

Arto Sarhela

ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄN  
PERUSPARANNUKSEN  
ESISUUNNITELMA  
Teollisuusyrityksessä

Opinnäytetyö  
Talotekniikka

Marraskuu 2010



**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  26.11.2010
<b>Tekijä(t)</b> Arto Sarhela	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Talotekniikka	
<b>Nimeke</b> Ilmastointijärjestelmän perusparannuksen esisuunnitelma teollisuusyrityksessä		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli ilmastointijärjestelmän perusparannuksen esisuunnitelman luominen keskisuuren teollisuusyrityksen tehdashalliin. Työssä pohdittiin eri ilmanjakotapojen sekä lämmöntalteenotto-laitteiden soveltuvuutta kyseiseen tilaan ottaen huomioon tehtaassa tapahtuvan eri metallien käsittelyn. Työssä perehdyttiin myös työterveyden ylläpitoon ja edistämiseen, johon kuuluu olennaisena osana suunnitellun ilmanjakotavan ilmavirtojen mitoitus ja nykyaikaisen kohdeilmanvaihdon järjestäminen.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla tehtaan nykyiseen ilmanvaihtojärjestelmään ja siinä esiintyneisiin ongelmiin sekä perehtymällä eri metallien käsittelyvaiheissa syntyviin päästöihin ja niiden poiskuljettamiseen oleskeluvyöhykkeeltä. Lähtötietojen kokoamisen jälkeen siirryttiin tutustumaan teollisuuden ilmastoinnista julkaistuihin teoksiin, joita tarjolla runsaasti.</p> <p>Esisuunnitelman perusteella uudesta järjestelmästä tehtiin investoinnin kustannusarvio sekä määritettiin lämmöntalteenotolla saavutettujen säästöjen perusteella järjestelmän takaisinmaksuaika. Järjestelmän takaisinmaksuajaksi tuli nykyisillä lämmitysenergian hinnoilla 5,5 vuotta. Investointikustannuksia voidaan kuitenkin vielä pienentää mm. vanhoja päätelaitteita ja kanavia hyödyntämällä. Lisäselvityksiä ilmastointijärjestelmän saneerauksessa vaatii esimerkiksi pyörivän lämmönsiirtimen soveltuminen käytettäväksi lämmöntalteenottolaitteeksi epäpuhtauksien siirtymisen vuoksi.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  Sisäilma, ilmastointi, ilmastointijärjestelmät, teollisuus, ilmanlaatu		
<b>Sivumäärä</b> 47	<b>Kieli</b> suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Martti Veuro	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  RTA-Metalli Oy	

## DESCRIPTION

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  26.11.2010
<b>Author(s)</b> Arto Sarhela	<b>Degree programme and option</b> Building Services Engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Preliminary plan for restructuring the air conditioning system in an industrial hall		
<b>Abstract</b>  <p>The purpose of the Bachelor's thesis was to create a preliminary plan for restructuring the air conditioning system in an industrial hall. The study examines suitability of different air distributing ways and different heat recovery systems to the space in question. In addition, one aim was to take a look in methods how to further wellbeing of staff. This includes correct dimensioning of air flow depending on the way of air distribution and arranging efficient local ventilation.</p> <p>The first task was to get acquainted to the current air conditioning system and its faults. Also one essential issue was to study what kind emissions is developed from processing metals. Published literature of industrial ventilation was studied after collecting basic knowledge of the processing methods in use and emissions.</p> <p>On the basis of preliminary plan an estimate of costs and amount of recovered heat was calculated. Re-payment period of the new air conditioning system was also specified.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Indoor air, air conditioning, air conditioning systems, industry, air quality		
<b>Pages</b> 47	<b>Language</b> finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b>  Martti Veuro	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  RTA-Metalli Oy	

## SYMBOLILUETTELO

$C_{pi}$	on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/kg°C
$\Delta h$	on ajanjakson pituus, h
$\Delta t$	on lämpötilaero ulko- ja tuloilman välillä mitoitusilanteessa, °C
$\Delta t_{sal}$	on sallittu ilman lämpeneminen, °C
$H_{iv}$	on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/°C
$\eta_a$	on energian talteenoton vuosihyötysuhde
$\Phi_p$	on patterin lämmitysteho, kW
$\Phi_y$	on yllilämpökuorma, kW
$Q$	on energian säästö, kWh
$Q_{iv}$	on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh
$q_v$	on ilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{v, poisto}$	on poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{v, tulo}$	on tuloilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$\rho$	on ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$r$	on muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtojärjestelmän vuorokautisen käyntiajan
$S$	on astepäiväluku, °C d
$t_d$	on ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
$t_v$	on kojeen viikottaisesta käyttöajasta johtuva korjauskerroin
$t_{p1}$	on poistoilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa, °C
$T_s$	on sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	on ulkoilman lämpötila, °C
$t_{u1}$	on tuloilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa, °C
$t_{u2}$	on tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen, °C
$t_v$	on ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	TEOLLISUUSILMASTOINTI.....	2
2.1	Sisäilmaston tavoitteet .....	2
2.2	Suunnitteluprosessi.....	3
2.3	Ilmastoitavan tilan ilman hallintaperiaatteet .....	4
2.4	Eri hallintaperiaatteiden edut ja haitat.....	5
2.5	Ilman epäpuhtaudet ja työterveys .....	7
2.6	Ilman liike ja veto .....	8
2.7	Oviveto .....	9
3	RTA-METALLI OY .....	10
3.1	Nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä.....	11
3.2	Ilmavirrat.....	12
3.3	Ilmanvaihdon lämmityspatterit .....	13
3.4	Kanavisto ja päätelaitteet .....	13
3.5	Metallintyöstön laitekanta ja niistä vapautuvat epäpuhtaudet.....	14
3.6	Energiankulutus.....	17
4	ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄN VALINTA .....	18
4.1	Ilmanjakotapa.....	18
4.2	Mitoituksen perusteet .....	18
4.3	Ilmastointikoneen valinta .....	21
4.4	Lämmöntalteenotto.....	21
4.4.1	Lämmöntalteenoton laitetypit .....	22
4.4.2	Lämmöntalteenoton hyötysuhde .....	23
4.5	Ilman suodatus .....	24
4.6	Äänitekniset tavoitteet .....	25
4.7	Siirtoilma.....	25
5	LAITESIJOITTELU JA -VALINNAT .....	26
5.1	Ilmastointikone.....	26
5.2	Kanavistot .....	28
5.2.1	Raitisilma- ja jäteilmakanavistot.....	28
5.2.2	Tulo- ja poistoilmakanavistot.....	29

5.3	Päätelaitteet.....	30
5.3.1	Tuloilmalaitteet .....	30
5.3.2	Poistoilmalaitteet.....	31
5.4	Muut kanavakomponentit .....	32
5.5	Kohdeilmanvaihto.....	32
5.5.1	Hitsauspisteet.....	33
5.5.2	Korkeapainevesileikkuri .....	35
5.5.3	Peittausallas .....	35
5.6	Ilmaverhot.....	37
6	KUSTANNUSARVIOT.....	40
6.1	Ilmanvaihtojärjestelmä .....	40
6.2	Ilmaverhot.....	41
7	ILMANVAIHDON LASKUT .....	42
7.1	Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö .....	42
7.2	Lämmöntalteenoton säästö .....	44
7.3	Kaukolämmön verotus.....	46
7.4	Ilmastointijärjestelmän käyttökustannukset .....	47
8	POHDINTA.....	47
	LÄHTEET .....	49
	KIRJALLISUUS	
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on laatia tehokkaan sekä energiataloudellisen ilmastointijärjestelmän perusparannuksen esisuunnitelma RTA-Metalli Oy:n olemassa olevaan tehdashalliin (kuva 1) Saarijärvelle. Rakennuksen ilmastointijärjestelmä on tarkoitettu uusiksi vuoden 2011 aikana. Kohteen ensimmäinen osa rakennettu 1970-luvulla, ja sitä on laajennettu myöhemmin 1980- ja 1990-luvuilla. Tilalaajennusten myötä myös ilmanvaihtolaitosta on laajennettu asteittain, jonka seurauksena rakennuksen ilmanvaihto ei kokonaisuudessaan ole halutulla tasolla.



**KUVA 1. RTA-Metalli Oy**

Tehdashallin nykyisestä ilmanvaihtojärjestelmästä johtuen lämmityskulut ovat lämmityskaudella huomattavat. Lämmityskustannusten pienentäminen oli yrityksen tärkein yksittäinen syy tämän työn tilaamiseen, mutta myös prosesseista syntyvien epäpuhtauksien leviämisen estäminen työntekijöiden oleskeluvyöhykkeelle on toinen yritykselle tärkeä asia, sillä hallissa käsiteltävien haponkestävien ja ruostumattomien terästen käsittelystä vapautuu ihmiselle haitallisia aineita kaasuina, höyryinä sekä kiinteinä hiukkasiina.

Tässä työssä keskitytään hallin teollisuusosan ilmanvaihdon tutkimiseen sekä selvittämään uudelle järjestelmälle asetettuja vaatimuksia. Työ käsittelee hallin teollisuusosaa ja yrityksen toimistotilojen ilmanvaihtojärjestelmän saneeraus rajataan omaksi työkseen. Tavoitteena on saada yritykselle esisuunnitelma tulevan ilmastointijärjestelmän saneerausta varten. Esisuunnitelmassa on pohdittu muun muassa eri ilmanjakotapojen soveltuvuutta kyseessä olevaan halliin sekä annettu arvio tulevan järjestelmän hankinta- ja käyttökustannuksista.

## **2 TEOLLISUUSILMASTOINTI**

Teollisuusilmastoinnin perusero muiden tilojen ilmastointiin on se, että teollisuusilmastoinnissa mitoittavat tekijät ovat muut kuin ihmisperäiset tai rakenteiden ja pintamateriaalien aiheuttamat päästöt. Tärkeimpiä mitoittavia tekijöitä ovat prosessin ominaisuudet. Sen vuoksi tekninen vaativuus on usein huomattavasti suurempi kuin tavannaisten tilojen ilmatekniikassa. (Tähti ym. 2002.)

Teollisuusilmastoinnin onnistunut suunnittelu vaikuttaa muun muassa sisäilman laadun kautta ihmisten terveyteen. Lämpöolot taas vaikuttavat työntekijöiden tyytyväisyyteen ja työtehoon, kun taas hyvin tehdyt asennustyöt sekä hyvät laitevalinnat pienentävät järjestelmän käyttökustannuksia.

Teollisuudessa käytettävät ilmavirrat ovat jo tilojen suuruuden vuoksi yleisesti ottaen suuremmat kuin muissa kohteissa, jolloin onnistuneella ilmanvaihdon suunnittelulla voidaan saavuttaa merkittäviäkin kustannussäästöjä niin alkuinvestoinneissa kuin käyttökustannusten muodossa.

### **2.1 Sisäilmaston tavoitteet**

Tavoitteenasettelussa keskeistä ovat tilojen käyttötarkoitus, käyttöaikataulut, sisäilmastovaatimukset, sisäiset kuormitustekijät, käyttökysymykset, muunneltavuus ja laajennettavuus sekä energiankulutus-, ympäristö- ja kustannustavoitteet. (Seppänen 2004.)



Tämän työn tavoitteena on esittää yritykselle eri keinoja parantaa ilmastoinnin energiatehokkuutta nykyiseen järjestelmään verrattuna, parantaa työntekijöiden työympäristöä ja näin ollen myös estää työtehon heikentymistä sekä tehostaa hallin kohdepoistojärjestelmää epäpuhtauksien leviämisen estämiseksi oleskelyvyöhykkeellä. Tavoitteiden saavuttamiseksi ilmastoitava tila jaetaan eri vyöhykkeisiin. Työntekijän kannalta ei ole merkittävää, minkälaisuista ilmaa on oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella, kuten esimerkiksi katonrajassa. Jakamalla tilat eri vyöhykkeisiin säästetään myös ilmastoinnin käyttökustannuksissa, koska rakennukseen puhallettavaa ulkoilmavirtaa voidaan pienentää.

Tyypillisessä teollisuustilassa on useita vyöhykkeitä, joissa on eritasoista toimintaa ja erilaiset tavoitetasot. Tällainen alueellinen ajattelu on tärkeää, koska toteuttamalla eri vyöhykkeet eritasoisella toteutuksella säästetään usein olennaisestikin kustannuksissa. (Tähti ym. 2002.)

Lämpötilan vaikutus tuotantolaitteisiin, materiaaleihin ja tuotteisiin on tapauskohtainen. Lämpötila vaikuttaa myös ilman suhteelliseen kosteuteen. Jos on hallittava kosteus, on yleensä hallittava myös lämpötila.

Lämpötila vaikuttaa sekä koneiden että aihoiden mittoihin. Tehtaässä tarkkaa pientoleranssista työtä mitat eivät saa muuttua työstettäessä tai sen jälkeen. Aihoiden lämpötila on saatava esim. kylmästä varastosta tuotaessa normaalilämpöiseksi ja tilan lämpötila ei saa muuttua työstön aikana. (NESTE ym. 1990.)

## **2.2 Suunnitteluprosessi**

Suunnittelussa lopputulokseen eniten vaikuttavat päätökset tehdään suunnittelun alkuvaiheessa. Parhaat tulokset saavutetaan riittävien lähtötietojen perusteella. (Seppänen 2004.)

Suunnittelumetodiikka on teknisen suunnitteluprosessin kuvaus. Se kuvaa suunnittelun osatehtävät aikajärjestyksessä siten, että suunnittelun aikaisten takaisinkytkentöjen määrä edellisiin osatehtäviin on minimoitu. Täten se opastaa myös osatehtävien oikeaan suoritusjärjestykseen ja palvelee myös suunnitteluprosessin sisäisenä laadunohjaustyö-

kaluna, sillä edellisen osatehtävän tulosten laatu tarkastetaan seuraavassa osatehtävässä, jossa niitä käytetään lähtötietoina. (Tähti ym. 2002.)

Suunnittelumetodiikan kuvaus on esitetty Teollisuusilmastoinnin oppaassa seuraavasti (Tähti ym. 2002):

- lähtötiedot
- prosessin kuvaus
- rakennus layout ja rakenteet
- tavoitetasojen asentanta
- lähteiden kuvaus
- paikallisten kuormien laskenta
- lähteiden paikallinen hallinta
  - > kuljetus --> puhdistus --> päästöjen poisto ulos
- tilan kokonaiskuormien laskenta
- järjestelmän valinta
- laitteiden valinta
- toteutussuunnittelu

### **2.3 Ilmastoitavan tilan ilman hallintaperiaatteet**

Ilmastoinnin peruspalvelu on luoda hallitut ilmaolosuhteet koko ilmastoitavaan tilaan. Peruseriaatteita, joiden avulla voidaan tarkastella ilmaolosuhteiden hallintaa, on neljä (Tähti ym. 2002):

- Mäntäperiaate  
Tässä periaatteessa ilmaolosuhteita hallitaan puhtaasti mekaanisen virtauksen avulla ja pyritään pitämään virtauskenttä tasaisena läpi koko kentän.
- Kerrostumaperiaate  
Olosuhteita hallitaan lämpötilakerrostumien avulla. Ajavana voimana on useimmiten lämpötilaeroista johtuvat tiheyserot. Tyypillisiä esimerkkejä käytettävistä ilmanjakomenetelmistä ovat mm. painovoimainen ilmanvaihto sekä syrjäyttävä ilmanjako.

- Vyöhykeperiaate

Tässä olosuhteet pyritään hallitsemaan ilmastoinnilla tietyssä osassa tilaa ja sallia lämmön tai epäpuhtauksien kerrostuminen muualla tilassa. Ilmastoitava tila voidaan jakaa eri osiin, joita hallitaan eri periaatteita soveltaen.

- Sekoitusperiaate

Tavoitteena on tasaiset olosuhteet koko huoneilmassa. Tyypillinen esimerkki tämän periaatteen toteuttamisesta on perinteinen sekoittava ilmanjako.

## 2.4 Eri hallintaperiaatteiden edut ja haitat

Jokaisella ilmavirtojen hallintaperiaatteella on omat etunsa ja haittansa jotka ovat esitetty seuraavassa (Tähti ym. 2002):

### Mäntäperiaate

- ✓ koko virtauskenttä voidaan hallita
- ✓ epäpuhtauslähteen ylävirranpuoleiset alueet pysyvät puhtaina
- ✓ korkea lämpötilatehokkuus ja epäpuhtauksien poistotehokkuus
- ✗ suuri tuloilmavirta
- ✗ ilmanvaihtolaitteiden tilantarve suuri

Mäntäperiaatteen soveltaminen johtaa yleensä kalliiseen ratkaisuun tarvittavan suuren tuloilmamäärän johdosta. Sitä sovelletaankin yleensä vain erikoistapauksissa.

### Kerrostumaperiaate

- ✓ ilmastoidulla vyöhykkeellä voidaan saavuttaa alhainen pitoisuustaso
- ✓ suhteellisen korkea lämpötilatehokkuus
- ✓ epäpuhtauksien poistotehokkuus
- ✗ katvealueet, joilla esiintyy kohonneita pitoisuuksia, ovat mahdollisia
- ✗ toimii optimaalisesti vain, jos olosuhteet ovat sopivat
- ✗ herkkä häiriötekijöille

Kerrostumaperiaatteessa ilmastoivalta vyöhykkeeltä (yleensä oleskeluvyöhyke) poistuva ilmavirta korvataan tuloilmalla, vähentämällä siten takaisinvirtauksien muodostu-

mista huoneen eri vyöhykkeiden välillä. Tuloilma on jaettava siten, ettei se häiritse tiheyseroista johtuvia virtauksia. Poistoilma-aukot sijoitetaan virtauksen alavirran puolelle, jotta takaisinvirtauksilta voidaan välttyä huonetilassa.

