



Kangaskanavat elintarviketeollisuuden ilmanvaihdossa

Sutinen Joni

Opinnäytetyö
Distribuerade energisystem
2016

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade energisystem
Identifikationsnummer:	
Författare:	Joni Sutinen
Arbetets namn:	Kangaskanavat elintarviketeollisuuden ilmanvaihdossa
Handledare (Arcada):	Jarmo Lipsanen
Uppdragsgivare:	LVI-Insinööritoimisto Vahvacon Oy
Handledare (Vahvacon Oy):	Ilkka Råman
<p>Sammandrag:</p> <p>Textilkanaler används för distribution av luft bland annat i livsmedelsindustrin. De sägs kunna åstadkomma dragfri luftdistribution även vid stora tilluftsmängder och låga temperaturer för tilluft. Syftet med detta slutarbete är att klargöra de VVS-tekniska särdrag som krävs av ventilation i livsmedelsindustrin, granska de textilkanalernas egenskaper som påverkar luftdistributionen, reflektera kring huruvida dessa lämpar sig till livsmedelsindustrin och deras effekt för komfort. Arbetet ska också fungera som ett informationspaket åt planerare och ta upp vissa planeringskriterium. I arbetet presenteras också fakta angående luftdistribution och komfort.</p>	
Nyckelord:	Textilkanaler, ventilation, livsmedelsindustri, LVI-Insinööritoimisto Vahvacon Oy
Sidantal:	45
Språk:	Finska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Distribuerade energisystem
Identification number:	
Author:	Joni Sutinen
Title:	Kangaskanavat elintarviketeollisuuden ilmanvaihdossa
Supervisor (Arcada):	Jarmo Lipsanen
Commissioned by:	LVI-Insinööritoimisto Vahvacon Oy
Supervisor (Vahvacon Oy): Ilkka Råman	
Abstract:	
<p>Fabric ducts are used for air distribution among other areas in the food industry. They are said to manage draught free air distribution even with large quantities and low temperatures of supply air. The purpose of this thesis is to examine the special characteristics required of ventilation in the food industry, to investigate the properties of fabric ducts affecting air distribution, consider the applicability of these properties in the food industry and their significance regarding ventilation comfort. The thesis is also intended to act as a source of information for designers and to present some design criteria for fabric ducts. Facts regarding air distribution and comfort criteria are also presented in the thesis.</p>	
Keywords:	Fabric ducts, ventilation, food industry, LVI-Insinööritoimisto Vahvacon Oy
Number of pages:	45
Language:	Finnish
Date of acceptance:	

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Distribuerade Energisystem
Tunnistenumero:	
Tekijä:	Joni Sutinen
Työn nimi:	Kangaskanavat elintarviketeollisuuden ilmanvaihdossa
Työn ohjaaja (Arcada):	Jarmo Lipsanen
Toimeksiantaja:	LVI-Insinööritoimisto Vahvacon Oy
Työn ohjaaja (Vahvacon Oy): Ilkka Råman	
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Kangaskanavia käytetään ilmanjakoon muun muassa elintarviketeollisuudessa. Niiden luvataan suoriutuvan vedottomasta ilmanjaosta suurillakin ilmamäärillä ja alhaisilla tuloilman lämpötiloilla. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää ilmanvaihdon LVI-tekniset erityispiirteet elintarviketeollisuudessa, tarkastella kangaskanavien ilmanjakoon vaikuttavia ominaisuuksia, pohtia näiden ominaisuuksien soveltuvuutta elintarviketeollisuuteen ja merkitystä viihtyvyyden kannalta. Työn on myös tarkoitus toimia tietopakettina suunnittelijoille ja esitellä joitakin kangaskanavien suunnittelukriteerejä. Työssä esitellään myös ilmanjakoon ja viihtyvyyteen vaikuttavia seikkoja.</p>	
Avainsanat:	Kangaskanavat, ilmanvaihto, elintarviketeollisuus, LVI-Insinööritoimisto Vahvacon Oy
Sivumäärä:	45
Kieli:	Suomi
Hyväksymispäivämäärä:	

INNEHÅLL / CONTENTS

1	Johdanto	7
2	Yleistä ilmanvaihdosta	8
2.1	Painemääritelmät	8
2.2	Huoneilmavirtaukset	9
2.3	Tilailmastoinnin periaatteet	10
2.3.1	<i>Mäntäperiaate</i>	11
2.3.2	<i>Kerrostumaperiaate</i>	12
2.3.3	<i>Vyöhykeperiaate</i>	13
2.3.4	<i>Sekoitusperiaate</i>	13
2.4	Ilmanjakomenetelmät	13
2.4.1	<i>Sekoittava ilmanjako</i>	14
2.4.2	<i>Syrjäyttävä ilmanjako</i>	14
2.5	Viihtyvyyteen vaikuttavat seikat	15
2.5.1	<i>Lämpöolot</i>	15
2.5.2	<i>Vedon tunne</i>	18
2.5.3	<i>Ääniolosuhteet</i>	19
3	Elintarviketeollisuuden ilmanvaihdon erityispiirteet	20
3.1	Yleistä	20
4	Kangaskanavat	23
4.1	Kangaskanavien ominaisuudet	24
4.1.1	<i>Matalaimpulssikanavat</i>	25
4.1.2	<i>Korkeaimpulssikanavat</i>	32
4.1.3	<i>Hybridikanavat</i>	35
4.1.4	<i>Negatiivisen paineen kanavat</i>	36
4.1.5	<i>Yhteenveto</i>	37
4.2	Kangaskanavien kustannukset	37
4.3	Kangaskanavien suunnittelu	40
5	Yhteenveto	43
	Lähteet	46

Kuvat

Kuva 1. Tilailmastoinnin periaatteet.....	11
Kuva 2. Oleskeluvyöhyke	12
Kuva 3. Sekoittava ilmanjako.....	14
Kuva 4. Syrjäyttävä ilmanjako	15
Kuva 5. PMV-käyrä	17
Kuva 6. Pyöreät, puolipyöreät ja neljäsosapyöreät kanavat.....	23
Kuva 7. Ilmanjaon vyöhykkeet.....	26
Kuva 8. Ilmavirtaus voi poiketa syrjään voimakkaan lämmön lähteen vaikutuksesta ...	27
Kuva 9. Ilma virtaa kanavasta kohtisuoraan kanavan pintaan nähden. Luvut kuvaavat ilman nopeutta m/s.....	28
Kuva 10. Kangaskanavan staattinen paine kasvaa virtaussuunnassa	29
Kuva 11. Vasemmalla läpäisemättömän ja oikealla läpäisevän kankaan lämpötilagradientit	31
Kuva 12. Korkeaimpulssikanavan aiheuttamat virtaukset huoneessa	33
Kuva 13. Lineaariset raot ovat tukkeutuneet muutaman kuukauden käytön jälkeen	34
Kuva 14. Vasemmalla ilmasuihkun poikkeama kohtisuorasta linjasta, oikealla poikkeaman korjaus ohjausläppien avulla.....	34
Kuva 15. Vasemmalla 5-10 % ilmasta virtaa suuttimien kautta, keskellä 15-30 % ja oikealla >40 %	36
Kuva 16. Poistoilmakangaskanava	36
Kuva 17. Kustannusvertailu metallisen, osittain metallisen ja kokonaan kangaskanavista koostuvien järjestelmien välillä	39

Taulukot

Taulukko 1. PMV-asteikon lämpöaistimukset	16
Taulukko 2. Ilmanvaihdon vaikuttavuus kontaminaation hallintaan.....	21
Taulukko 3. Kangaskanavien huonekategoriat.....	41
Taulukko 4. Matalaimpulssikanavien raja-arvoja.....	42
Taulukko 5. Korkeaimpulssikanavien raja-arvoja	42
Taulukko 6. Suositeltu ja maksimaalinen lämpötilaero ja jäähdytyskuorma	43

1 JOHDANTO

Ilmanvaihtosuunnittelussa metalliset kanavat ja päätelaitteet ovat saavuttaneet vakiintuneen aseman, vaikka muitakin vaihtoehtoja on olemassa. Esimerkiksi kangaskanaviksi kutsuttuja päätelaitteita on käytetty ilmanjakoon jo kauan erilaisissa tuotantotiloissa ja elintarviketeollisuudessa. Kanavien valmistajien mukaan ne soveltuvat erityisen hyvin vedottomaan ilmanjakoon suurillakin ilmamäärillä. Sisäilmasto-olosuhteiden ja asumisterveyden ollessa julkisuudessa yhä useammin, on tärkeää etsiä keinoja, joilla viihtyvyyttä ja ilmanjakoa ylipäänsä voidaan parantaa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on käsitellä elintarviketeollisuuden ilmanvaihdolle asettamat LVI-tekniset erityispiirteet, tarkastella kangaskanavien ilmanjakoon vaikuttavia ominaisuuksia ja pohtia mitkä näistä ominaisuuksista soveltuvat juuri elintarviketeollisuuteen, sekä selvittää kangaskanavajärjestelmällä toteutetun ilmanjaon vaikutuksia viihtyisyyteen. Työssä esitellään myös yleisiä ilmanvaihdon perusteita ja viihtyvyyteen vaikuttavia seikkoja.

Koska kangaskanavista ei oman kokemukseni mukaan ole juuri olemassa kirjallisuutta suunnittelijan näkökulmasta, on työn tarkoituksena myös toimia tietopakettina suunnittelijoille. Työssä esitellään myös joitakin suunnittelijoita helpottavia suunnittelukriteerejä.

Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona LVI-Insinööritoimisto Vahvacon Oy:lle. Yritys aloitti toimintansa vuonna 2002 ja sillä on konttorit Helsingin lisäksi myös Tallinnassa ja Porissa.

2 YLEISTÄ ILMANVAIHDOSTA

Rakennuksen ilmanvaihdon tehtävä on tuoda tiloihin puhdasta ilmaa hengitettäväksi ja samalla poistaa siellä syntyviä epäpuhtauksia. Ihmisen hapentarpeen ja keuhkoissa syntyvän hiilidioksidin vuoksi keuhkojen kautta kulkee 15000 litraa ilmaa vuorokaudessa. Ilman puhtaus on siis tärkeää elimistön hyvinvoinnin kannalta. (Sisäilmayhdistys Ry)

Rakennuksen sisäilmastoon vaikuttavat kuitenkin myös muut osatekijät, kuin pelkkä ilmanlaatu. Muut sisäilmastoon vaikuttavat osatekijät ovat: lämpöolosuhteet, ääniolosuhteet ja valaistus. Kaikki osatekijät ovat keskeisiä asuinrakennuksen terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle. (Motiva Oy 2015)

Teollisuusrakennuksissa sisäilmastotavoitteiden ensisijainen päämäärä on kuitenkin varmistaa teollisen prosessin toimivuus ja sen jälkeen työntekijöiden olosuhteet (Sandberg 2014a s. 21). Eri teollisuuden aloilla on erilaisia haasteita laadukkaan sisäilmaston toteuttamiseksi. Esimerkiksi elintarviketeollisuudessa, jossa tarvitaan erityisiä puhdastiloja, on hygienia erittäin tärkeää.

Seuraavaksi käsitellään tarkemmin joitakin ilmanvaihdon perusteita ja sisäilmaston laatuun vaikuttavia osatekijöitä.

2.1 Painemääritelmät

Ilmanvaihtokanavassa vallitsee kokonaispaine P_t , joka on staattisen paineen ja dynaamisen paineen summa (Sandberg 2014b s. 98):

$$P_t = P_s + P_d$$

jossa:

P_t = järjestelmän kokonaispaine [Pa], jonka puhaltimen tulee pystyä ylittämään. Kokonaispaine koostuu järjestelmän osien (esim. kanaviston kulmat ja haarat)

aiheuttamista painehäviöistä, kanaviston kitkapainehäviöistä ja järjestelmän staattisesta paineesta.

P_s = staattinen paine [Pa], mitataan suhteessa atmosfääriseen paineeseen. Vaikuttaa ilmanvaihtokanavistossa yhtä suurena joka suunnassa. Staattinen paine saa aikaan ilman virtaamisen päätelaitteista huonetilaan.

P_d = dynaaminen paine [Pa], johon vaikuttaa ilman nopeus ja tiheys.

Dynaaminen paine voidaan laskea seuraavalla kaavalla (Sandberg 2014b s. 88):

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

jossa:

ρ = ilman tiheys, [kg/m³]

v = ilman nopeus, [m/s]

2.2 Huoneilmavirtaukset

Huonetilassa esiintyviin ilmavirtauksiin vaikuttavat huoneen geometria ja sen sijainti, huoneessa olevat lämpökuormat, ja mahdolliset kylmät pisteet sekä näiden sijainti. Ilmavirtauksiin vaikuttavat myös onko huoneessa lämmitys- vai jäähdystilanne, tuloilmalaitteen puhalluspinta-ala suhteessa siihen pinta-alaan (esim. katto, seinä tai lattia), jota pitkin ilmasuihku puhalletaan, tuloilmalaitteen pystysuuntainen sijainti huoneessa ja Arkhimedeen luku (Sandberg 2014b s. 252).

Arkhimedeen luku, tai Ar-luku, on ilmasuihkun nosteen ja sen liikemäärävirran suhde. Mikäli tuloilmalaitteen geometria tunnetaan, voidaan Ar-luku laskea yhtälöllä (Sandberg 2014b s. 268):

$$Ar = \frac{g \cdot \Delta T \cdot d_e}{V_o^2 \cdot T_h}$$

jossa:

ΔT = tuloilman ja huoneilman lämpötilaero, [K]

d_e = tuloilmalaitteen ekvivalenttinen halkaisija (tuloilmalaitteen halkaisija, raon korkeus), [m]

v_0 = suihkun lähtönopeus, [m/s]

T_h = huonelämpötila, [K]

Kun huoneeseen puhallettava suihku on ei-isoterminen, eli huonelämpötilaa kylmempi tai lämpimämpi, on suihkulla taipumus taittua. Huonelämpötilaa kylmempi vaakasuora suihku taittuu lattiaa kohti, kun taas lämpimämpi suihku taittuu kattoa kohti. Vaakasuihkun taipumaa keskiakseliin nähden voidaan kuvata seuraavilla yhtälöillä (Sandberg 2014b s. 268):

$$\frac{y}{d_e} = 0,065 \cdot Ar \cdot \left(\frac{x}{d_e}\right)^3$$

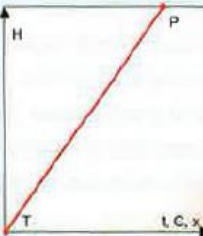
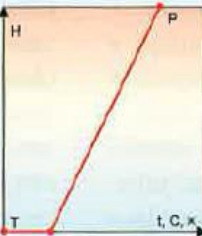
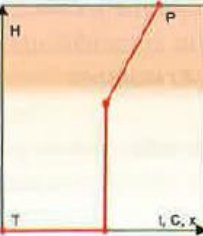
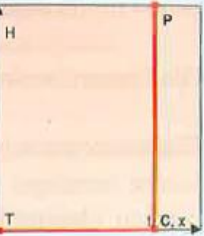
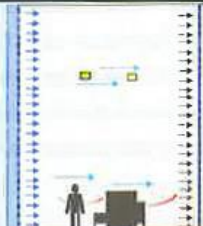
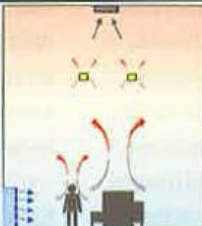
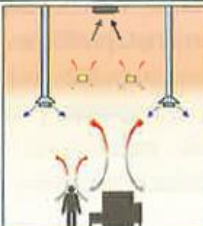

jossa:

y on suihkun taipuma alas- tai ylöspäin etäisyydellä x suihkun alkupisteestä.

