta. Lisäksi se vähentää tehollista lattiapinta-alaa. Eräänä epäkohtana voidaan myös todeta, että syrjäyttävän järjestelmän sisäänpuhalluslämpötila voi jäähdytystilanteessa olla liian alhainen etenkin matalissa ravintoloissa ja aiheuttaa vetoa. Ko.

haittaa voidaan torjua käyttämällä nykyisiä mitoitusperusteita suurempaa tuloilmavirtaa, mikä ilmeisesti on joka tapauksessa tarpeen tupakansavuhaitan vähentämiseksi.

Sekoittavan ilmanjakojärjestelmän etuina on suurempi joustavuus muutostöiden varalta sekä se, ettei se vähennä tehollista lattiapinta-alaa. Haittana on syrjäyttävään verrattuna heikompi hyötysuhde, jolloin sekoittavassa järjestelmässä joudutaan käyttämään enemmän ilmaa kuin syrjäyttävässä. Kun tupakointi oli vielä sallittu koko ravintolassa, järjestelmien tehokkuudessa ei etenkin matalissa ravintolatiloihin ollut merkittäviä eroja. Sen sijaan osastoihin jaetuissa ja korkeammissa ravintolasaleissa on todennäköistä, että syrjäyttävässä ilmanjakojärjestelmässä ei tarvita niin suurta ilmavirtaa tupakansavun hallintaan kuin sekoittavassa.

5 Koetoiminta

Ilmanvaihdon eri toteutustapojen kehittämiseen ja analysointiin käytetään vaativissa kohteissa usein mallikokeita tai virtauslaskentaa, jolla numeerisen laskennan avulla analysoidaan ilman virtaukset tarkasteltavassa tilassa. Virtauslaskennasta huolimatta tehdään lisäksi mallikokeita, joilla varmennetaan laskennan toimivuus. Mallikokeet ovat luonnollisesti verraten suuritöisiä ja aiheuttavat suuria kustannuksia, etenkin jos tarkasteltava tila on suuri. Tällöin voidaan täysmittakaavakokeiden sijasta käyttää pienoismallia.

Tämän tutkimuksen lähtötilanne oli niin uusi, että esim. virtauslaskennan avulla saatavat tulokset olisi jouduttu varmentamaan kokeellisesti. Tästä syystä hanke toteutettiin lähes kokonaan kokeellisesti. Tarkastelun kohteena oli aluksi ns. pieni koeravintola, jossa ensin tutkittiin mahdollisuutta hallita sisäilman laatua yleisilmastoinnilla. Samalla koeravintolalla tutkittiin seuraavaksi mahdollisuuksia alentaa baarimestarin altistumista hänen työpisteen kohdeilmanvaihdolla. Kolmannessa vaiheessa koeravintola laajennettiin kahdeksi osastoksi toinen savuttomaksi ja toinen savulliseksi tilaksi. Tällä koemallilla tutkittiin, mitä mahdollisuuksia on hallita savuttoman tilan ilman laatua yleisilmanvaihdolla ja osastojen välisen kulkuaukon koolla ja muodolla.

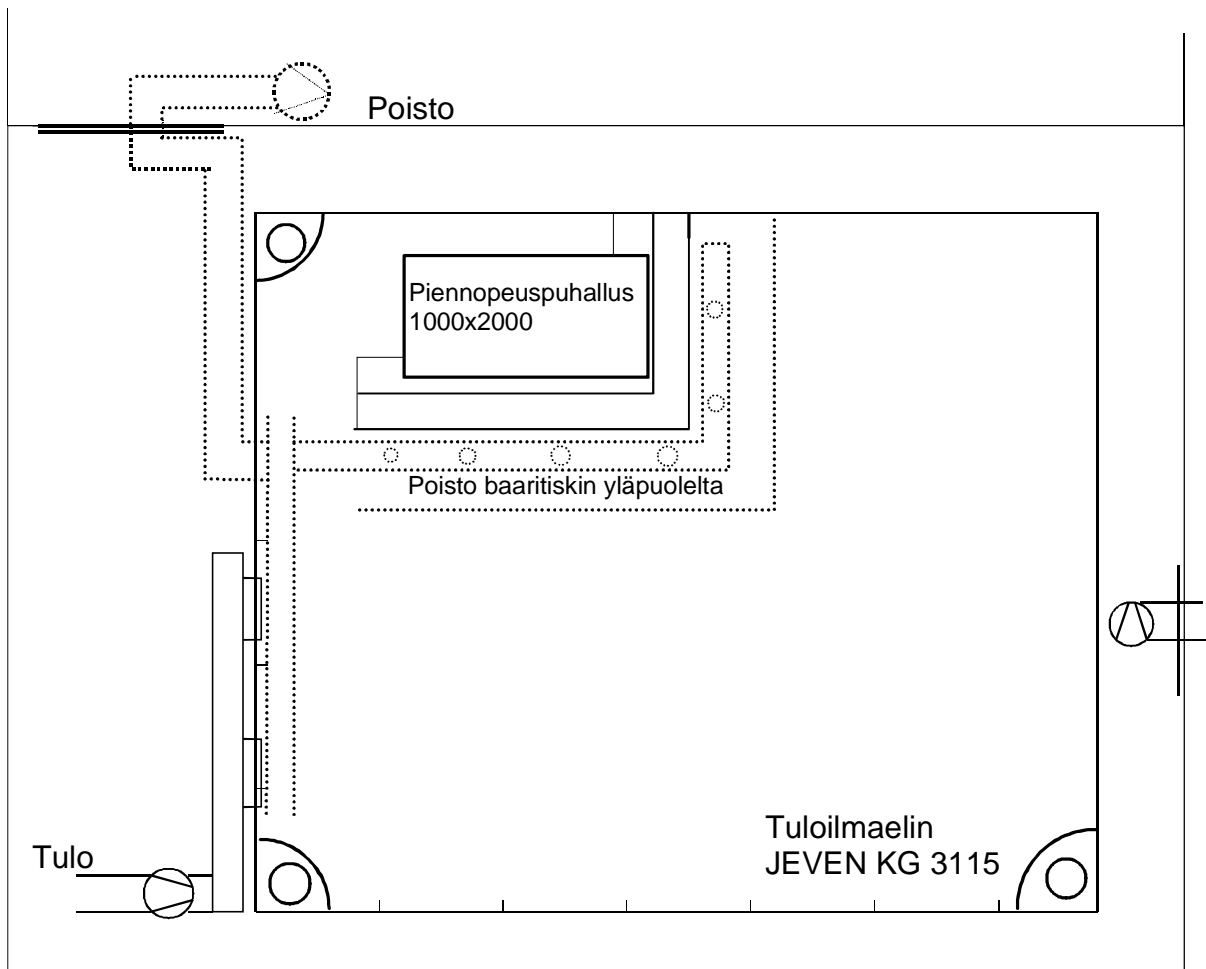
Koetoimintaa varten rakennettiin koehuoneet, asennettiin niihin ilmastointi ja lämpökuormitusta kuvaavat ratkaisut. Tupakansavun epäpuhtauskuormitusta kuvaamaan asennettiin jälkiaineen syöttöjärjestelmä ja jälkiaineen pitoisuuden sekä lämpötilamittausten mittaussjärjestelmä.

5.1 Koehuoneet

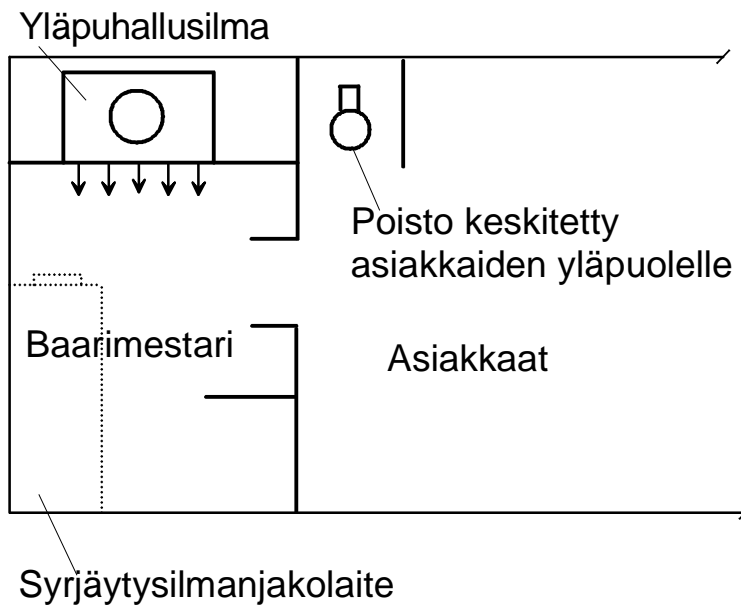
Koehuoneet rakennettiin tutkimushallin sisään. Huoneiden runkorakenteet tehtiin väliseinä-rangasta. Seinämateriaalina oli vaneri. Kattomateriaalina oli polyuretaani-eristelevy. Myös seinät eristettiin polyuretaanilevyillä. Lattiana oli tutkimustilan betonilattia, joka päällystettiin muovimatolla. Huonekorkeus oli 3 m. Baarimestarin työpisteeseen rakennettiin baaripöytä, jonka yläpuoli oli toisissa kokeissa avoin ja toisissa osittain suljettu hyllyllä.

5.1.1 Pieni ravintola

Pienen ravintolan (Kuva 7) pinta-ala oli 38 m². Koehuone varustettiin koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla. Tuloilma voitiin jakaa joko sekoittavasti (1-2 tuloilmaelintä), syrjäyttävästi (1-3 tuloilmaelintä) ja kohdepuhalluksena baarimestarin työpisteeseen (puhallusala 1x2 m, etäisyys lattiasta 2.3 m). Poistoilma otettiin koehuoneen toiselta seinältä kahdesta kohtaa tai baaripöydän vieressä tupakoivien asiakkaiden yläpuolelta. Asiakkaiden yläpuolisen poiston tehokkuutta parannettiin ripustamalla poistokanavan ja tarjoilutilan väliin katosta alaspäin 70 cm korkuinen levy, jonka tarkoituksena oli estää baaripöydältä kohoavan tupakansavun leviäminen kattopintaa pitkin muuhun tarjoilutilaan. Tuloilma koeravintolaan otettiin ympäröivästä laboratoriotilasta ja poistoilma johdettiin viereiseen tutkimushalliin. Laboratoriotila pidettiin ylipaineisena puhaltamalla siihen lisäilmaa ulkoa.



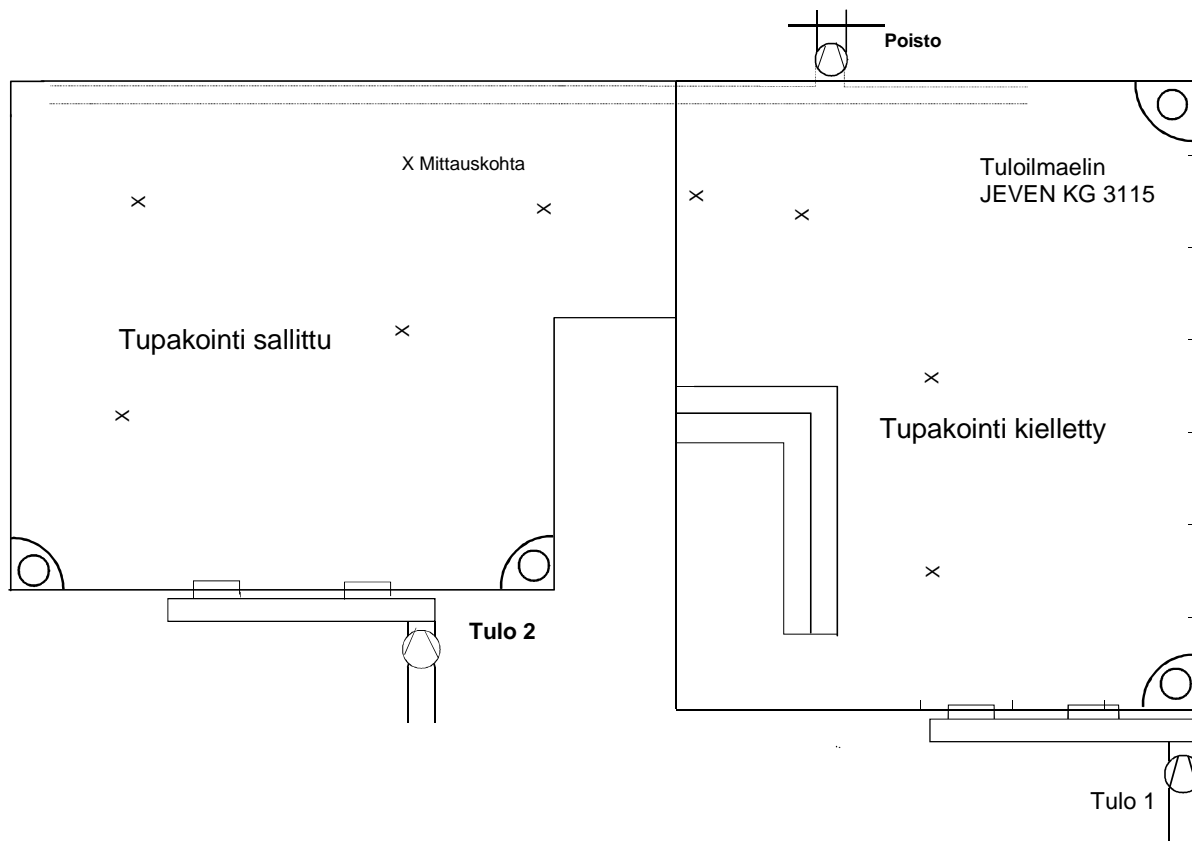
Kuva 7. Pienen ravintolan pohjapiirros.