#### Vyöhykeperiaate

- ✓ parempi lämpötilatehokkuus ja epäpuhtauksien poistotehokkuus kuin sekoitusstrategialla
- ✓ ilmavirtauksien osittainen hallinta ilmastoidulla vyöhykkeellä
- ✓ katvealueiden muodostuminen ilmastoidulle vyöhykkeelle voidaan välttää paremmin kuin korvausstrategialla
- ✗ epäpuhtauksien sekoittuminen ilmastoidulla vyöhykkeellä heikentää epäpuhtauksien poistotehokkuutta

Jokaisella vyöhykeperiaatteeseen soveltuvalla ilmanjakomenetelmällä on omat suunnitteluperusteensa, mutta yleistä useimmille niistä on se, että tuloilmaukot sijoitetaan lähelle kontrolloitua vyöhykettä tai sen sisälle ja poistoilma-aukot sijoitetaan kontrolloimattomalle vyöhykkeelle. Lämmönlähteiden voimakkuus sekä niiden ja tuloilmasuihkujen keskinäinen sijainti vaikuttavat merkittävästi lämmön, epäpuhtauksien ja kosteuden kerrostumisen määrään huonetilassa.

#### Sekoitusperiaate

- ✓ ilmastoidulle vyöhykkeelle ei muodostu katvealueita
- ✓ epätoivotun lämpötilagradientin muodostuminen lämmityskaudella voidaan välttää
- ✗ matala lämpötilan ja epäpuhtauksien poistotehokkuus
- ✗ suurehko ilmannoisuus oleskeluvyöhykkeellä saattaa aiheuttaa vetoa

Ilmasuihkujen avulla saatetaan koko huoneilma kiertämään ja sekoittumaan. Periaatetta kutsutaan usein laimennusilmanvaihdoksi, koska huoneessa syntyvät kuormat sekoitetaan koko huoneilmaan ja samalla rajoitetaan tilassa esiintyviä huippupitoisuuksia tai lämpötiloja. (Tähti ym. 2002.)

Ilmanjako ratkaisee viimekädessä ilmastointilaitoksen toiminnan. Ilmanjaon ja virtausten hallinta on keskeisin haaste myös teollisuushallien ilmastoinnissa.

Ilmanjaon teknisiä tavoitteita ovat:

- virtaukset hallitaan kaikilla halutuilla alueilla
- ei ylitetä vetokriteerien nopeuksia
- ei kiihdytetä emissiota, esim. haihtumista
- ei häiritä kohdepoistoja
- ei nostateta pölyä ilmaan

(NESTE ym. 1990.)

## 2.5 Ilman epäpuhtaudet ja työterveys

Työympäristössä esiintyy fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia haittatekijöitä, joiden vaikutukset ulottuvat lievistä viihtyvyshaitoista työperäisiin sairauksiin. Työperäiset sairaudet ovat yläkäsite ammattitaudeille ja muille sairauksille, joiden synnyssä työhön liittyvillä tekijöillä on osuutta. (Tähti ym. 2002.)

Yrityksen metallien käsittelystä vapautuu huomattava määrä epäpuhtauksia, joiden kulkeminen työntekijöiden hengitysteihin on estettävä mahdollisimman tehokkaasti. Tehokkain tapa estää epäpuhtauksien leviäminen on kerätä epäpuhtaudet jo niiden syn-  
typaikalla ja näin estää epätoivottu leviäminen oleskeluvyöhykkeelle.

Suomalaisista noin viidennes kärsii jossakin vaiheessa hengitystieallergiasta. Lievemmilläänkin oireet ovat nenän tukkoisuutta ja vakavimmillaan astmakohtauksia. Jo heinänuhatyyppinen oireilu heikentää työtehokkuutta ja saattaa altistaa muille hengitystietulehduksille. (NESTE ym. 1990.)

Ilmanvaihtoa ja ilmastointia on perinteisesti pidetty hyvän työympäristön keskeisenä säätely- ja torjuntakeinona, koska sillä vaikutetaan sekä ilman laatuun että lämpöoloihin. Ilmavaihtojärjestelmä toimii rakennuksen ”keuhkoina”, joiden puhdistusvaikutus kohdistuu kaikkiin sisäemissiolähtöisiin epäpuhtauksiin. Ilmanvaihto vähentää terveyden kannalta kriittisiä ja vähemmän kriittisiä epäpuhtauksia samassa suhteessa. (Tähti ym. 2002.)

Ilmanvaihdon huolellisella suunnittelulla ja tarkoituksenmukaisella käsittelyllä on olennainen osa viihtyisän ja terveellisen työpaikan ja –olosuhteiden luomisessa. Tällä voi-

daan saavuttaa merkittäviä säästöjä työntekijöiden sairauspäivien minimoinnissa sekä työtehon kasvattamisessa. Vedon tunteen syntymisen estäminen on yksi tärkeimpiä yksittäisiä tavoitteita lämpöoloiltaan miellyttävässä työpaikassa.

Huonon sisäilmaston aiheuttamiksi kustannuksiksi Suomessa on arvioitu kolme miljardia euroa vuodessa eli 600 €/asukas, mikä ylittää rakennusten lämmityskustannukset. Arviossa ovat mukana kaikkien sisäilmasta aiheutuneiden sairauksien kustannukset. (Sisäilmayhdistys (2) 2010)

## **2.6 Ilman liike ja veto**

Vedon tunne aiheutuu keskimääräistä voimakkaammasta paikallisesta lämmönsiirrosta iholla. Vedon tunteen syntymiseen vaikuttavat ilman lämpötila, lämpösäteily ja ilman liike. Ihminen aistii herkemmin vetoa, mikäli huoneen lämpötila on alhaisempi kuin lämpöneutraalia vastaava optimilämpötila. Tällöin vetoaistimukseen ei tarvita havaittavaa ilman liikettä. (Seppänen 2004.)

Ihmiskehossa vedolle alttiimmat alueet ovat nilkat, ranteet sekä niskan alue. Tehtaan työntekijöillä on käytännössä aina työvaatetuksena täysipituiset kokovartalohaalarit sekä ranteiden yläpuolelle ulottuvat työhansikkaat. Tällaista vaatetusta käytettäessä riski vedon tunteen syntymiseen on oleellisesti pienempi kuin kevyempää vaatetusta käytettäessä. Työskentely on luonteeltaan myös jonkin verran liikkuvaa, eivätkä työntekijät esimerkiksi toimistotyöstä poiketen vietä pitkiä aikoja samassa paikassa.

Vetokysymykset ovat ilmaston hankalimpia ongelmia. Jos ilmaa joudutaan vaihtamaan lämpötilan tai epäpuhtauksien hallitsemiseksi, on ilman liikuttava. Käytännössä ilmasuihkut voivat yhtyä toisiinsa, ahtautua esteiden kohdalla, kääntyä esteistä väärään suuntaan jne. Lisäksi sekoittavassa ilmanjaossa tuloilmasuihku saa aikaan moninkertaisen sekundäärivirtauksen. (NESTE ym. 1990.)

Kerrostumaperiaatteen mukaisesti suunniteltavassa ilmanvaihtojärjestelmässä vedon tunteen syntymisen riski on pienempi kuin sekoittavan ilmanjaon ilman virtausnopeuden ollessa pienempi. Olennaisen tärkeää syrjäyttävän ilmanjaon toimivuuden ja vedottomuuden varmistamisessa on kuitenkin tuloilman päätelaitteiden lähialueiden pitäminen

vapaana kiinteistä työpisteistä, sillä alilämpimän ilman virtaus koetaan epämiellyttävänä jo alhaisilla virtausnopeuksilla.

## 2.7 Oviveto

Ongelmallisimpia ovat teollisuushallien suuret oviaukot, joita työn toteutuksen kannalta joudutaan avaamaan ja pitämään auki pitkiäkin aikoja. Yleisimmin käytetty suojausratkaisu on oviverho, joka voidaan toteuttaa erilaisin ratkaisuin. (Tähti ym. 2002.)

Kylmän ilman virtaus tehdashallin nosto-ovista sisään talvisin on yhtä suuri ongelma mitä tahansa ilmanjakotapaa käytettäessä. Ilmanjakotapaa enemmän tähän voidaan vaikuttaa ilmastoitavan tilan painesuhteilla joskaan sitä ei voida estää ilman todella suurta hallissa vallitsevaa ylipainetta. Tämä ei kuitenkaan ole epäpuhtauksien poiston eikä ilmanvaihdosta syntyvien kustannusten takia houkutteleva vaihtoehto. Vedon estämisen parhaaksi sovellukseksi suurissa nosto-ovissa on todettu niin sanotut ilma- tai oviverhot, joissa ilmaa puhalletaan joko alhaalta, ylhäältä tai sivulta ilmaverhon aikaansaamiseksi. Verhon ollessa riittävän tiivis ovesta sisään virtaava kylmä ilma ei läpäisekään, ilmaverhoa vaan muuttaa virtaussuuntaansa rakennuksen myötäiseksi.

Oviverhojen tehokkuuteen vaikuttavat tekijät (Valkeapää 2008):

- neutraalitason korkeus, johon vaikuttavat
  - koneellisen ilmanvaihdon ilmatase ja tasevaihtelu
  - ulkovaipan tiiviyys ja korkeus, sekä ilmayhteydet ympäröiviin tiloihin
  - paikalliset tuuliolot ja oviaukon tuulen suojaus
  - sisälämpötila, lämpötilakerrostuma ja sijaintipaikkakunta
- puhallussuihkun impulssi ja oviverhon tiiveys koko oviaukossa
- puhallussuihkun säädettävyys olosuhteiden mukaan
- puhallussuunta ja puhalluseriaate.

Yrityksen tehdastiloissa useimmin avattavien nosto-ovien ovilinjalta eikä välittömässä läheisyydessä ole kiinteitä työpisteitä, jolloin oviveto vaikuttaisi työntekijöiden lämpöolosuhteisiin huomattavasti nykyistä enemmän. Tällä hetkellä kylmän ilman sisäänvirtaus aiheuttaa rakennuksen energiankulutuksen lisäämistä, mutta ei suoranaista vaaraa työn-

tekijöiden työhyvinvoinnille. Lisäksi työntekijöiden metallien käsittelystä johtuva suo-  
jaava vaatetus vähentää riskiä vedontunteen syntymisestä.

### 3 RTA-METALLI OY

RTA-Metalli Oy on metallialan yritys, jonka liike-ideana on hitsattavien ja koneistetta-  
vien terästuotteiden valmistus. Materiaaleina käytetään pääasiassa haponkestävää ja  
ruostumatonta terästä. Vuonna 1982 Saarijärvelle Keski-Suomeen perustettu kahden  
perheen yritys työllistää tällä hetkellä 35 henkilöä. Yrityksen toimitilana toimii n. 4100  
m<sup>2</sup>:n alunperin keskuslämmityskattiloita valmistavan Ariterm Oy:n omistuksessa ollut  
tehdashalli (kuva 2), jonka yhteydessä ovat myös yrityksen toimistotilat. 670 m<sup>2</sup>:tä on  
varattu metallin varastointiin kylmävarastoksi. Lämmitettyä rakennusala on yhteensä  
noin 3400 m<sup>2</sup>:ä. Noin 80% yritykselle tulevista tilauksista tulee Metso Paper Oyj:ltä.

RTA-Metallin käyttämiä työvaiheita metallien käsittelyssä ovat leikkaus plasma- ja  
korkeapainevesileikkureilla, sahaus, hitsaus ja särmäys sekä sorvaus, jyräily ja työstö-  
keskustyöt. Näiden lisäksi hallissa on myös noin 10 m<sup>2</sup>:n peittäusallas.



**KUVA 2. RTA-Metalli Oy:n tehdashalli.**



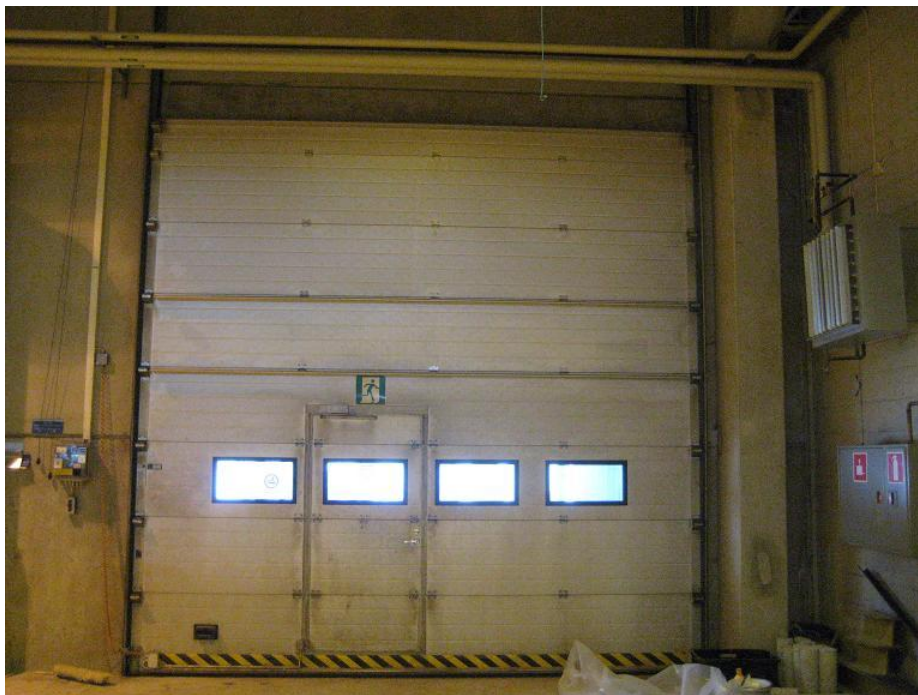
### 3.1 Nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä

Halli on jaettu kolmeen eri osaan, jossa jokaisessa on oma ilmanvaihtokone. Koneet käynnistyvät työntekijöiden työajan mukaisesti klo 6.00 ja kytkeytyvät pois päältä kello 22.00. Halleissa 1 ja 2 on käytössä kaksi samanlaista ilmanvaihtokonetta, jotka palvelevat samankokoisia alueita. Tarkkoja tietoja puhaltimien iästä ei ole, vaan koneiden arvioidaan olevan 1970-luvulta, jolloin tehtaan ensimmäinen osa (halli 1) rakennettiin. Tehdasta on laajennettu myöhemmin kahteen otteeseen edellisen omistajan toimesta. Vaikka ilmanvaihtolaitos on suunniteltu alunperin teholtaan riittäväksi, on se jäänyt nykyisestä ”Hyvästä tehdastasosta”. Ilmanvaihtokoneissa ei myöskään ole lämmön talteenottojärjestelmää, vaan tuloilma lämmitetään kaukolämpövedellä 17-asteiseksi. Poistoilma puhalletaan ulos käsittelemättömänä.

Tässä työssä käsiteltävistä ilmanvaihtokoneista toinen sijaitsee koneistamossa (halli 1) katonrajassa noin 4 metrin korkeudessa ja toinen tavaran vastaanoton (halli 2) yläpuolella myös katonrajassa noin 4 metrin korkeudessa. Molempien koneiden huoltotasoille on järjestetty turvallinen kulku metallisia portaita pitkin, joskin huollon kannalta nykyiset portaat ovat hieman hankalakulkuiset. Koneet eivät ole tehdasvalmisteisia kokonaisuuksia kuten nykyiset ilmastointikoneet, vaan ne ovat tehty asennuspaikalla pellistä. Koneiden tiiveys ei tämän vuoksi vastaa nykyisiä määräyksiä. Koneet valmistanut jyväs kyläläinen Kanavateos on lopettanut toimintansa 1990-luvun alussa.

Tehdashallin kolmas ilmanvaihtokone sijaitsee hallin osassa 3, ja se palvelee RTA-Metallin hallin lisäksi toista yritystä, jonka toimitilat ovat samassa rakennuksessa. Tähän ilmanvaihtokoneeseen ei päästy tutustumaan koneen sijaitessa toisen yrityksen tiloissa, joten se jätetään tämän työn ulkopuolelle, vaikkakin muun muassa päätelaitteiden sijoitteluun tullaan ottamaan kantaa. Hallin osa 3 ja sen ilmastointijärjestelmä on rakennettu 1990-luvulla, ja saatujen tietojen mukaan siinä on lämmöntalteenottojärjestelmä. Ilma halliosan 3 oleskeluvyöhykkeellä on selkeästi puhtaampaa hallin uudemmassa osassa kuin vanhemmissa osissa lukuunottamatta peittäisaltaan ympäristöä. Koska halliosan leveys on 36 metriä, tuloilmalaitteita on sijoitettu hallin seinustojen lisäksi myös keskelle hallia betonipilarien vierustalle ilman leviämiseksi mahdollisimman tasaisesti koko oleskeluvyöhykkeelle.

Tuloilmakoneiden ja poistoimureiden lisäksi tehdashallissa on erillisiä kohdepoistojärjestelmiä palvelemaan hitsauspisteitä, peittausallasta ja muita työpisteitä. Lisäksi kahden useimmin auki olevan nosto-oven (tavaran vastaanotto, halli 2 ja lähettämö, halli 3) vieressä on vesikiertoiset kiertoilmapuhaltimet, joiden tehtävänä on lämmittää talvella avoimista ovista sisään virtaavaa kylmää ulkoilmaa. Kiertoilmapuhaltimet ovat kuitenkin liian kaukana oviaukoista sekä liian korkealla toimiakseen halutulla tavalla. Kylmä ilma virtaa ulkoa sisään oviaukkojen alaosaan ja lämmin sisäilma ulos yläosaan. Jotta kiertoilmapuhaltimet lämmittäisivät ulkoa virtaavaa ilmaa, pitäisi niiden olla suunnattu lattiaa kohti, eikä oven keskiosaa kohti, kuten ne nykyisin ovat suunnattu (kuva 3).



**KUVA 3. Lähettämön nosto-ovi ja kiertoilmapuhallin.**

### 3.2 Ilmavirrat

Tehdashallien molempien koneiden tyyppikilvessä ilmoitettu ilmavirta on  $2,28 \text{ m}^3/\text{s}$ , joten yhteensä halleihin 1 ja 2 ilmaa tuodaan keskitetysti  $2 \cdot 2,28 \text{ m}^3/\text{s} = 4,56 \text{ m}^3/\text{s}$ . Halliosien 1 ja 2 yhteenlaskettu lattiapinta-ala on  $2277 \text{ m}^2$  ja toimistotilojen  $328 \text{ m}^2$ , ilmaa tuodaan halliin keskimäärin  $1,75 \text{ dm}^3/\text{s}$  jokaista lattianeliömetriä kohti. Tätä voitaisiin pitää nykyistenkin määräysten mukaisesti riittävänä keskiraskaalle tehdastyölle, sillä voimassa olevan Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan ilmanvaihtolaitos keskiraskaalle tehdastyölle mitoitetaan vähintään  $1,5 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$  ulkoilmavirralla.