Pystysuoriin ilmasuihkuihin vaikuttavat termiset voimat, jotka joko kiihdyttävät tai hidastavat suihkun nopeutta. Puhallettaessa huoneen lämpötilaan nähden alilämpöistä ilmaa ylhäältä alas tai ylilämpöistä ilmaa alhaalta ylös suihkun nopeus kiihtyy nostevoimien ansiosta. Kun taas alilämpöistä ilmaa puhalletaan alhaalta ylös tai ylilämpöistä ilmaa ylhäältä alas suihkun nopeus hidastuu (Sandberg 2014b s. 269).

2.3 Tilailmastoinnin periaatteet

Tilailmastoinnin periaatteen tavoitteena on saavuttaa ja säilyttää tietyt, halutut olosuhteet huoneessa mahdollisimman taloudellisella tavalla. Valitulla periaatteella pyritään lämpötilan, kosteuden, epäpuhtauksien jakautumisen ja ilmavirtauksien osalta tiettyihin tavoitearvoihin. Toteutuneisiin olosuhteisiin vaikuttavat ilmanjako-, ilmanpoisto-, lämmitys- ja jäähdytysmenetelmät, sekä huoneen sisäiset lämpökuormat ja muut häiriötekijät. Olosuhteet, jotka tilailmastoinnin periaatteilla pyritään saavuttamaan, voidaan toteuttaa useilla erilaisilla ilmanjakomenetelmillä ja -laitteilla (Goodfellow & Tähti 2001 s. 631).

TILAILMASTOINNIN PERIAATE:	MÄNTÄ	KERROSTUMA	VYÖHYKE	SEKOITUS
TAVOITE	Luoda tuloilmavirran avulla yhdensuuntainen virtauskenttä koko ilmastoitavaan tilaan	Hyödyntää ja tukea tiheyserojen seurauksena syntyvää kerrostumista huonetilassa korvaamalla syrjäytynyt konvektioilmavirta tuloilmalla	Hallita huoneilman olosuhteet vaiitulla vyöhykkeellä ja sallia lämmön ja epäpuhtauksien kerrostuminen muualla huonetilassa	Luoda ilmastoitavaan tilaan tasaiset olosuhteet
LÄMPÖTILA, KOSTEUS JA EPÄPUHTAUS JAKAUTUMA (KUVAT) X-akseli: °C, mg/m ³ , g/kg Y-akseli: Tilan koko (esim korkeus H) T=tulo, P=poisto				
KUVAUS	Huoneilmavirtaukset hallitaan yhdensuuntaisella pieninopeuksisella tulo-ilmanjaolla, joka on riittävän voimakas syrjäyttämään häiriövirtaukset	Huoneilmavirtauksia hallitsee nostevoima. Tuloilmanjako toteutetaan pienellä nopeudella.	Huoneilmavirtaukset osittain hallittu tuloilman avulla ja osittain nostevoimalla.	Huoneilmavirtauksia hallitaan tyypillisesti suurnopeusilmanjaon avulla.
TEOREETTINEN EPÄPUHTAUKSIEN JA LÄMMÖN POISTOTEHOKKUUS	∞			1
TYYPILLINEN YLEISILMANVAIHDON SOVELLUTUS				

Kuva 1. Tilailmastoinnin periaatteet (Sandberg 2014b s. 256)

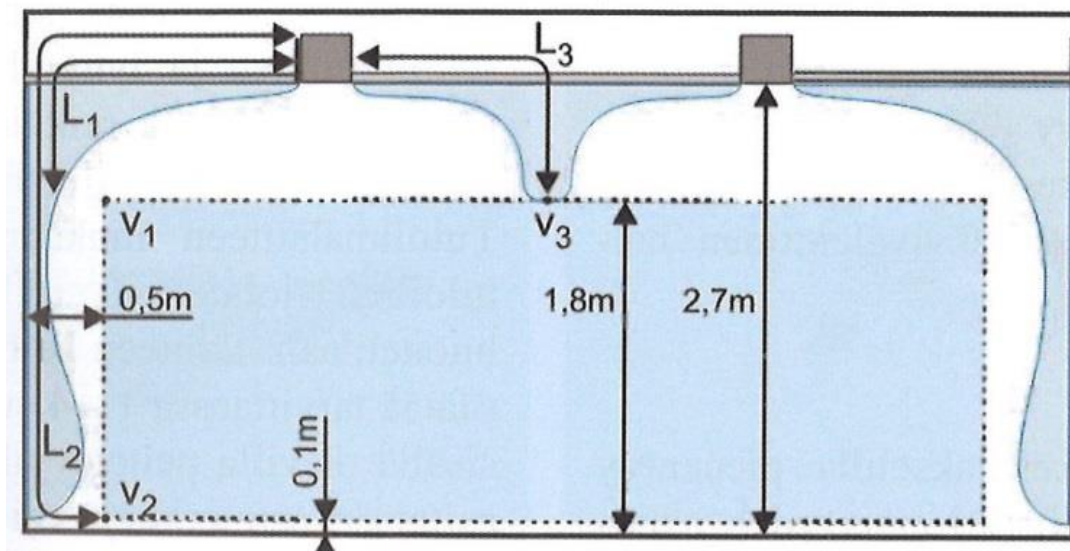
2.3.1 Mäntäperiaate

Mäntäperiaatteessa ilmaa puhalletaan yhdensuuntaisena, tasaisena ja piennopeuksisena ilmavirtana esimerkiksi huoneen yhdeltä seinustalta toiselle, josta ilma poistuu tilasta. Mäntävirtauksella saavutetaan suurin ilmanvaihdon vaikuttavuus, eli lämpötilan ja ilmankosteuden hallinta sekä epäpuhtauksien poisto. Jos epäpuhtauksien lähteet huoneessa jakautuvat tasaisesti huonetilaan, vähenee epäpuhtauksien pitoisuus huoneilmassa tasaisesti liikuttaessa poistolta tuloilmalaitetta kohti. Jos huoneessa on vain paikallisia epäpuhtauksien lähteitä, on epäpuhtauksien pitoisuus huoneilmassa näistä

ylävirtaan erittäin matala. Mäntäperiaatteen mukaan toimiva järjestelmä on yleensä kallis toteuttaa suurten tuloilmamäärien ja tuloilmalaitteiden pinta-alan takia (Goodfellow & Tähti 2001 s. 631-632).

2.3.2 Kerrostumaperiaate

Kerrostumaperiaatteella voidaan saada aikaan samankaltainen epäpuhtauksien ja lämpötilojen jakauma huoneessa kuin mäntäperiaatteella, joskin jakauma syntyy pääasiassa huonetilassa vaikuttavien nostevoimien, eli ilman tiheyserojen ansiosta. Nostevoimia lisäävät esimerkiksi lämmön lähteet, kuten ihmiset ja koneet (Goodfellow & Tähti 2001 s. 633). Nosteiden ansiosta syntyy konvektiovirtauksia, joiden seurauksena epäpuhtaudet ja lämpötilat kerrostuvat pystysuuntaisesti. Tuloilma syötetään yleensä alhaisella nopeudella ja oleskeluvyöhykkeen lämpötilaa kylmempänä. Periaatetta sovelletaan varsinkin silloin, kun epäpuhtaudet ja lämpökuormat syntyvät samassa lähteessä. Tällaisia lähteitä ovat tyypillisesti ihmiset (Sandberg 2014b s. 255). Periaatteella voidaan savuttaa matala epäpuhtauksien pitoisuus ja korkea lämmön poistotehokkuus oleskeluvyöhykkeellä. Periaate on tosin altis häiriöille epäsuotuisissa olosuhteissa (Goodfellow & Tähti 2001 s. 633-634).



Kuva 2. Oleskeluvyöhyke (Sandberg 2014b s. 259)

2.3.3 Vyöhykeperiaate

Vyöhykeperiaatteen ajatuksena on hallita olosuhteita tietyssä huonetilan osassa ja jättää loppuosa vähemmälle huomiolle. Lämpö, epäpuhtaudet ja kosteus pyritään viemään kontrolloidun vyöhykkeen ulkopuolelle. Huonevirtauksia hallitaan sekä tuloilmasuihkuilla, että nostevoimien avulla. Ilmanvaihdon vaikuttavuus käytettäessä vyöhykeperiaatetta sijoittuu kerrostuman ja sekoituksen välille. Vyöhykeperiaatetta voidaan käyttää pystysuuntaisesti, esim. korkeissa tiloissa, kun tuloilma tuodaan oleskeluvyöhykkeelle lähellä lattiatasoa ja ilma poistetaan katon rajasta, mutta myös vaakasuuntaisesti (Goodfellow & Tähti 2001 s. 635-636). Tuloilma voi olla melko alilämpöistä oleskeluvyöhykkeen lämpötilaan nähden. Riittävää kerrostumista aiheuttavia konvektiovirtauksia varten tarvitaan ihmisten lisäksi muita lämmönlähteitä, kuten valaistusta, koneita ja muita laitteita (Sandberg 2014b s. 255).

2.3.4 Sekoituseriaate

Sekoituseriaatteen tavoitteena on luoda yhtenäiset olosuhteet huoneeseen sekoittamalla ilmaa tehokkaasti. Menetelmä on käytetyin niin tavanomaisissa tiloissa, kuin teollisuudessakin. Periaate toimii parhaiten, kun lämpökuormat ovat suhteellisen pienet, eikä epäpuhtauksia synny paljon. Tuloilmanjako tapahtuu suurella nopeudella, jolla hallitaan huoneilmavirtauksia. Tuloilma voi olla oleskeluvyöhykkeeseen nähden huomattavasti alilämpöistä. Periaatetta sovelletaan tavallisesti matalissa tiloissa, joissa se toteutuu helposti. Korkeissa tiloissa ilmanjakoon tulee kiinnittää erityistä huomiota, varsinkin jos tiloja lämmitetään lämpimän tuloilman avulla. Tällöin tulee varmistaa ilman sekoittuminen (Sandberg 2014b s. 255).

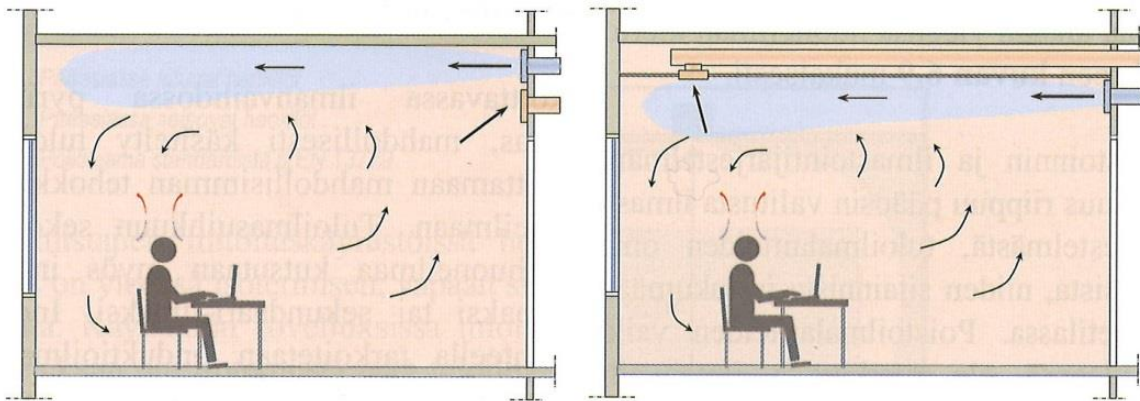
2.4 Ilmanjakomenetelmät

Ilmanjakomenetelmiä luokiteltaessa tutkijat, suunnittelijat ja valmistajat käyttävät yleensä käsitteitä ja nimityksiä kirjavalla tavalla, ja ne menevätkin usein sekaisin. Tavallisimmin menetelmät luokitellaan 1) suur- ja piennopeusilmanjakoon tai 2) sekoitus- ja syrjäytysilmanjakoon, usein yhdistettynä mäntävirtaukseen. Kuten yllä mainittiin, on huomioitava, että tilailmastoinnin periaatteet on mahdollista toteuttaa

useilla erilaisilla ilmanjakomenetelmillä. Erilaiset ilmanjakomenetelmät voidaan saada aikaan eri ilmanjakolaitteilla (Sandberg 2014b s. 257).

2.4.1 Sekoittava ilmanjako

Sekoittavassa ilmanjaossa suureholla nopeudella (1,5-10 m/s) huonetilaan puhallettu puhdas, mahdollisesti käsitelty ilma pyritään sekoittamaan mahdollisimman tehokkaasti huoneilmaan. Tällöin huonetilan lämpö- ja epäpuhtauspitoisuudet ovat yhtenäiset koko tilassa. Epäpuhtauksien haittavaikutukset pyritään siis minimoimaan laimentamalla niiden pitoisuutta ilmassa tarpeeksi alhaiseksi. Tuloilmasuihku on ominaisesti 5-10 °C huoneilmaa kylmempää. Alilämpöiseen tuloilmasuihkuun sekoittuu lämpimämpää huoneilmaa, jolloin suihku edetessään hidastuu ja lämpenee. Ilmiötä kutsutaan induktioksi (Sandberg 2014b s. 258).