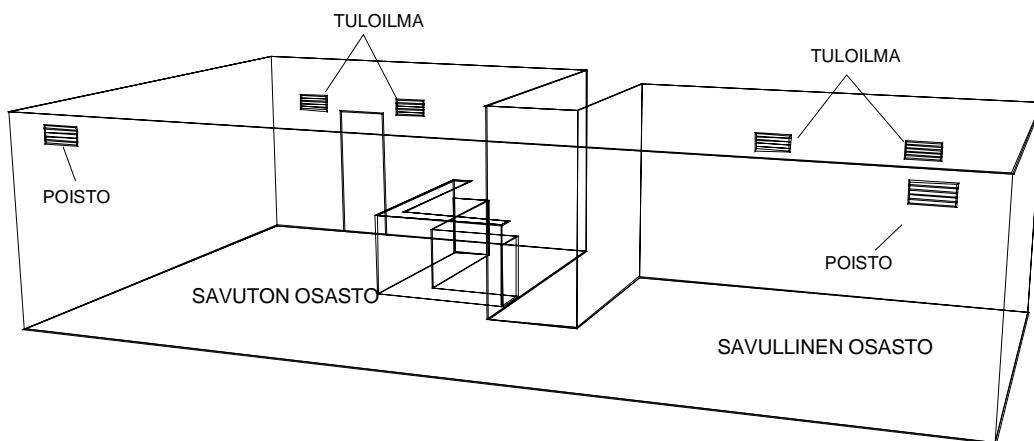
Kuva 8. Leikkaus baarimestarin työpaikan kohdalta. Tuloilman ja poistoilman toteutusperiaatteet.

5.1.2 Suuri ravintola

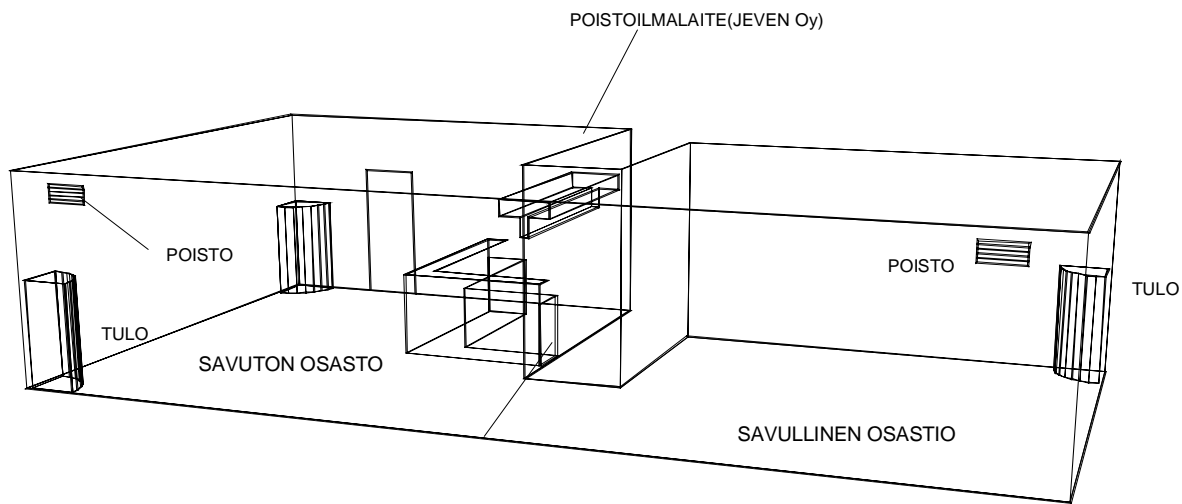
Suuren ravintolan koehuoneen (Kuva 9) pinta-ala oli 74 m^2 , josta savuttoman tilan osuus oli 39 m^2 ja savullisen 35 m^2 . Laajennusosan tuloilmanvaihto toteutettiin joko sekoittavasti (Kuva 10) tai syrjäyttävästi (Kuva 11). Laajennusosan poistoilma otettiin sen takaosan katonrajasta. Yhdessä tilanteessa osa poistoilmasta otettiin osastojen välisen kulkuaukon katonrajasta, jolloin ko. poisto otti ilmaa osittain molemmista tiloista. Suuren ravintolan koehuoneen tuloilma otettiin ympäröivästä tutkimushallista ja poistoilma johdettiin ulos.



Kuva 9. Suuren koeravintolan pohjapiirros.



Kuva 10 Suuren koeravintolan ilmanjako. Sekoittava järjestelmä.



Kuva 11. Suuren koeravintolan ilmanjakojärjestelmä. Syrjäyttävä ilmanjako. Lisänä poistoilmalaite kulkuaukon katossa.

5.2 Lämpö- ja epäpuhtauskuormat

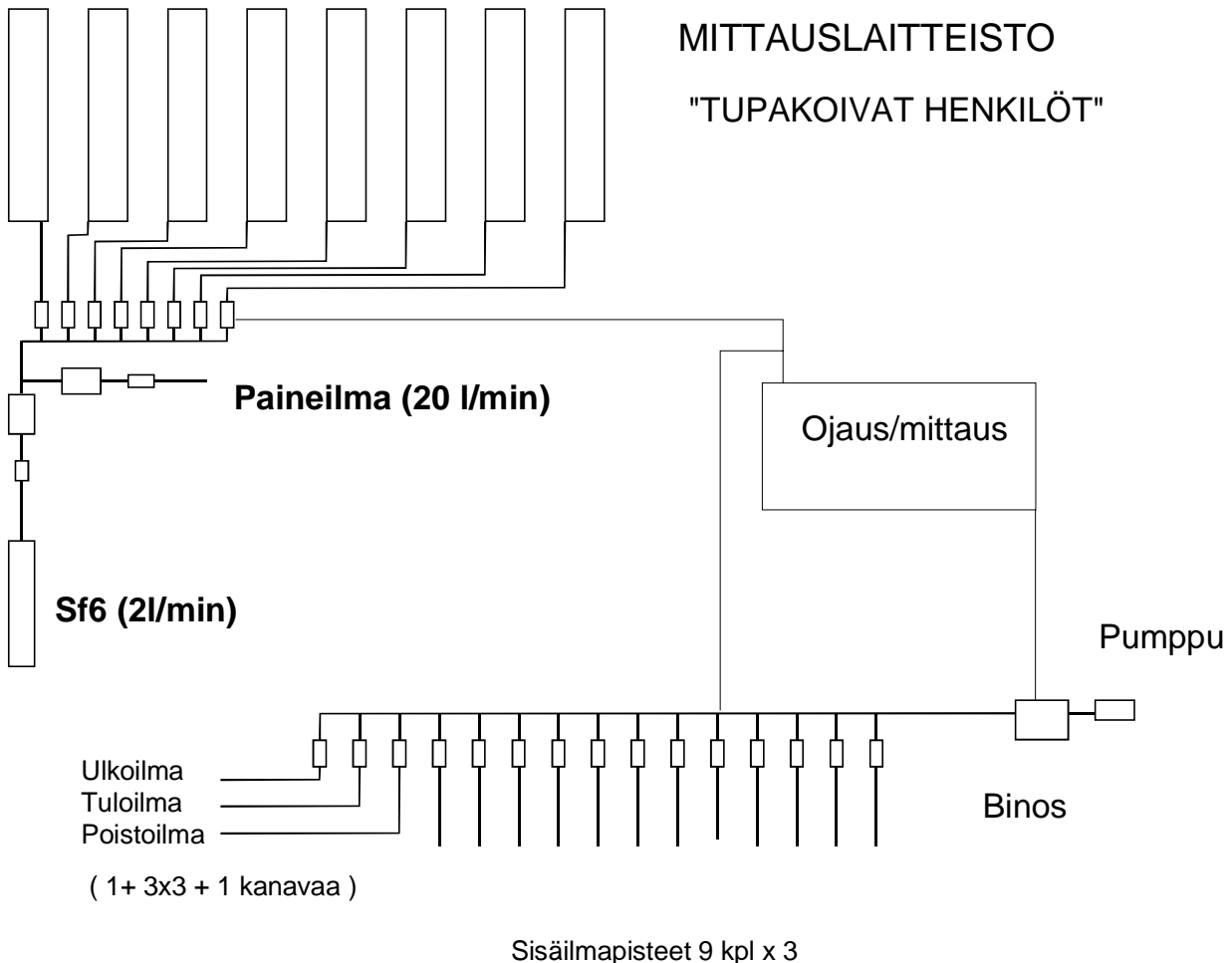
Pienen ravintolan valaistukseen käytettiin 8 kpl loisteputkivalaisimia, lämpökuorma n. 10 W/m^2 . Laajennusosan valaistukseen käytettiin 6 kpl 60 W:n hehkulamppuja, jolloin valaistuskkuorma oli myös noin 10 W/m^2 . Henkilökuormaa mallinnettiin ilmastointihormista tehdyillä ”mallinukeilla” ($d = 315 \text{ mm}$, korkeus $1.35 \dots 1.7 \text{ m}$). Lämmönsiirtopinta-ala on tällöin $1.4 \dots 1.8 \text{ m}^2$ (vrt. H. Brohus 1997). Lämpö kehitettiin kahdella nuken sisään sijoitetulla lampulla (yhteisteho 100 W). Baaripöydän lämpökuormaa (astianpesukone/jääkaappi) kuvattiin sähköpatterilla (400 W).

Savukkeen lämpökuormaa mallinnettiin lampulla (23 W), joka oli asennettu kupariputken päähän. Tupakansavua kuvaava jälkiaine (SF_6) tuotiin ko. kupariputkea pitkin lampun kantaan. Jälkiainetta laimennettiin paineilmalla (laimennus $1/15$), jotta jälkiaineen virtausnopeus syöttöletkuissa olisi riittävä.

Henkilökuormitus säädettiin vastaamaan tuloilmavirtaa ja tuloilman alilämpötilaa niin, että ilmavirta/lattianeliö oli $10 - 15 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$, ja yleisilman tuloilman alilämpötila tavoitearvo poistoon verrattuna oli $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Tupakoivien asiakkaita oli yleensä 8 kpl ja savukkeen palo aika 6 min . Kun kaikki tupakointi keskitettiin baaripöydän viereen, oli tupakoivia asiakkaita 4 kpl. Kerrallaan tupakoi aina yksi asiakas.

5.3 Mittausjärjestelmä

Tupakansavun pitoisuutta kuvaavan jälkiaineen pitoisuus mitattiin IR-analysaattorilla (Binos). Mittauskohdat sijoitettiin työntekijän oleskelualueelle, asiakkaiden oleskelualueelle eri korkeuksille ja tilan tulo- ja poistoilmaan sekä ulkoilmaan. Sisäilman mittauskohdat sijoitettiin siirrettäviin salkoihin 1.0, 1.5 ja 2.2 m:n etäisyydelle lattiasta. Pienen ravintolan tapauksessa (Kuva 12) näytteenottoon käytettiin 15 -kanavaista venttiilikoneistoa. Suuren ravintolan tapauksessa venttiilikoneisto oli 16-kanavainen.

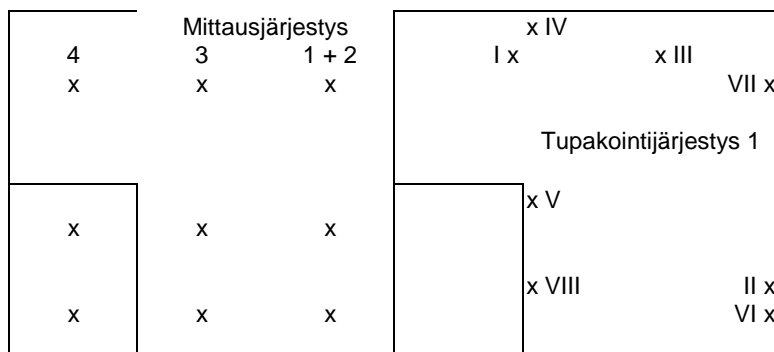


Kuva 12. Näytteenotto ja jälkiaineen syöttö.