Tehtaalla ilma kuitenkin likaantuu nopeasti mm. sisätiloissa käytettävien polttoainekäyttöisten trukkien ja metallinkäsittelyn vuoksi, joten nykyisen ulkoilman määrä on todettu kokemuseräisesti hieman alimitoitetuksi.

### 3.3 Ilmanvaihdon lämmityspatterit

Lämmityspattereiden laskennallinen teho voidaan laskea, kun tiedetään tuloilmavirta (2,28 m<sup>3</sup>/s) ja lämpötilaero tuloilman (+17°C) ja ulkoilman (-32°C) välillä mitoitusilanteessa. Ilman tiheyttä voidaan pitää vakiona, vaikka se todellisuudessa on riippuvainen ilman lämpötilasta ja ilmanpaineesta. Myös ilman ominaislämpökapasiteettia pidetään vakiona.

$$\Phi_p = C_{pi} * \rho * q_v * \Delta t \quad (1)$$

$\Phi_p$	on patterin lämmitysteho, kW
$C_{pi}$	on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/kg°C
$\rho$	on ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$q_v$	on ilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$\Delta t$	on lämpötilaero ulko- ja tuloilman välillä mitoitusilanteessa, °C

Edellisellä kaavalla (1) yhden tuloilmaa lämmittävän patterin tehoksi saadaan 134 kW. Ilmanvaihdon lämmityspattereiden yhteisteho on siis 2 \* 134kW = 268 kW.

### 3.4 Kanavisto ja päätelaitteet

Ilmanjako nykyisessä järjestelmässä on toteutettu piennopeuslaitteilla, joita on sijoitettu halliosien 1 ja 2 seinustoille lattiatasolle. Hallissa 3 lattiatasolle seinien viereen sijoitettujen tuloilmalaitteiden lisäksi pääte-elimä on sijoitettu myös hallin keskiosaan kantavien betonipilarien vierustoille. Piennopeuslaitteet ovat hyvin samankaltaisia kuin nykyiset Fläkt Woods Oy:n Floormaster-sarjan tuloilmalaitteet. Joidenkin tuloilmalaitteiden ilmasuihkut törmäävät kiinteisiin työpisteisiin sekä siirreltäviin tarvikkeisiin kuten kuormalavoihin, jotka haittaavat ilman jakoa halutuille alueille. Tämä on erityisen haitallista peittäisaltaan läheisyydessä, jossa hallitsemattomat ilmavirtaukset levittävät

peittausaltaasta vapautuvia kaasumuodossa olevia typpi-, fluori- ja vety-yhdisteitä puhtaammalle alueelle kohdepoistojärjestelmästä huolimatta.

Ilmanvaihtojärjestelmien poistoilman pääte-elimet ja kanavat sijaitsevat hallien keskilinjalla katonrajassa halleissa 2 ja 3, kun hallissa 1 poistokanava kulkee ulkoseinän vieressä katonrajassa. Halleissa 1 ja 3 kaikki kanavistot ovat vesikaton alapuolella näkyvissä ja hallissa 2 runkokeanavisto on yläpohjan eristekerroksen seassa näkymättömissä. Halliosan 2 vapaa korkeus on matalampi kuin muiden halliosien alaslasketun katon johdosta.

### 3.5 Metallintyöstön laitekanta ja niistä vapautuvat epäpuhtaudet

Yrityksen tiloissa tapahtuu monentasoisista metallin käsittelyä, kuten metallien paloittelu sahaamalla, leikkaamalla plasma- ja korkeapainevesileikkurilla, TIG- ja MIG-hitsausta, sorvausta, jysintää ja porausta eri laitteilla sekä metallikappaleiden viimeistelyyn tiloista löytyy myös peittausallas (kuva 4). Hallin osassa 3 on myös pieni maalaa- mo vuokratiloissa, jossa pienempiä kappaleita voidaan alihankintana maalauttaa.



**KUVA 4. Peittausallas.**

Pääosa laitteistosta on katettu niin, että niistä ei vapaudu epäpuhtauksia työntekijöiden oleskeluvöhykkeelle, vaan ne jäävät työstökoneiden sisälle. Kaikkea metallinkäsittelyn toimintaa ei ole kuitenkaan mahdollista automatisoida, vaan esimerkiksi pienempien kappaleiden hitsaus tapahtuu edelleen käsityönä erillisissä työpisteissä. Suurten kappaleiden käsittelyyn hallissa ollaan ottamassa käyttöön monipuolista työstökeskusta, joka on upotettu osittain lattiatason alle (kuva 5). Työstökeskuksessa tapahtuu pientoleranssista metallin työstöä, jolloin ilman lämpötila ei saa juurikaan vaihdella. Jo muutaman celsius-asteen vaihteluväli kesken kappaleen työstön aiheuttaa haitallista lämpötilalajenemista, vaikkakin suuruusluokka on vain joitain mikrometrejä. Yrityksen pääasialliset työstömateriaalit ovat haponkestävä ja ruostumaton teräs, joskin tehtaan laitekanta soveltuu myös muiden metallien käsittelyyn.



**Kuva 5. Työstökeskus.**

Suurimmat, ja ihmiselle haitallisimmat, päästöt vapautuvat hitsauksesta kaasujen ja haurujen muodossa sekä peittausaltaasta syövyttävien happojen haihtuessa altaasta ja sekoittuessa huoneilmaan. Hitsauspisteissä on kohdepoistojärjestelmät, jotka poistavat suurimman osan vapautuvista epäpuhtauksista. Työntekijät eivät ole varsinaisesti valittaneet hitsaussavujen huonontaneen työolosuhteita, mutta ilman laatu on selkeästi heikompaa hallin osassa 2, jossa hitsauspisteet sijaitsevat, kuin esimerkiksi tehtaan uusimassa osassa.

Peittaushappoina käytetään rikki-, suola-, fosfori-, typpi-, fluorivetyhappoa tai näiden seoksia. Happojen käsittelyn yhteydessä on olemassa erityinen tapaturmavaara niiden syövyttävyyden takia. Käsittelyn yhteydessä saattaa syntyä roiskeita, jotka ovat erittäin vaarallisia silmiin ja iholle osuessaan. Lisäksi saattaa muodostua sumua ilmaan sekä suola-, typpi- ja fluorivetyhappoa käsiteltäessä myrkyllisiä kloori-, typpi- ja fluorikaasuja. Soveltuvina torjuntakeinoina voidaan pitää tehokasta yleisilmanvaihtoa, peittausaltaiden reunaimuja tai ilmaverhoja, peittausaltaiden kattamista kannella tai esim. muovipalloilla. Happojen haihtumista ilmaan voi vähentää käyttämällä laimeita peittausliuoksia, tällöin peittausaika vastaavasti pitenee. (Työterveyslaitos 2010.)

Sekä typpihapolle että fluorivedylle altistumisesta seuraavat välittömät oireet kaasuja hengitettäessä ovat Kansainvälisen kemikaaliturvallisuusohjelman mukaan muun muassa polttava tunne, hengenahdistus, kurkkukipu ja vaikeutunut hengitys. Molemmat aineet ovat värittömiä ja omaavat pistävän hajun. Kemikaaleille altistumisen jälkeen oireet voivat ilmetä myös vasta myöhemmin. Peittauksessa vapautuvista kaasuista osa on ilmaa kevyempiä ja osa ilmaa painavampia.

1-2 hengen työpisteenä oleva peittausallas on varustettu omalla poistoimurilla, joka on yhdistetty altaan päällä olevaan styroksiseen kansistoon. Kansisto ei kuitenkaan peitä koko allasta, eikä se ole aina paikallaan. Imurin tehtävänä on estää happohuurujen leviämistä ympäröiviin tiloihin. Kansistoon sijoitettu metallinen huurujen poistoon tarkoitettu imuputkisto on osittain syöpynyt puhki, joka heikentää imutehoa. Suurempi ongelma on kuitenkin peittausaltaan taakse seinän vierustalle sijoitetut syrjäyttävän ilmanjaon tuloilmalaitteet, jotka puhaltavat raitista tuloilmaa kohti muita työpisteitä. Koska osa peittausaltaasta on kattamaton, tuloilmavirta tempaa happohuuruja sekundäärivirtauksena mukaansa ja levittää niitä oleskeluvyöhykkeelle.

Hitsauksessa syntyy ilmaan epäpuhtauksia hitsaussavun muodossa. Hitsaussavu koostuu pienistä hiukkasmaisista aineista eli partikkeleista sekä kaasumaisista aineista. Huuru on näistä haitallisempi ja määrällisesti suurempi päästö. Huurun muodostus on yleensä suurinta kuonaa muodostavissa hitsausmenetelmissä, puikko- ja täytelankahitsauksessa, kun taas kaasujen muodostus on suurinta suojakaasua käyttävässä kaasukaarihitsauksessa, MIG/MAG- ja TIG-hitsauksessa. (OY ESAB 2008.)

Ruostumattoman teräksen hitsauksessa vapautuvat huuрут sisältävät karsinogeenisiä eli syöpää aiheuttavia kromi- ja nikkeliyhdisteitä. Tämän vuoksi ruostumattoman teräksen hitsaajat joutuvat käymään vuosittain terveystarkastuksissa. Tähän mennessä yrityksen työntekijöiden terveystarkastuksissa ei ole ilmennyt työoloista johtuvia sairauksia.

Hallissa on oma tila paineilmakompressoreille, joiden kehittämää paineilmaa käytetään monissa työstökoneissa. Kompressoreista vapautuu runsaasti lämpöä, joka on tarpeen johtaa pois tilasta.

### **3.6 Energiankulutus**

Tilat lämmitetään kaukolämpövedellä, jonka toimittaa Saarijärven Kaukolämpö Oy. Patteriverkoston lisäksi kaukolämpövesi lämmittää kiertoilmapuhaltimien ja ilmastointikoneiden lämmityspattereiden tarvitseman veden sekä lämpimän käyttöveden. Kokonaisuutena rakennus kulutti vuonna 2009 kaukolämpöä (sääkorjatut luvut) 552,7 MWh:a ja vuonna 2008 718,0 MWh:a. Koko rakennuksen rakennustilavuus on 21 200 m<sup>3</sup>:ä. Rakennuksen sääkorjattu lämpöindeksi vaihtelee vuosien 2005 - 2009 kulutusten mukaan välillä 26,1 kWh/m<sup>3</sup> – 33,9 kWh/m<sup>3</sup>. Lämpöindeksissä ei ole eritelty RTA-Metallin hallin ja toisen yrityksen halliosien kuluttamaa energiaa, eikä myöskään metallivaraston 670 m<sup>2</sup>:n lämmittämätöntä aluetta joka osaltaan laskee lämpöindeksin arvoa.

Helsingin Energian vuonna 2004 tekemän selvityksen mukaan vuosien 1980, 1990 ja 2000 kaikkien Helsingin Energian kaukolämpöön liittyneiden pienteollisuushallien ja teollisuusrakennusten keskimääräinen ominaiskulutus oli 33 kWh/m<sup>3</sup>.

## 4 ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄN VALINTA

### 4.1 Ilmanjakotapa

Yleisilmanvaihdoissa tiloissa, joissa on suuri kattokorkeus, ja joissa epäpuhtauksia muodostuu lämmön yhteydessä, antaa termisesti ohjattu ilmanjako paremman ilmanlaadun kuin suihkuilmanjako. (Halminen ym. 1994.)

Koska hallit ovat korkeudeltaan neljästä kuuteen metriä, ilmanjakotavaksi valitaan hallissa tälläkin hetkellä käytössä oleva kerrostuma- ja vyöhykeperiaatteen sekoitus, jossa tuloilmaa tuodaan pienellä nopeudella oleskeluvyöhykkeelle suurista päätelaitteista. Tuloilmakanaviston päätelaitteet sijoitetaan lattiatasolle ja poistoilman päätelaitteet katonrajaan keskilinjalle. Jotta järjestelmästä tulee toimiva, on tuloilma tuotava 2-4 astetta haluttua huonelämpötilaa viileämpänä. Tällöin puhdas tuloilmavirtaus kulkee lattiatasoa pitkin koko oleskeluvyöhykkeelle hieman alilämpöisenä pienellä virtausnopeudella eikä aiheuta juurikaan vedon tunnetta oleskeluvyöhykkeellä oleville. Ilman lämmitettyä oleskeluvyöhykkeellä se nousee ylöspäin kohti katossa olevia poistoilman päätelaitteita ilmavirtausten kaapatessa epäpuhtauksia mukaansa. Hallissa tapahtuva metallin käsittely luo pääasiassa lämpimiä konvektiovirtauksia, jotka omalta osaltaan tehostavat epäpuhtauksien poistumista puhtaamman ilman vyöhykkeeltä. Poistoilman päätelaitteiden sijoituspaikat pyritään painottamaan sen mukaan, missä epäpuhtauksia syntyy eniten.

Syrjäyttävän ilmanjaon tehokkuus ilman laadun kannalta perustuu tulo- ja huoneilman välisiin lämpötilaeroihin. Tuloilman tulee olla muutaman asteen alemmassa lämpötilassa kuin huoneilma keskimäärin, sillä vain tällöin huoneeseen muodostuu kaksi puhtaudekseen erilaista vyöhykettä: alas puhdas oleskeluvyöhyke ja ylös epäpuhtauksien kerääntymisvyöhyke. (Seppänen 2004.)

### 4.2 Mitoituksen perusteet

Epäpuhtauksien perusteella ilmanvaihdon mitoittaminen on ongelmallista teollisuudessa. Suurin ongelma liittyy epäpuhtausvirtojen selvittämiseen. Vain satunnaisissa yksinkertaisissa tapauksissa prosessin asiantuntijat pystyvät luotettavasti arvioimaan päästöjä tai edes käsiteltäviä aineita. Toinen mitoitukseen liittyvä tekninen ongelma on epäpuh-



tauskentän syntyminen päästön lähellä. Altistuspitoisuus muodostuu tilan yleisilman ns. taustapitoisuudesta ja lähteiden aiheuttamista paikallisista lähteistä. Paikalliseen pitoisuuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten työntekijän työasento ja työskentelytapa, joten asian matemaattinen hallinta luotettavasti on yleensä mahdotonta, vaikka laskentaa varten on joissakin tapauksissa kehitelty erilaisia kaavoja. (NESTE ym. 1990.)

Suurimmat epäpuhtaudet syntyvät kiinteiden työpisteiden kohdilla, nosto-ovien kohdalla kuorma-autojen tuodessa tavaraa sekä hallien keskellä olevilla käytävillä, jota pitkin polttoainekäyttöiset trukit kulkevat metallikappaleita kuljettaessa. Trukkien käyttö ei kuitenkaan ole niin usein toistuvaa, että se vaatisi erityisen pakokaasunpoistojärjestelmän.

Ilmavirtojen mitoitus perustuu seuraaviin tavoitteisiin (NESTE ym. 1990):

- ilmaa vaihdetaan niin paljon kuin epäpuhtauksien ja kuormitustekijöiden (pölyt, kaasut, kosteus, yllilämpö) hallitseminen vaatii
- ilmaa tuodaan sisälle niin paljon kuin poistot tai prosessi sitä vie pois
- ilmaa vaihdetaan niin paljon kuin määräykset edellyttävät
- ilmaa vaihdetaan niin paljon, että sen raikkaus on tyydyttävä.

Mitoitus yllilämmön mukaan lähtee teollisuustilaa kuormittavien lämpökuormien arvioimisesta. Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys -oppaan taulukossa 2.1.1 on annettu erilaisille tuotantotiloille ohjeellisia arvoja lämpökuormasta huonetilaan. Hitsauksessa lämpökuorma on 40-100 W/m<sup>2</sup> ja koneistamoissa 20-50 W/m<sup>2</sup>. Tässä tapauksessa voidaan arvioida, että arvo 40 W/m<sup>2</sup> on hyvin turvallinen mitoitusarvo, sillä tehtaassa tapahtuva työskentely on lämmönvapautumisen kannalta keskimäärin kevyttä ja tilat ovat kokonaisuudessaan väljät. Tehdastyöskentelyn pinta-ala on n. 2000 neliömetriä, jolloin vapautuva lämpökuorma on 40 W/m<sup>2</sup> \* 2000 m<sup>2</sup> = 80 kW. Tämän ylikuorman poistamiseksi tarvittava ilmavirta lasketaan kaavalla (2):

$$q_v = \Phi_y / (C_{pi} * \rho * \Delta t_{sal}) \quad (2)$$

$q_v$  on ilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$\Phi_y$  on yllilämpökuorma, kW

$C_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/kg°C

$\rho$  on ilman tiheys,  $1,2 \text{ kg/m}^3$   
 $\Delta t_{\text{sal}}$  on sallittu ilman lämpeneminen,  $^{\circ}\text{C}$

Hyvällä lämpötilojen kerrostumalla voidaan päästä tulo- ja poistoilman lämpötilaeroon  $15...20^{\circ}\text{C}$  korkeassa hallissa, vaikka työskentelytason ja tuloilman lämpötilaero olisi sallituissa rajoissa. (NESTE ym. 1990.)

Rakentamismääräyksissä sallitaan, että työskentelytason lämpötila saa olla  $5^{\circ}\text{C}$  lämpimämpää kuin ulkona ulkolämpötilan viiden tunnin maksimijakson keskiarvon ylittäessä  $22^{\circ}\text{C}$ . Jos kaavaan 2 sijoitetaan ilman sallituksi lämpenemiseksi oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella  $15^{\circ}\text{C}$ -astetta, saadaan mitoitusulkoilmavirraksi  $4,45 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Löyhänä ulkoilmavirran ohjearvona kevyelle ja keskiraskaalle tehdastyölle hyvän teollisuustason ilman laadun saavuttamiseksi pidetään  $3 \text{ dm}^3/\text{s}$  lattianeliötä kohden. (Tähti ym. 2004.)