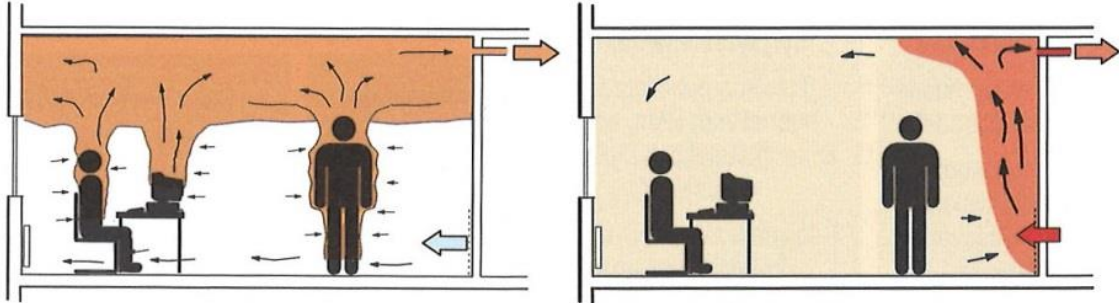


Kuva 3. Sekoittava ilmanjako (Sandberg 2014b s. 257)

2.4.2 Syrjäyttävä ilmanjako

Syrjäyttävä ilmanjako perustuu lämpötilaeroista aiheutuvien tiheyserojen vaikutukseen. Kun alilämpöistä ilmaa johdetaan oleskeluvyöhykkeelle pienellä nopeudella, kohoaa se lämmönlähteiden aiheuttaman konvektion ansiosta huoneen yläosaan, josta se poistetaan. Lämmönlähteiden ollessa myös epäpuhtauslähteitä kerrostuu lämmin, likainen ilma huoneen yläosaan ja ilmanlaatu oleskeluvyöhykkeellä on yleensä parempi kuin sekoittavassa ilmanjaossa. Puhtaan ja likaisen ilman rajakerroksen sijainti riippuu

konvektiovirtauksien suuruudesta suhteessa tuloilmavirtaan. Kun tuloilmavirtaa suurennetaan, siirtyy rajakerros ylöspäin, kun konvektiovirtaukset pysyvät muuttumattomana (Sandberg 2014b s. 281).



Kuva 4. Syrjäyttävä ilmanjako (Sandberg 2014b s. 258)

2.5 Viihtyvyyteen vaikuttavat seikat

2.5.1 Lämpöolot

Sopivat lämpöolot ovat ihmisen kannalta tärkeitä, jopa teollisessa ympäristössä. Lämpöolosuhteet vaikuttavat viihtyvyyteen ja terveyteen, ja sitä kautta myös tuottavuuteen. Epäviihtyisät lämpöolot voivat lisätä virheiden lukumäärää, laskea tuottavuutta ja lisätä teollisuusonnettomuuksia (Goodfellow & Tähti 2001 s. 174-175).

Vaikka lämpöviihtyvyyteen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu kauan, ei täysin tyydyttäviä vastauksia olosuhteiden suunnittelun kannalta ole löydetty. Käyttäjien, jotka valittavat liian alhaisia (vetoisia) ja liian korkeita lämpötiloja, yhteenlaskettu osuus on monissa tutkimuksissa yli puolet vastanneista. Yleisimmin valitetaan vedon tunteesta, myös rakennuksissa, joiden tilat on toteutettu modernilla ilmastointitekniikalla. Suuremmat ikkunat myös lisäävät korkean lämpötilan aiheuttamia ongelmia, erityisesti kesäaikana. Lämpötilat nousevat usein yli suositusarvojen myös talvikaudella, osittain siitä syystä, että koko rakennuksen lämpötilaa nostetaan joidenkin käyttäjien vetovalitusten vuoksi. Tyytyväisyys lämpöoloihin on siis erittäin subjektiivista. (Sandberg 2014a s. 37)

Lämpöviihtyvyyttä voidaan arvioida erilaisilla malleilla. Yleisimmin käytetty malli on niin kutsuttu PMV (Predicted Mean Vote) asteikko (SFS-EN ISO 7730), josta käy ilmi

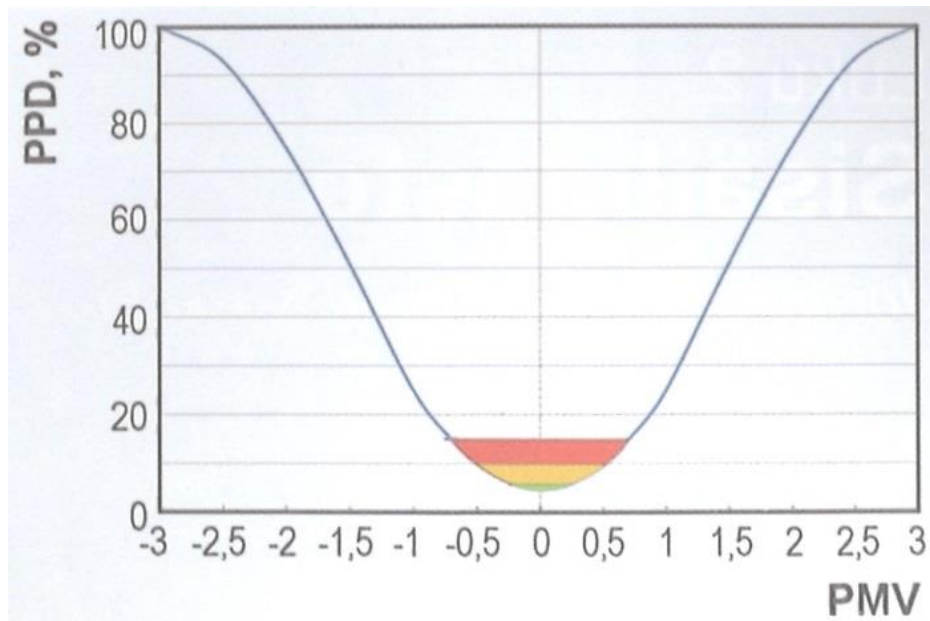
myös lämpöoloihin tyytymättömien osuudet (PPD, Predicted Percentage of Dissatisfied). Mallin avulla pyritään siis ennustamaan prosentuaalisesti kuinka moni suuresta, tietyn lämpöaistimuksen omaavasta ihmisjoukosta on tyytymättömiä vallitseviin lämpöoloihin. Huomionarvoista on, että mallin mukaan tyytymättömien osuus on aina vähintään 5 %. Mallin parametrit ovat aineenvaihdunnan energiantuotto, vaatetuksen lämmöneristävyys, ympäröivän ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, ympäristön keskimääräinen säteilylämpötila ja ilman liikenopeus. Lämpöaistimuksen asteikko on 7-pisteinen ja sisältää seuraavat arvot tuntemuksineen:

Arvo	Tuntemus
3	Kuuma
2	Lämmin
1	Jokseenkin lämmin
0	Neutraali
-1	Jokseenkin viileä
-2	Viileä
-3	Kylmä

Taulukko 1. PMV-asteikon lämpöaistimukset (Sandberg 2014a s. 38)

Tyytymättömien osuus on kuitenkin käytännössä aina suurempi kuin PMV-mallin ennuste. (Sandberg 2014a s. 38-39)

PMV-mallia suositellaan käytettäväksi, kun mallin parametrit ovat tiettyjen raja-arvojen sisällä. Esimerkiksi kun ilman lämpötila on välillä 10-30 °C ja ilman liikenopeus välillä 0-1 m/s (Goodfellow & Tähti 2001 s. 376). Mallin avulla ei siis voi arvioida lämpöoloja kovin kylmissä olosuhteissa.



Kuva 5. PMV-käyrä (Sandberg 2014a s. 38)

Huoneen viihtyvyytensä voidaan myös arvioida ADPI-indeksin (Air Distribution Performance Index) avulla. ADPI-luku kuvaa sitä, kuinka suuri prosentuaalinen osuus oleskeluvyöhykkeestä todennäköisesti koetaan viihtyisäksi lämpöolosuhteiltaan. Mitä suurempi ADPI-luku on, sitä mukavammasta olosuhteesta huoneessa on (Fontanini et al. 2011).

Lämpövihtyvyyttä laskevat myös epätasaiset ja muuttuvat lämpöolot, esimerkiksi kylmät tai kuumat pinnat. Syrjäyttävän ilmanjaon yhteydessä voi syntyä pystysuuntaisia lämpötilaeroja, jotka koetaan epämiellyttäväksi. Kansainvälisten suositusten mukaan pään ja nilkkojen välisen lämpötilaeron ei tulisi ylittää 3 °C (Sandberg 2014a s. 51). Kolmen asteen suuruisen, koko oleskeluvyöhykkeen korkeinen pystysuora lämpötilagradientti, johtaa tosin korkeisiin lämpötiloihin oleskeluvyöhykkeen yläosassa, eli pään alueella. Tämän kaltaiset tilat koetaan epämukavan kuumina sisään mentäessä. Oleskeluvyöhykkeen lämpötilaero on usein parempi rajoittaa kahteen asteeseen (Rakennustieto Oy 1993).

2.5.2 Vedon tunne

Vedon tunne syntyy kun ihmisen lämpöaistimus on viileä, se muuttuu viileän suuntaan, tai kun olosuhteet ovat epäsymmetriset tai liian nopeasti muuttuvat. Ilman lämpötila, lämpösäteily ja ilman liike vaikuttavat vedon tunteeseen. Alhaisessa lämpötilassa voi pienikin ilman liike aiheuttaa vedon tunnetta, kun taas lämpimissä oloissa liikkuvan ilman viilentävä vaikutus voi tuntua miellyttävältä. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että kun ilman keskinopeus kasvaa, tehostuu lämmön siirtyminen iholta, ja vedon tunne syntyy. Myös ilman nopeuden vaihtelu aiheuttaa vedon tunnetta. Turbulenssiasteella voidaan ilmaista ilman nopeuden vaihtelua. Turbulenssiaste määrittää ilman nopeuden vaihtelun keskihajonnan suhteena keskinopeuteen ja mitä suurempaa vaihtelu ja tämän myötä turbulenssiaste on, sitä helpommin syntyy vedon tunnetta. Ilman nopeuden ja turbulenssiasteen lisäksi myös ilmavirtauksen lämpötila vaikuttaa vedon tunteeseen (Sandberg 2014a s. 47).

Lämpötilasta, ilman keskinopeudesta ja turbulenssiasteesta riippuen, voidaan ilmavirtaukseen tyytymättömien osuutta arvioida seuraavalla yhtälöllä (Rakennustieto Oy 1993):

$$DR = (3,143 + 0,3696 \cdot v \cdot Tu)(34 - Ti)(v - 0,05)^{0,622}$$

jossa:

DR = tyytymättömien osuus (Draft Rating, vetokriteeri), %

T_i = ilmavirtauksen lämpötila, [°C]

T_u = ilmavirtauksen turbulenssiaste, %

T_v = nopeuden keskihajonnan suhde keskinopeuteen, %

v = ilman keskinopeus, [m/s]

Yhtälön mukaan vetovalituksia ei pitäisi esiintyä, kun ilmavirtauksen keskinopeus on 0,05 m/s tai pienempi. Kansainvälisten standardien mukaan erilliset enimmäisarvot ilman keskinopeudelle talvi- ja kesäaikaan ovat esimerkiksi 0,15 m/s ja vastaavasti 0,25 m/s. Uudemmissa standardeissa keskinopeuden enimmäisarvo on riippuvainen huoneen lämpötilasta ja ilmavirtauksen turbulenssiasteesta (Rakennustieto Oy 1993).

Ilmanjakomenetelmä vaikuttaa turbulenssiasteeseen ja näin ollen vetoaistimukseen. Erittäin voimakkaasti sekoittavassa ilmanjaossa, esim. suurnopeussuihkut ja pyörrehajottimet, turbulenssiaste on mahdollisesti jopa yli 50 %. Tavallisen sekoittavan ilmanjaon turbulenssiaste on 20-40 % ja syrjäyttävän ilmanjaon 10-20 %. Esimerkiksi puhdastiloissa käytetyn laminaarivirtauksen turbulenssiaste on alle 10 %. Ilman lämpötilan ollessa 23 °C, tyytymättömien osuus muuttuu 7 % ilmasuihkun lämpötilan muuttuessa asteen verran. Kun suihkun lämpötila on korkeampi, tyytymättömien osuus pienenee, ja sen ollessa matalampi osuus vastaavasti suurenee (Rakennustieto Oy 1993).

2.5.3 Ääniolosuhteet

Kuten lämpöolot, myös ääni ja melu ovat subjektiivisia ja ihmiset kokevat ne eri tavalla. Meluksi voidaan kutsua ääntä, joka ei-toivotulla tavalla häiritsee ihmisen senhetkistä toimintaa tai on tarpeettoman voimakasta. Äänen kokeminen epämiellyttäväksi voi riippua myös ajankohdasta, tilanteesta ja käsillä olevan tehtävän vaatimasta keskittymistasosta. Yleensä impulssimainen melu, esimerkiksi kolahtelu tai veden päästäminen hanasta, koetaan häiritsevämpänä kuin tasainen melu, kuten puhaltimen jatkuva melu. Tarpeeksi voimakas melu aiheuttaa välittömiä tai kehittyviä kuulovaurioita ja unihäiriöitä (Sandberg 2014a s. 68).

Yleisesti ilmanvaihdon aiheuttaman melun ylärajat ovat noin 35-40 dB(A). Ilmanvaihdon aiheuttama melu korostuu ympäristöissä, joissa vallitsee muuten matala äänitaso, kuten toimistoissa, kouluissa ja muissa yleisissä tiloissa. Vaikka ilmanvaihdon melu näissä tiloissa ei olisikaan tarpeeksi voimakasta aiheuttaakseen kuulovaurioita, voi se aiheuttaa ärtymistä, uupumista ja keskittymisongelmia. Tiloissa, joissa on suuri ilmanvaihdon tarve, esimerkiksi varastoissa, konesaleissa tai verstaissa, voi ilmanvaihdon melu olla suhteellisen korkea. Suurten puhaltimien melu voi jopa ylittää kuulovaurioita aiheuttavalle tasolle, joka on toistuvassa päivittäisessä altistuksessa yli 70 dB(A) (Goodfellow & Tähti 2001 s. 345-346).

3 ELINTARVIKETEOLLISUUDEN ERITYISPIIRTEET

ILMANVAIHDON

Elintarviketeollisuuden LVI-teknisiä erityispiirteitä käsitteli laajemmin Henri Isoaho insinöörityössä *Teurastamoiden ja lihanjalostamoiden LVI-teknisiä erityispiirteitä* (Isoaho 2014). Seuraavaksi käydään tarkemmin läpi ilmanvaihdolta ja ilmanvaihtojärjestelmiltä elintarviketeollisuudessa vaadittavia ominaisuuksia.