Jälkiaineen mittaussalkoja oli pienessä koeravintolassa 3 kpl ja salkoja siirrettiin 3 kertaa (Kuva 13). Näin sisäilman mittauskohtia oli kaikkiaan 27 kpl (3 salkoa, 3 kohtaa ja 3 korkeutta). Suuren ravintolan tapauksessa mittaussalkoja oli 4, mutta niiden asentoa muutettiin vain kerran, jolloin sisäilman mittauskohtia oli 24 kpl.

Jälkiaineen syöttö tapahtui pienessä koeravintoloissa aina samassa järjestyksessä. Suuressa ravintolassa syöttö tapahtui satunnaisessa järjestyksessä.

Venttiilit	Kierros 1	Syöttö	Kierros 2	Syöttö	Kierros 3	Syöttö	Kierros 4	Syöttö
1 (ulko)								
2 (tulo)								
3 (poisto)								
	4	I	4	V	4	I	4	V
	5		5		5		5	
	6		6		6		6	
	7	II	7	VI	7	II	7	VI
	8		8		8		8	
	9		9		9		9	
	10	III	10	VII	10	III	10	VII
	11		11		11		11	
	12		12		12		12	
	13	IV	13	VIII	13	IV	13	VIII
	14		14		14		14	
	15		15		15		15	
							1	
							2	
							3	



x tarkoittaa mittausalkoa

x tarkoittaa "tupakointikohtaa"

Kuva 13. Mittauskohdat ja mittausjärjestys. Pieni ravintola, vaihe 1.

6 Tulokset

6.1 Pieni ravintola

6.1.1 Pelkkä yleisilmanvaihto

Pienessä ravintolassa tutkittiin ensin, mitä mahdollisuuksia on vaikuttaa baarimestarin työpisteen ja asiakkaiden yleisilman laatuun pelkällä yleisilmanvaihdolla. Tutkitut vaihtoehdot olivat:

Tilanne 1: Sekoittava ilmanjako $10 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Baaripöydän yläpuolinen tila avoin.

Tilanne 2: Kuten 1, mutta puolet tuloilmasta tuotiin syrjäyttävästi baarimestarin takaa.

Tilanne 3: Kuten 2, mutta lisänä hylly baaripöydän yläpuolella (peitto n. 50 % vapaasta aukosta).

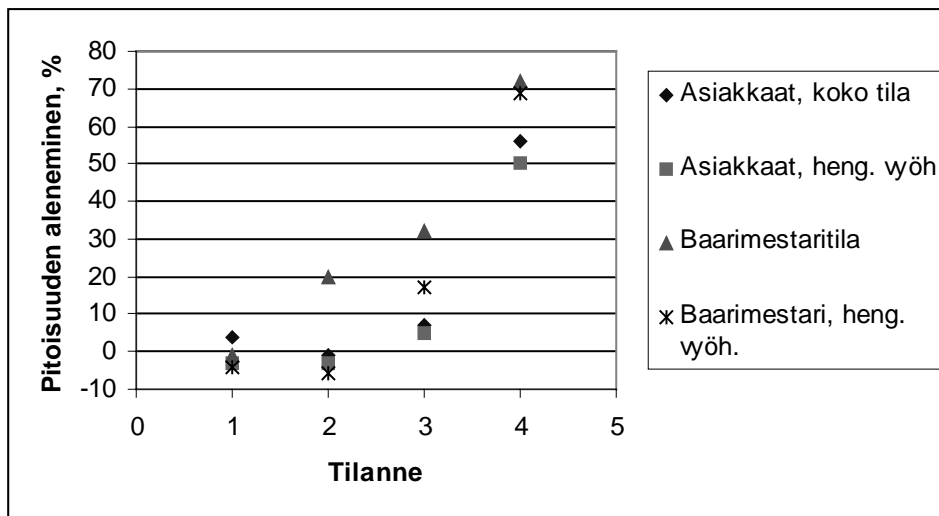
Tilanne 4: Syrjäytys $15 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ ja hyllyratkaisu.

Mittaustuloksista laskettiin jälkiaineen pitoisuuden aleneminen eri kohdissa verrattuna teoreettiseen pitoisuuteen täydellisellä sekoittumisella ja ilmanvaihtuvuudella $10 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$.

Eri tilanteissa saavutettu tupakansavun pitoisuuden aleneminen eri mittauskohdissa on esitetty kuvassa 14 ja taulukossa 1. Mittauskohdista asiakkaat, koko tila tarkoittaa korkeudelta 1, 1,5 ja 2,2 m mitattujen pitoisuuksien keskiarvosta laskettua tulosta. Asiakkaat, heng. vyöhyke tarkoittaa 1,5 m:n korkeudelta mitattujen tulosten keskiarvosta laskettua tulosta. Vastaavasti baarimestaritila tarkoittaa tilan kaikista mittauspisteistä ja baarimestari, heng. vyöhyke 1.5 m:n korkeudelta laskettua tulosta.

Taulukko 1. Jälkiaineen pitoisuuden suhteellinen aleneminen (%) eri mittauskohdissa verrattuna täydellisen sekoittumisen tilanteeseen ilmavirralla $10 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$.

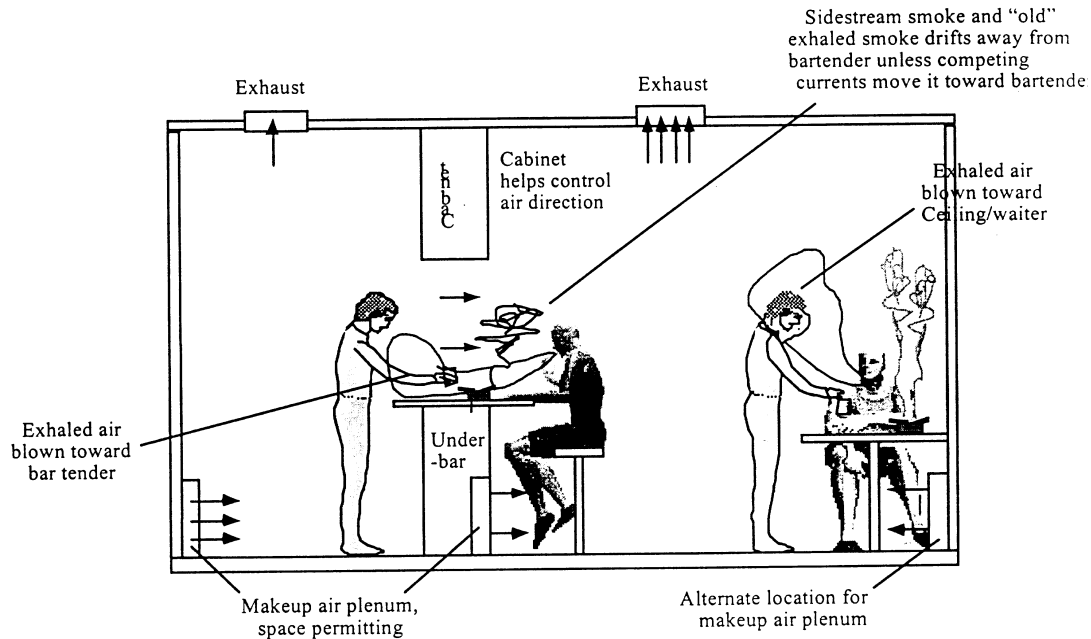
Tilanne no	Asiakkaat, kokotila	Asiakkaat, heng. vyöhyke	Baarimestaritila	Baarimestari, heng. vyöhyke
1	4	-3	-1	-4
2	-1	3	20	-6
3	7	5	32	17
4	56	50	72	69



Kuva 14. Pienen ravintolan mittaustulokset. Pelkkä yleisilmanvaihto.

Kuvan 14 tuloksista voidaan päätellä, että jos osa ilmasta tuodaan syrjäyttävästi baarimestarin takaa, ei tilanne oleellisesti parane (tilanne 2). Lisäämällä hylly baaripöydän yläpuolelle, tilanne hieman paranee. Kun ilmavirtaa lisätään ja käytetään pelkästään syrjäytystä, asiakkaiden ja baarimestarin altistuminen alenee merkittävästi. Todennäköistä kuitenkin on, ettei baarimestarin ja tupakoimattomien asiakkaiden altistumista saada riittävän alhaiseksi pelkällä yleisilmanvaihdolla tupakointitilassa.

Baarimestarin taakse sijoitettavasta syrjäyttävästä ilmanjakotavasta on esimerkki kuvassa 15 (Guffey, 1998). Tehtyjen kokeiden mukaan ko. ratkaisun tehokkuus on alhainen. Ilmeisesti syynä on se, että sisäilmaa viileämpi ja raskaampi tuloilma ”valuu” baarimestaritilan ja asiakastilan välisen kulkuaukon kautta asiakkaiden puolelle, eikä näin juurikaan vaikuta baarimestarin altistumiseen. Jos ko. tuloilma olisi ylikuumaa, eikä baarimestarin puolella ole poistoa, se voisi nousta ylös ja täyttää baarimestaritilan yläosan ja näin suojata työntekijää. Toisaalta tämä johtaisi ylikuumuuskäsitelmiin, joten ko. ratkaisu ei vaikuta toteutuskelpoiselta.



Kuva 15. Pub-tyyppisen ravintolan ilmanvaihto (Guffey, 1998).

6.1.2 Yleisilmanvaihto + kohdeilmanvaihto

Seuraavassa vaiheessa tutkittiin, miten tupakansavun kulkeutumiseen voidaan vaikuttaa baarimestarin yläpuolisella piennopeusilmanjakolaitteella ja keskittämällä poistoa baariasiakkaiden yläpuolelle (Kuva 2). Näissä kokeissa kaikki tupakointi keskitettiin baaripöydän viereen. Lisäksi baaritiskin yläpuolella oli edellä kuvattu hyllyratkaisu.

Tutkitut tilanteet olivat:

Tilanne 1: Syrjäytys (asiakkaat $190 \text{ dm}^3/\text{s}$) $5 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ + yläpuhallus baarimestarille ($190 \text{ dm}^3/\text{s}$, alilämpötila $2 \text{ }^\circ\text{C}$).

Tilanne 2: Kuten 1, mutta baarimestarin tulon alilämpötila $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tilanne 3: Kuten 1, mutta baarimestarin tulon alilämpötila $3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tilanne 4: Kuten 1, mutta ilmanvaihtoa 50 % lisää (baarimestari ja asiakkaat).

Tilanne 5: Kuten 1, mutta asiakkaiden tuloilma jaettiin sekoittavasti.

Tilanne 6: Kuten 5, mutta ilmavirtoja lisättiin 50 %.

Tilanne 7: Kuten 5, mutta lisänä baarimestarin tuloon ”kappa” eli 15 cm korkea reunus.

Tilanne 8: Kuten 5, mutta poisto baaripöydän asiakkaiden yläpuolelta.

Tilanne 9: Kuten 8, mutta lisänä katosta roikkuva levy (n 70 cm) baariasiakkaiden poiston ja muun asiakastilan välissä tehostamassa tupakansavun sieppautumista.

Tilanne 10: Kuten 9, mutta asiakastulo syrjäytyksellä.

Tilanne 11: Kuten 10, mutta lisänä kappa, eli 15 cm korkea reunus baarimestarin tuloon.

Tilanne 12 Kuten 10, mutta ilmavirtoja lisättiin 50 %.

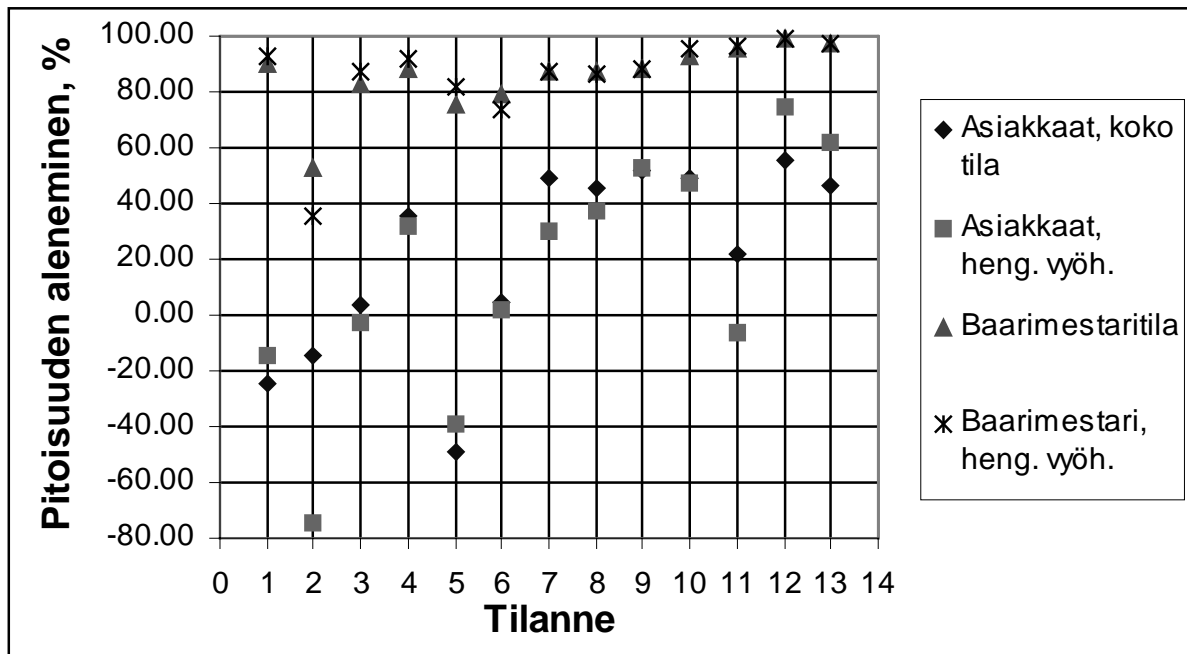
Tilanne 13 Kuten 12, mutta poiston keräyslevy pois.