Voimassa olevan Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan ilmanvaihtolaitos keskiraskaalle tehdastyölle mitoitetaan vähintään  $1,5 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$  ulkoilmavirralle. Suunnittelukohteena olevan hallin tapauksessa tätä ilmavirtaa voidaan pitää liian vähäisenä, joten ilmastointilaitos mitoitetaan  $3 \text{ dm}^3/\text{s}$  ulkoilmavirralla lattianeliötä kohden. Tällöin tehdashallin osia 1 ja 2 palvelevan ilmanvaihtokoneen poistoilmavirta on  $3 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2 * 1923 \text{ m}^2 = 5,77 \text{ m}^3/\text{s}$ , joka ylittää selvästi syntyvän yllämmön mukaan lasketun mitoitusulkoilmavirran. Toimisto- ja sosiaalitiloja yrityksen tiloissa on  $435$  neliometriä, joita palvelemaan hankitaan toinen ilmanvaihtokone. Tämä kone tullaan varustamaan jäähdytyksellä kesäajan lämpötilannousun estämiseksi toimistotiloissa ja henkilökunnan taukokuoneissa. Tästä konekokonaisuudesta laaditaan yritykselle toinen esisuunnitelma, jota ei tässä opinnäytetyössä käsitellä.

Tuloilmaa halliin tuodaan keskitetysti ilmanvaihtokoneen kautta  $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Näin halli on aina vähän alipaineinen, vaikka kohdeilmanvaihdon poistopuhaltimet eivät olisikaan aina päällä. Alipaine prosentteina on kohdepoistojen ollessa pois päältä hieman alle  $5\%$ :a. Hallin tiiveyden parantuessa tulevaisuudessa varsinkin vesikaton saneerauksen yhteydessä on tärkeää pitää hallissa pieni alipaine mm. korkeapainevesileikkurista vapautuvan kosteuden takia, jotta rakennuksen rakenteet eivät pääse kostumaan. Liian

suuri alipaine aiheuttaa vastaavasti talvella kylmän ilman sisäänvirtausta varsinkin nosto-ovien kautta, jollei niihin asenneta ns. ilmaverhoja.

Halleissa 1 ja 2 nykyisin käytössä olevia kohdepoistojärjestelmien poistopuhaltimien ilmavirtoja ei huomioida ilmanvaihtokoneen mitoituksessa, sillä ne eivät ole toiminnassa jatkuvasti.

Ilman nopeus pääkanavissa mitoitetaan normaalirakennuksissa välille 4-8 m/s ja haarakanavissa 2-4 m/s, jotta painehäviöt eivät kasva kanavistossa liian suuriksi ja huononna järjestelmän energiatehokkuutta. Teollisuudessa ilman kanavanopeuksia voidaan kuitenkin nostaa jopa 1,5-kertaiseksi. Myös äänitasoja saadaan alemmilla ilmannopeuksilla alennettua, mutta ne eivät ole tehdastilojen kriittisten mitoitusperusteiden joukossa kyseessä olevan tehdastyön ollessa ajoittain hyvinkin meluisaa. Kanavisto pyritään suunnittelemaan painehäviöiltään symmetriseksi, joka parantaa ilmanvaihtolaitoksen energiatehokkuutta pienentämällä puhaltimien sähkönkulutusta sekä helpottavat päätelaitteiden ilmamäärien säätötyötä.

### **4.3 Ilmastointikoneen valinta**

Ilmanvaihtokone valitaan Fläkt Woods Oy:ltä. Yhtiön valmistamia ilmankäsittelykoneita käytetään paljon keskisuudessa konepajateollisuudessa niiden toimintavarmuuden, hyvän huollettavuuden sekä vähäisen energiankulutuksen vuoksi. Ilmastointikone valitaan ja mitoitetaan Fläkt Woods Oy:n Acon-valintaohjelmalla. Ilmastointikone on mallia EU 2000, jossa tulo- ja poistoilmakone sijaitsevat päällekkäin.

### **4.4 Lämmöntalteenotto**

Lämmön talteenoton lämmönsiirtimessä poistoilmavirta jäähtyy ja tuloilmavirta lämpeenee. Poistoilmavirran luovuttama lämpöteho on yhtä suuri kuin tuloilman vastaanottama. (Seppänen ym. 2004.)

Lämmönsiirrin on laite, joka siirtää lämpöä virtaavasta aineesta toiseen, jolloin lämpöä siirtävä materiaali voi olla kiinteää, nestemäistä tai kaasumaista.

#### 4.4.1 Lämmöntalteenoton laitetyypit

Poistoilman lämmön talteenottolaitteistojen erityyppisten lämmönsiirtimien tuloilman lämpötilahyötysuhteet ovat tyypillisesti (Seppänen ym. 2004) mukaan:

- virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirinyhdistelmät; 40-60 %
- ristivirtalevylämmönsiirtimet; 50-70 %
- vastavirtalevylämmönsiirtimet; 60-80 %
- regeneratiiviset lämmönsiirtimet; 60-80 %.

Kun kyseessä on suurehko ilmavirrat ja näin ollen tuloilman lämmitykseen kuluu paljon energiaa, on lämmönsiirtimen oikea valinta ensiarvoisen tärkeää koko laitteiston energiataloudellisuutta ajatellen. Ensisijainen valinta on parhaan lämpötilahyötysuhteen omaavat regeneratiiviset lämmönsiirtimet. Näiden käyttöä kuitenkin rajoittaa usein likaantuneen poistoilman siirtyminen puhtaaseen tuloilmaan. Kosteutta siirtävät mallit, kuten Fläkt Woodsin pyöriväkennoinen Regoterm-lämmönsiirrin, siirtävät vielä enemmän epäpuhtauksia, erityisesti niin sanottuja polaarisia kaasuja kuten vettä. Poistoilma voi hitsauksen kohdepoistojärjestelmistä huolimatta sisältää karsinogeenisiä yhdisteitä, joiden siirtyminen tuloilmaan tulee estää.

Ilman epäpuhtauksia saattaa kulkeutua myös vuotoilman välityksellä. Erityisesti pyörivissä lämmönsiirtimissä tapahtuu aina jonkin verran virtausta ilmavirrasta toiseen. (Tähti ym. 2002.)

Yrityksen tulevaan ilmastointikoneeseen ei voida ilman tarkempia selvityksiä poistoilman likaisuudesta suunnitella pyörivää lämmönsiirrintä korkeasta hyötysuhteesta huolimatta. Syrjäyttävän ilmanjakotavan kanssa yhdistelmä on riskialtis, koska tällöin oleskeluvyöhykkeelle puhallettaisiin jo valmiiksi jonkin verran likaantunutta ilmaa.

Acon-mitoitusohjelmalla tehdyn kokeilun mukaan pyörivää Regoterm-lämmönsiirrintä käytettäessä ilmavirran määrä poistoilmasta tuloilmavirtaan olisi 0,37 m<sup>3</sup>/s, eli noin 6,7 %:n osuus koko tuloilmasta olisi poistoilmaa. Kokeilussa käytettiin samoja ilmamääriä sekä painesuhteita kuin aiempaa konekokonaisuutta mitoitettaessa. Jos ilmastoitavaan tilaan olisi valittu sekoittava ilmanjakotapa, voitaisiin pyörivää levylämmönsiirrintä har-

kita sillä vähäiset tuloilman epäpuhtaudet saattaisivat laimentua huoneilman kanssa riittävästi ennen ilmasuihkun saapumista oleskeluvyöhykkeelle. Tällöin taas ilmamääriä jouduttaisiin nostamaan ja sen seurauksena menetettäisiin vyöhykeajattelun tuomat hyödyt. Lisäselvitystä vaatii myös se, kuinka paljon huoltokustannukset kasvaisivat jos tuloilmakanavaan lisättäisiin ylimääräinen hienosuodatin puhdistamaan poistoilmasta siirtyneitä epäpuhtauksia.

Tähän työhön ilmanvaihtokoneen lämmön talteenottolaitteeksi valitaan levylämmönsiirrin, esimerkiksi Fläkt Woods Oy:n ilmanvaihtokoneiden malli RecuTerm, jonka eduiksi lasketaan vähäinen huollontarve sekä lähes olematon ilmavirtojen sekoittuminen. Keskimääräinen lämpötilahyötysuhde (~60 %) ja sen suuri tilantarve korvautuvat toimintavarmuuden ansiosta.

Nestekiertoisten lämmönsiirtimien valintaa ei juurikaan pohdittu, sillä niiden lämmönsiirtopatterit ovat suhteessa kalliimpia kuin levylämmönsiirtimet ja toimivat kokonaisuudessaan huonommalla hyötysuhteella. Nestekiertoiset lämmönsiirtimet vaativat vähiten tilaa ja niiden ansiosta tulo- ja poistokoneiden ei tarvitse sijaita vierekkäin tai päällekkäin, mutta ilmanvaihdon konehuoneen koko ei myöskään rajoita tässä tapauksessa levylämmönsiirtimen valintaa.

#### 4.4.2 Lämmöntalteenoton hyötysuhde

Lämmönsiirtimen lämpötilasuhteen voi laskea kaavasta (3)

$$\eta_a = (t_{u2} - t_{u1}) / (t_{p1} - t_{u2}) \quad (3)$$

$\eta_a$	on energian talteenoton vuosihyötysuhde
$t_{u2}$	on tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen, °C
$t_{u1}$	on tuloilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa, °C
$t_{p1}$	on poistoilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa, °C

Lämmöntalteenottolaitteiden tehoa on rajoitettava välikausina, jolloin poistoilman lämpö voi lämmittää liikaa tuloilmaa. Kovalla pakkasella tehoa rajoitettava, jotta poistoil-

ma ei jäähtyisi niin kylmäksi, että poistoilmassa oleva kosteus huurruttaisi lämmönsiirtimen umpeen. (NESTE ym. 1990.)

Nestekiertoisten patterilämmönsiirtimien tapaan myös levylämmönsiirtimet ovat alttiita huurtumiselle kovimpien pakkasjaksojen aikana. Levylämmönsiirtimien tehoa ja huurtumisen estoa säädetään ohituspelleillä. Poistoilman jäähtyessä kylmällä lämpöpinnalla sen suhteellinen kosteus kasvaa kunnes ilma on täynnä kosteutta ja kosteus alkaa lauh-  
tua lämpöpinnalle. Jos pinnan lämpötila laskee alle 0 °C, pinnoille tiivistynyt kosteus jäätyy. Kun kennoon asennetut lämpötila-anturit aistivat huurtumisen vaaran, ohjataan osa ulkoilmasta ohituspelleillä lämmöntalteenoton ohi suoraan tulokanavaan. Tällöin osassa lämmönsiirtimestä virtaa vain lämmin poistoilma, joka nostaa levypintojen lämpötilaa riittävästi huurtumisen estämiseksi. Huurtumisvaaran aikana useimmissa lämmönsiirtimissä huurtumisen esto toteutetaan neljässä osassa, yksi neljäsosa kerrallaan.

#### **4.5 Ilman suodatus**

Ilmanvaihtosuodattimien tehtävänä on kerätä hiukkasmaiset epäpuhtaudet suodatettava ilmastasta. Suodattimelle voi tulla ulkoilman mukana epäorgaanista katupölyä, teollisuudesta peräisin olevaa pölyä, kasvillisuudesta ja maaperästä lähtöisin olevia hiukkasia, epäpuhtauksia likaisilta kattotasanteilta, kuormauslaitureilta, parkkipaikoilta tai rakennuksen jäteilmasta. Ulkoilman pölypitoisuus vaihtelee ajankohdan ja paikan mukaan, ja varsinkin liikenneväylien lähellä sekä maan pinnalla pitoisuudet ovat suuria.

Tuloilman suodatustaso määräytyy sisäilman laadulle asetettujen vaatimusten ja ulkoilman laadun perusteella. Tuloilman suodatus suunnitellaan yleensä siten, että ilman-suodattimen erotusaste on vähintään 80 % 1,0µm:n hiukkasilla suodattimen käyttöajan aikana. Tämä vastaa ilmansuodattimen luokkaa F7 (EU 7).

(Sisäilmayhdistys (1) 2010.)

Hitsaushallien ilma sisältää tapauksesta riippuen n. 1...5 mg/m<sup>3</sup> huujuja. Jos talteenottoon käytetään pattereita tai levylämmönsiirtimiä, ovat poistoilman suodatus tai lämmönsiirtimen pesu pakollisia. (NESTE ym. 1990.)

Poistoilmaa puhdistetaan lähinnä ilmanvaihtolaitoksen, erityisesti poistopuhaltimen ja LTO-kennon, eliniän pidentämiseksi ja hyvän hyötysuhteen ylläpitämiseksi. Käytännössä tähän riittää ilmansuodattimen luokka F5 (EU5). Suodattimesta huolimatta on mahdollista, että levylämmönsiirrin likaantuu. Lämmönsiirtopinnan likaantuminen heikentää lämmöntalteenoton hyötysuhdetta, jonka vuoksi sitä on tarkkailtava säännöllisesti. Ei ole kuitenkaan tarkoituksenmukaista sijoittaa poistoilmapuolelle liian korkean erotusasteen omaavaa suodatinta, sillä tällöin suodattimen huoltokustannukset nousevat liian suuriksi. Nykyisin käytössä on pääosin vain kertakäyttöisiä suodattimia, sillä puhdistuksessa suodattimen ominaisuudet heikkenevät. Puhdistustyö myös vaatii sille erikseen varatun alueen sekä huollon suorittajalle riittävän suojavaatetuksen.

#### **4.6 Äänitekniset tavoitteet**

Epävirallisena suosituksena voisi esittää, että ilmastonin melutason olisi syytä olla 3...5 dB alempi kuin prosessin, jottei ilmastointi lisää kokonaismelutasoa. Toisaalta jonkinlaisena kohtuullisena melutasona on usein esitetty ilmastoninille 55...60 dB(A). (NESTE ym 1990.)

Ilmastointijärjestelmässä käytetään vain primääriäänenvaimentimia, jotka sijoitetaan konehuoneeseen ilmastointikoneen yhteyteen. Tuotantotilojen kannalta ei ole ratkaisevaa kuinka tehokas äänenvaimennus on, mutta kanavistoon siirtyvä äänen tehotaso pyritään pitämään mahdollisimman matalana yleisen viihtyvyyden takia. Poistoilman päätelaitteissa on lisäksi sisäänrakennetut äänenvaimentimet. Toimisto- ja neuvottelutilat sijaitsevat kuitenkin suoraan konehuoneen alapuolella, jonne puhaltimien kehittämät mekaaniset tai ilmavirtauksesta syntyvät äänet eivät sen sijaan saa kantautua häiritsevästi. Toimisto- ja neuvotteluhuoneiden LVIS- ja niihin rinnastettaville laitteille on annettu Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto korkeimmaksi sallituksi A-taajuuspainotetuksi keskiäänitasoksi 38dB.

#### **4.7 Siirtoilma**

Palautus- ja siirtoilmana saadaan käyttää vain ilmanpuhtaudeltaan samanarvoisten tai puhtaampien tilojen ilmaa, joka ei saa sisältää haitallisia määriä epäpuhtauksia. (RakMk osa D2 2010.)

Siirtoilmana voidaan käyttää paineilmakompressoreiden tilasta poistettavaa ilmaa. Kompressorihuoneen viereinen tila alipaineistetaan, jolloin kompressorihuoneessa lämmentynyt ilma voidaan lämmityskaudella johtaa suljettavista siirtoilmasäleiköistä tuotantotiloihin. Kesäajan lämmönpoistoa varten kompressorihuoneen ulkoseinään voidaan myös asentaa ulkosäleikköjä katon- sekä lattianrajaan, jolloin ilmanpaineen vaihtelut vaihtavat kompressorihuoneen ilmaa painovoimaisesti. Lämpenemistä voidaan estää myös ulkoseinän sisäpuolelle asennettavalla poistoilmapuhaltimella.

## **5 LAITESIJOITTELU JA -VALINNAT**

Yrityksellä on tarkoitus toteuttaa vesikaton peruskorjaus lähivuosien aikana, sillä katon eristys ja tiiveys ovat puutteellisia varsinkin tehdashallin osassa 1. Peruskorjauksen tarkoituksena on lisäeristää yläpohjaa sekä vähentää ilmavuotoja. Huonosta tiiveydestä ja eristyksestä kertoo talvisin vesikaton ulkopuolelle muodostuvat pitkät pystysuorat jääpuikot. Lämpimän sisäilman ja ulkoilman välinen lämpötilaero kasvaa huonosta eristyksestä ja ilmavuodoista johtuen niin suureksi, että sisäilma sulattaa katolla olevia lumia, jotka sitten valuvat katon reunuksille lopulta jäätyen jääpuikoiksi.

Tulossa oleva katon remontti kannattaa ehdottomasti yhdistää ilmastointijärjestelmän perusparannukseen, sillä ilmastointikoneen sijoittamiseksi nykyisen toisessa kerroksessa sijaitsevan paperiarkiston tilalle on arkiston sisäkorkeutta todennäköisesti nostettava ja myös lattian kantavuutta vahvistettava. Samalla hallin 1 tulo- ja poistoilmakanavien sijoittamiseksi tulevaan välipohjaan puhallusvillan sekaan on vesikaton korkeutta nostettava.

### **5.1 Ilmastointikone**

Tuotantotiloja palveleva ilmanvaihtokone sijoitetaan tehdashallien 1 ja 2 välissä sijaitsevaan arkistohuoneeseen rakennuksen 2. kerrokseen toimistotilojen yläpuolelle. Huoneen korkeutta on nostettava tulevan kattoremontin yhteydessä mikäli ilmastointikoneen mallia ei muuteta, sillä tuleva ilmanvaihtokone on 2750 mm korkea ja arkisto on matalimmalta kohdalta vain 2500 mm korkea. Rakennusmääräyskokoelman mukaan yli kahden metrin korkeudessa olevien ilmastointikoneen osien huoltoa varten on tilaan



järjestettävä myös huoltotaso. Myös lattian kantavuus on tarkistettava ja tarpeen vaatiessa sitä on parannettava kattoremontin yhteydessä niin, että se kestää ilmanvaihtokoneen painon. Paperiarkisto soveltuu konehuoneeksi hyvin keskeisen sijaintinsa ja sopivan kokonsa puolesta.

Huollettavuuden vuoksi konehuoneisiin tulee järjestää vesi- ja viemäripiste sekä mahdollisesti paineilmailiitääntä ja keskuspölynimurijärjestelmän imupiste. Erityistä huomiota tulee kiinnittää koneiden ja kanavien tiiveyteen. (Neste ym. 1990.)