3.1 Yleistä

Hyvin suunniteltu ilmanvaihtojärjestelmä kontrolloi ilmassa olevien hiukkasten ja hajujen määrää ja minimoi ilmassa leijuvien, tartuntavaarallisten (esim. salmonella, listeria, e. coli) ja myrkyllisten (esim. staphylococcus aureus ja clostridia) patogeenien ja pilaantumista aiheuttavien mikro-organismien (esim. hiiva, homeet, pseudomonadit ja maitohappobakteerit) aiheuttamia riskejä tuotteille (EHEDG 2006).

Haitallisten mikro-organismien kasvua, eloonjäämistä ja leviämistä voidaan hallita ilmanvaihtojärjestelmällä, jonka tulisi (EHEDG 2006):

- hidastaa tai estää niiden kasvu tuotantotiloissa esim. alhaisten lämpötilojen ja/tai ilmankosteuden avulla
- estää niiden tunkeutuminen puhdastiloihin esim. ylipaineen avulla
- poistaa ilmasta hiukkaset, jotka voivat kuljettaa niitä esim. riittävän suodatuksen avulla
- minimoida ristikontaminaation mahdollisuus esim. oikein suunnitellun ilmanjaon avulla
- kuljettaa aerosolit pois tuotteiden luota suunnattujen ilmavirtojen avulla
- olla itse toimimatta kontaminaation lähteenä

Seuraavassa taulukossa esitellään ilmanvaihdon vaikuttavuutta kontaminaation hallintaan:

Kontaminaation lähde	Leviämismekanismi	Ilmanvaihdon vaikuttavuus hallintaan	Riski tuoteturvallisuudelle
Raaka-aineet	Pintojen kautta leviävät mikro-organismit	Matala	Kohtalaisesta korkeaan
Henkilökunta	Jalat, vaatteet tai huono hygienia	Matala	Kohtalaisesta korkeaan
Liikenne	Kärkyjen ja trukkien pyörät	Matala	Kohtalaisesta korkeaan
Ilma	Raitisilma	Korkea	Kohtalainen
	Pöly tai jauhemaiset hiukkaset	Korkea	Kohtalainen
	Aerosolit roiskeista	Kohtalainen	Korkea
	Paineilmakuljettimet, ylipaine	Korkea	Korkea
Kondensaatio	Kontakti	Korkea (kuivaus)	Korkea
Siivoustoimenpiteet	Aerosolit ruiskutuksesta, harjaamisesta ja imuroimisesta	Korkea (poistonopeus ja leviämisen hallinta)	Korkea
Laitteet	Paineilmalaitteiden poistot	Korkea	Kohtaisesta korkeaan
Rakennus	Vuotavat katot, epätiivit ikkunat ja ovet ym.	Matala	Kohtalaisesta korkeaan

Taulukko 2. Ilmanvaihdon vaikuttavuus kontaminaation hallintaan (EHEDG 2006).

Ilman liikkeeseen elintarvikkeiden tuotantolaitoksessa vaikuttaa mm. lämpöä tuottavat prosessit, jäädytetyt huoneen, poistoilmaventtiilien sijoitus ja vastakkaisten huoneiden

olosuhteet. Laitos voi vaatia monta erillistä ilmanvaihtojärjestelmää, jotka toimivat erilaisin ilmansuodatustasoin, lämpötiloin ja mahdollisesti myös erilaisin suhteellisin ilmankosteuksin (Holah & Lelieveld 2011 s. 250).

Ilman välityksellä tapahtuvaa, pilaajamikrobien aiheuttamaa tuotteiden saastumista on todettu tapahtuvan. Tämän takia ilman kulku alueelta, jossa käsitellään raaka-aineita alueille, jossa tuotteet on jo kypsennetty, tulee estää. Tämä tapahtuu esimerkiksi säätämällä korkean hygienian alueille ylipaine, jotta ilman kulku tapahtuisi aina puhtaammasta tilasta likaisempaan (Wirtanen 2002 s. 26).

Riittävän viihtyisien olosuhteiden ylläpitämiseksi työntekijöille, tulisi elintarvikkeiden tuotantotilojen ilmanvaihtuvuuden olla 6-20 1/h (Isoaho 2014). Kaikista yksinkertaisimmissa puhdastiloissa ilmanvaihtuvuuden tulisi olla 15-20 1/h, mutta mieluiten 20-50 1/h, jotta työprosessista syntyvät hiukkaset varmasti poistuvat tilasta. Mitä puhtaampi tilasta halutaan, sitä suurempi ilmanvaihtuvuuden tulisi olla (Wirtanen et al. 2002 s. 26).

Ilman kostutuksen käytettävä vesijärjestelmä tai pinnoille tiivistyvä kondenssivesi voi aiheuttaa ilmastointikanavissa biofilmiongelmiä. Ilman suhteellinen kosteus pitäisi pyrkiä pitämään alle 30:ssa % (Wirtanen 2002 s. 21). Kondenssiveden tippuminen laitteisiin tai tuotteisiin tulisi estää välttämällä kanavien ja putkien sijoittamista suoraan elintarvikelinjojen yläpuolelle (Wirtanen 2002 s. 25).

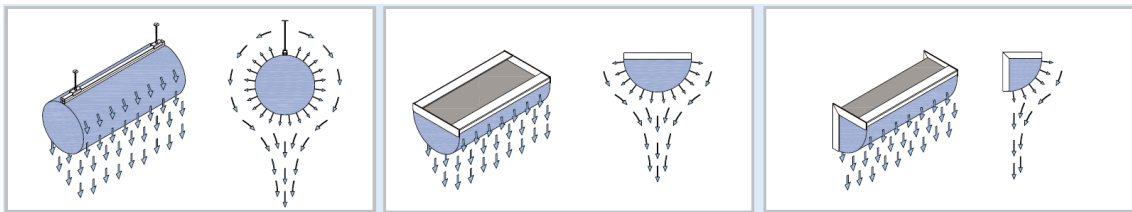
Elintarviketeollisuudessa käytettyjen laitteiden tulee olla helposti purettavissa puhdistuksen ajaksi ja uudelleen koottavissa tämän jälkeen. Irrotettavien osien määrän tulisi olla mahdollisimman pieni ja osien tulisi kooltaan ja muodoltaan olla yhden työntekijän käsiteltävissä (Wirtanen 2002 s. 57). Käytettyjen materiaalien pintojen ja pinnoitteiden on oltava ”kestäviä, puhdistettavissa olevia ja tarvittaessa desinfioitavissa olevia, niissä ei saa olla rakoja, niiden on kestettävä tarkoitetussa käytössä halkeilematta, lohkeilematta, hilseilemättä ja kulumatta, niin että ei-toivottujen aineiden tunkeutuminen elintarvikkeeseen estyy.” (Wirtanen 2002 s. 63). Helpon puhdistettavuuden lisäksi, materiaalien, jotka eivät ole tuotteiden kanssa kosketuksissa tulee olla ”mekaanisesti stabiileja, tasaisiksi viimeistelyjä, ruostumattomia”. Laitteistojen maalaaminen ei ole toivottua (Wirtanen 2002 s. 64).

4 KANGASKANAVAT

Kangaskanavat ovat tekstiilimateriaalista valmistettuja ilmanjakolaitteita. Vaikka tuotteen nimessä puhutaan kanavista, tarkoitetaan tällä useimmiten juuri päätelaitteita. Koko kanavajärjestelmä on toki mahdollista toteuttaa tekstiilipohjaisena, mutta tässä työssä keskitytään kangaskanaviin nimenomaan päätelaitteina.

Kangaskanavia on käytetty ilmanjakoon ainakin vuodesta 1955. Tyypillisesti kangaskanavia on käytetty teollisuudessa, erityisesti elintarvike- ja tekstiiliteollisuudessa, tosin muitakin käyttökohteita on (Creamer 2008a).

Aikaiset kangaskanavat valmistettiin puuvillasta, mutta nykyään materiaalina on useimmiten polyesteri. Materiaali voidaan käsitellä palonesto- ja anti-mikrobisella aineella. Kanavat ovat yleensä muodoltaan pyöreitä, puolipyöreitä tai neljäsosapyöreitä, valmistajasta ja mallista riippuen. Kangaskanavat voivat toimia eri ilmanjakomenetelmien mukaan joko syrjäyttävänä tai sekoittavana ilmanvaihtona ja ne voidaan asentaa joko kattoon tai seinälle. (Holah & Lelieveld 2011 s. 252)



Kuva 6. Pyöreät, puolipyöreät ja neljäsosapyöreät kanavat (KE Fibertec 2015 s 42)

Elintarviketeollisuudessa kangaskanavia ruvettiin käyttämään vaihtoehtona kattohajottajille, jotka voivat jäädytetyssä tilassa aiheuttaa vetovalituksia ja huoneenlämpötilan vaihtelua (Holah & Lelieveld 2011 s. 252). Elintarviketeollisuudessa on tärkeää, etteivät käytetyt materiaalit tarjoa mikro-organismeille kasvualustoja. Euroopassa matalaimpulssisten kangaskanavien materiaalin standardiksi on muodostunut palosuojattu Trevira CS –polyesteri. Materiaali ei ime itseensä kosteutta, eikä epäorgaanisena materiaalina toimi itsessään mikro-organismien kasvualustana. Konepestävyyden ansiosta kanavat on myös helppo puhdistaa säännöllisesti (Creamer 2008b).

Suomen rakentamismääräyskokoelman ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuutta koskevassa ohjeessa (RakMK E7) mainitaan, että "Ilmakanavan ja kanavaosien seinämät tehdään yleensä vähintään A2-s1, d0-luokan rakennustarvikkeista.". Kangaskanavissa yleisesti käytetyn Trevira CS -materiaalin luokitus on tätä heikompi B-s1, d0-luokka, joka kuitenkin tarkoittaa, että tuotteesta vapautuu lämpöä hitaasti ja rajoitetusti, palaminen pinnassa saa levitä vain rajoitetusti, savuntuotto on rajoitettu, eikä palavia pisaroita saa esiintyä.

Pääkaupunkiseudun rakennusvalvonnan 19.10.2010 päivätyssä kortissa E7-301 ”Muovisten ilmakanavien ja kanavaosien paloturvallisuus” lausutaan, että muovisten ilmakanavien ja kanavaosien paloturvallisuusvaatimusten mukaisuus voidaan osoittaa CE-merkinnällä tai tyyppihyväksynnässä. Näiden puuttuessa voidaan hyväksyä myös hyväksytyyn testauslaitoksen, esim. VTT:n tuotesertifikaatti.

Kangaskanavia maahantuovan Tukku-Kylmä Oy:n toimitusjohtaja Hannu Pesosen mukaan kangaskanavia käsitellään kuitenkin päätelaitteina, eikä varsinaisina kanavina. Paloviranomaiset eivät hänen kokemuksensa mukaan ole myöskään nähneet kangaskanavien käytössä merkittäviä ongelmia paloturvallisuuden kannalta aikaisemmin toteutetuissa projekteissa (Pesonen 2016a). RakMK E7:ssä mainitaankin, että ilmakanavissa ja ilmanvaihtolaitteissa voidaan käyttää vähäisessä määrin alemman luokituksen rakennustarvikkeita, jollei tästä aiheudu vaaraa palotilanteessa. Vähäiseksi määräksi katsotaan mm. osat joita käytetään liitosten tiivistämiseen, puhaltimien voimansiirtoon ja pääte- tai säätölaitteiden yksittäisiin komponentteihin.

Koska viranomaisohjeissa ei oteta kantaa yksiselitteisesti juuri kangaskanavien vaatimustenmukaisuuteen, on kangaskanavajärjestelmän toteuttamista harkittaessa syytä olla yhteydessä kyseisen kunnan rakennusvalvontaan vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi.

4.1 Kangaskanavien ominaisuudet

Kangaskanavilla saavutetaan erittäin yhtenäinen ilmanjako koko huonetilaan, koska tuloilma vapautuu huoneeseen koko kanavan pituudelta. Kangaskanavia on kahta eri

päätyyppiä: matalaimpulssikanavat ja korkeaimpulssikanavat. Kanavat voivat myös olla eri kanavatyyppien yhdistelmä, eli niin kutsuttuja hybridikanavia.

4.1.1 Matalaimpulssikanavat

Matalaimpulssikanavan nimitys tulee siitä, että tuloilma läpäisee kankaan koko kanavan pituudelta ja ympärykseltä matalalla nopeudella, tyypillisesti 0,07-0,11 m/s (Creamer 2008a). Ilmanjakomenetelmänä toimii syrjäyttävä ilmanjako ja ilmanjakoperiaatteena kerrostumaperiaate.

Kanavat voidaan asentaa virtaussuunnassa horisontaalisesti oleskeluvyöhykkeen yläpuolelle tai vertikaalisesti lattiatasolta ylöspäin. Matalaimpulssikanavat eivät sovellu lämmitystilanteisiin tuloilman pienen nopeuden takia, koska huoneilmaa lämpimämpi ilma ei sekoittuisi toivotulla tavalla. Tuloilman ollessa isotermistä tulisi myös ilmamäärien olla huomattavia sekoittumisen varmistamiseksi (KE Fibertec 2015 s. 43). Tuloilman ollessa alilämpöistä se vajoaa horisontaalisessa järjestelmässä oleskeluvyöhykettä kohti tiheyserojen vaikutuksesta irrottuaan kanavan pinnasta. Vajotessaan tuloilma syrjäyttää huoneilmaa ja nämä sekoittuvat ja vajoavat edelleen. Oleskeluvyöhykkeelle vajottuaan tuloilman ja huoneilman sekoitusaste on noin 65-80 %. Tuloilman ja huoneilman välinen lämpötilaero ja tuloilman määrä per juoksumetri kanavaa vaikuttavat sekä sekoitusasteeseen, että ilman nopeuteen oleskeluvyöhykkeellä ja oleskeluvyöhykkeen lämpötilaan suoraan kanavan alla. Huoneessa olevien lämmönlähteiden ansiosta sekoittunut ilma lämpenee, nousee ylös konvektiovirtausten vaikutuksesta ja kerrostuu oleskeluvyöhykkeen yläpuolelle, josta se poistetaan (Creamer 2008a).