Mittaus tuloksista laskettiin jälkiaineen pitoisuuden aleneminen eri kohdissa verrattuna teoreettiseen pitoisuuteen täydellisellä sekoittumisella ja ilmanvaihtuvuudella $10 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$.

Eri tilanteissa saavutettu tupakansavun pitoisuuden aleneminen eri mittauskohdissa on esitetty kuvassa 16 ja taulukossa 2. Mittauskohdista asiakkaat, koko tila tarkoittaa korkeudelta 1, 1,5 ja 2,2 m mitattujen pitoisuuksien keskiarvosta laskettua tulosta. Asiakkaat, heng. vyöhyke tarkoittaa 1,5 m:n korkeudelta mitattujen tulosten keskiarvosta laskettua tulosta. Vastaavasti baarimestaritila tarkoittaa koko ko. tilaa ja baarimestari, heng. vyöhyke 1.5 m:n korkeudelta laskettua tulosta.

Taulukko 2. Jälkiaineen pitoisuuden suhteellinen aleneminen (%) eri mittauskohdissa verrattuna täydellisen sekoittumisen tilanteeseen ilmavirralla $10 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$.

Tilanne no	Asiakkaat, kotila	Asiakkaat, heng. vyöhyke	Baarimestaritila	Baarimestari, heng. vyöhyke
1	-25	-15	90	93
2	-15	-75	53	35
3	4	-2	83	87
4	36	32	88	92
5	-49	-39	76	82
6	4	2	79	73
7	49	30	87	87
8	45	38	87	87
9	52	53	88	88
10	49	47	93	96
11	21	-6	95	96
12	55	74	99	99
13	46	62	97	97



Kuva 16. Jälkiaineen pitoisuuden aleneminen eri kohdissa verrattuna täydellisen sekoittumisen tilanteeseen.

Kuvassa 17 on esitetty havainnollisemmin pääkohdat pienen ravintolan mittaustuloksista baarimestarin ja asiakkaiden hengitysvyöhykkeen suhteellisen jälkiainepitoisuuden osalta. Kuvan 17 tilanteet olivat:

Tilanne a: Sekoittava ilmanjako $380 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($10 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$). Baaripöydän yläpuolinen tila avoin.

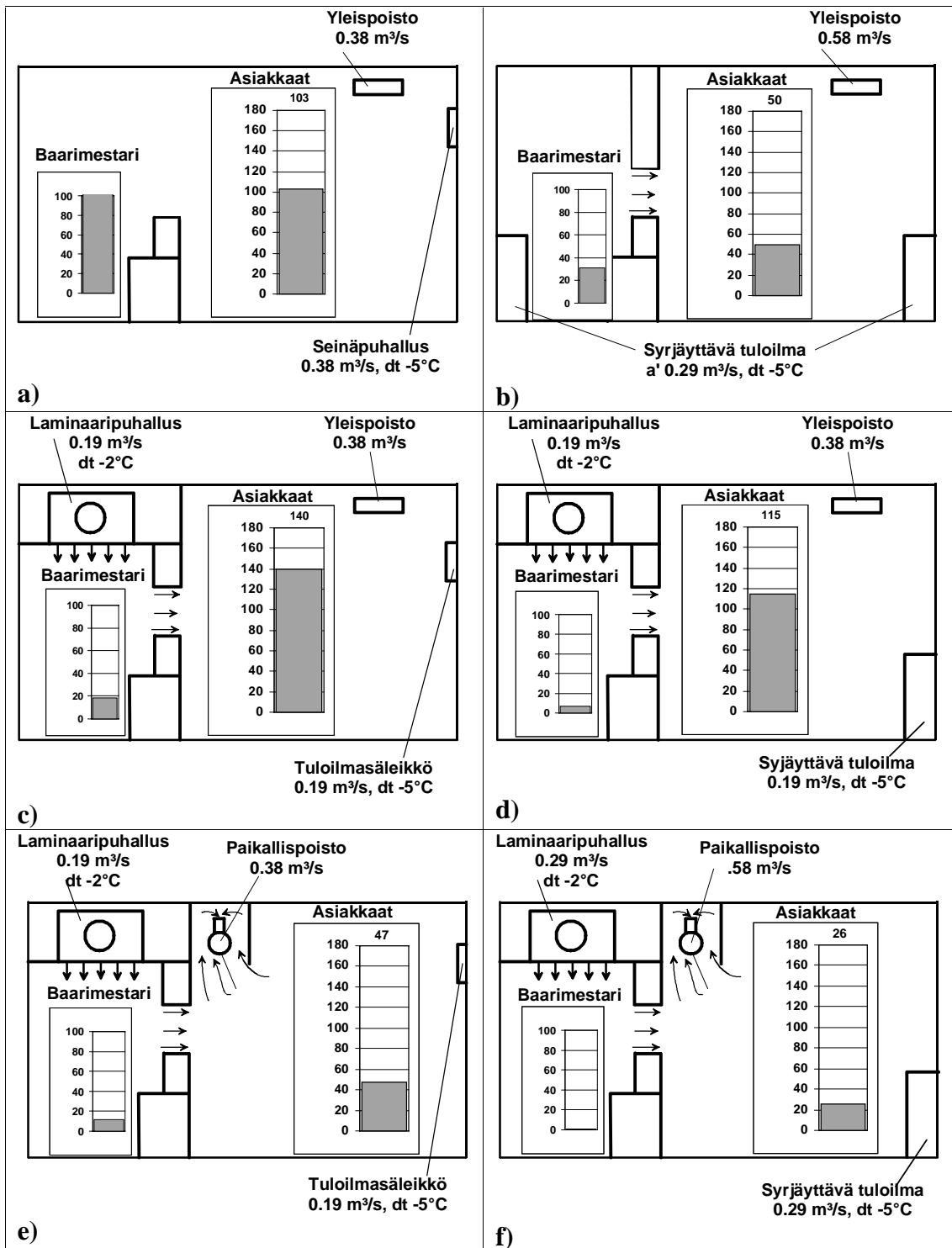
Tilanne b: Syrjäytys, asiakkaat $290 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja syrjäytys baarimestarille $290 \text{ dm}^3/\text{s}$. Baaripöydän yläpuolella hylly.

Tilanne c: Sekoittava ilmanjako asiakkaille $190 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja yläpuolinen tuloilmapuhallus baarimestarille $190 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Tilanne d: Kuten c, mutta asiakastilan tuloilmanjako syrjäyttävästi.

Tilanne e: Kuten c, mutta poisto keskitetty baaripöydän asiakkaiden yläpuolelle.

Tilanne f: Syrjäyttävä ilmanjako asiakkaille $290 \text{ dm}^3/\text{s}$, ja baarimestaritilan yläpuolinen tuloilma $290 \text{ dm}^3/\text{s}$. Poisto keskitetty baaripöydän asiakkaiden yläpuolelle.



Kuva 17. Baarimestaritilan ja asiakastilan suhteellinen jälkiainepitoisuus verrattuna täydellisen sekoittumisen tilanteeseen ilmapirralla $10 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Tulosten perusteella baarimestarin yläpuolinen piennopeusilmanjako alilämpötilalla 2°C alentaa merkittävästi työntekijän altistumista (tilanne 1, kuva 16 ja tilanne d, kuva 17). Alilämpötilan lisääminen heikentää tehokkuutta (tilanne 2, kuva 16). Kun ilmanvaihtoa lisätään, pitoisuus luonnollisesti alenee, päästön pysyessä ennallaan (tilanne 4, kuva 16). Kun ilmanja-

ko muutetaan sekoittavaksi, olosuhteet heikkenevät (tilanne 5, kuva 16 ja tilanne c, kuva 17). Baarimestarin yläpuoliseen tuloilmalaitteeseen lisätty reunus (kappa) paransi baarimestarin olosuhteita, kun asiakastilan tulo toteutettiin sekoittavasti (tilanne 7, kuva 16), mutta syrjäyttävissä tapauksessa (tilanne 11, kuva 16) siitä ei ollut merkittävää etua. Poiston keskittäminen baariasiakkaiden yläpuolelle paransi olosuhteita (tilanne 8, kuva 16) etenkin, kun poistoa tehostettiin kattoon asennetulla pystysuoralla levyllä (tilanne 9, kuva 16), ja tuloilma jaettiin syrjäyttävästi. Ilmavirran kasvattaminen alensi edelleen pitoisuutta (tilanne 12, kuva 16 ja tilanne f, kuva 17).

Baarimestarin työpisteen tupakansavupitoisuus saadaan tulosten perusteella todennäköisesti alhaiseksi, kun hänen työpisteeseen tuodaan ilmaa em. tavalla. Keskittämällä poistoa baariasiakkaiden yläpuolelle sekä jakamalla asiakkaiden tuloilma syrjäyttävästi tilanne edelleen paranee. Koska baarimestarin tuloilman alilämpötila ei saa mm. vetohaittojen takia olla yli 2 – 3 °C, on ko. tuloilmahaara syytä varustaa esim. sähköisellä jälkilämmityksellä, jonka tehoa voi baarimestari säätää. Etenkin pienissä ravintoloissa tästä on seurauksena tuloilman jäähtymisvaikutuksen heikkeneminen, joten mitoitusilmavirtaa tulisi mm. tästäkin syystä nostaa.

Tulosten mukaan baarimestarin altistuminen saadaan alhaiseksi, vaikka baaripöydän vieressä tupakoidaan. Jos baaripöydän vieressä ei tupakoida, on baarimestarin altistuminen todennäköisesti esitettyjä tuloksia vähäisempää. Asiakkaiden altistumista ei kuitenkaan saada millään em. ratkaisulla niin alhaiseksi, että tilanne olisi tupakoimattomien asiakkaiden kannalta tyydyttävä, jos tupakointi asiakkaiden puolella on sallittua.

6.2 Suuri ravintola

Suuressa koeravintolassa (Kuva 9) tutkittiin, miten eri ilmanvaihtoratkaisut ja osastojen välisen kulkuaukon rakenne vaikuttaa tupakoimattomien osaston jälkiainepitoisuuteen. Edellisistä kokeista poiketen tupakointi järjestettiin tapahtuvaksi satunnaisesti (8 tupakoivaa henkilöä). Tutkitut tilanteet olivat:

Tilanne 1: Tupakoimattomien osaston tulo ja poisto 390 dm³/s, tupakoivien 350 dm³/s. Valaistusteho tupakoimattomat 400 W, tupakoivat 360 W. Koneiden ja laitteiden lämpöteho tupakoimattomien osastolla 200 W. Henkilökuormitus tupakoimattomien osastolla 2300 W ja tupakoivien osastolla 2100 W. Lämpöhäviö tupakoivien osastolla 450 W ja tupakoimattomien osastolla 510 W. osastojen välinen kulkuaukko 2.56x2.97 m (10 % koko ravintolan pinta-alasta). Sekoittava ilmanjako.

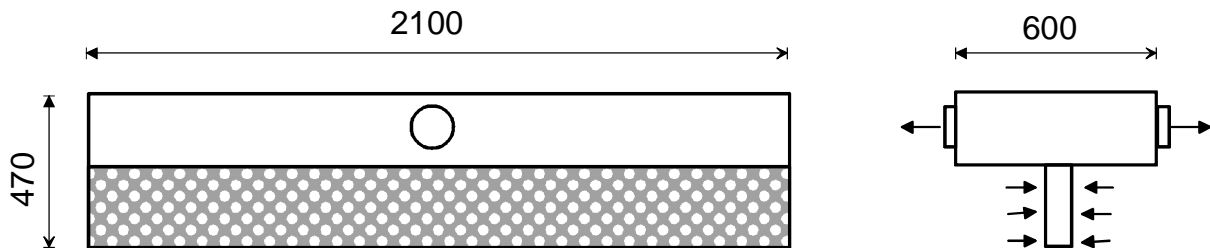
Tilanne 2: Sama muutoin kuin edellä, mutta henkilökuorma tupakoivien osastolla 3400 W ja tupakoimattomien osastolla 1000 W (henkilökuormasta n. 75 % tupakoivien puolella).