Ilmansuodatinten jälkeen useimmin huoltoa tarvitsevat osat ilmastointikoneissa ovat lämmönsiirrin sekä lämmityspatteri. Näihin kertyy aina jonkin verran likaa ilman suodattuksesta huolimatta. Pölyn eristävydestä riippuen levylämmönsiirtimenkin lämmönsiirtokyky voi heiketä, vaikka niiden likaantumisnopeus on oleellisesti putkipattereita hitaampi.

Arkiston muuttamista konehuoneeksi puoltaa myös se, että arkisto on aiemmin ollut henkilökunnan peseytymis- ja sosiaalityötilana, joten ilmanvaihtokoneen vaatima kondenssiveden poistoreittien järjestäminen ei aiheuta uusien viemäreittien rakentamista tarvittavien lattiakaivojen ja pesuallaiden ollessa jo asennettuna tilaan. Tilaan johtaa myös jo valmiiksi tukevat ja suhteellisen helppokulkuiset rappuset, jotka helpottavat huoltotoimenpiteitä yhdessä suuren huoltotilan kanssa.

Ilmastointikone on Fläkt Woods Oy:n EU 2000 -mallinen moduulirakenteinen ilmankäsitelykone. Konekoko valituilla ilmamäärillä on 42, jolloin koneen kokonaispituus on hieman yli 7,2 metriä ja leveys vajaa 2,1 metriä. Korkeutta koneella on 2,75 metriä ja sen kokonaispaino on 3000 kg. SFP-luku saatiin Acon-mitoitusohjelmasta sen jälkeen, kun MagiCad-suunnitteluohjelmalla piirretyn esisuunnitelman pohjalta oli tehty painehäviölaskelma, joka syötettiin ohjelman ilmastointikoneen ilmavirtatietoihin. SFP-luvuksi saatiin 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s).

Lämmöntalteenottolaitteeksi valitun ristivirtaperiaatteella toimivan Recuterm-levylämmönsiirtimen lämpötilasuhde huurtumisen eston aikana mitoitusulkolämpötilassa on 52,3 % ja saavutettu lämmitysteho 187 kW.

Kaukolämpöön kytketyn jälkilämmityspatterin lämmitysteho on mitoitusilanteessa 132 kW ja ilman lämpötilan noustessa  $-3,8^{\circ}\text{C}$ -asteesta  $16,1^{\circ}\text{C}$ -asteeseen. Lämmityspatterin vesivirta on  $1,12 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja käytettäessä 30-asteen meno- ja paluuvien lämpötilaeroa.

Koneen käyntiajaksi valitaan työntekijöiden työaikojen mukaisesti klo 06.00 – 22.00, jolloin puhaltimet toimivat täydellä teholla. Yöaikana klo 22.00 – 06.00 ilmanvaihto toimii 30 % teholla. Ylityöaikoja varten ohjaus varustetaan myös kellokytkimellä, jolloin puhaltimien tehoja voidaan ohjata manuaalisesti.

## **5.2 Kanavistot**

### **5.2.1 Raitisilma- ja jäteilmakanavistot**

Ulkosäleiköt sijoitetaan rakennuksen pohjoispuolelle, jolloin raitisilma on mahdollisimman viileätä. Samalla saavutetaan myös muita etuja, sillä rakennuksen pohjoispuolella ei ole välittömässä läheisyydessä autotietä, lastauslaitureita tai muuta ilmaa likaavaa lähdettä.

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on esitetty ulkoilma- ja jäteilmakuukille sallitut paikat kiinteistöissä. Yleisesti siinä määrätään aukuille minimietäisyydet maasta, tuuletusviemäreistä ja savupiipuista. Pääperiaatteena on, että ilma saadaan koneelle mahdollisimman puhtaana ja jäähdytyskaudella myöskin mahdollisimman viileänä.

Minimietäisyyden tuuletusviemäreistä ja muista ilman laatua pilaavista lähteistä pitää olla RakMk osan D2 mukaan 8 m, esisuunnitelman mukaan raitisilma-aukon pienin etäisyys on 12 m ilmaa likaavista lähteistä.

Ilman virtausnopeus ulkoilmasäleikössä on syytä pitää alle  $2,5 \text{ m/s}$ , jotta kosteus ja roskat eivät pääse kanavistoon ja rakenteisiin. (Tähti ym. 2002.)

Lumen ja veden sisäänvirtauksen estämiseksi ilman nopeus mitoitetaan otsapintanopeuteen  $2 \text{ m/s}$  ulkosäleikön kohdalla. Tarvittava ulkosäleikön pinta-ala saadaan Fläkt Woods Oy:n RIS-ulkosäleikkösarjan teknisessä esitteessä olevasta valintakäyrästä. Ti-

lavuusvirralla 5,50 m<sup>3</sup>/s saadaan tarvittavaksi pinta-alaksi noin 2,8 m<sup>2</sup>. Ulkosäleikön painehäviö on tällöin 23 Pa ja vedenestokyky on 98% samaisen esitteen taulukoiden mukaan.

Tehtaan tuotantotilojen poistoilma luokitellaan asteikolla 1-4 luokkaan 4. ”Poistoilma, joka sisältää pahanhajuisia tai epäterveellisiä epäpuhtauksia huomattavasti enemmän kuin sisäilman hyväksyttävät pitoisuudet. Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana.” (RakMk D2 2010.)

Poistoilman ulospuhallus järjestetään siten, että etäisyys on RakMk osan D2 mukaisesti yli 13 metriä ulkoilmalaitteista, kun jäteilmalaitteet sijaitsevat vähintään 2 metriä korkeammalla kuin ulkoilmalaitteet ja puhallusnopeus on 5 m/s. Määräyksissä on annettu myös muita minimietäisyyksiä jäteilmalaitteiden sijoitusta varten, kuten etäisyys tuuletusviemäriin aukosta, jotka kaikki täyttyvät. Ulospuhallus täytyy kuitenkin järjestää katon ulospuhallushajoittimella sillä jos ulospuhallus toteutettaisiin rakennuksen ulkoseinältä, ei rakennusmääräyskokoelmassa poistoilman luokalle 4 vaadittu 5 metrin vähimmäiskorkeus maan tasosta mitattuna toteudu. Ulospuhallushajoittajana voidaan käyttää esimerkiksi Jeven Oy:n Pyramid-mallia, jolloin puhallusnopeus on ø1250 mm kanavaliitoksella 4,7 m/s.

### **5.2.2 Tulo- ja poistoilmakanavistot**

Kanavistosta suunnitellaan painehäviöiltään mahdollisimman symmetriseksi, jotta tasapainotus käy helposti ja puhaltimien paineenkorotuksen tarve on pienin. Kanavistot sijoitetaan rakennuksen ja prosessien sallimien tilamahdollisuuksien mukaan. (Tähti ym. 2002.)

Kattoremontin yhteydessä nostetaan katon harjakorkeutta, jonka seurauksena katon ja halleissa käytössä olevien siltanostureiden väliin jää riittävästi tilaa kanavistojen sijoittamista varten tilassa olevan suurimman kanavahalkaisijan ollessa 630 mm. Kanavistona käytetään pyöreätä kanavajärjestelmää, esimerkiksi Fläkt Woods Oy:n Veloduct-järjestelmää, kaikkialla siellä missä se on tilojen puolesta mahdollista. Suorakaiteen muotoiseen kanavaan verrattuna pyöreä kanava on virtausteknisesti parempi, hankintahinnaltaan edullisempi, helpompi ja nopeampi asentaa sekä se kerää vähemmän likaa

kanaviston päälle. Pyöreään kanavajärjestelmään on saatavissa kaikki tarvittavat osat tehdasvalmisteisin EPDM-kumitiivistein, joka osaltaan parantaa kanaviston tiiveyttä. Ilmanvaihdon konehuoneessa joudutaan käyttämään suorakaiteen muotoista peltikanavaa sekä monissa haarakanavissa, sillä monessa paikkaa siltanosturin ja seinän väliin jäävä tila on liian kapea pyöreän kanavan käyttöä varten.

### **5.3 Päätelaitteet**

Vaadittujen toiminta-arvojen (tilavuusvirrat, jäähdytystehot ym.) määrittämisen ja ilmanjakotavan valinnan ohella on tuloilmalaitteiden sijoituksella keskeinen merkitys hyvän lopputuloksen aikaansaamisessa. (Seppänen 2004.)

Tilan yleispoistoilmalla ei voida ohjata huonetilan virtauksia, mutta poistoilmakokojen oikea sijoittaminen on kuitenkin oleellista pyrittäessä korkeaan ilmanvaihdon tehokkuuteen. (Tähti ym. 2002.)

#### **5.3.1 Tuloilmalaitteet**

Syrjäyttävässä ilmanjaossa tuloilman päätelaitteet sijoitetaan lattiatasolle seinien vierustalle. Tarkoituksena on tuoda puhdas tuloilma suoraan oleskeluvyöhykkeelle pienellä ilman nopeudella, jotta ilman laatu olisi mahdollisimman hyvä. Tuloilma tuodaan hieman alilämpöisenä huoneilmaan verrattuna, jolloin tuloilmasuihku virtaa lattiaa pitkin koko oleskelualueelle. Oleskelualueella olevien ihmisten kannalta on tärkeää tuloilman nopeuden lisäksi sen lämpötila; sen pitää olla vain hieman viileämpää kuin huoneilman vedontunteen syntymisen ehkäisemiseksi.

Ilman virtausnopeus on suurimmillaan 2-5 cm korkeudella lattian rajasta syrjäytysilmanvaihtoa käytettäessä. Tämän vuoksi tulee välttää pysyvien istuma- tai työskentelypaikkojen sijoittamista tuloilmalaitteiden läheisyyteen. Lähikenttä ulottuu ilmavirrasta ja laitteesta riippuen 0,5...2 metrin etäisyydelle. Tälle alueelle ei voida sijoittaa istumapaikkoja tai pysyviä työpaikkoja. (Seppänen 2004.)

Tuloilman päätelaitteiksi valittiin Fläkt Woods Oy:n huoltovapaat Floormaster-järjestelmään kuuluvat puolipyöreät DVHA-tuloilmalaitteet (kuva 6). Toisena vaihto-

ehtona oli saman yrityksen suorakulmainen PNA-tuloilmalaite, mutta DVHA:n virtauskuvio on laajempi ja siten soveltuu paremmin kyseessä olevaan tilaan. PNA:n heittäytyys on pidempi, mutta se suuntautuu käytännössä vain suoraan laitteen eteen eikä tällöin ilmasuihku leviä tasaisesti koko oleskeluvyöhykkeelle. DVHA-tuloilmalaitteita käyttämällä saavutetaan tasaisemmat olosuhteet koko oleskeluvyöhykkeelle.



**KUVA 6. Tuloilmalaite DVHA. (Fläkt Woods Oy.)**

Päätelaitteiden lähivyöhykkeeksi muodostuu DVHA-päätelaitteen teknisen esitteen mukaan suunnitelluilla tuloilman lämpötiloilla ja ilmamäärillä 1,5 – 2,0 metriä. Tämä alue tulee rajata mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi huomioteipillä, jos metallisten suojakaiteiden asennus ei ole mahdollista, sekä välttää lastauslavojen ym. ilmanvirtausta kääntävien esineiden sijoittamista merkatulle alueelle.

### 5.3.2 Poistoilmalaitteet

Kohdeilmanvaihtoa lukuunottamatta poistojen sijoituksen välitön vaikutus on halleissa melko pieni. Poiston aiheuttama virtauskenttä ulottuu puhallusta oleellisesti suppeammalle alueelle. Korkeissa tiloissa esim. poiston kanavoinnista tasaisesti ei ole yleensä hyötyä ja imurit voivat imeä vapaasti hallista. Selvää on kuitenkin, että poistot tulee sijoittaa epäpuhtauslähteiden alueelle ja erityisesti nousevien virtausten kohdalle.

(NESTE ym. 1990)

Poistoilmalaitteet sijoitetaan hallien keskilinjolle välikatton alapintaan sopivin välimatkoin toisiinsa nähden. Tuloilmalaitteiden sijaitessa hallin reunoilla on poistoilmalaitteiden luontevaa sijaita keskiosassa, jolloin ilmavirtausten suunta on rakennuksen reunoilta keskelle suuntautuva. Poistoilmalaitteina käytetään esimerkiksi Fläkt Woods Oy:n EHI-poistoilmalaitteita, jotka ovat helppo säätää, mitata ja puhdistaa. Lisäksi niillä on alhainen äänitaso laajalla painealueella sisäänrakennetusta äänenvaimentimesta johtuen. EHI-päätelaitteiden käyttöalue on noin 120-1500 (dm<sup>3</sup>/s)/päätelaite.

#### **5.4 Muut kanavakomponentit**

Jos konehuone palvelee kahta tai useampaa palo-aluetta, muodostuu laitos ns. keskusilmanvaihtojärjestelmäksi, jolloin konehuone muodostaa oman paloalueensa.

Tehdashallin osat 1 ja 2 ovat paloteknisesti samaa aluetta, jolloin ilmastointikonehuone ei muodosta omaa paloaluetta sillä se sijaitsee tuotantotilojen puolella. Jos myös toimistotilat liitettäisiin tähän järjestelmään, pitäisi konehuone myös paloeristää voimassa olevien palomääräysten mukaisesti.

Puhdistusluukkuja tulee asentaa tiheästi, vähintään 10 kanavametrin välein. Puhdistusluukut ja niiden paikat valitaan jo suunnitteluvaiheessa, jolloin ne asennetaan valmiina tiivisteillä varustettuina kanavakomponentteina. Näin varmistetaan luukkujen mahdollisimman hyvä tiiveys ja nopea asennus.

Kaikki tuloilmalaitteet varustetaan Fläkt Woods Oy:n IRIS-säätöpellillä, jotta tuloilmalaitteista saadaan haluttu ilmavirta. Poistoilmalaitteissa on oma, sisäänrakennettu IRIS-mallinen säätölaite, mutta pelkästään niitä käyttämällä ei kanavistoa saada tasapainotettua. Poistokanaviston päähaaroihin asennetaan omat säätöpellit.

Ulko- ja jäteilmakanaviin asennetaan tiiviit sulkupellit, jolloin järjestelmä on mahdollista pysäyttää esimerkiksi huoltoa varten.

#### **5.5 Kohdeilmanvaihto**

Tilanteissa, joissa joudutaan rajoittumaan ilmanvaihtoteknisiin ratkaisuihin, toimiva kohdeilmanvaihto on tehokkain ratkaisu työntekijän suojaamisessa. Mikäli muodostuvat epäpuhtausmäärät ovat suuria, ei pelkästään yleisilmanvaihdolla useinkaan saavute-

ta työntekijän hengitysvyöhykkeellä riittävän alhaisia epäpuhtauspitoisuuksia. Kohdeilmanvaihdon avulla voidaan myös säästää yleisilmanvaihdon energiaa, mikäli epäpuhtaudet ovat määräävä yleisilmanvaihdon mitoitusperuste. (Kulmala 1992.)

### 5.5.1 Hitsauspisteet

Hitsaus on yksi yleisimmistä teollisuudessa tapahtuvista työmuodoista. Hitsauksessa vapautuu huomattava määrä epäpuhtauksia, joista suurin osa muodostuu suoraan työntekijän hengitysvyöhykkeelle. Ilman toimivaa kohdeilmanvaihtoa työhygieniset raja-arvot ylittyvät. Kohdeilmanvaihdon suurimmat ongelmat ovat imusuulakkeiden vaatima jatkuva siirtely hitsattavan kohdan mukaan sekä suhteellisen suuret poistoilmavirrat. Matalapaineisten poistojärjestelmien tyypilliset ilmavirrat ovat 160 - 300 l/s työpistettä kohden.

Kohdepoistoja voidaan tehostaa järjestämällä myös kohdepuhallus työskentelytilaan, sillä puhallussuihkun vaikutusetaisyys on 30 - 60 kertaa suurempi kuin imun aikaansaama virtaus. Kohdepuhallus pienentää myös poistettavan ilman määrää, jolloin hallin alipaineisuus ei muodostu niin suureksi. Ongelmana on kohdepuhalluksen sijoittaminen niin, ettei ilman virtaus häiritse työntekijää. Ilman virtausnopeuden pitää olla tarpeeksi alhainen (alle 0,5 m/s) sekä lämpötilan mahdollisimman lähellä huoneilman lämpötilaa vetoriskin minimoimiseksi.

Kohdeilmastoinnissa tuloilmavirta on usein paras johtaa hengitysvyöhykkeelle työntekijän yläpuolelle asennetusta piennopeusilmanjakuelimestä. (Tähti ym. 2002.)

Ilmaa tuotaessa työntekijän niskan takaa on olennaista tuloilman lämpötila. Jo muutamman asteen alilämpöinen puhallussuihku saa aikaan vedon tunteen, vaikkakin kohdeilmanvaihdon prosessin kannalta hieman alilämpöinen ilma saa aikaiseksi paremman virtauskentän. Alilämpöinen tuloilma virtaa alaspäin työntekijän hengitysvyöhykkeelle paremmin kuin tasalämpöinen ilma, koska nostevoimat kiihdyttävät virtausta. Vetoriskin vuoksi on kuitenkin turvallisinta käyttää kohdepuhalluksessa huoneilmaa, jolloin ei myöskään häiritä itse hitsausprosessia tuomalla alilämpöistä ilmaa. MIG- ja TIG-hitsauksessa ilman liian suuri nopeus ja epätasalämpöinen ilma vaikeuttavat hitsaajan työtä ja huonontavat hitsauksen lopputulosta.

Parhaaseen lopputulokseen hitsaupisteiden tuloilman osalta päästään kun kohdepuhalluksessa käytetään huoneilmaa, joka puhalletaan työntekijän yläpuolelta takaviistosta. Imusuulake on vastaavasti hitsattavan kohteen takana, hieman pöytäpinnan yläpuolella ”vastaanottamassa” puhallusilmavirran kuljettamia epäpuhtauksia. Imuilmavirran pitää olla tuloilmavirtaa suurempi, jotta epäpuhtaudet eivät pääse leviämään oleskeluvyöhykkeelle kohdepoistojen ohitse.