Ilman liikkeen lähempää tarkastelua varten, kanavan alla oleva tila voidaan jakaa kolmeen vyöhykkeeseen (KE Fibertec 2015 s. 43):

- Vyöhyke 1, sijaitsee heti kanavan alla. Ilmavirtaus tällä vyöhykkeellä on erityisen riippuvainen kanavan avulla toimitetusta jäähdytyskuormasta per kanavametri. Suuri jäähdytyskuorma johtaa tuloilman suurempaan kiihtyvyyteen vyöhykkeellä 1, jonka seurauksena ilma putoaa ja sekoittuu huoneilmaan.

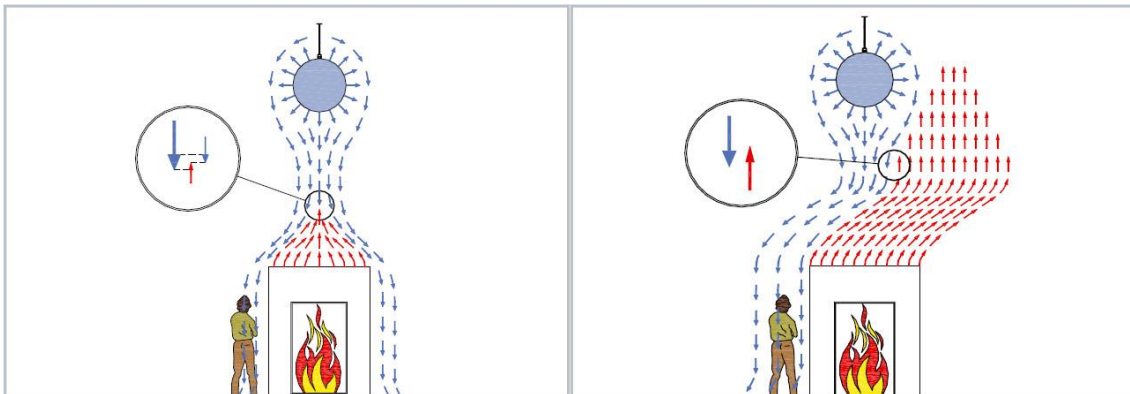
- Vyöhykkeellä 2 alilämpöinen tuloilma syrjäyttää lämpimämpää huoneilmaa. Matalan impulssin virtaus ei vedä mukaansa juuri yhtään ympäröivää huoneilmaa, joka pystyisi jarruttamaan virtausta ennen sen kulkeutumista oleskeluvyöhykkeelle. Tämä tarkoittaa, että mitä suurempi lähtönopeus virtauksella on, sitä korkeampi nopeus sillä tulee oleskeluvyöhykkeellä olemaan.
- Vyöhyke 3 on oleskeluvyöhyke. Vyöhykkeiden 2 ja 3 välinen raja on noin 1,8 metrin korkeudella lattiasta. Virtauksen leveyttä rajan kohdalla voidaan kutsua lähivyöhykkeeksi. Lähivyöhykkeen leveyteen vaikuttaa jäähdytyskuorma per kanavametri.



Kuva 7. Ilmanjaon vyöhykkeet (KE Fibertec 2015 s.)

Lämmönlähteiden sijainnilla ja voimakkuudella on merkitystä ilman jakautumisen ja sen nopeuden kannalta. Niiden synnyttämät konvektiovirtaukset kohoavat ja kohtaavat vajoavan, viileän tuloilman. Mitä voimakkaampi lämmönlähde on, sitä voimakkaampi on konvektiovirtaus ja sitä suurempi on virtauksen nopeus. Voimakkaammat

konvektiovirtaukset myös vetävät mukaansa enemmän huoneilmaa, ja näin ollen myös lämpöä ja epäpuhtauksia, jotka sitten kerrostuvat oleskeluvyöhykkeen ulkopuolelle katon läheisyyteen. Mikäli lämmönlähteet sijaitsevat korkealla, esimerkiksi vyöhykkeellä 2, johtaa niiden vaikutus matalampaan ilman nopeuteen tuloilmavirtauksen saavuttaessa oleskeluvyöhykkeen verrattuna lattiatasolla sijaitsevaan, tasaisesti jakautuneeseen lämmönlähteeseen (esim. lattialämmitys). Jos huoneessa tai tilassa on pääasiassa suuria ja keskitettyjä lämmön lähteitä, esimerkiksi koneita, on tärkeää sijoittaa matalan impulssin kanavat matalammalle ja välttää niiden sijoittamista suoraan lämmönlähteiden yläpuolelle. Näin saavutetaan hyvä syrjäytys ja estetään koneista lähtöisin olevan nosteen tarpeeton sekoittuminen ylimmän vyöhykkeen epäpuhtauksiin. Tuloilmavirtaus suoraan voimakkaan lämmönlähteen yläpuolella olevasta kanavasta voi poiketa sivuun nosteen ansiosta kuvan 8 mukaisesti, mikä voi aiheuttaa vedon tunnetta. Tiloissa, joissa lämmönlähteet jakautuvat tasaisemmin, esimerkiksi toimistoissa, tulisi kanavat sijoittaa käytäville tai seinustoille, jotta putoava kylmä ilma ei aiheuta vedon tunnetta työpisteillä (KE Fibertec 2015 s. 43-45).

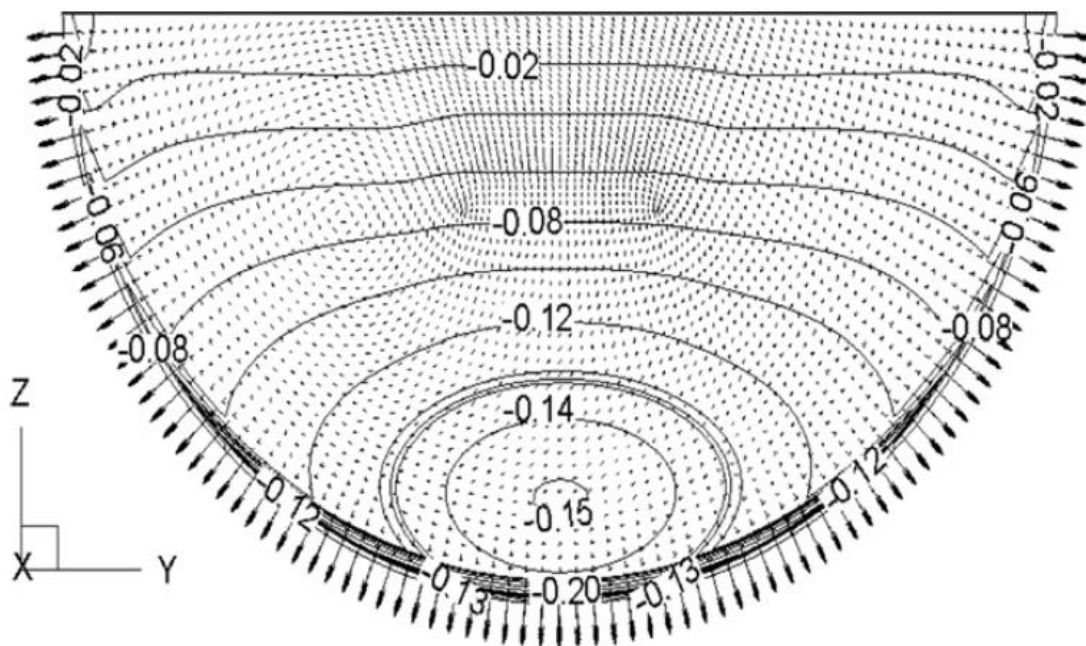


Kuva 8. Ilmavirtaus voi poiketa syrjään voimakkaan lämmön lähteen vaikutuksesta (KE Fibertec 2015 s. 45)

Vaikka huoneessa, jonka ilmanvaihto on toteutettu kangaskanavilla, esiintyy paikoin verraten suuria lämpötilaeroja, varsinkin kanavan ja lämmönlähteiden läheisyydessä, jakautuvat lämpötilat tasaisesti oleskelualueella. Oleskelualueen lämpötilagradientin on virtausdynaamisen simuloinnin (CFD, Computational Fluid Dynamics) avulla todettu olevan ASHRAE 55-2004 mukavuusstandardin mukainen alle 2 Kelviniä, tulo- ja poistoilman lämpötilaerojen ollessa 4 Kelviniä. Arvioitaessa kangaskanavien aiheuttamaa vetoaistimusta huomattiin, että olosuhteet täyttävät mukavuusstandardin

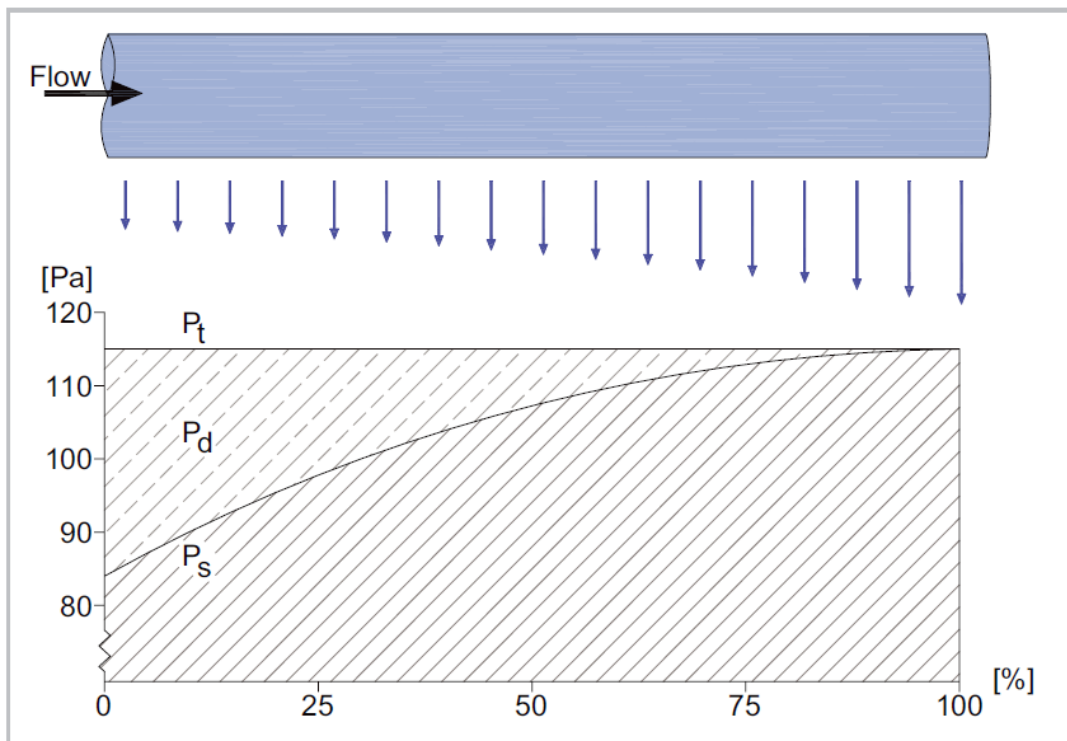
vaatimukset myös vetokriteerin osalta. Vetokriteerin todettiin olevan sekä niskan, että nilkkojen kohdalla käytännössä riippumaton tuloilmamäärästä ja tarkastelupisteen sijainnista kangaskanavaan nähden. Tyytymättömien osuus nilkan kohdalla vaihteli korkeimmillaan 9,5-11,5 % välillä. Niskan kohdalla vetokriteeri oli hieman korkeampi, noin 15 %, mutta kuitenkin standardin mukainen. Niskan korkeampi tulos johtuu, siitä että nilkan korkeudella ilmavirtaa dominoi ainoastaan simulaation sijoitetusta, ihmistä lämmönlähteenä edustavasta, lämpönukesta lähtöisin oleva lämpövoima, kun taas niskan korkeudella vaikuttivat niin nuken kuin simuloitujen sähkölaitteiden lämpövoimat (Chen et al. 2011).

Kanavan sisäinen ilman nopeus sen keskiosassa pienenee virtaussuunnassa. Ilma virtaa kanavan pituuden mukaisesti, kunnes sen liikesuunta vaihtaa kanavan pinnan läheisyydessä kohtisuoraksi kanavan pintaan nähden. Virtaus läpäisee kankaan ja jättää kanavan pinnan niin ikään kohtisuorassa sen pintaan nähden. Ilman nopeus kanavan lävitse on hyvin tasainen kanavan koko pituudelta. Puolipyöreän kanavan mittauksin varmennetuissa CFD simuloinneissa havaittiin, että ilman nopeus heti kanavan pinnan läpäisyn jälkeen on suurin kanavan keskellä sen alaosassa ja pienenee vähitellen yläosaa kohti liikuttaessa (Chen et al. 2010).



Kuva 9. Ilma virtaa kanavasta kohtisuoraan kanavan pintaan nähden. Luvut kuvaavat ilman nopeutta m/s. (Chen et al. 2011)

Kangaskanavassa vallitsee kokonaispaine, joka koostuu dynaamisesta paineesta ja staattisesta paineesta. Ilma läpäisee kanavan kankaan sen koko pituudelta ja ympärysmitalta staattisen paineen ansiosta. Staattinen paine saa myös kanavan pullistumaan muotoonsa. Staattinen paine on yleensä 80-110 Pa. Pyöreässä kanavassa epätäydellinen täytyminen on selkeämmin havaittavissa kuin puolipyöreässä kanavassa. Puolipyöreä kanava on tasaisen yläosansa ansiosta itseään kannatteleva ja ilmamäärää voidaan pudottaa 100 % ulkomuodon juuri muuttumatta. Pyöreän kanavan ilmamäärää voidaan pudottaa noin 60 %. Vaikutus on otettava huomioon käytettäessä muuttuvan ilmavirran ilmanvaihtokoneita. (Creamer 2008a). Kanavan sisäinen kokonaispaine ja dynaaminen paine laskevat hieman, kun etäisyys tuloaukkoon kasvaa. Staattinen paine taas kasvaa hieman virtaussuunnassa. Tämä johtuu siitä, että ilma joutuu voittamaan kankaan huokoisten kuitujen viskositeetin ja osa dynaamisesta paineesta muuttuu staattiseksi paineeksi (Chen et al. 2010). Staattisen paineen nousun johdosta suuri osa kanavan läpi tulevasta ilmasta keskittyy kanavan pätyyn, jossa dynaaminen paine on nolla (KE Fibertec 2015 s. 77).