Tilanne 3: Kuten tilanteessa 2, mutta tupakointiosaston poisto lisätty arvoon 565 dm³/s ja tupakoimattomien vastaavasti vähennetty arvoon 175 dm³/s.

Tilanne 4: Kuten tilanteessa 3, mutta tupakoimattomien osaston tuloilmavirta lisätty arvoon 565 dm³/s ja tupakoimattomien vastaavasti arvoon 175 dm³/s.

- Tilanne 5: Kuten tilanne 4, mutta osastojen välistä aukon leveyttä pienennetty. Alkuperäinen leveys 2.56 m, uusi 1.67 m. (kulkuaukon koko 6.5 %).
- Tilanne 6: Kuten tilanne 5, mutta kulkuaukon leveys pienennetty arvoon 1.12 m (4.4 %).
- Tilanne 7: Tilojen välisen kulkuaukon korkeus pienennetty arvosta 2.97 m arvoon 1.96 m. Leveys 2.56 m, kulkuaukon koko 6.6 %).
- Tilanne 8: Kuten 7, mutta syrjäyttävällä ilmanjaolla (kulkuaukon koko noin 6,6 % koko ravintolan pinta-alasta).
- Tilanne 9: Kuten tilanne 5, mutta syrjäyttävällä ilmanjaolla (kulkuaukon koko n. 6,5 % ravintolan pinta-alasta).
- Tilanne 10: Kuten tilanne 6, mutta syrjäyttävällä ilmanjaolla (kulkuaukon koko n. 4,4 % ravintolan pinta-alasta).
- Tilanne 11: Tilanne Jeven, jolloin kulkuaukon kattoon asennettiin Jeven Oy:n prototyyppi poistoilmalaite. Kulkuaukon leveys 2.56 m, korkeus poistoilmalaitteen kohdalta 2.45 m, poistoilmalaitteen pituus 2.11 m. Kulkuaukosta avoinna n. 6.3 m² (8.3 % koko ravintolan pinta-alasta).

Tilanteissa 1 – 10 tulo- ja poistoilmanvaihto toteutettiin tavanomaisilla ilmanjakolaitteilla. Tilanteessa 11 käytettiin lisäksi kulkuaukon kattoon suunniteltua poistoilmanvaihtolaitetta (Kuva 18), jonka avulla tavoitteena oli kohdistaa poisto savulliselta savuttomalle puolelle virtaavaan ilmaan.



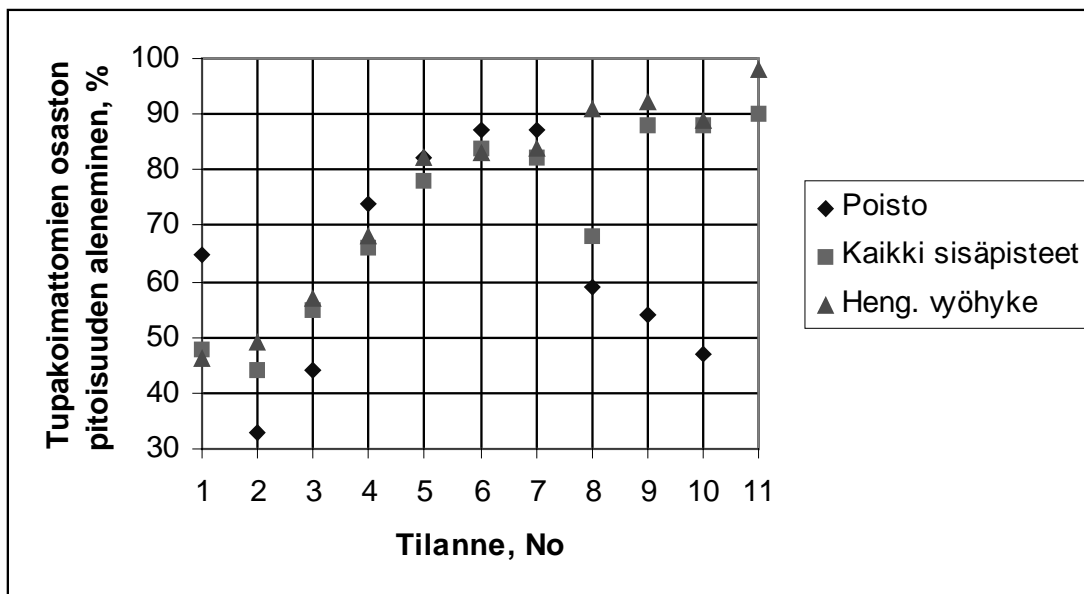
Kuva 18. Kulkuaukon kattoon sijoitettu poistoilmalaite.

Eri tilanteiden tuloksista laskettu savuttoman osaston jälkiainepitoisuuden suhteellinen aleneminen on esitetty kuvissa 19 ja 20 sekä ja taulukossa 3. Vertailupitoisuutena on käytetty täydellisen sekoittumisen tilannetta samassa ravintolassa. Savuttoman osaston poistosta lasketun pitoisuuden alenemisen voidaan olettaa edustavan koko savuttoman tilan jälkiainepitoisuutta. Kaikki sisäpisteet tarkoittaa kaikista sisäilman mittauspisteistä laskettua keskiarvoa. Hengitysvyöhykkeen arvot tarkoittavat 1,5 m:n korkeudelta mitattujen pitoisuuksien keskiarvosta laskettua pitoisuuden alenemista. Koska Jeven Oy:n prototyyppi poisti ilmaa sekä savulliselta, että savuttomalta puolelta (sijainti kulkuaukossa), ei ko. tapauksessa voida esittää poistosta laskettua vertailukelpoista tulosta.

Esim. jos ensin tupakointi on sallittu koko ravintolassa ja päätetään pelkästään siirtää tupakoivat omalle osastolle, alenee savuttoman puolen hengitysvyöhykkeen jälkiainepitoisuus eli tupakoimattomien henkilöiden altistuminen tässä tapauksessa noin 46 % .

Taulukko 3. Jälkiaineen pitoisuuden suhteellinen aleneminen (%) savuttoman osaston eri mittauskohdissa verrattuna täydellisen sekoittumisen tilanteeseen ilmavirralla $10 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$.

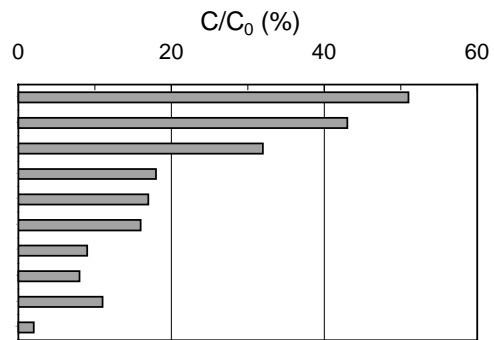
Tilanne no	Poisto	Kaikki sisäpisteet	Hengitysvyöhyke
1	65	48	46
2	33	44	49
3	44	55	57
4	74	66	68
5	82	78	82
6	87	84	83
7	87	82	84
8	59	68	91
9	54	88	92
10	47	88	89
11		90	98



Kuva 19. Tupakoimattomien osaston jälkiainepitoisuuden aleneminen verrattuna täydellisen sekoittumisen tilanteeseen ilmavirralla $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tilanne	Ilman jakotapa	Ilmavirta (m ³ /s)				Kulkuaukko, m ² (l x h)
		savuton osasto		savullinen osasto		
		tulo	poisto	tulo	poisto	
2	Sekoitus	0.39	0.39	0.35	0.35	2.6 x 3
3	Sekoitus	0.39	0.17	0.35	0.57	2.6 x 3
4	Sekoitus	0.57	0.17	0.17	0.57	2.6 x 3
5	Sekoitus	0.57	0.17	0.17	0.57	1.7 x 3
6	Sekoitus	0.57	0.17	0.17	0.57	1.1 x 3
7	Sekoitus	0.57	0.17	0.17	0.57	2.6 x 2
8	Syrjäytys	0.57	0.17	0.17	0.57	2.6 x 2
9	Syrjäytys	0.57	0.17	0.17	0.57	1.7 x 3
10	Syrjäytys	0.57	0.17	0.17	0.57	1.1 x 3
11	Syrjäytys *)	0.57	0.08	0.17	0.46	2.6 x 2.4

*) Jeven Oy:n poistolaitte kulkuaukon katossa, ilmavirta 0.2 m³/s



Kuva 20. Savuttoman osaston suhteellinen jälkiainepitoisuus verrattuna täydellisen sekoittumisen tilanteeseen ilmavirralla 10 dm³/s.

Tuloksista voidaan päätellä, ettei pelkkä osastointi alenna tupakoimattomien asiakkaiden altistumista riittävästi (tilanne 1). Jos asiakkaat keskittyvät tupakoivien osastolle, ei pelkän poiston lisääminen ko. osastolle riitä. Lisäämällä tuloilmaa tupakoimattomien puolelle ja vastaavasti vähentämällä sitä tupakoivien puolelta, tilanne paranee, vaikka tuloilma jaetaan sekoittavasti. Kun osastojen välistä kulkuaukkoa pienennetään sivusuunnassa, tilanne paranee edelleen (tilanne 5 ja 6). Katosta tapahtuva kulkuaukon rajoittaminen on suhteessa tehokkaampi kuin sivusuunnasta (tilanne 7). Siirtymällä syrjäyttävään ilmanjakoon olosuhteet edelleen paranevat (tilanteet 8 – 10). Lisäämällä poisto (Jeven) katonrajaan kulkuaukkoon, saadaan jo varsin tehokas järjestelmä.

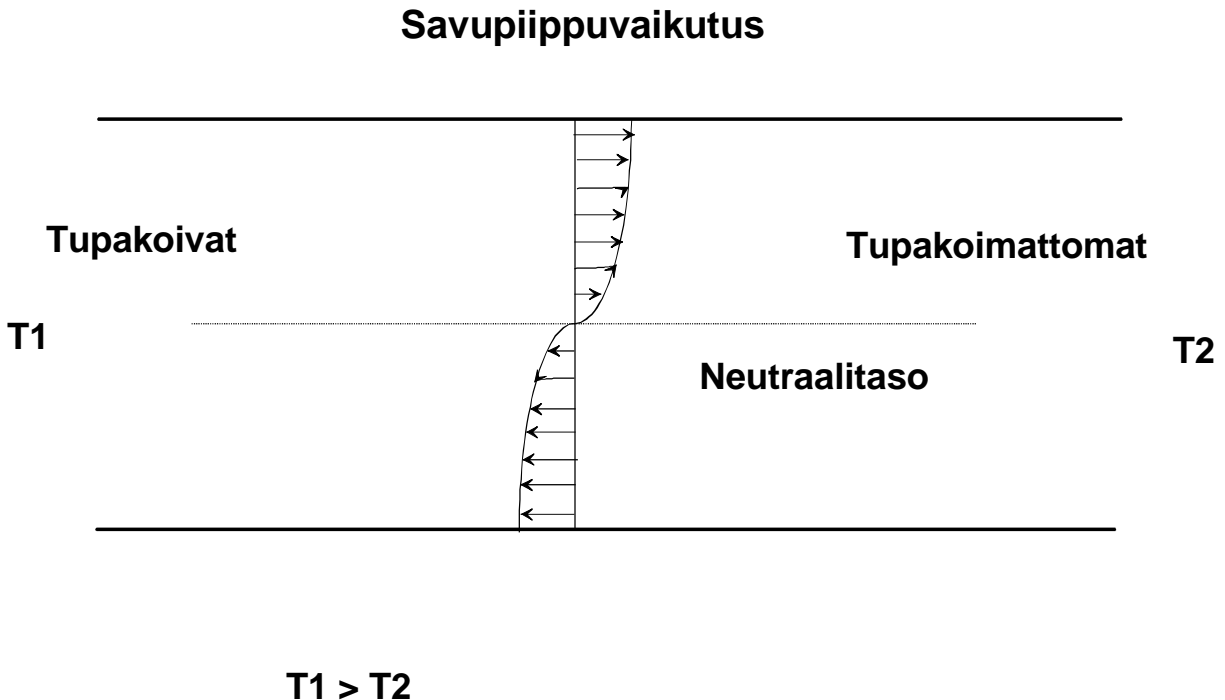
Tuloksissa on otettava huomioon, että myös tupakointikohtien sijoittuminen tupakointiosastolla vaikuttaa savun kulkeutumiseen tupakoimattomien osastolle. Tulosten perusteella saa esim. käsityksen, että kulkuaukon kaventamisesta ei ole hyötyä syrjäyttävällä ilmanjaolla (tilanteet 9 ja 10). Ristiriita johtuu siitä, että tilanteessa 9 tupakoinnista keskittyi 59 % tupakointiosaston peräosaan, lähelle poistoa ja tilanteessa 10 vain 47 %, jolloin tilanteen 9 tulos on hieman liian hyvä ja tilanteen 10 liian huono. Myös tilanteessa 11 keskittyi tupakoinnista osaston takaosaan vain 45 %, joten tasaisella tupakoinnilla ko. tulos olisi todennäköisesti vielä hieman parempi.