Toisiaan lähellä olevat kohdepoistolaitteet voidaan yhdistää joko keskitetyksi tai ryhmitetyksi järjestelmäksi, jolloin sen hankinta ja huolto on edullisinta ja helpointa. Keskitetyssä järjestelmässä on yksi poistopuhallin, jota käytännössä joudutaan pitämään jatkuvasti päällä vaikka vain yhdessä hitsauspisteessä työskenneltäisiin. Tämä aiheuttaa tarpeettoman suuren poistoilmavirran epäpuhtauksien syntyyn nähden, joka nostaa järjestelmän käyttökustannuksia ja tilan alipaineisuutta. Alipaineisuus taas lisää lämmityskaudella lämmityskustannuksia.

Ryhmitetyssä järjestelmässä toisiaan lähekkäin olevat imupisteet yhdistetään saman poistopuhaltimen vaikutusalueelle. Vaihtoehtona on varustaa jokainen hitsauspiste omalla tulo- ja poistopuhaltimella, jotka voidaan käynnistää juuri silloin, kun se on tarpeellista. Järjestelmien pitkän ajan hintaeron ratkaisee lopulta työpisteiden määrä, niiden käyttöaste sekä se, kuinka usein hitsauspisteillä tapahtuu samanaikaista käyttöä.

Tilojen alipaineisuuden vähentämiseksi ja ilmavirtojen paremman hallittavuuden saavuttamiseksi nykyisten järjestelmien poistuessa käytöstä suositellaan kohdepoistoilman ulospuhalluksen sijaan käytettäväksi poistoilman puhdistusta. Tällöin ilma voidaan puhaltaa takaisin oleskeluvyöhykkeelle eikä kohdepoistojen korvausilmasta aiheudu ulkoilman virtausta halliin. Nykyisin kohdepoistoista johtuen alipaineisuus kasvaa, jolloin tiloihin virtaa lämmityskaudella kylmää ulkoilmaa, joka taas aiheuttaa ylimääräistä lämmitystarvetta.

Hitsaushuurujen ja metallioksidien suodattamiseen sopiva järjestelmä on muun muassa Tecalemit Groupin maahantuoma Nederman Filterbox, jonka mekaanisten suodattimien maks. kuormitusarvo on 2000 m<sup>3</sup>/h. Yksi kyseinen suodatinjärjestelmä riittää kolmen samanaikaisesti käytössä olevan hitsauspisteen kohdepoistoksi. Tällöin yhden hitsauspisteen kohdeilmavirta on maksimissaan noin 185 dm<sup>3</sup>/s. Suodattimet voidaan



varustaa joko käsikäyttöisellä kampipuhdistuksella tai automaattisella täry- ja paineilmapuhdistuksella.

### 5.5.2 Korkeapainevesileikkuri

Metallien leikkaukseen yrityksellä on käytössä Aliko Watercut-korkeapainevesileikkuri (kuva 7).



**KUVA 7. Korkeapainevesileikkuri.**

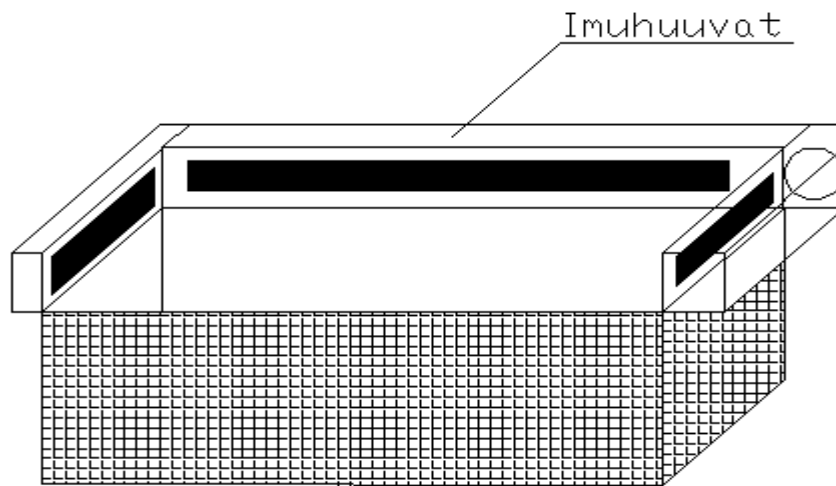
Korkeapainevesileikkurista vapautuu paljon kosteutta huoneilmaan haihtumalla, mutta varsinaisia epäpuhtauksia siitä ei vapaudu. Lähes kaikki epäpuhtaudet jäävät altaan veteen, joka joudutaan käsittelemään ongelmajätteenä. Vesileikkuria ei tarvitse erityisemmin kattaa tai järjestää siihen kohdepoistolaitteita, vaan kosteuden poisto alueelta toteutetaan sijoittamalla useampi poistoilman päätelaite leikkurin yläpuoliselle alueelle.

### 5.5.3 Peittausallas

Hallissa 3 sijaitsevasta peittausaltaasta vapautuu ihmiselle haitallisia huuruja ja kaasuja, jotka on poistettava mahdollisimman tehokkaasti ennen kuin ne kulkeutuvat oleskeluvyöhykkeelle. Nykyinen kohdepoistojärjestelmä toimii hyvin silloin, kun altaan kannet

ovat kiinni. Kun kannet nostetaan ylös, altaan taakse sijoitetut tuloilmalaitteet levittävät altaasta nousevia huuruja sekä kaasuja työntekijöiden oleskeluvyöhykkeelle.

Helpoin ja toimivin ratkaisu olisi nykyisten seinäkkeiden lisäksi kattaa altaan alue kevyellä katolla ja näin rajata huurujen leviäminen, mutta silloin altaaseen ei voitaisi tuoda käsiteltäviä kappaleita siltanosturilla. Vaihtoehtoisesti altaan sivu- ja takareunat voidaan koteloida huuvaksi (kuva 8), jotka yhdistetään poistopuhalttimeen. Kannen käyttö altaan päällä on joka tapauksessa suositeltavaa vaikka altaan reunat olisivatkin koteloitu rakohuuvaksi.



**KUVA 8. Periaatepiirros peittäusaltaan reunaimusta.**

Poistoilman imukanaviston materiaalina ei voida käyttää tavallista teräksistä kierresaumakanavaa, sillä altaasta vapautuvat kaasut, erityisesti fluorivety, syövyttävät metalleja. Kanaviston ja imuhuvien materiaali tulee olla esimerkiksi viemäriputkien valmistusmateriaalia polypropeenaa- eli PP-muovia, jota fluorivety ei syövytä.

Tuloilmalaitteet tulee siirtää altaan takaa seinän vierestä hallin keskiosan puolella, ja niiden malli vaihtaa esimerkiksi Fläkt Woods Oy:n vuonna 2010 kehitettyyn syrjäyttävän ilmanvaihdon Hymy-tuloilmalaitteeseen (kuva 9). Tuloilmalaitteet ja kanavat voidaan kannakoida olemassa olevien tilaa jakavien kevytrakenteisten seinäkkeiden päälle ja tuloilmalaitteet suunnata työntekijän takaa viistosti allasta kohden. Näin tuloilmalait-

teiden ilmasuihku kulkeutuu lattiaa pitkin kohti peittäusaltaan poistohuuvia. Samalla työntekijän koko oleskeluvyöhykkeellä ilma vaihtuu jatkuvasti.



*Hymy-tuloilmalaite asennetaan 2-3 metrin korkeudelle, josta ilmaa puhalletaan kohti lattian rajaa.*

**KUVA 9. Hymy-tuloilmalaite. (Fläkt Woods Oy)**

## 5.6 Ilmaverhot

Oviverhojen mitoitukseen vaikuttavat tekijät ovat seuraavat (Valkeapää 2008):

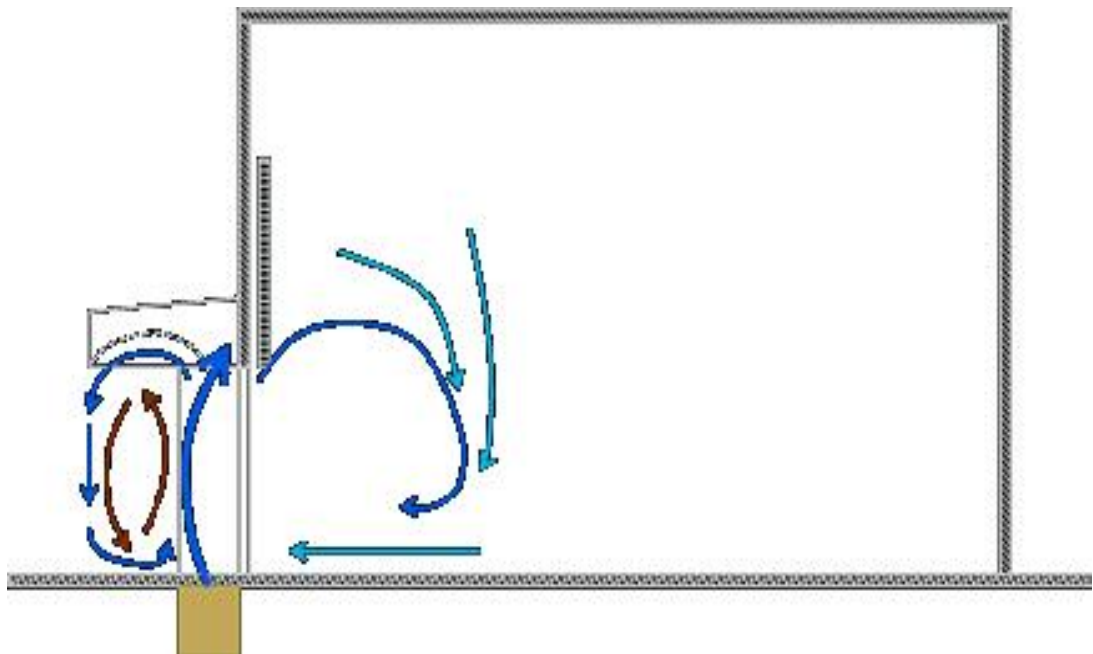
- oviaukon korkeus ja leveys
- painesuhteet oviaukolla (neutraalitaso)
- työpisteiden sijainti oviaukkoon nähden
- prosessin ja tuotteiden vaatimukset
- toiminta-alueen laajuus
- sallitut lämpötilavaihtelut (alueajattelu)
- käytettävissä oleva tila
- sisäilman likaisuus

Kun oviverhon puhallusrako upotetaan lattiaan oven reunaan, sijoittuu puhallussuihkon alkuosa vyöhykkeeseen, missä vallitsee suurin paine-ero. Tämä on ilmaverhon aerodynaamisen stabiilisuuden kannalta paras järjestelmä, koska ilmaverho on alkuosassaan ”vahvin” eli todennäköisyys ulkoilman pääsemisestä sisään lattian tasolla on pienempi kuin muissa ratkaisuissa. (Klobut 1993.)

Nyrkkisääntönä korkeissa ulko-ovissa tapahtuvasta ilmojen virtaussuunnista pidetään yleisesti tilannetta, jossa oven yläpuolisessa kolmanneksessa lämmin sisäilma virtaa ulos ja kaksi kolmannesta oven alaosaan ulkoilma virtaa sisään.

Alhaalta puhalluksen ongelmakohdat liittyvät rakentamisnäkökulmiin. Suutinten yli ajetaan painavilla kulkuneuvoilla, joten puhallussäleikön pitää olla erityisen kestävä. Puhaltimen ollessa pois käytöstä suutinkanavaan voi kertyä vettä, hiekkaa tai muuta roskaa, jotka puhaltimen käynnistyessä voivat joutua puhallussuihkun mukana halliin. Mikäli suuttimiin kerääntynyttä vettä ei johdeta pois, voi vesi pakkasten aikaan jäädyttää suuttimet ja estää oviverhon toiminnan.

Sah-ko Oy:n Aeroclaus-puhallusperiaatteessa (kuva 10) puhallusilma ohjataan rakennuksen ulkopuolella maasta nosto-oven yläpuolella olevaan imuhuuvaan, josta se kiertää takaisin puhalluskanavaan. Sisältä puhallussuihkuun indusoituva lämmin ilma hyödynnetään ilmasuihkun lämpönä. Samalla puhallussuihku tuo lämpöä ovisuulle lattiatason lähelle puhallussuihkun induktiolla.



**KUVA 10. Aeroclaus-oviverhojärjestelmän toiminta. (Sah-ko Oy.)**

Toinen vartenotettava oviverhojärjestelmä on esimerkiksi A-incon Oy:n erityisesti teollisuuden nosto-ovissa käytettäväksi tarkoitettut Induvent-oviverhot (kuva 11), jotka asennetaan hallin sisäpuolelle. Koska lattian tai seinien rakenteita ei tarvitse muuttaa,

ovat asennuskustannukset merkittävästi pienemmät kuin Aeroclausin eikä oven tarvitse olla pois käytöstä asennuksen takia ollenkaan.



**KUVA 11. Induvent-S ilmaverho referenssikohteessa. (A-Incon Oy.)**

Puhallettavaa ilmaa ei tarvitse lämmittää, vaan pylväsmalliset puhalluselementit puhaltavat sisäilmaa oven molemmilta puolilta kohti oven keskiosaa. Ilmaverhon suojauskykyyn vaikuttavat kolme tekijää ovat puhallusmäärä, puhallusnopeus ja puhalluskulma, joita on voitava myös säätää. Induvent-verhojen painesuihkumenetelmällä on pitkä kantama, jolloin hyvä suojaustaso saavutetaan pienemmällä energian tarpeella.

Järjestelmässä on useita pienempi puhaltimia, joiden kulmaa on mahdollisuus säätää 40° astetta. Käytetty painesuihkumenetelmä pienentää energiankulutusta verrattuna tavanomaiseen ilmapuhallukseen. Ilman nopeus oviaukossa on hieman yli 22 m/s.

## 6 KUSTANNUSARVIOT

### 6.1 Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmastointikoneen hinta pyydettiin Fläkt Woods Oy:ltä. Sen budjettihinnaksi työmaalle toimitettuna muodostui 38 000 €(alv. 0%). Ilmastointikoneelle uusitaan myös rakennuksessa oleva automaatiojärjestelmä, jonka hinta-arvio asennettuna on 10 000 €

MagiCad-ohjelmalla piirretyn viitteellisen esisuunnitelman pohjalta voitiin arvioida kanavien ja tarvikkeiden menekki. Pyöreiden kanavien ja kanavaosien hinnat pyydettiin Fläkt Woods Oy:ltä, kun taas kantikkaiden kanavien hinnat saatiin Suomen Ilmastointitukusta. Näiden yhteishinnaksi muodostui n. 21 000 € Hinta sisältää kanavien lisäksi tarvittavat kulma-, haara- ja muuntokappaleet, putsausluukut kanavakomponentteina, säätöpellit sekä kanaviston kiinnitystarvikkeet.

Tulo-, poisto- ja raitisilmalaitteiden hinnat antoi Fläkt Woods Oy ja ulospuhallushajottajan hinta pyydettiin Jeven Oy:ltä. Näiden hinta yhteensä on hieman yli 15 000 €

Asennuksen järjestelmälle tarjosi valtakunnallinen urakointiliike Are Oy, ja sen tarjous-hinta oli 14 000 € Tarjoushinta sisältää koneen ja kanaviston asennuksen sekä säätötyön sivukuluineen.

Yhteensä uuden järjestelmän hinnaksi edellä mainittujen perusteella saadaan 98 000 € (alv. 0%)

Huomioitavia seikkoja kokonaiskustannuksia ajatellen ovat arkiston muutostyöt sekä vanhojen järjestelmien purkaminen, jotka voivat nostaa merkittävästi kokonaisinvestointia. Investointikustannuksia voidaan karsia käyttämällä vanhoja hyväkuntoisia kanavien osia ja päätelaitteita, mutta niiden uudelleen käyttämisen edellytys on kanavien sisäpuolinen nuohous. Oletettavaa on kuitenkin saavutettujen säästöjen jääminen kokonaisinvestointiin verrattain pieneksi, sillä monessa paikkaa kanavatkin vaativat uusimista. Kustannuksista puuttuu myös ilmastointikoneen lämmityspatterille tuotava meno- ja paluuputkisto pumppuineen ja varusteineen lämmönjakohuoneesta, joka sijaitsee noin 20 metrin päässä suunnitellusta ilmanvaihdon konehuoneesta.

## 6.2 Ilmaverhot

Kahden useimmin käytössä olevan nosto-oven koko on noin 4 metriä leveä ja noin 4 metriä korkea. Niihin sijoitettavista Aeroclaus-ilmaverhoista ja niiden asennuksesta pyydettiin tarjous niitä markkinoivalta oululaiselta Sah-ko Oy:ltä. Useasta pyynnöstä huolimatta budjettihintaa tai järjestelmän energiansäästölaskelmaa ei saatu.

Käyttökustannuslaskentaa ja takaisinmaksuajan määrittämistä varten ovien päivittäiseksi aukioloajaksi määriteltiin 2 tuntia ovea kohti ja toiminta-alueeksi +10 °C -asteesta -20 °C -asteeseen. Alle -20 °C -asteen lämpötilaan puhallinta ei järjestelmää markkinoivan yrityksen mukaan mitoiteta, sillä silloin puhaltimen teholuokka ja sitä myöten hankintahinta kasvavat tarpeettoman suureksi verrattuna kaikista kovimpien pakkasten esiintymistiheyteen. Kuitenkin juuri silloin kylmän ulkoilman terminen virtaus hallin sisään on voimakkainta ja aiheuttaa eniten lämmityskustannuksia. Puhallin kuitenkin toimii myös alle -20 °C-asteessa, mutta silloin sen tiiveys on luokkaa heikompi. Järjestelmän puhallusilmaa ei lämmitetä, jolloin ilmaverhon käyttöä varten tarvitaan energiaa vain puhaltimen vaatiman sähköenergian verran.

Myös Induvent-järjestelmistä pyydettiin tarjous. A-inconin yhtä ovea palvelevan ilmaverhon hinta oli 14 500 €(alv 0%), joka sisältää järjestelmän asennuksen sekä säätämisen oikeaan puhalluskulmaan. Puhaltimien yhteisteho on 1,76 kW. Asennettaessa kaksi toistensa kanssa samanlaista järjestelmää ei kappalehinta juurikaan muutu, vaan budjettihinta kahdelle järjestelmällä käyttövalmiiksi asennettuna on 29 000 €

Näistä järjestelmistä suositellaan ainakin oviverhon asentamista lähettämön nosto-oveen, sillä pientoleranssista työstöä suorittava uusi työstökeskus sijaitsee oven lähetyksellä. Kylmän ilman virtaus työstöalueelle saattaa vaikuttaa työstettävän metallikappaleen mittatoleransseihin negatiivisesti.