Kuva 10. Kangaskanavan staattinen paine kasvaa virtaussuunnassa (KE Fibertec 2015 s. 77)

Kanavan kankaan kuitujen huokoisuudella on myös vaikutus kanavan ominaisuuksiin. Kuitujen huokoisuus esimerkiksi vaikuttaa kokonaispaineeseen ja staattiseen paineeseen. Huokoisuuden kasvaessa keskimääräinen kokonaispaine ja staattinen paine pienenevät laskevana käyränä. Kokonaispaine ja staattinen paine toisaalta suurenevät, kun tuloilmamäärä kasvaa. Tuloilmamäärällä on kokonaispainetta suurempi vaikutus staattisen paineen jakautumiseen kanavan pituussuunnassa. Staattinen paine vaikuttaa ilmanjaon tasaisuuteen. Kokonaispaine taas vaikuttaa puhaltimen energiankulutukseen ja sen tuottamiin äänitasoihin. Mitä suurempi kokonaispaine on, sitä enemmän energiaa puhallin kuluttaa, ja sitä korkeammaksi äänitasot kasvavat. On siis olemassa tietty tuloilmamäärän kynnsarvo, jolla voidaan saavuttaa sopiva paine tasaiseen ilmanjakoon tietyssä kangaskanavassa ja samalla pitää puhaltimen energiankulutus maltillisena. Kuitujen huokoisuutta ja tuloilman määrää on siis syytä harkita, jotta ilman nopeus kanavan pituussuunnassa ja puhaltimen energian kulutus pysyvät sopivina (Chen et al. 2013).

Koska ilman nopeus virtaussuunnassa kanavan sisällä laskee ilman edetessä kanavaa pitkin, vaikuttaa tämä kanavan aiheuttamiin kitkapainehäviöihin, jotka myös laskevat virtaussuunnassa. Kangaskanavien kokonaispainehäviöt ovatkin tavanomaisten metallisten kanavien painehäviöitä pienemmät. Kangaskanavavalmistaja Ductsoxin mukaan voidaan suorien, tasaisesti ilmaa jakavien kangaskanavien painehäviöksi arvioida 35 % metallisten kanavien painehäviöstä (Brown & Paschke 2006).

Kylmille pinnoille voi jäähdytystilanteessa, etenkin kesällä, kun ilma on lämmintä ja kosteaa, kondensoitua vettä. Mitä kylmempi pinta, sitä helpommin siihen tiivistyy kondenssivettä. Muun muassa tämän takia tavanomaisten metallisten kanavat tulisi eristää. Brown et al. (Brown et al. 2005) ovat tutkineet veden kondensoitumista erilaisista kankaista valmistettujen kangaskanavien pintaan. Testissä käytetyt kangaskanavat olivat:

1. Ulko- ja sisäpinnalta sileäksi pinnoitettu läpäisemätön polyetyleenikanava.
2. Sisäpinnalta sileäksi pinnoitettu läpäisemätön polyesterikanava kahdella eri neliömassalla.
3. Pinnoittamaton ja kalanteroitu läpäisevä polyesterikanava kahdella eri huokoisuudella.
4. Pinnoittamaton läpäisevä kanava korkealla huokoisuudella.

Verrokkina käytettiin metallista kanavaa. Kanavat olivat 762 millimetriä pitkiä ja halkaisijaltaan 203 millimetriä. Testissä käytetyt olosuhteet olivat äärimmäiset: huoneilman lämpötila oli 32 °C, suhteellinen kosteus 92-98 % ja tuloilman lämpötila 13 °C. Kolmenkymmenen minuutin testijakson jälkeen kanavien visuaalisessa tarkastelussa ilmeni, että ainoastaan metallikanavan ja kanavan numero 1. pintaan tiivistyi yhdistyviä pisaroita, jotka rupesivat tippumaan kanavan pinnasta. Kanavien 2. pintaan oli myös muodostunut pieniä pisaroita, jotka eivät yhdistyneet eivätkä tippuneet, ilmeisesti kanavan kudotun, karheen ulkopinnan takia. Kanavien 3. ja 4. pinnalla ei tapahtunut silmämääräisesti havaittavia muutoksia. Kun kanavien painon lisäys mitattiin, kävi ilmi, että läpäisemättömien kanavien painon lisäys verrattuna läpäiseviin oli huomattava. Kanavien 1. ja 2. painon lisäys vaihteli 41 ja 54 gramman välillä, kun läpäisevien kanavien vastaava tulos oli 1,5 ja 2 gramman välillä. Metallisen verrokkikanavan painon lisäys oli 58 grammaa. Jo pois tippunutta vettä ei kerätty, eikä huomioitu punnituksessa. Myös lämpötiloja mitattiin kanavien pinnan läheisyydessä ja havaittiin, että läpäisevien kanavien pinnan ympärille muodostuu ilmastoidun ilman kerros, joka toimii lämpöeristeenä ja estää kuumaa ja kosteaa huoneilmaa pääsemästä kosketuksiin kanavan pinnan kanssa. Läpäisevien kanavien lämpötilagradientti on siis huomattavasti leveämpi kuin läpäisemättömien kanavien (Brown et al. 2005).



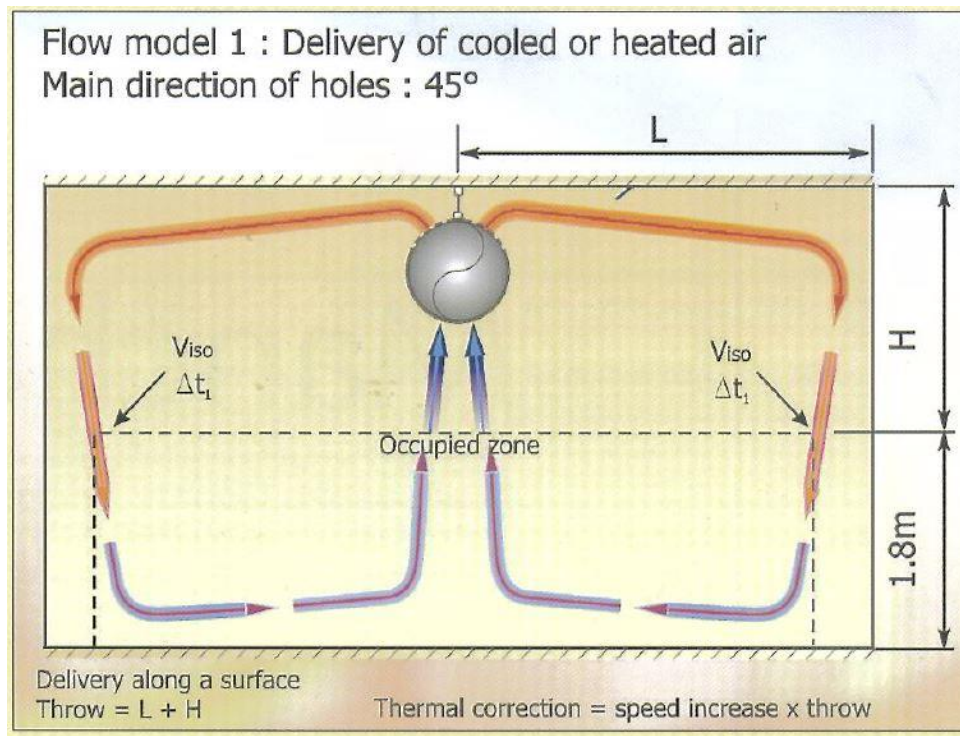
Kuva 11. Vasemmalla läpäisemättömän ja oikealla läpäisevän kankaan lämpötilagradientit (Brown et al. 2005)

Vaikka kangaskanavajärjestelmä on helppo irrottaa ja puhdistaa, on syytä huomioida, että kanava itsessään toimii ikään kuin ylimääräisenä suodattimena ja tuloilman mukana

tulevat, tarpeeksi isot hiukkaset eivät läpäise kangasta. Tuloilman riittävä suodatus ennen kanavaa on tärkeää, jottei kanava tukkeudu ja ilmanjako kärsi. Tuloilma tulisi suodattaa vähintään F7 suodatusluokan suodattimen läpi (Creamer 2008b).

4.1.2 Korkeaimpulssikanavat

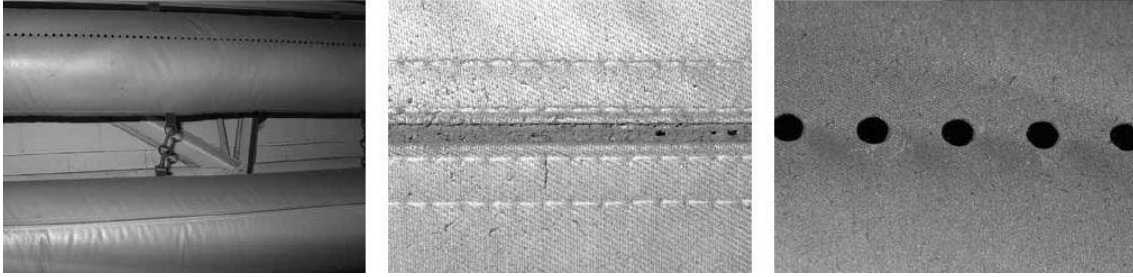
Korkeaimpulssikanavat ovat läpäisemätöntä kangasta, johon leikatuista raoista tai kartiomaisista jetsuuttimista ilmanjako tapahtuu suurella nopeudella, noin 10-15 m/s, suunnittelukriteereistä riippuen. Raot tai suuttimet voidaan suunnata melkein mihin suuntaan tahansa kanavan ympärysmittalla ja ryhmitellä erilaisten kuvioiden mukaan. Niiden läpi virtaavan ilman korkean nopeuden ansiosta ilman liikevoima riittää sen kulkeutumiseen, esimerkiksi katon rajassa, huoneen poikki oleskelualueelle. Kulkeutuessaan tuloilma vetää mukaansa induktion ansiosta huomattavan määrän huoneilmaa ylöspäin oleskelualueelta, noin 20-40 yksikköä huoneilmaa yhtä tuloilmayksikköä kohden. Ilmavirta perinteisestä kattohajottajasta vetää mukaansa vain noin 12-15 yksikköä huoneilmaa tuloilmayksikköä kohden. Ilman liikevoiman ansiosta ilma sekoittuu riittävästi riippumatta siitä, käytetäänkö järjestelmää lämmitykseen tai jäähdytykseen. Korkeaimpulssikanavien mahdollisia käyttökohteita ovat esimerkiksi uima- ja varastohallit (Creamer 2008a).



Kuva 12. Korkeaimpulssikanavan aiheuttamat virtaukset huoneessa (Creamer 2008a)

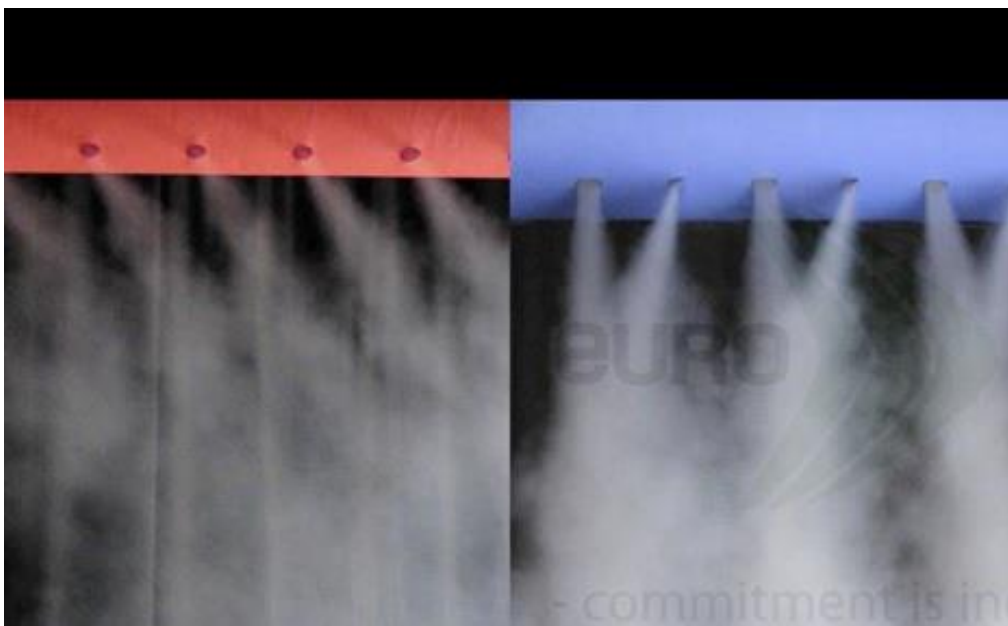
Tuloilman suuren liikevoiman ansiosta korkeaimpulssijärjestelmä ei ole yhtä herkkä esimerkiksi konvektiovirtausten aiheuttamille häiriöille kuin matalaimpulssijärjestelmä (KE Fibertec 2015 s. 55).

Eri valmistajilla on erilaisia ratkaisuja ilmarakojen toteutukseen. Ne voivat esimerkiksi olla lineaarisia verkon peittämiä rakoja, tai yksittäisiä laserilla leikattuja pyöreitä reikiä. Lineaarisiin rakoihin verrattuna laserilla leikatuilla rei'illä on joitakin etuja. Laserin leikatessa kangasta, materiaali leikkauskohdan reunalla kuumenee, sulautuu yhteen ja vahvistuu. Tämän takia reikien halkaisija voi vaihdella noin viidestä kahteenkymmeneenviiteen millimetriin. Laserleikattujen reikien halkaisijaa ja lukumäärää on myös helpompi räätälöidä yksilöllisesti tiettyyn järjestelmään sopivaksi, joka parhaassa tapauksessa johtaa sopivampaan kanaviston painetasoon ja täten energian säästöön puhaltimen osalta, ja toimivampaan ilmanjakoon. Jälkiasennuskohteissa voidaan ratkaisun joustavuuden takia välttää puhaltimen uusiminen kokonaan. Lineaariset raot synnyttävät myös helpommin ylimääräistä ääntä ja ovat herkempiä tukkeutumaan, jolloin ilmanjako häiriintyy (Kaufmann & Gebke 2009).