Tuloksista voidaan myös päätellä, että pitämällä osastojen välinen kulkuaukko verraten pienenä, voidaan sopivalla ilmanjaolla rajoittaa merkittävästi tupakansavun kulkeutumista tupakoimattomien puolelle. Pelkkä osastointi ei kuitenkaan ole riittävä toimenpide. Myös sekoittavan ilmanjaon käyttö, ainakin, jos tuloilmasuihkut osuvat kulkuaukkoon voi johtaa tehottomaan järjestelmään.

7 Savupiippuvaikutus kulkuaukolla

Osastojen välille syntyy aina lämpötilaero, joka pyrkii tasoittumaan ns. savupiippuvaikutuksen synnyttämän ilmavirran avulla. Jos osastojen välillä ei ole ilmanvaihdon aiheuttamaa virtausta, kulkuaukon keskikohdalle syntyy ns. neutraalivyöhyke. Jos savullinen osasto on läm-

pimämpi kuin savuton, kulkee ilma neutraalivyöhykkeen yläpuolella savulliselta osastolta savuttomalle ja neutraalivyöhykkeen alapuolella päinvastaiseen suuntaan. Koska epäpuhtaampi ilma on yleensä katonrajassa, on parempi, että savullinen osasto on lämpimämpi kuin savuton eikä päinvastoin. Savupiippuvaikutusta selventää kuva 25.



Kuva 25. Ravintolan eri osastojen välinen savupiippuvaikutus.

Savupiippuvaikutuksen synnyttämää osastojen välisen ilmvirran q_v laskentaan on johdettava kaava (2), kun osastojen välinen koneellinen ilmanvaihtuvuus = 0 ja oletetaan savuttoman osaston olevan viileämmän kuin savullisen puolen.

$$q_v = \frac{1}{3} L H \sqrt{\frac{(\rho_2 - \rho_1) g H}{\rho_1}} \quad (2)$$

Kaavassa (2) L on kulkuaukon leveys,
 H kulkuaukon korkeus,
 ρ_1 ilman tiheys savullisella osastolla,
 ρ_2 ilman tiheys savuttomalla osastolla ja
 g maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyyys.

Ilman tiheys ρ voidaan laskea kaavasta

$$\rho = 1.293 * \frac{273}{T} \quad (3)$$

missä T ilman absoluuttinen lämpötila.

Normaalisti osastojen välisen kulkuaukon kautta kulkee myös koneellisen ilmanvaihdon epä-tasapainon vuoksi ilmaa. Tavoitteena on, että ilmanvaihdon ilmavirran kulkusuunta on savuttomalta puolelta savulliselle. Jos ajatellaan tämän pakotetun virtauksen vaikuttavan tasaisesti koko kulkuaukon virtausnopeuteen, nousee neutraalitaso ko. virtauksen ansiosta. Ko. nousulle ΔH voidaan johtaa kaava

$$\Delta H = \left(\frac{\Delta q}{L H} \right)^2 \frac{\rho_1}{2 (\rho_2 - \rho_1) g}, \quad (4)$$

missä Δq on ilmanvaihtojärjestelmän savuttomalta puolelta savulliselle puolelle siirtämä ilmavirta.

Ilmanvaihtojärjestelmän ja savupiippuilmiön yhteisvaikutuksesta savulliselta savuttomalle osastolle siirtyvälle ilmavirralla q_v voidaan johtaa kaava

$$q_v = \frac{1}{3} L H \sqrt{\frac{(\rho_2 - \rho_1) g H}{\rho_1}} - \frac{2}{3} \Delta H \sqrt{\frac{2 (\rho_2 - \rho_1) g \Delta H}{\rho_1}} - \frac{\Delta q}{2} + \frac{\Delta q \Delta H}{H}. \quad (5)$$

Jotta osastojen väliset ilmavirrat voidaan laskea, tulee tietää osastojen lämpötilat, jotka taas riippuvat lämpöhäviöistä, ilmanvaihtolaitoksen kautta virtaavista ilmavirroista ja osastojen välisestä vuotoilmanvaihdosta (kaava 5). Yksinkertaisuuden vuoksi tarkastellaan ravintolaa, jonka savuton ja savullinen puoli ovat samankokoiset, molemmilla osastoilla ilma sekoittuu täydellisesti, ulkoilman lämpötila = sisäänpuhalluslämpötila ja kummankin osaston lämpöhäviöt (konduktanssi) ulos ovat yhtä suuret. Lisäksi savuttoman puolen tuloilmavirta = savullisen poistoilmavirta ja savullisen tuloilmavirta = savuttoman poistoilmavirta. Tällöin savuttoman puolen lämpötilalle t_2 voidaan johtaa kaava

$$t_2 = \frac{Q_2 + t_s (q_{s2} c_i + G) + t_1 q_v c_i}{(q_{s2} c_i + G + q_v c_i)}, \quad (6)$$

missä	Q_2 on	savuttoman puolen lämpökuorma,
	t_s	tuloilman ja ulkoilman lämpötila,
	q_{s2}	savuttoman puolen tuloilmavirta,
	c_i	ilman ominaislämpö
	G	savuttoman ja savullisen puolen ulkoseinien konduktanssi,
	t_1	savullisen puolen lämpötila ja
	q_v	savulliselta savuttomalle puolelle virtaava ilmavirta.

Vastaavasti savullisen puolen lämpötilalle t_1 voidaan johtaa kaava

$$t_1 = \frac{Q_1 (G + q_{s2}c_i + q_v c_i) + t_s ((G + q_{e2}c_i)(G + q_{s2}c_i + q_v c_i))}{(G + q_{s2}c_i + q_v c_i)^2 - q_v c_i (q_{s2}c_i - q_{e2}c_i + q_v c_i)} + \frac{(G + q_{s2}c_i)(q_{s2}c_i - q_{e2}c_i + q_v c_i) + Q_2 (q_{s2}c_i - q_{e2}c_i + q_v c_i)}{(G + q_{s2}c_i + q_v c_i)^2 - q_v c_i (q_{s2}c_i - q_{e2}c_i + q_v c_i)} \quad (7)$$

Kaavassa (7) Q_1 on savullisen puolen lämpökuorma ja q_{e2} savuttoman puolen poistoilmavirta.

Lopputuloksen kannalta on kiinnostavinta tietää, miten savuttoman puolen ilman epäpuhtauspitoisuus muuttuu, kun ravintola osastoidaan. Tässä tapauksessa savuttoman puolen epäpuhtauspitoisuuden suhteellinen pitoisuuden aleneminen C_2 alkuperäiseen verrattuna voidaan laskea kaavasta

$$C_2 = 1 - \frac{(q_{s2} + q_{e2}) q_v}{q_{s2}^2 + q_{s2}q_v + q_{e2}q_v} \quad (8)$$

Esimerkiksi, kun savullisen puolen lämpökuorma on 3700 W, ulkoseinien konduktanssi 90 W/°C, osastojen välisen kulkuaukon korkeus 2.97 m ja leveys 1.12 m, savuttoman puolen tuloilmavirta (= savullisen poisto) 555 dm³/s, poistoilmavirta (= savullisen tulo) 185 dm³/s sekä tuloilman lämpötila 15°C (= ulkoilman lämpötila), saadaan edellisistä kaavoista iteroimalla savullisen puolen lämpötilaksi 21.6 °C, savuttoman puolen lämpötilaksi 19.1 °C, savulliselta savuttomalle puolen virtaavaksi ilmavirraksi 373 dm³/s ja savuttoman puolen epäpuhtauspitoisuuden suhteelliseksi alenemiseksi 53 %. Verrattuna mitattuun arvoon (kuva 10) 83 %, on laskelman antama tulos huomattavasti alhaisempi. Todennäköisesti tuloilman keskittäminen savuttomalle puolelle johtaa siihen, että savullisen puolen tuloilmasuihkun sekoitusvaikutus jää vähäiseksi. Suurin osan savullisen puolen tuloilmasta virtaakin kulkuaukon alaosan kautta, jolloin ko. aukko käytännössä toimii suurena syrjäyttävänä tuloilmalaitteena savullisen puolen suuntaan. Tämä taas johtaa siihen, että savullisen puolen epäpuhtaudet ja yli-
lämpö poistuvat tehokkaammin, kuin mitä voidaan olettaa täydellisen sekoittumisen mallin avulla.

Koska osastojen välisen kulkuaukon ilmavirtaukset ratkaisevat, kuinka suureksi savuttoman puolen tupakansavupitoisuus muodostuu, eräänä vaihtoehtona olisi siirtää savullisen puolen ilmaa puhdistettuna savuttomalle puolelle. Tämä ratkaisu lisäisi pakotettua virtausta kulkuaukon läpi savulliselle puolelle ja tasaisi osastojen lämpötilaeroa heikentäen näin savupiippuvaikutusta. Koska savullisen puolen lämpötila on korkeampi kuin savuttoman, nostaisi ratkaisu yhdessä puhdistuslaitteen lämpötehon kanssa savuttoman puolen lämpötilaa, mikä edelleen heikentäisi savupiippuvaikutusta. Jos edellä esitettyyn täydellisellä sekoituksella varustettuun ravintolaan lisätään savulliselta savuttomalle puolen siirtävä ilmanpuhdistusjärjestelmä, saadaan osastojen lämpötiloille ja kulkuaukon läpi savuttomalle puolen virtaavalle ilmavirralla kaavat

$$t_2 = \frac{Q_2 + t_s (q_{s2}c_i + G) + t_1 (q_v + q_k)c_i}{(q_{s2}c_i + G - q_v c_i + q_k c_i)} \quad (9)$$

ja

$$t_1 = \frac{Q_1 (G + q_{s2}c_i + q_v c_i + q_k c_i) + t_s ((G + q_{e2}c_i)(G + q_{s2}c_i + q_v c_i + q_k c_i) + (G + q_{s2}c_i + q_v c_i + q_k c_i)^2 - (q_v c_i + q_k c_i)(q_{s2}c_i - q_{e2}c_i + q_v c_i + q_k c_i))}{(G + q_{s2}c_i)(q_{s2}c_i - q_{e2}c_i + q_v c_i + q_k c_i) + Q_2 (q_{s2}c_i - q_{e2}c_i + q_v c_i + q_k c_i)} + \frac{(G + q_{s2}c_i)(q_{s2}c_i - q_{e2}c_i + q_v c_i + q_k c_i) + Q_2 (q_{s2}c_i - q_{e2}c_i + q_v c_i + q_k c_i)}{(G + q_{s2}c_i + q_v c_i + q_k c_i)^2 - (q_v c_i + q_k c_i)(q_{s2}c_i - q_{e2}c_i + q_v c_i + q_k c_i)}, \quad (10)$$

joissa Q_2 on savuttoman puolen lämpökuorman ja ilmanpuhdistimen tehon summa ja q_k savulliselta puolelta savuttomalle puolelle ilmanpuhdistimen kautta siirtyvä ilmavirta.

Ilmanpuhdistimen vaikutus savuttoman puolen ilman tupakansavun suhteellisen pitoisuuden alenemiseen C_2 alkuperäiseen verrattuna voidaan laskea nyt kaavasta

$$C_2 = 1 - \frac{(q_{s2} + q_{e2} + q_k - f * q_k) (q_v + f * q_k)}{q_{s2}^2 + q_k^2 + 2q_{s2}q_k + q_{s2}q_v + q_v q_k + q_{e2}q_v - f * (q_k^2 + q_{s2}q_k + q_v q_k - q_{e2}q_k)}, \quad (11)$$

missä f on puhdistinlaitteen läpäisy.

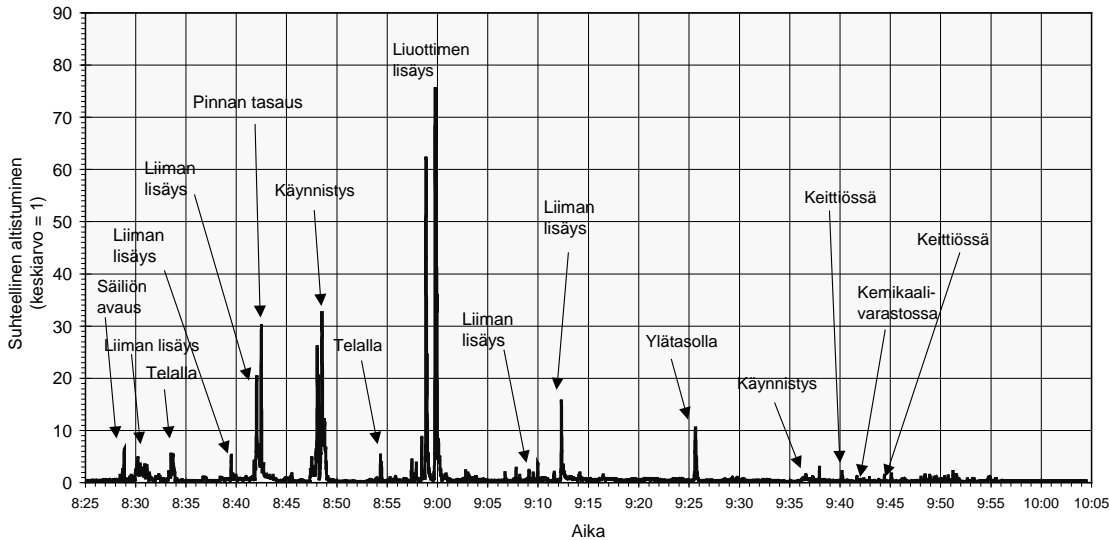
Kun edellisen esimerkin tapaukseen lisätään savulliselta savuttomalle puolelle ilmaa siirtävä ilmanpuhdistin, jonka ilmavirta on $370 \text{ dm}^3/\text{s}$, tupakansavun läpäisy 2 % ja lämpöteho 450 W, tulee savullisen puolen sisälämpötilaksi $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ja savuttoman puolen $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Vuotoilmavirta savulliselta savuttomalle on nyt $154 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja tupakansavupitoisuuden suhteellinen aleneminen savuttomalla puolella 77 %.