## 7 ILMANVAIHDON LASKUT

### 7.1 Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia  $Q_{iv}$  saadaan kaavalla

$$Q_{iv} = H_{iv} * (T_s - T_u) * \Delta h \quad (4)$$

$Q_{iv}$  on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh

$H_{iv}$  on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/°C

$T_s$  on sisäilman lämpötila, °C

$T_u$  on ulkoilman lämpötila, °C

$\Delta h$  on ajanjakson pituus, h

Kaavassa (4) tarvittava ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö  $H_{iv}$  lasketaan seuraavasti

$$H_{iv} = \rho_i * C_{pi} * q_{v, poisto} * t_d * r * t_v * (1 - \eta_a) \quad (5)$$

$\rho_i$  on ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$C_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/(kg°C)

$q_{v, poisto}$  on poistoilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$t_d$  on ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h

$r$  on muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtojärjestelmän vuorokautisen käyntiajan

$t_v$  on ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk

$\eta_a$  on energian talteenoton vuosihyötysuhde

Kaavaan tarvittava korjauskerroin  $r$  laskettiin vuorokautisesta lämpötilanvaihtelusta aiheutuvan energiankulutuksen jakautumisesta vuorokauden eri tunneille taulukosta 1.



**TAULUKKO 1. Vuorokautinen lämpötilanvaihtelu vuorokauden eri tunneille  
(NESTE ym. 1987)**

Tunti		%
3-4	2-3	13,2
4-5	1-2	12,7
5-6	24-1	11,6
6-7	23-24	9,3
7-8	22-23	6,6
8-9	21-22	3,4
9-10	20-21	- 3,4
10-11	19-20	- 6,6
11-12	18-19	- 9,3
12-13	17-18	- 11,6
13-14	16-17	- 12,7
14-15	15-16	- 13,2

Edellisellä kaavalla (4) laskettu ilmanvaihdon lämmitykseen tarvittavan lämmitysenergian määrä poikkeaa jonkin verran Fläkt Woods Oy:n Acon-mitoitusohjelman elinkaari-laskennan antamasta lämmityksen energiankulutuksesta, jossa sen laskennallinen arvo on 149 296 kWh. Tässä työssä käytetty kaava ei huomioi esimerkiksi tulopuhaltimessa tapahtuvaa ilman lämpötilan nousua.

Kaavalla (5) laskettu ilmanvaihdon ominaislämpöhäviön laskut on esitetty taulukossa 2. Ominaislämpöhäviö laskettiin erikseen sekä ilmanvaihdon täysitehon aikana että yöaikaisen käytön ajalle.

**TAULUKKO 2. Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia.**

	Keskilämpötila Ts - Tu		Aika	(Ts - Tu)*h
	Tu	°C	h	°Ch
Tammikuu	-8,5	25,5	744	18972
Helmikuu	-8,7	25,7	672	17270
Maaliskuu	-4	21	744	15624
Huhtikuu	1,4	15,6	720	11232
Toukokuu	8,7	8,3	744	6175
Kesäkuu	14	3	720	2160
Heinäkuu	16	1	744	744
Elokuu	13,7	3,3	744	2455
Syyskuu	8,2	8,8	720	6336
Lokakuu	3,2	13,8	744	10267
Marraskuu	-2,2	19,2	720	13824
Joulukuu	-6,4	23,4	744	17410
				122470
<b>Käyttötiedot</b>				
sisälämpötila, Ts		17 °C		
vrk-käyntiaika 100%		16 h		
vrk-käyntiaika 30%		8 h		
vko-käyntipäivät		5 pv		
lto:n hyötysuhde		60 %		
Täysitehon aikana				korjauskerroin
lämmitysenergian tarve	152313,3 kWh			r = 0,943
Yöaikaisen käytön				
lämmitysenergian tarve	26771,9 kWh			r = 1,105
Lämmitysenergian kokonaistarve	179085 kWh			

## 7.2 Lämmönlähteen säästö

Astepäiväluku eli lämmitystarveluku saadaan laskemalla yhteen kunkin kuukauden päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Yleisimmin käytetään lämmitystarvelukua S<sub>17</sub>, joka lasketaan +17°C:ksi oletetun sisälämpötilan ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotuksen perusteella. Ilmatieteen laitoksen ilmoittama Saarijärven lämmitystarveluku S<sub>17</sub> on sama kuin vertailupaikkakunta Jyväskylän, eli 4945. Lämmönlähteen energiasäästö voidaan laskea esimerkiksi astepäivälukua käyttäen kaavalla (6)

$$Q = k * r * q_{v, \text{tulo}} * \rho_i * C_{pi} * S * \eta_a \quad (6)$$

Q	on energian säästö, kWh
k	on kojeen viikottaisesta käyttöajasta johtuva korjauskerroin
r	on muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtojärjestelmän vuorokautisen käyntiajan
$q_{v, \text{tulo}}$	on tuloilmavirta, $\text{m}^3/\text{s}$
$\rho_i$	on ilman tiheys, $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$
$C_{pi}$	on ilman ominaislämpökapasiteetti, $1,0 \text{ kJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$
S	on astepäiväluku, $^\circ\text{C d}$
$\eta_a$	on energian talteenoton vuosihyötysuhde

Laskettaessa lämmöntalteenoton säästön määrää on laskettava erikseen säästetyn energian määrä puhallinten ollessa 100 %:n teholla ja 30 %:n teholla. Samoin on huomiotava kertoimen k muodostuminen. 100 %:n käytön ollessa vuorokaudessa 16h ja viikossa 5d on kerroin  $k = (5/7 * 16)$ . Yhteenlaskettu energiansäästö vuodessa on kaavalla (6) laskettuna 248 134 kWh. Mitoitusohjelma Acon antaa vastaavasti lto:n energiansäästökseksi lähes 372 000 kWh.

Astepäivälukua käyttävä menetelmä ei ota huomioon mahdollisesta huurtumisesta aiheutuvaa hyötysuhteen laskua eikä poistoilman kosteudesta johtuvaa hyötysuhteen nousua. Huomioimatta jää myös poistoilman tuloilmaa korkeampi lämpötila, joka niin ikään nostaa talteen otettavan energian määrää.

Lämmöntalteenottojärjestelmällä saavutettu säästö lasketaan kertomalla saavutettu lämmitysenergian säästö lämmittävän energian hinnalla. Laskennassa voidaan käyttää Saarijärven Kaukolämpö Oy:n nykyisin veloittamaa hintaa 0,05 €/kWh (alv 0%), jolloin saavutettu säästö on

$$248\,000 \text{ kWh} * 0,05 \text{ €/kWh} = 12400 \text{ €a.}$$

Jos taas käytetään ilmastointikoneen valmistajan mitoitusohjelman mukaista energian säästö määrää, saadaan nykyisellä lämmitysenergian hinnalla vuotuisesti säästökseksi 18 600 €a.

Käyttämällä astepäiväluvun avulla saatua säästön määrää järjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan hieman alle 8 vuotta. Jos laskelmissa käytetään mitoitusohjelman antamaa ja tarkempaa kuin astepäiväluvun avulla laskettua lämmöntalteenotolla säästettyä energian määrää, saadaan takaisinmaksuajaksi hieman alle 5,5 vuotta.

Kaukolämmön hinnan noustessa tulevaisuudessa on saavutetun säästön määrä vastavasti entistä suurempi. Esimerkiksi kaukolämmön hinnan noustessa 20 % Ito:n takaisinmaksuaika putoaa alle 4,5 vuoden.

Lämmityspattereiden tehon laskeminen nykyisestä 268 kW:sta noin 145 kW:iin pienentää muitakin kuin lämmityskustannuksia, sillä kaukolämpölaitoksen tilausvesivirtaa voidaan pienentää. Tilausvesivirta vaikuttaa suoraan lämpölaitoksen veloittaman perusmaksun suuruuteen. Säästön suuruus on luokkaa 1 000 – 2 000 €a vuodessa.

### **7.3 Kaukolämmön verotus**

Kaukolämpö mahdollistaa energiatehokkaan sähkön ja lämmön yhteistuotannon, joka on ilmansuojelun ja energiatehokkuuden kannalta erinomainen ratkaisu. Suomi onkin maailmanlaajuisesti johtava maa lämmön ja sähkön yhteistuotannossa, sillä lähes 80 prosenttia kaukolämmön tuotannosta perustuu yhteistuotantoon.

Hallitus on päättänyt korottaa eri polttoaineiden ja sähkön energiaveroja vuoden 2011 alusta kompensoidakseen yritysten kela-maksun poistoa. Polttoaineiden verotuksen nosto aiheuttaa merkittävän kustannuslisän kaukolämmön hintaan. Suurimmat hinnannostopaineet ovat maakaasua käyttävillä paikkakunnilla, sillä maakaasun verotus kiristyy jopa viisinkertaiseksi. Jos polttoaineverojen korotus siirretään täysimääräisesti kaukolämmön hintaan, kaukolämmön keskihinta Suomessa nousisi Energiategollisuus ry:n mukaan keskimäärin 14 %. Paikkakunnilla joissa käytetään maakaasua, kivihiiltä tai öljyä pääpolttoaineena on hinnan nousu suurempi, arviolta 18 - 24 %.

Saarijärven kaukolämmön vuonna 2007 tuottamasta tehosta 56 % on peräisin kevyestä tai raskaasta polttoöljystä ja 44 % on peräisin puusta, pelletistä, hakkeesta ja turpeesta. Tiedot käyvät ilmi marraskuussa 2009 julkaistusta Saarijärven kunnan teettämästä uusiutuvan energian kuntakatselmuksesta.

#### **7.4 Ilmastointijärjestelmän käyttökustannukset**

Uusi ilmastointijärjestelmä tarvitsee sähköenergiaa vain puhaltimien toimintaa varten. Konevalmistajan arvio puhaltimien vuodessa kuluttamasta sähköenergiasta on noin 53 000 kWh:a, jolloin puhaltimien käyttökustannukseksi muodostuu hieman yli 3 700 €a vuodessa.

Tuloilman lämmitykseen käytettävän lämmityspatterin vuotuinen lämmitysenergian kulutus on noin 150 000 kWh:a, jolloin käyttökustannukseksi muodostuu nykyisillä lämmitysenergiamaksuilla hieman alle 7 500 €a.

### **8 POHDINTA**

Teollisuusilmastoinnin suunnittelu on kokonaisuutena hyvin haastavaa, mutta juuri sen takia mielenkiintoista. Vaihtoehtoja erityisesti ilmanjakotavan valintaan on monia, eikä mikään ilmanjakotapa sovellu kaikkiin kohteisiin. Kaikissa tiloissa ja kaikilla prosesseilla on omat erikoisuutensa, jotka asettavat toisaalta omat rajoituksensa, mutta myös antavat mahdollisuuksia toimivan järjestelmän suunnitteluun. Tässä korostuu juuri lähtötietojen merkitys, joita kaikissa uudiskohteissa ei välttämättä ole vielä saatavissa suunnitteluprosessin alkaessa. Saneerauskohteessa tiedetään tarkemmin esimerkiksi käytettävien koneiden sijainnit sekä tarkemmat ominaisuudet.

Tavoitteena oli laatia esisuunnitelma tulevan ilmastointijärjestelmän saneerausta varten. Tähän tavoitteeseen päästiin, mutta lisäselvityksille on vielä tarvetta. Pyörivän lämmönsiirtimen soveltuminen käytettäväksi lämmöntalteenottolaitteeksi poistoilman epäpuhtauksien siirtymisestä huolimatta kannattaa selvittää. Lto:n hyötysuhde voi kasvaa jopa 20 - 25 %:a valitsemalla lämmöntalteenottoon levylämmönsiirtimen sijasta pyörivä lämmönsiirrin, joka suunnitelluilla ilmamäärillä merkitsee 50 000 – 100 000 kWh:n energiasäästöä vuosittain.

Tutkimuksessa esitelty järjestelmä on vain yksi mahdollisista ratkaisuista tulevaan saneeraukseen. Kustannuksia voitaneen karsia muun muassa sijoittamalla ilmastointikone lattiatasolle, jolloin kuitenkin yrityksen metallinkäsittelyyn tarvitsemien laitteiden sijoi-

tuspaikkoja jouduttaisiin muuttamaan ja tiivistämään. Riippuen tarvittavista muutostöistä (lattiarakenteen vahvistaminen, kattokorkeuden korotus) nykyisen arkiston muuttaminen ilmastoinnin konehuoneeksi voi tulla hyvinkin kalliiksi. Yrityksen oman työvoiman käyttäminen metallisen huoltotason valmistamiseksi voi taas puoltaa koneen sijoittamista tehdastilojen katonrajaan. Toinen investointikustannuksia pienentävä muutos esisuunnitelmaan voi olla tuloilman päätelaitteiden määrän vähentäminen, mutta tästä seuraa ilman epätasaisempi jakautuminen oleskeluvyöhykkeelle sekä yhdestä päätelaitteesta tulevan ilmamäärän nostaminen. Näiden vuoksi joihinkin hallin osiin voi muodostua katvealueita joihin tuloilmaa ei kulkeudu, sekä riski vedontunteen syntymiseen kasvaa. Joka tapauksessa päätelaitteiden sijoituksessa joudutaan tekemään jonkinasteisia kompromisseja, sillä yrityksen metallin käsittelyyn käyttämä laitteisto asettaa omat tilarajoitteensa.

Tulevan järjestelmän hinta ja tämän seurauksena sen takaisinmaksuaika voi muuttua tehtävien valintojen seurauksena mihin suuntaan tahansa. Selvää kuitenkin on, että nykyinen ilmastointijärjestelmä on vanhentunut ja lähestyy käyttöikänsä loppua, jonka vuoksi se on uusittava lähitulevaisuudessa.

## LÄHTEET

Tähti, E, Selin, M, Railio, J, Sainio, S, Hagström, K, Niemelä, R, Kulmala, I, Sulamäki, H, Sjöholm, P, Laine, J, Kuoksa, T, Pöntinen, K. 2002. Teollisuusilmastoinnin opas. Suomen talotekniikan kehityskeskus.

Seppänen, O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Suomen talotekniikan kehityskeskus.

Halminen, E, Kuvaja, O, Köttö, R. 1994. Ilmastointitekniikka. Rakennusalan Kustantajat.

NESTE, AIR-IX, EKONO. 1990. Teollisuusrakennusten lämmitys ja ilmastointi. NESTE.

NESTE, AIR-IX. 1987. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton käyttö- ja suunnittelutietoa teollisuudelle. NESTE.

Kulmala, I. 1992. Kohdeilmanvaihto – Kirjallisuuskatsaus. INVENT-tekniologiaohjelma. Metalliteollisuuden Keskusliitto.

Klobut, K. 1993. Ilmaverhot – Kirjallisuuskatsaus. INVENT – tekniologiaohjelma. Metalliteollisuuden Keskusliitto.

Ympäristöministeriö. 2010. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa D2.

Ympäristöministeriö. 2010. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa D3.

Valkeapää, A. 2008. Energiatehokas ovivedontorjunta teollisuusoviaukoissa – vaatimuksia oviverhosuunnittelulle. PDF-dokumentti. Oulun aluetyöterveyslaitos. Viitattu 10.10.2010. Saatavissa:

[www.sah-ko.fi/aeroclaus/oviverhosuunnittelu.ppt.pdf](http://www.sah-ko.fi/aeroclaus/oviverhosuunnittelu.ppt.pdf)

OY ESAB. Hitsausuutiset 1/2008. Artikkelit "Hitsaajan altistuminen hitsaussavuille".

OY ESAB

Työterveyslaitos. 2010. KAMAT-tietokortit. Viitattu 3.10.2010. Saatavissa:

<http://www.ttl.fi/partner/kamat/tietokortteihin/Sivut/default.aspx>

Sisäilmayhdistys (1). 2010. Ilmanvaihdon vaikutus.WWW-dokumentti. Viitattu 3.10.2010. Saatavissa:

[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/sisailmasto/ilmanvaihdon\\_vaikutus/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/ilmanvaihdon_vaikutus/)

Sisäilmayhdistys (2). 2010. Sisäilman vaikutukset. WWW-dokumentti. Viitattu 3.10.2010. Saatavissa:

[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/sisailmasto/sisailman\\_vaikutukset/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/sisailman_vaikutukset/)

## **KIRJALLISUUS**

Goodfellow, H & Tähti, E. 2001. Industrial Ventilation Design Guidebook. 1519s. Academic Press.