Kuva 13 Lineaariset raot ovat tukkeutuneet muutaman kuukauden käytön jälkeen (Kaufmann & Gebke 2009)

Tietyissä tilanteissa ilmasuihku kanavan pinnassa olevien reikien läpi voi kulkeutua virtaussuunnan mukaisesti. Kanavan pintaan nähden kohtisuoraan suihkuun verrattuna, tämä voi aiheuttaa ilman epätasaisen jakautumisen huonetilaan. Kanavan alkupäässä ilma jää liikkumattomaksi ja loppupäässä voi päinvastoin esiintyä vetoisuutta. Suihkun poikkeamista kohtisuorasta linjasta voidaan ehkäistä kanavasta leikatun ohjauslevyn tai -läpän avulla (Euro Air A/S). Ilmasuihkun poikkeamista esiintyy, kun ilman nopeus kanavan suulla on liian korkea verrattuna kanavan pinnassa olevien reikien läpi virtaavan ilman nopeuteen. Myös reikien liian suuri halkaisija voi aiheuttaa ilmiön. Ilmasuihkun poikkeamiseen voidaan siis myös vaikuttaa suunnittelemalla järjestelmä siten, että reikien läpi virtaavan ilmasuihkun nopeus on aina jonkin verran suurempi kuin kanavan sisäinen nopeus ja välttämällä liian suuria ilmareikiä (KE Fibertec 2015 s. 78)



Kuva 14. Vasemmalla ilmasuihkun poikkeama kohtisuorasta linjasta, oikealla poikkeaman korjaus ohjausläppien avulla (Euro Air A/S)

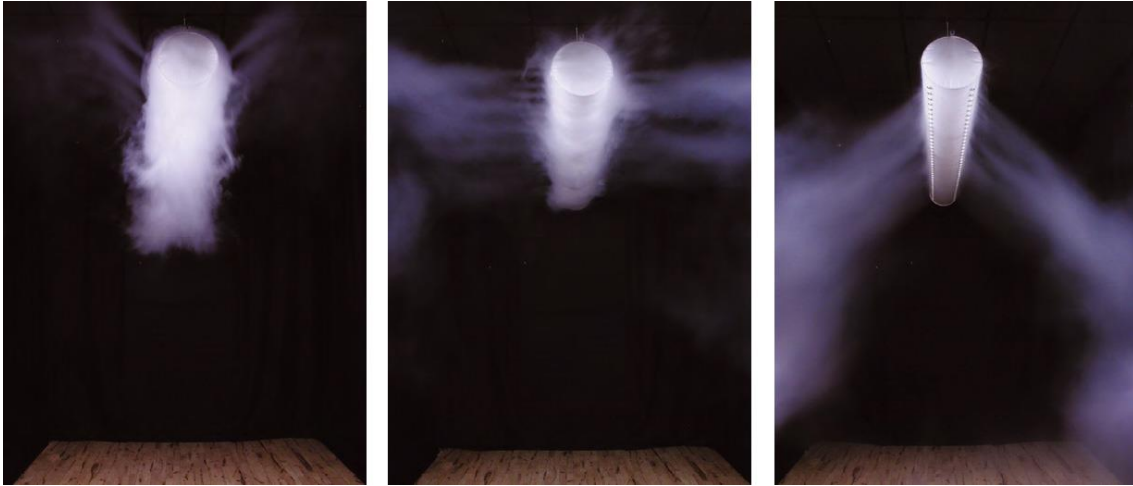
Vertailtaessa perinteisen kattohajottajan ja korkeaimpulssikanavan toimintaa lämmitystilanteessa CFD simulaation avulla, havaittiin, että kangaskanavajärjestelmä lämmitti huonetta 24,5 % kattohajottajaa tehokkaammin ja tasaisemmin. Simuloidun huoneen viihtyvyytensä arvioitiin myös ADPI-indeksillä kummankin päätelaitteen osalta. Tuloksena oli, että hajottajan ADPI-luku oli alhainen pienellä tuloilmamäärällä ja korkea suurella tuloilmamäärällä. Tämä johtui huoneen suuresta lämpötilagradientista ja pienestä ilman nopeudesta, tuloilmamäärän ollessa alhainen. Ilmavirta saavutti oleskelualueen vasta ilmamäärän kasvaessa. Tulokset kangasjärjestelmän osalta olivat päinvastaiset, eli ADPI-luku pieneni ilmamäärien lisääntyessä. Tämä johtui liian suuresta ilman nopeudesta oleskeluvyöhykkeellä (Fontanini et al. 2011).

Koska korkeaimpulssikanavissa käytetään läpäisemätöntä kangasta, voi niiden pinnalle jäädytystilanteessa kondensoitua vesipisaroita. Pisarat eivät kuitenkaan yhdisty ja putoa kanavan pinnalta (Brown et al. 2005).

4.1.3 Hybridikanavat

Hybridikanavissa yhdistyvät matalaimpulssikanavien ja korkeaimpulssikanavien ominaisuudet. Kanavat on valmistettu läpäisevästä kankaasta, johon on leikattu reikiä. Osa tuloilmasta läpäisee kanavan seinämän ja osa virtaa huoneeseen kanavan kyljessä olevien jetsuutinten läpi. Järjestelmää voidaan käyttää sekä jäähdytys-, että lämmitystilanteessa. Suutinten ansiosta saavutetaan tuloilman tehokas sekoittuminen ja vältetään mahdolliset kondensaatiosta johtuvat ongelmat kanavan läpäisevän pinnan takia (Creamer 2008b). Järjestelmästä on hyötyä esimerkiksi, kun tulo- ja huoneilman lämpötilaero on suurempi kuin 5-6 °C, sillä kun osa tuloilmasta jaetaan suutinten kautta, ei kanavan kankaan läpi tuleva ilma aiheuta vedon tunnetta (KE Fibertec 2015 s. 67).

Suutinten läpi virtaavan ilman suhdetta kankaan läpi virtaavaan ilmaan voidaan säätää suutinten määrää lisäämällä tai vähentämällä (KE Fibertec 2015 s. 69).



Kuva 15. Vasemmalla 5-10 % ilmasta virtaa suuttimien kautta, keskellä 15-30 % ja oikealla >40 % (KE Fibertec 2015 s. 68)

4.1.4 Negatiivisen paineen kanavat



Kuva 16. Poistoilmakangaskanava (Prihoda 2016a, s. 13)

Yleisimmin kangaskanavajärjestelmiä käytetään tuloilmanjakoon. Markkinoilla on kuitenkin myös kanavia negatiiviselle paineelle, eli poistoilmalle. Negatiivisen paineen aiheuttama kanavan kokoon luhistuminen estetään metallisella kehyksellä. Poistoilma virtaa neliön tai kolmion muotoiseen kanavaan sen pintaan leikatuista aukoista. Aukkojen halkaisijaa ja niiden välistä etäisyyttä muuttamalla voidaan säätää poistoilman määrää. Valmistajan mukaan kanavat soveltuvat käytettäviksi kohteisiin, joissa järjestelmän kaikkien osien on oltava helposti purettavissa ja puhdistettavissa (Prihoda 2016a).

4.1.5 Yhteenveto

Kuten yllä mainittiin, voivat ilmamäärät elintarviketeollisuudessa kasvaa huomattavan suuriksi. Kangaskanavat vaikuttaisivatkin soveltuvan tähän tarkoitukseen hyvin, sillä tutkimusten mukaan tuloilmamäärällä per kanavametri ei ole mainittavaa vaikutusta viihtyisyyteen. Kun jäähdytyskuorma mitoitetaan oikein, voidaan saavuttaa mikro-organismien kasvulle epäsuotuisat olosuhteet ja samalla varmistaa suhteellisen viihtyisät olosuhteet työntekijöille.

Matalaimpulssikanavat toimivat kerrostumaperiaatteella, joka on neljästä tilailmastoinnin periaatteesta toiseksi tehokkain epäpuhtauksien poistossa mäntävirtauksen jälkeen. Muissa kuin erityistä hygieniaa vaativissa, mäntävirtauksella toteutettavissa, puhdistiloissa voidaan kangaskanavilla myös poistaa tehokkaasti epäpuhtauksia.

Kangaskanavien helppo ja nopea puhdistettavuus vähentää myös kontaminaatoriskiä tuotteille ja voi myös minimoida keskeytykset tuotannolle. Kangaskanavat eivät myöskään toimi itsessään kasvualustana bakteereille. On muistettava, että kangaskanava toimii itsessään eräänlaisena suodattimena ja riittämätön tuloilman suodatus voi johtaa kanavien tukkeutumiseen. Minimoidakseen huoltovälit on siis tuloilman riittävästä suodatuksesta pidettävä huolta.












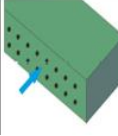
Kangaskanavien kondensoimattomuus on myös yksi kontaminaatoriskiä vähentävä seikka. Kondensaatoriskiä voidaan edelleen vähentää valitsemalla esimerkiksi hybridikanava, jonka suihkut suunnataan kattoon. Näin voidaan välttyä kondensaatiolta paitsi kanavan pinnalla, myös huoneen pinnoilla.

4.2 Kangaskanavien kustannukset

Vaikka kangaskanavat, varsinkaan erittäin yksityiskohtaisesti räätälöidyt kanavat, eivät välttämättä ole perinteisiä metallikanavia halvempia per kanavametri, voivat taloudelliset säästöt olla huomattavia, kun kaikki osatekijät otetaan huomioon. Säästöt metallikanaviin verrattuna voivat olla jopa 20-50 %. Metallikanavien kustannuksia nostavat muun muassa seuraavat asiat (Creamer 2008b):

- Säleiköt ja hajottimet
- Kannakointi
- Asennusaika
- Maalaamiseen kuuluva aika ja materiaalit
- Kanavien mahdolliseen eristämiseen kuuluva aika ja materiaalit
- Kanavien mahdolliset pintakäsittelyt, esim. ruostesuojaus

Kangaskanavavalmistaja Prihoda on vertaillut Tšekissä sijaitsevan teollisuushallin materiaalien ja asennusten reaalihintoja (kuva 17). Kohteen huonekorkeus on 8 metriä, jakokanavien pituus 487 metriä ja hajotusosion pituus 732 metriä. Vertailussa on tarkasteltu eri vaihtoehtojen hintoja kokonaan metallisesta kanavistosta kokonaan kangaskanavista koostuvaan kanavistoon. Vertailun tuloksena on, että säästöt ovat sitä suuremmat, mitä vähemmän metallikanavia käytetään (Prihoda 2016b). Vertailussa ei tosin mainita mitään eri vaihtoehtojen toteutuskelpoisuudesta tai vaikutuksesta kohteen ilmanvaihtoon.

Air Transport	Air Distribution	Exhaust System	Costs (EUR)	
Metal Spiro Ducting	Metal Spiro Ducting with Steel Outlets	Metal Spiro Ducting with Steel Outlets	Material	74 042 100 %
			Installing	28 087 100 %
Metal Spiro Ducting	Fabric Diffusers PRIHODA	Metal Spiro Ducting with Steel Outlets	Material	54 435 74 %
			Installing	17 593 63 %
Fabric Ducting PRIHODA	Fabric Diffusers PRIHODA	Metal Spiro Ducting with Steel Outlets	Material	29 980 40 %
			Installing	5 744 20 %
! SAVE UP TO 65 % !				
Fabric Ducting PRIHODA	Fabric Diffusers PRIHODA	Fabric Exhaust Air Ducting PRIHODA	Material	29 147 39 %
			Installing	2 914 11 %
! SAVE UP TO 68 % !				



Kuva 17. Kustannusvertailu metallisen, osittain metallisen ja kokonaan kangaskanavista koostuvien järjestelmien välillä (Prihoda 2016b).

Singaporelaisessa toimistokohteessa on onnistuttu säästämään sekä asennuskustannuksissa, että energiatehokkuudessa vaihtamalla metallinen kanavisto kangaskanaviin remontin yhteydessä. Kohteen ilmanvaihtokoneita ei remontin yhteydessä vaihdettu. Kanaviston asennusajat olivat jopa 80 % pienemmät ja tämän lisäksi kevyemmät kangaskanavat voitiin asentaa myös esim. alakattoihin. Kohteen energiansäästöt johtuivat ilmanvaihtokoneiden käyntiaikojen ja ilmamäärien pysyessä samoina puhaltimien pienemmästä energiankulutuksesta, koska kangaskanaviston vaatima puhaltimien paineenkorotus oli huomattavasti pienempi kuin entisen kanaviston. Kohteen vuosittainen energiankulutus vanhalla metallisella kanavistolla oli 16380 kWh ja uudella kangaskanavista koostuvalla kanavistolla 12695 kWh. Energiankulutus laski siis 23 % (Mackerness 2013).

Kangaskanavien nopea asennus voi itsessäänkin olla tarpeeksi suuri syy valita kangaskanavat, kun tuotannon keskeytyminen asennustöiden ajaksi tulisi liian kalliiksi esim. elintarviketeollisuudessa. Cincinnatiassa, Yhdysvalloissa, asennettiin jälkiasennuksena 2000 m² keksientuotantoalueelle kangaskanavajärjestelmä, koska tehtaalla ei ollut varaa keskeyttää 24 tuntia vuorokaudessa toimivaa tuotantoa hetkeksikään. Urakasta suoriuduttiin yhdessä päivässä tuotantoa lähes keskeyttämättä, kun metallikanavien asennus olisi urakoitsijan mukaan voinut keskeyttää tuotannon jopa viikoiksi. Yhdysvaltain elintarvike- ja lääkintävirasto FDA vaatii elintarvikkeiden tuotantotiloissa käytettävän alumiinisia tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuja metallikanavia niiden puhdistettavuuden vuoksi. Asentamalla kohteeseen antimikrobisella aineella käsitellyt kangaskanavat säästettiin myös materiaalikustannuksissa (Check-Hanks 2004).

Kangaskanavien muut ominaisuudet voivat myös vaikuttaa kustannuksiin. Esimerkiksi Yhdysvaltojen Illinoisissa säästettiin 300 000 dollaria ilmanvaihtokoneiden hankintakustannuksissa kangaskanavien avulla. Kangaskanavien kondensoimattomuus mahdollisti alhaisemmat lämpötilat jäähdytyspiirin menoveden ja tuloilman osalta. Tämän seurauksena tuloilmamäärää voitiin pienentää lähes 50 m³/s ja kohteeseen voitiin hankkia pienemmät ilmanvaihtokoneet. Hankintakustannusten lisäksi kohteessa arvioidaan säästyneen myös 80 000 dollaria kangaskanavien nopeamman asennuksen takia (Engineered Systems 2005).

Useat valmistajat tarjoavat myös mahdollisuutta painattaa valinnainen kuvio, esimerkiksi yrityksen logo, kanavien pintaan. Vaikka kyseinen optio todennäköisesti nostaa kangaskanavan hintaa, on varmasti mahdollista myydä kanavan pinta mainostilana, etenkin kohteissa, joissa käy paljon yleisöä. Tämä alentaisi paitsi kustannuksia, mutta toimisi myös esteettisenä sisustuselementtinä monotonisen ja yksivärisen kanavan sijaan.