Puhdistetun siirtoilman käyttö näyttäisi laskelman perusteella vähentävän tehokkaasti epäpuhtaan ilman siirtymistä savulliselta savuttomalle puolelle. Edellytyksenä luonnollisesti on, että siirtoilman puhdistuslaite toimii luotettavasti korkealla erotusasteella riittävän kauan ennen huoltoa. Toinen edellytys on, että viranomaiset hyväksyvät ko. ratkaisun. Koska ravintolan savullisen puolen poistoilma kuuluu ilmanvaihtomääräysten (Annon, 1987) mukaan jäteluokkaan 5, ei ko. ilmaa saa käyttää edes puhdistettuna siirtoilmana. Tästä syystä ko. ratkaisua ei voitane käyttää, vaikka siitä olisikin hyötyä.

8 Tupakansavulle altistumistavan vaikutus

Työntekijöiden altistuminen ilman epäpuhtauksille voidaan jakaa periaatteessa kahteen osaan eli yleisilman kautta tulevaan altistumiseen sekä suoraan päästölähteestä tapahtuvaan altistumiseen. Työtehtävästä ja päästön luonteesta riippuu, mikä osuus altistumisen kannalta on merkittävin. Tyypillinen esimerkki työtehtävästä on liimaustyön tekijän altistuminen liimauksen ja liiman valmistuksen yhteydessä (Kuva 21). Kyseisessä työssä työntekijän altistumiseen vaikuttaa huomattavasti ne tyøjaksot, jolloin hän on päästölähteen vieressä. Vastaavasti tarjoilijoiden osalta on todennäköistä, että heidän altistumiseensa tupakansavulle vaikuttavat merkittävästi ne työvaiheet, jolloin he ovat tupakoivan asiakkaan vieressä. Jos työntekijän, kuten myös tarjoilijoiden, altistuminen koostuu pääosin hetkellisistä pitoisuushuipuista, on

hänen altistumisensa oleellinen vähentäminen yleisilmanvaihdolla usein vaikeaa tai toisinaan käytännössä mahdotontakin.



Kuva 21. Liimaustyöntekijän hengitysvyöhykkeen hiilivetyypitoisuuden vaihtelu eri työtehtävissä (Heinonen 1999).

Erilaisissa työtehtävissä ilman epäpuhtauksille altistumista kuvaava hengitysvyöhykkeen epäpuhtauspitoisuus voidaan jakaa yleisilmasta ja suoraan päästölähteestä tulevaan osuuteen. Karkeammilla pölyillä (esim. leipomot) suoraan päästölähteestä tuleva osuus on merkittävä, koska pölyn viipymäaika ilmassa laskeutumisesta johtuen on lyhyt, eikä yleisilman epäpuhtauspitoisuus voi näin nousta suureksi.

Liuotainaineiden ja tupakansavun osalta voidaan olettaa, että epäpuhtauden laskeutumisella ei ole merkitystä. Näin myös yleisilman epäpuhtaudet vaikuttavat enemmän altistumiseen kuin esim. leipomotyössä. Kuitenkin on syytä olettaa, että päästölähteestä suoraan tuleva altistuminen on merkittävää pöytiin tarjoiluvaiheissa, baaripöydän vieressä (baarimestari) sekä pelipaikalla (pelipaikan hoitaja). Tupakoimattomien asiakkaiden osalta suora altistuminen muodostuu merkittäväksi jos viereinen asiakas tupakoi.

Ravintolatyöntekijöiden ja asiakkaiden altistumisen osalta ei ole käytettävissä tietoja suoraan päästölähteestä tulevasta osuudesta. Ravintoloiden yleisilmassa on tupakansavun pitoisuutta kuvaavan nikotiinin pitoisuus esim. yökerhoissa ja tanssiravintoloissa vaihdellut välillä 5 – 111 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hyvärinen et. al. 1998). Työntekijöiden henkilökohtaisissa näytteissä vaihteluväli on ollut 28.8 – 50.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bergman et al. 1996). Kaikissa tuloksissa on todennäköisesti mukana mittauskohtaan yleisilmasta ja suoraan päästölähteestä tulleen epäpuhtauden osuus, mutta ko. osuudesta ei ole selvyyttä.

Päästölähteestä suoraan tulevan epäpuhtausmäärän osuuden vaikutus tupakoimattomien asiakkaiden osalta on merkityksetön, kun ravintolat on jaettu savullisiin ja savuttomiin osiin. Työntekijöiden osalta merkitystä vähentää tupakointikielto baaripöydän vieressä sekä pelitilassa. Myös kohdassa 6.1.2 esitetty baarimestaritilan ilmastointiratkaisu alentaa suoraan

päästölähteestä tapahtuvaa altistumista. Ellei työolosuhteissa tapahdu muutoksia, jää tarjoilijoiden suoraan päästölähteestä tapahtuva altistuminen entiselleen, jos pöytiintarjoilua on tupakoiville asiakkaille yhtä paljon kuin aikaisemmin.

Osastoidussa ravintolassa tupakoimattomien asiakkaiden altistuminen tapahtuu yleisilman kautta. Jälkiainemittausten mukaan savuttoman puolen hengitysvyöhykkeen jälkiainepitoisuus aleni parhaassa tapauksessa 98 % osastoimattomaan ravintolaan verrattuna.

Baarimestarin työpisteen hengitysvyöhykkeen jälkiainepitoisuus aleneminen oli suurimmillaan 96 – 99 %. Periaatteessa voidaan siis olettaa, että jos baarimestaritila on hyvin ilmastoitu, työntekijöiden altistuminen osastoidussa ravintolassa tapahtuu pääosin savullisella puolella tehdyn työn aikana. Jos tupakansavun suoran päästön merkitys on vähäinen, voidaan arvioida, että altistuminen riippuu tällöin suoraan oleskeluajasta savullisella puolella. Eli esimerkiksi, jos tarjoilijan savullisen puolen pöytiintarjoiluvaiheet kattavat hänen työajastaan 20 %, voidaan hänen altistumistaan alentaa korkeintaan 80 %. Todennäköisesti ei ko. tulosta saavuteta, koska päästölähteestä suoraan tulevalla epäpuhtaudella on mahdollisesti huomattava merkitys.

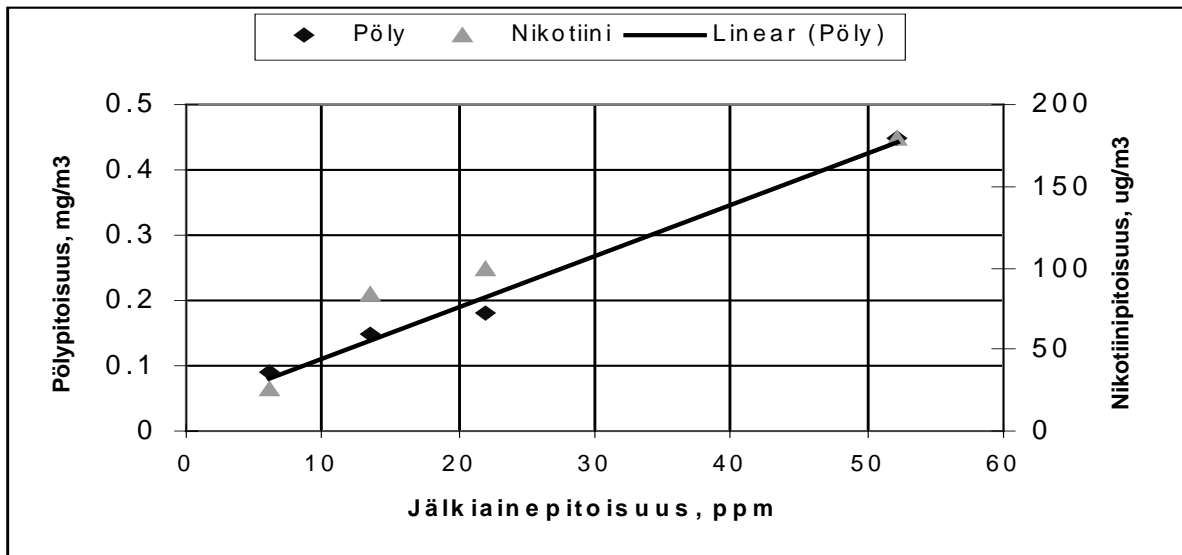
9 Nikotiini ilmastoinnin tehokkuuden merkkiaineena

Tupakansavun sijasta tutkimuksessa käytettiin merkkiaineena ilmastointitutkimuksissa yleisesti käytettävää rikkiheksafluoridia (SF_6). Jälkiaineen käyttökelpoisuuden varmistamiseksi tutkittiin, miten oikean tupakansavun sisältämät hiukkaset ja nikotiini kulkeutuu koetilassa eri kohtiin verrattuna samanaikaisesti syötettyyn jälkiaineeseen.

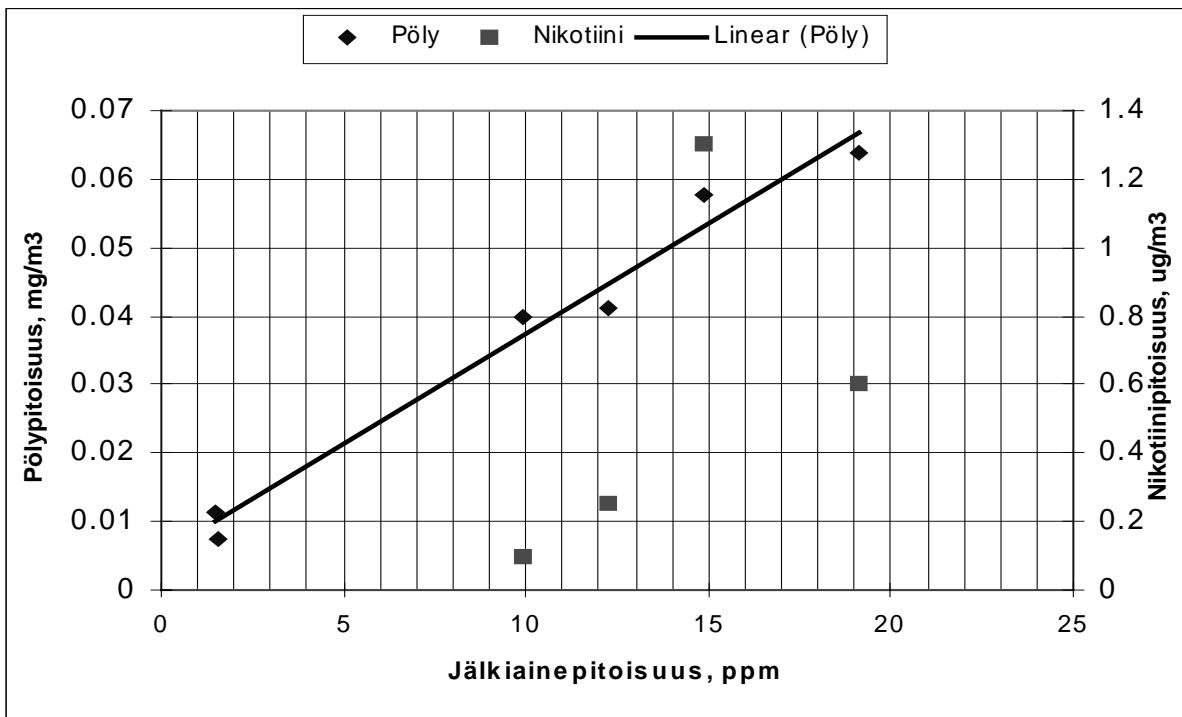
Tupakansavun tuotto toteutettiin sijoittamalla itsestään palavia savukkeita savukepitimiin. Savukepitimet oli yhdistetty imuletkuilla imupumppuun, joka imi jaksoittain hieman ilmaa palavien savukkeiden kautta. Näin varmistettiin savukkeiden tasainen palaminen. Käytännöllisesti katsoen kaikki savu kuitenkin tuli ns. sivuvirtana.