4.3 Kangaskanavien suunnittelu

Kangaskanavien valmistajilla on yleensä käytössään kangaskanavien suunnitteluun tarkoitetut patentoidut suunnitteluohjelmat. Valmistajien suosituksena onkin käyttää heidän omia suunnittelupalvelujaan. Useimmat valmistajat julkaisevat kuitenkin myös

tekniset diagrammit esim. kanavien halkaisijan, läpäisykyvyn, painehäviöiden ja äänitasojen määrittämiseksi.

Valmistajien julkaisemien mitoitus tietojen avulla suunnittelija voi tehdä järjestelmästä karkean mitoituksen, jonka jälkeen valmistaja tai heidän edustajansa tarkastaa suunnitelman. Vaihtoehtoisesti tarkempi mitoitus valmistajan puolesta voidaan tehdä urakkatarjousvaiheessa (Pesonen 2016).

Koska kangaskanavatuotteet eroavat huomattavasti toisistaan ja oikeiden tuotteiden valinta riippuu tämän lisäksi vielä jokaisen projektin lähtötilanteesta ja sen tavoitelluista olosuhteista, on vaikea määrittellä kaikille tuotteille yleisesti päteviä suunnitteluohjeita. Seuraavissa taulukoissa on kuitenkin joitakin raja-arvoja, joita voi käyttää kangaskanavajärjestelmää harkittaessa. Taulukon 3 avulla määritetään huoneen kategoria halutusta mukavuustasosta riippuen. Taulukoilla 4 ja 5 voidaan määrittää reunaehdot matalaimpulssi- ja vastaavasti korkeaimpulssikanaville.

Huonekategoria	A	B	C
Aktiviteettitaso	Istumatyö	Seisova työ / jaksottainen liike	Keskiraskas/raskas työ
Vaatetus	Lyhytaihainen paita / kevyet housut / kevyet työvaatteet	Kevyt takki / pusero / housut	Päälystakki / takki / pusero / housut
Ilman max. nopeus oleskeluvyöhykkeellä [m/s]	0,15	0,2	0,25-0,3
Vaatus oleskeluvyöhykkeen lämpötilan vaihtelulle [°C]	Yhtenäinen 1-2	Pieni lämpötilaero 2-4	Suuri lämpötilaero 4-6

Taulukko 3. Kangaskanavien huonekategoriat (Creamer 2008a)

Huonekategoria	A	B	C
Tuloilman nopeus kankaan läpi [m/s]			
-Puolipyöreät kanavat	<0,09	<0,11	<0,18
-Pyöreät kanavat	<0,07	<0,09	<0,15
Lämpötilan jakautuminen:			
-Oleskeluvyöhykkeellä	Yhtenäinen	Pieni lämpötilaero	Suuri lämpötilaero
-Kanavan lähialueella	80 %sekoitusaste	65-70 % sekoitusaste	55-65 % sekoitusaste
Tuloilman lämpötilan max. vaihtelu [°C]	±0,5	±1,0	±1,5
Suositteltu max. jäähdytysteho per kanavametri [W/m]	260	700	1500
Suositteltu max. jäähdytysteho per lattian pinta-ala [W/m ²]	130	200	300
Ilman max. tilavuusvirta per kanavametri [m ³ /m/h]	300	650	1200

Taulukko 4. Matalaimpulssikanavien raja-arvoja (Creamer 2008a)

Huonekategoria	A	B	C
Lattian ja katon välinen lämpötilaero (huonekorkeus 4-5 m)			
-Jäähdytys [K]	1	1-2	2-3
-Lämmitys [K]	1-2	2-3	3-5
Tuloilman lämpötilan max. vaihtelu [°C]	±0,5	±1,0	±2,0
Suositteltu max. jäähdytysteho per lattian pinta-ala [W/m ²]	70	120	250
Suositteltu max. lämmitysteho per lattian pinta-ala [W/m ²]	50	80	180
Max. ilman tilavuusvirta per kanavametri [m ³ /m/h]	200-250	300-350	400-500

Taulukko 5. Korkeaimpulssikanavien raja-arvoja (Creamer 2008a)

Lisäyksenä ylläoleviin taulukoihin, KE Fibertec suosittelee matalaimpulssikanaville seuraavia arvoja huone- ja tuloilman väliseksi lämpötilaeroksi ja jäähdytyskuormiksi eri huonekategorioissa:

Huonekategoria	A	B	C
Suositus ΔT (huone-tuloilma)	2,5-3,0 °C	3,0-5,0 °C	4,0-6,0 °C
Max. ΔT (huone-tuloilma)	6,0 °C	7,5 °C	9,0 °C
Max. Jäähdytyskuorma/kanavametri kun $\Delta T =$ suositus [W/m]	260	700	1500
Max. Jäähdytyskuorma/kanavametri kun $\Delta T =$ max. [W/m]	95	175	200

Taulukko 6. Suositeltu ja maksimaalinen lämpötilaero ja jäähdytyskuorma (KE Fibertec 2015 s. 83)

On huomionarvoista, että mikäli jäähdytyskuormaa per kanavametri pienennetään tarpeeksi, voivat lämpötilaerot olla hyvinkin suuria ilman vaikutusta viihtyvyyteen.

Suomessa ehkä yleisimmin käytetyn suunnitteluohjelmisto MagiCADin tuotekirjastosta löytyy tällä hetkellä yhden kangaskanavavalmistaja, KE Fibertecin, tuotteet, joita voi käyttää apuna suunnitelmia laadittaessa. Ongelmaksi tarkkojen suunnitelmien mallintamisessa muodostuu kuitenkin se, että Suomeen maahantuodaan ainoastaan samaan konserniin kuuluvan Euro Airin tuotteita, jotka ovat hieman erilaisia ominaisuuksiltaan. Euro Airin tuotteita ei vielä ole lisätty MagiCAD tuotekirjastoon, asiaa tosin tutkitaan parhaillaan (Pesonen 2016).

Kuten luvussa 4 mainittiin, käytetään Euroopassa yleisimmin palonkestävää Trevira CS polyesteriä kangaskanavien materiaalina. Vaikka materiaali onkin palonkestävää, ei kangaskanavia tulisi käyttää kanavan kulkiessa palo-osastojen läpi. Tässä tilanteessa kanavan voi tietenkin vaihtaa tietyltä pituudelta perinteiseksi metallikanavaksi, jonka yhteyteen asennetaan palopelti (Daugherty 2016).

5 YHTEENVETO

Elintarviketeollisuudessa, kuten muussakin teollisuudessa, on prosessin toiminnan varmistaminen tärkeintä, mutta ei hinnalla millä hyvänsä. Kuten aikaisemmin mainittiin, epävihtyisät työolot voivat vaarantaa työntekijöiden terveyden ja näin ollen lisätä tehtyjen virheiden määrää ja laskea merkittävästi tuottavuutta.

Erityisesti epätasaisiin lämpöoloihin ja vedon tunteeseen on syytä kiinnittää huomiota. Elintarviketeollisuuden hygieniavaatimusten takia ilmamäärät kasvavat suuriksi ja tietyt prosessit vaativat alhaiset lämpötilat. Tällöin riskinä on työskentelyolosuhteiden huomattava heikentyminen.

Matalan impulssin kangaskanavat kykenevät jakamaan huomattavia ilmamääriä ja jäähdystehoja suuren pinta-alansa ansiosta. Tutkimusten perusteella kangaskanavilla jaettavan ilmamäärän lisääminen ei mainittavammin vaikuta oleskeluvyöhykkeellä koettuun vedon tunteeseen, eivätkä ilman nopeudet ylitä kansainvälisten mukavuusstandardien rajoja. Kun myös kanavan jäähdytyskuorma mitoitetaan oikein, on mahdollista jakaa huomattavasti huoneilmaa kylmempää ilmaa säilyttäen maltilliset ilmannopeudet oleskeluvyöhykkeellä. Kanavien pintaan ei tuloilman alilämpöisyydestä huolimatta kondensoidu elintarvikeprosesseille mahdollisesti kontaminaatoriskin aiheuttamaa vettä.

Korkeaimpulssi- ja hybridikanavia taas voidaan tuloilman suuren nopeuden vuoksi käyttää myös tiloissa, joissa tarvitaan lämmitystä ja ilman mahdollisimman tehokas sekoittuminen halutaan varmistaa. Hybridikanavilla voidaan minimoida kondensaatoriski myös sekoittavassa ilmanvaihdossa.

Kangaskanavat eivät itsessään toimi kasvualustana mikrobeille. Valitsemalla anti-mikrobiseksi käsitelty kangasmateriaali, voidaan kontaminaatoriskiä pienentää edelleen.

Valitsemalla kangaskanavajärjestelmä on useissa kohteissa onnistuttu säästämään niin suoria, kuin välillisiä kustannuksiakin. Ne voivat johtaa aiempaa alhaisempiin käyttökustannuksiin ja energiansäästöön. Kangaskanavien nopean asennuksen vuoksi voidaan myös välttää tai minimoida kalliit prosessien keskeytykset.

Kangaskanavajärjestelmien korkean räätälöitävyyden ja eri valmistajien tuotteiden eroavuuksien takia, on kaikille tuotteille sovellettavia, tarkkoja suunnitteluohjeita vaikea antaa. Huonekategorioiden avulla voidaan kuitenkin määrittää tilan käyttötarkoituksesta ja mukavuustasosta riippuen tiettyjä suuntaa antavia raja-arvoja eri suunnitteluparametreille.

Jokainen kohde on erilainen omine vaatimuksineen ilmanvaihdon osalta, eivätkä kangaskanavat varmastikaan sovellu kaikkiin käyttötarkoituksiin. Työssä mainittujen seikkojen valossa vaikuttaa kuitenkin siltä, että varsinkin elintarviketeollisuudessa kangaskanavat puolustavat paikkaansa, niin ilmanjaon viihtyisyyden, kuin hygieniinkin kannalta.

LÄHTEET

Sisäilmayhdistys Ry. Saatavilla: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet> Haettu 22.7.2016.

Motiva Oy. 2015. Saatavilla: http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoja_energia- ja vedenkulutuksesta/sisailmasto Haettu. 22.7.2016.

Sandberg, Esa. 2014a, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sandberg, Esa. 2014b, Ilmastointilaitoksen mitoitus. Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Goodfellow & Tähti. 2001, Industrial Ventilation Design Guidebook. Academic Press.

Fontanini et al. 2011, Thermal comparison between ceiling diffusers and fabric ductwork diffusers for green buildings. Energy and Buildings, Vol 43, Issue 11, November 2011, Pages 2973–2987.

Rakennustieto Oy. 1993. Epätasaiset lämpöolot ja veto. Tiedonjyväkortti LVI 70-40027.

EHEDG. 2006, Guidelines on air handling in the food industry. Trends in Food Science & Technology 17 (2006), Pages 331–336.

Holah, John & Lieveld, Huub. 2011, Hygienic Design of Food Factories. Woodhead Publishing Limited.

Wirtanen, Gun. 2002, Laitehygieniä Elintarviketeollisuudessa. VTT Publications 480. VTT, Espoo.

Isoaho, Henri. 2014, Teurastamoiden ja lihanjalostuslaitoksien LVI-tekniisiä erityispiirteitä. Insinööriyö. Metropolia, Helsinki.

Wirtanen et al. 2002, Clean air solutions in food processing. VTT Publications 482. VTT, Espoo.

Creamer, Mike. 2008a, Masterclass part 34: Textile-based air distribution. ACR News, lokakuu 2008. Saatavilla: <http://www.acr-news.com/masterclass-textile-based-air-distribution-part-34--> Haettu 21.7.2016.

Creamer, Mike. 2008b, Masterclass part 35: Textile-based air distribution. ACR News, marraskuu 2008. Saatavilla: <http://www.acr-news.com/masterclass-textile-based-air-distribution-part-35-> Haettu 21.7.2016.

Pesonen, Hannu. 2016a. Tukku-Kylmä Oy, Kuopio. Sähköpostiviesti 27.10.2016

KE Fibertec. 2015, Textile Based Ventilation. KE Fibertec AS.

Chen et al. 2011, Air distribution in room ventilated by fabric air dispersion system. Building and Environment Vol 46, Issue 11, November 2011, Pages 2121–2129.

Chen et al. 2010, Characterizing airflow through fabric air dispersion system using a porous media model. Energy and Buildings, Vol 43, Issues 2–3, February–March 2011, Pages 665–670.

Chen et al. 2013, Parametrical analysis on characteristics of airflow generated by fabric air dispersion system in penetration mode. Energy and Buildings, Vol 67, December 2013, Pages 365–373.

Brown & Paschke. 2006, Pressure: Design Methods for Fabric Duct Systems. DuctSox Corp.

Brown et al. 2005, Condensation Evaluation of Permeable and Impermeable Materials for Air Distribution. DuctSox Corp.

Euro Air A/S. Directional Flow Control (DFC) System. Saatavilla: http://www.euroair.eu/media/2669/ea_8p_dfc_brochure_web.pdf Haettu: 10.9.2016

Kaufmann, N. & Gebke, K. 2009, Laser Venting Tehcnology: Why are laser vents superior to mesh vents? DuctSox Corp.

Prihoda. 2016a, Fabric Ducting & Diffusers: Technical Data. Saatavilla: http://www.prihoda.com/userfiles/dokumenty/technical_data_eng.pdf Haettu: 3.9.2016.

Prihoda. 2016b, Economic Comparison of Air Distribution Systems. Saatavilla: http://www.prihoda.com/userfiles/dokumenty/economic_comparison_eng-1.pdf Haettu: 10.9.2016.

Mackerness, David. 2013, The Advantages of Fabric Ducting. The Singapore Engineer, maaliskuu 2013.

Engineered Systems. 2005, Fabric duct helps save high school \$380,000, no sweat. Engineered Systems, maaliskuu 2005. Saatavilla: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=afh&AN=16415546&site=ehost-live> Haettu: 10.9.2016

Checkett-Hanks, B. 2004, Retrofits boost IAQ, save energy. Air Conditioning, Heating & Refrigeration News, elokuu 2004. Saatavilla: <http://search.proquest.com/docview/196498872?accountid=27294> Haettu: 10.9.2016

Pesonen, Hannu. 2016b. Tukku-Kylmä Oy, Kuopio. Sähköpostiviesti 15.9.2016.

Daugherty, Philip. 2016. Engineering Manager US, FabricAir. Keskustelulanka, LinkedIn, elokuu 2016. Saatavilla: <https://www.linkedin.com/pulse/fabric-duct-beats-metal-air-conditioning-system-oyewo-yinusa> Haettu: 17.9.2016