Samanaikaisesti tupakointikohtaan syötetyn jälkiaineen sekä savukkeista syntyneen nikotiinin ja savun massapitoisuus mitattiin koeravintolan eri kohdista. Nikotiinin pitoisuus määritettiin keräämällä ilmanäytteet TENAX-TA-putkiin ja savun kiinteän osuuden massapitoisuus keräämällä ilmanäytteet Nuclepore-suodattimille. Tupakansavun tuoton sekä nikotiinin näytteenoton ja analyysin teki Uudenmaan aluetyöterveyslaitos. Jälkiaineen syötön ja mittauksen sekä pölypitoisuuden määrittämisen teki VTT Automaatio.

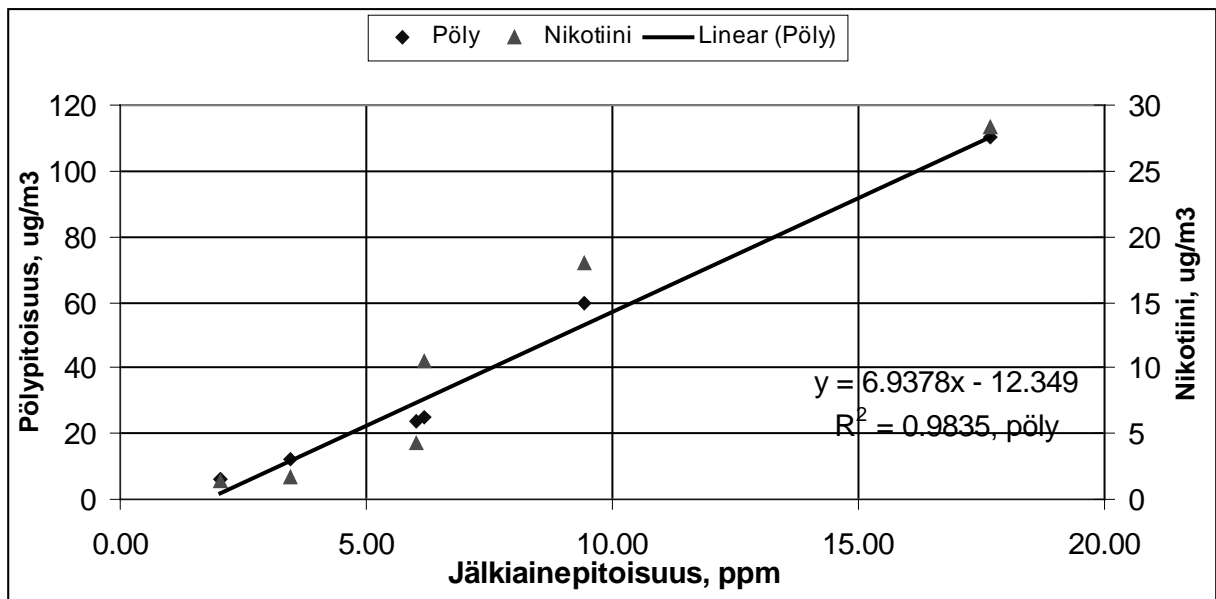
Kaikkiaan tehtiin kolme koetta, joiden tulokset on esitetty kuvissa 22 – 24.



Kuva 22. Tupakansavun synnyttämän pölyn ja nikotiinin pitoisuus jälkiainepitoisuuden funktiona. Suuri savupitoisuus pienessä ravintolassa.



Kuva 23. Tupakansavun synnyttämän pölyn ja nikotiinin pitoisuus jälkiainepitoisuuden funktiona. Pieni savupitoisuus pienessä ravintolassa.



Kuva 24. Tupakansavun synnyttämän pölyn ja nikotiinin pitoisuus jälkiainepitoisuuden funktiona. Kohtuullinen savupitoisuus suuressa ravintolassa.

Ensimmäisen koevaiheen puutteena oli, että pölynäytteenottosuodattimet ylikuormittuivat, jolloin suurempien pölypitoisuuksien mittaustulokset ovat epäluotettavia. Myöskään tuloilman pölypitoisuutta ei mitattu, vaan taustakorjauksessa oletettiin tuloilman pölypitoisuudeksi $0,03 \text{ mg/m}^3$. Kuvien 23 ja 24 tilanteissa pölyn näytteenotossa eivät näytteenottosuodattimet kuormittuneet liiaksi, lisäksi koeravintolan tuloilman pölypitoisuusmäärityksen ansiosta taustakorjaus voidaan olettaa luotettavaksi. Nikotiinin osalta ei taustakorjausta tehty, koska ensimmäisessä koevaiheessa tuloilman nikotiinipitoisuus oli alle määrittysrajan.

Mittaustulosten perusteella tupakansavun kiinteä osuus ja jälkiaine kulkeutuu syntypaikastaan ravintolan eri kohtiin hyvin yhtäpitävästi, joten jälkiainemenetelmää voidaan käyttää tupakansavun kiinteän osuuden liikkeiden kuvaamiseen. Nikotiinin suhteen tulokset ovat etenkin pienissä pitoisuuksissa epävarmempia. Tulokseen voi vaikuttaa määrittäjävarmuus. Lisäksi on huomattava, että nikotiini adsorboituu sisäilmasta ravintolan sisäpinnoille ja toisaalta emittoituu takaisin sisäilmaan. Pitoisuuden nousuvaiheessa adsorboituminen on suurempi kuin emittoituminen, jolloin nikotiinimittauksen perusteella saadaan hieman todellisuutta parempi tulos määritettäessä ilmanvaihdon epäpuhtauksien poiston tehokkuus. Vastaavasti esim. vilkkaan ravintolaillan jälkeen voi seuraavana aamuna ravintolan sisäpinnoista emittoitua nikotiinia siinä määrin, että ilmanvaihdon tehokkuudesta saadaan todellisuutta alhaisempi tulos.

10 Tulosten tarkastelu

Koetulosten perusteella on ilmeistä, ettei pelkällä yleisilmanvaihdoilla voida alentaa riittävästi ravintolatyöntekijöiden tai tupakoimattomien asiakkaiden altistumista jos tupakointi on sallittu koko ravintolassa. Jos työntekijä oleskelee pääasiassa rajatulla alueella (baarimestari,

pelipöydän hoitaja), voidaan hänen altistumistaan alentaa merkittävästi paikallisilmanvaihdolla, vaikka tupakointi olisi sallittu esim. baaripöydän vieressä.

Tupakoimattomien asiakkaiden altistumisen merkittävä alentaminen on mahdollista ainakin seurustelu- ym. runsaasti tupakansavua sisältävissä ravintoloissa vain selkeällä osastoinnilla ja samanaikaisesti toteutetuilla ilmanvaihto- ja rakenneratkaisuilla. Lopputuloksen kannalta on tällöin välttämätöntä, että suunnitteluvaiheessa tiedetään, mihin osiin ravintolaa tupakoivat ja tupakoimattomat asiakkaat sijoitetaan, jotta suunnitteluvaiheessa voidaan poistoilmanvaihtoa keskittää savulliselle puolelle ja tuloilmaa savuttomalle puolelle.

Uusien ravintoloiden suunnittelun tavoitteeksi on esitetty, ettei savuttoman osaston nikotiinipitoisuus tulisi ylittää arvoa $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 h:n keskiarvo). Seurusteluravintoloissa vilkkaina iltoina nikotiinipitoisuuden suuruusluokka on todennäköisesti $35 - 45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joten pitoisuutta tulisi alentaa noin 98 – 99 %. Em. kokeiden perusteella voidaan arvioida, että ainakin lähelle ko. tavoitetta päästään, jos tupakoimattomien puolen tuloilmavirta on $20 \text{ dm}^3/\text{m}^2$, ja tupakoivien esim. $5 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Vastaavasti poistoilmavirta olisi tupakoivien osastolla $20 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ ja tupakoimattomien puolella $5 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Osa poistosta olisi hyvä kohdistaa kulkuaukon katonrajaan. Osastojen välinen kulkuaukko tulisi olla korkeintaan 10 % ravintolan koko pinta-alasta. Koska ruokaravintoloissa tupakointi on vähäisempää, voisi osastojen välinen kulkuaukko olla tällöin suurempi.

Työntekijöiden altistumista ei voida alentaa yhtä paljon kuin tupakoimattomien asiakkaiden, koska työntekijät joutuvat käymään myös savullisella puolella. Työntekijöiden altistumisen alentaminen edellyttää ilmastoinnin tehostamisen ohella heidän työjärjestelyiden muuttamisen niin, että oleskelu savullisella puolella muodostuu mahdollisimman vähäiseksi. Se, kuinka vähäiseksi altistuminen voidaan korkeintaan alentaa edellyttäisi selvitystä siitä, kuinka suuri osuus altistumisesta johtuu oleskelemisestä tupakoivan henkilön vieressä pöytiintarjoiluvaiheissa. Todennäköisesti ko. työvaiheen merkitys saataisiin selville ns. PIMEX - menetelmällä (Heinonen 1999). Tämän osuuden selvittäminen on siitä syystä tärkeää, että ko. altistumiseen ilmastoinnilla voidaan vaikuttaa vähemmän kuin muihin altistumisvaiheisiin.

Tarkasteltaessa laskelmien avulla osastojen välillä tapahtuvaa luonnollista ilmanvaihtoa (savu- ja lämpövaikutus) ja sen merkitystä saatiin tulokseksi, että osastojen ilma sekoittuu tehokkaammin kuin mittaukset osoittivat. Ilmeisesti etenkin savullisella puolella ei kuitenkaan vallitse täydellistä sekoittumista, vaan osaston ilmanvaihto toimii koetilanteessa suurelta osin syrjäyttävästi. Yksinkertaisessa laskentamallissa ei tätä voitu ottaa huomioon. Jos laskentaan olisi voitu käyttää numeerista virtausmallia, olisi laskelmien avulla mahdollisesti saatu kokeellisia arvoja paremmin vastaavia tuloksia. Käytännön suunnittelutyössä virtauslaskenta on todennäköisesti hyödyllinen laskentaväline arvioitaessa eri ilmanvaihto-, rakenne- ja sisustus- ratkaisujen vaikutusta sisäilman laatuun.

Tupakansavun syöpävaarallisuuden takia on mahdollista, että tupakointiosaston poistoilma on johdettava ulos asti omassa kanavassa, jottei häiriötilanteissa poistoilmakanavien kautta pääse virtaamaan likaista ilmaa tupakoimattomien osastolle. Tämä tuntuu turhalta ainakin, jos osastot ovat kulkuaukon kautta toisiinsa yhteydessä. Häiriötilanteissa likainen ilma kulkeutuu tupakoimattomien osastolle joka tapauksessa sisäkautta niin tehokkaasti, ettei poistokanavien kautta tapahtuvalla kierrolla ole merkitystä.

11 Lähdeluettelo

Annon, (1987). Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 1987. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. Helsinki. 19 s.

Bergman T A, Johnson D L, Boatright D T, Smallwood K G and Rando R J. (1996). Occupational exposure of nonsmoking nightclub Musicians to environmental tobacco smoke. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 57:746 – 752.

Brohus H. (1997). Personal exposure to contamination sources in ventilated rooms. Ph.D.Thesis. Ahlborg University, Department of Building Technology and Structural Engineering. 264 s.

Enbom, S. (1986). Valukappaleiden puhdistuskopin ilmanvaihto. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 557. Espoo. 39 s + liit.

Guffey, S., E. (1998) Proceedings of the workshop on ventilation engineering controls for environmental tobacco smoke in the hospitality industry. ACGHI, Cincinnati. 176 s.

Hyvärinen M, Mielo T, Reijula K, Welling I, ja Marttinen K. (1998). Passiivitupakoinnin vähentäminen ravintoloissa – ilmanvaihtoteknisten ratkaisujen kehittäminen Hankkeen 245/96 loppuraportti, Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö. 23 s + liit.

Halminen, E. , Kuvaja , O., Köttö, R., (1994) Ilmastointitekniikka. Opetushallitus, Helsinki. 167 s.

Heinonen, K. ja Säämänen, A. (1999) FINN - PIMEX Työntekijöiden altistumisen havainnointijärjestelmä. Raportti TURB 011. VTT Automaatio, Tampere. 15 s. + liit.

Heinsohn, R.J. (1991) Industrial ventilation: engineering principles. New York : John Wiley & Sons. 699 s.

Lehtimäki, M. ja Säämänen, A. (1994). Syrjäytysilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus. VTT Valmistustekniikka. Työsuojelurahaston hankkeen 92251 loppuraportti. 60 s.

Morris P.D. (1995) Lifetime excess risk on death from lung cancer for a U.S. female never-smoker exposed to environmental tobacco smoke. *Environmental research*, vol. 68. no 1, pp 3 – 9.