<http://www.flaktwoods.fi> – ilmastointikone, kanavatarvikkeet ja päätelaitteet

<http://www.ilmastointitukku.fi> – kantikkaat kanavatarvikkeet

<http://www.jeven.fi> – ulospuhallushajoittaja

<http://www.tecalemit.fi> – kohdeilmastointijärjestelmät

<http://www.ilmaverho.fi> – Aeroclus-oviverhojärjestelmä

<http://www.a-incon.fi> – Induvent-ilmaverhojärjestelmä

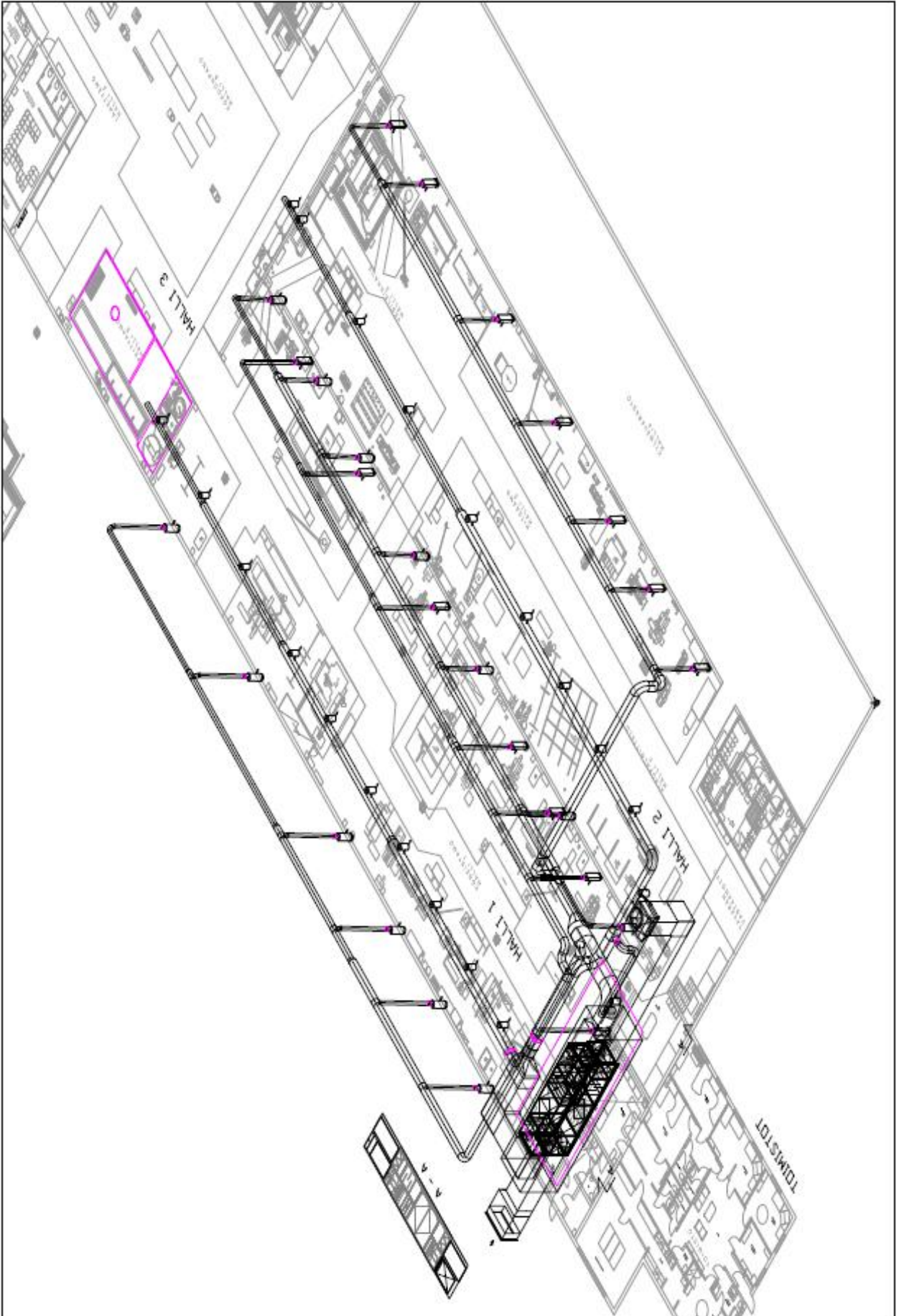
<http://www.ilmatieteenlaitos.fi> - paikkakuntien keskilämpötilat ja astepäiväluvut

<http://www.energia.fi> – Energiateollisuus ry., kaukolämpö ja sen verotus

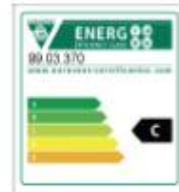


**LIITTEET**

- Liite 1 Luonnos kanaviston ja päätelaitteiden sijoittelusta
- Liite 2 Ilmastointikoneen kokoonpano huoltopuolelta
- Liite 3 Ilmastointikoneen lyhyt tekninen tulostus
- Liite 4 Ilmastointikoneen mitoitus tiedot
- Liite 5 Tuloilman puhallinkäyrä
- Liite 6 Poistoilman puhallinkäyrä
- Liite 7 Ilmastointikoneen elinkaarilaskenta
- Liite 8 Ulkosäleikön tekninen esite
- Liite 9 Yhteenveto fluorivedyn kemikaalikortista
- Liite 10 Yhteenveto typpihapon kemikaalikortista







## ILMANKÄSITTELYKONE EU 2000

Projekti	308 (2010-002) / RTA-Metalli	2.1.101020.3
AOC	ACON-00771383	
Kone	2 (b) / IVK	2010-10-24
Konekoko	42	Sivu 2
Asiakas		
Asiakkaan viite		
Oma viite	Arto Sarhela	
Tuloilmavirta	5,50 m <sup>3</sup> /s Poistoilmavirta	5,77 m <sup>3</sup> /s
Ulkoinen painehäviö	300 Pa	Ulkoinen painehäviö
Jännite	3 x 400, 50 Hz	Paino
SFP <sub>v</sub>	2,00 kW/m <sup>3</sup> /s	2994 kg
Ilman tiheys	1,2 kg/m <sup>3</sup>	Korkeus mpy
		109 m

## YHTEENVETO

Toiminto-osat ilmavirran suunnassa	v0 (m/s)	Et (%)	tw (°C)	ts (°C)	dP (Pa)
<b>Tuloilma:</b>					
Peltiosa/liitäntäosa	0,0				0
Suodatin	2,8				158
Rakenneosa					0
Lämmönsiimin	2,0	60,0	-32,0 / -3,8		149
Ilmanlämmitin	2,8		-5,8 / 16,1		62
Rakenneosa					0
Rakenneosa					0
Kammiopuhallin		72,6	16,1 / 17,0	24,0 / 25,0	731
Äänenvaimennin	2,4				25
Peltiosa/liitäntäosa	0,0				0
<b>Poistoilma:</b>					
Peltiosa/liitäntäosa	0,0				0
Suodatin	2,8				117
Rakenneosa					0
Äänenvaimennin	2,5				45
Rakenneosa					0
Lämmönsiimin	2,4		22,0 / -1,8		150
Kammiopuhallin		69,5			653

## ÄÄNEN TEHOTASOT

(standardi: EN13053 ISO/CD 13347-2)

Oktaavikaista (Hz)	Lw oktaavikaistoittain (dB)								LwA dB(A)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Ulkoilmaliitäntä	67	78	68	63	64	59	54	51	69
Tuloilmaliitäntä	69	80	71	68	65	65	62	59	72
Poistoilmaliitäntä	66	71	47	44	44	41	41	40	56
Jäteilmaliitäntä	71	85	84	85	82	78	74	70	87
Koneen vaipan läpi	71	83	67	54	57	52	48	43	68

## TOLERANSSI

Standardin EN 13053 mukaan kokonaistason LwA toleranssi on 4dB. Oktaavikaistojen toleranssit on annettu taulukossa

Oktaavikaista (Hz)	Lw oktaavikaistoittain (dB)								LwA dB(A)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Toleranssi	6	4	4	4	4	4	4	7	4

Taajuuksuuttajat ja mahdolliset koneen ulkopuolelle asennetut moottorit eivät sisälly äänitasoihin



## ILMANKÄSITTELYKONE EU 2000

Projekti	308 (2010-002) / RTA-Metalli	2.1.101020.3
AOC	ACON-00771383	
Kone	2 (b) / IVK	2010-10-24
Konekoko	42	Sivu 3

Asiakas		
Asiakkaan viite		
Oma viite	Arto Sarhela	
Tuloilmavirta	5,50 m <sup>3</sup> /s	Poistoilmavirta 5,77 m <sup>3</sup> /s
Ulkoisen painehäviö	300 Pa	Ulkoisen painehäviö 300 Pa
Jännite	3 x 400, 50 Hz	Paino 2994 kg
SFP <sub>v</sub>	2,00 kW/m <sup>3</sup> /s	
Ilman tiheys	1,2 kg/m <sup>3</sup>	Korkeus mpy 109 m

## YHTEENVETO

<b>Kone</b>			
Tuloilmavirta	5,50 m <sup>3</sup> /s	Asennus	Sisäasennus, vaakasuora
Ulkoisen painehäviö	300 Pa	Materiaali	Sinkitty teräs
Poistoilmavirta	5,77 m <sup>3</sup> /s	Lämpöeristys	T3
Ulkoisen painehäviö	300 Pa	Kondenssieristys	TB3
Mitoittava lämpötila kesällä	24 °C	Tiiviy.luokka	CEN A
Mitoittava kosteus kesällä	53,1 %	Vaipan lujuusluokka	CEN 1A
Mitoittava lämpötila talvella	-32 °C	Tuloilman suodatinluokka	F7
Mitoittava kosteus talvella	89,7 %	Poistoilman suodatinluokka	F5
Lämpötila sisään, tuloilma/kesä	17 °C	Lämpötila sisään, poistoilma/kesä	24 °C
Kosteus sisään, tuloilma/kesä	50 %	Kosteus sisään, poistoilma/kesä	55 %
Lämpötila sisään, tuloilma / talvi	17 °C	Lämpötila sisään, poistoilma / talvi	22 °C
Kosteus sisään, tuloilma / talvi	40 %	Kosteus sisään, poistoilma / talvi	20 %
Lämmöntalteenoton hyötysuhde	60 %	Lämmön talteenoton kapasiteetti	187 kW
SFP tuloilma	1,0 kW/m <sup>3</sup> /s	Kokonaispaino	2994 kg
SFP poistoilma	1,0 kW/m <sup>3</sup> /s		
SFP yhteensä	2,0 kW/m <sup>3</sup> /s	Suurimman lohkon paino	1022 kg
		Suurin lohko	2754 x 3088 x 2154 mm

## Lämmitys/Jäähdytys

	Teho [kW]	Ilma sisään [°C/%]	Ilma ulos [°C/%]	Vesi sisään / ulos [°C]	Jäätymissuoja	Vesi [l/s]	Vesi [kPa]	Lift. [mm]
Ilmanlämmitin	145,3	-8/6	18/1	70/40	Etyleeniglykoli 30 %	1,25	4,8	50

## Moottoritiedot

Jännite	3 x 400 V	Taajuus	50 Hz
Nimellisteho, tuloilma	7,5 kW	Nimellisteho, poistoilma	7,5 kW
Nimellisvirta, tuloilma	15,3 A	Nimellisvirta, poistoilma	15,3 A

## ÄÄNEN TEHOTASOT

(standardi: EN13053 ISO/CD 13347-2)

	Lw oktaavikaistoittain (dB)								LwA dB(A)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Oktaavikaista (Hz)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	LwA
Ulkoilmaliitettä	67	78	68	63	64	59	54	51	69
Tuloilmaliitettä	69	80	71	68	65	65	62	59	72
Poistoilmaliitettä	68	71	47	44	44	41	41	40	56
Jäteilmaliitettä	71	85	84	85	82	78	74	70	87
Koneen vaipan läpi	71	83	67	54	57	52	48	43	68



ILMANKÄSITTELYKONE EU 2000

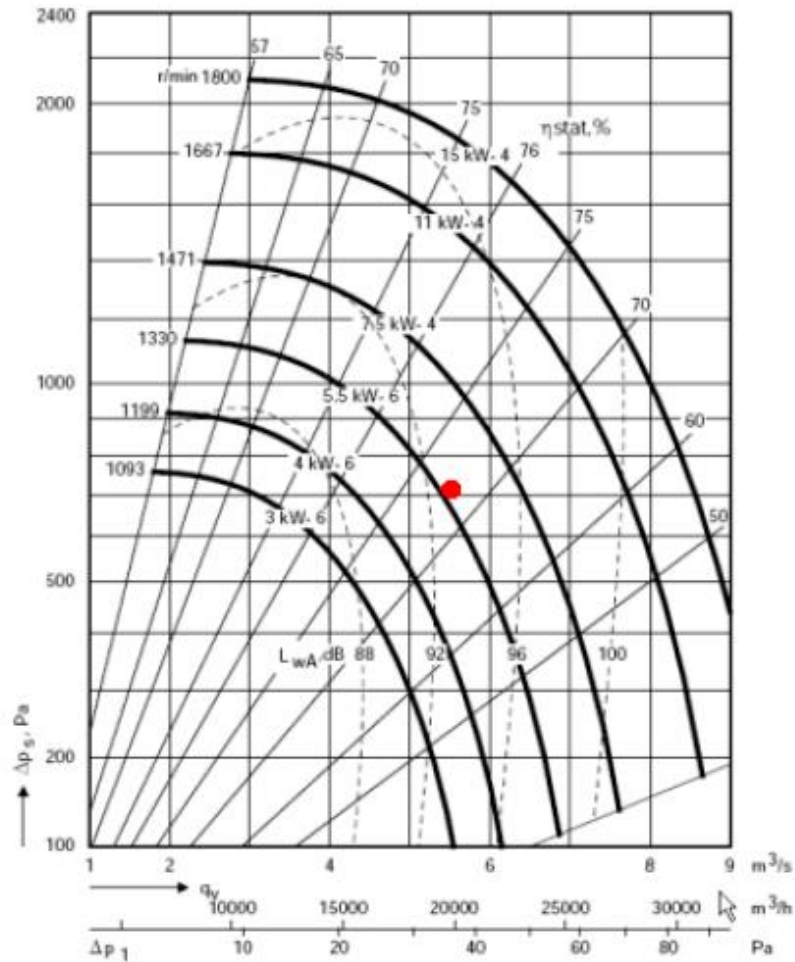
Projekti  
AOC  
Kone  
Konekoko

308 (2010-002) / RTA-Metalli  
ACON-00771383  
2 (b) / IVK  
42

2.1.101020.3

2010-10-24  
Sivu 8

Puhallinkäyrät - Tuloilma - EULK-42-2-3-1-1-2-1-2-3





ILMANKÄSITTELYKONE EU 2000

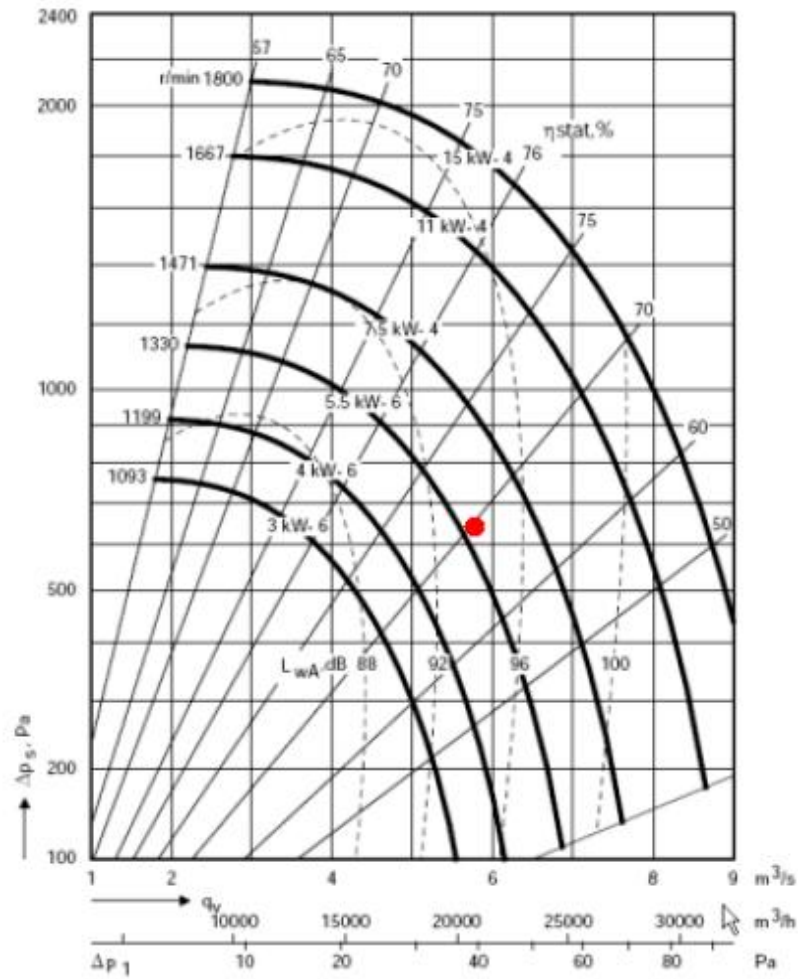
Projekti  
AOC  
Kone  
Konekoko

308 (2010-002) / RTA-Metalli  
ACON-00771383  
2 (b) / IVK  
42

2.1.101020.3

2010-10-24  
Sivu 9

Puhallinkäyrät - Poistoilma - EULK-42-2-3-1-1-1-1-3





## ILMANKÄSITTELYKONE EU 2000

Projekti	308 (2010-002) / RTA-Metalli	2.1.101020.3
AOC	ACON-00771383	
Kone	2 (b) / IVK	2010-10-24
Konekoko	42	Sivu 1

**YLEINEN LASKENTAMALLI**  
**ENERGIA- JA LCC-LASKENTA**  
**KONE / JÄRJESTELMÄ**

**Kone**

Koneen tyyppi	EU 2000 tulo/poistoilma
Konekoko	42
Tuloilma	5,50 m <sup>3</sup> /s
Poistoilma	5,77 m <sup>3</sup> /s
Lämmöntalteenotto	levylämmönsiirin
Hyötysuhde	52,3 %
SFP	2,0 kW/m <sup>3</sup> /s

**SYÖTTÖTIEDOT****Ilmastotiedot**

Laskentapaikkakunta	Jyväskylä
Vuoden keskilämpötila	2,7 / 96,8 °C ,%

**Lämpötilat**

Haluttu tuloilma / kosteus	<b>Talvi</b>	<b>Kesä</b>
Poistoilma lämpötila / kosteus	17,0 / 19,3	23,0 / 22,7 °C ,%
	22,0 / 29,6	24,0 / 49,4 °C ,%

**Käyntiajat**

Tunnit per päivä	16,0 h
Päivää per viikko	5
Käyttöaika vuodessa	6257 h
Ilmavirta	100 %
Kiertoilma	0 %

**Yökäyttö**

Tunnit per päivä	8,0 h
Temp. adjust , economy mode	2,0 °C

**Energiakustannus**

Lämmitys	<b>kWh-hinta</b>
Jäähdytys	0,05 EUR/kWh
Sähkö	0,00 EUR/kWh
	0,07 EUR/kWh

**TULOKSET****Lämmöntalteenotto vuositasolla**

Lämmön talteenotto	371977 kWh
Reheating recovery	0 kWh
Jäähdytyksen talteenotto	0 kWh
Lämpötilan nousu tulopuhaltimessa	26533 kWh

**Energiankulutus vuositasolla**

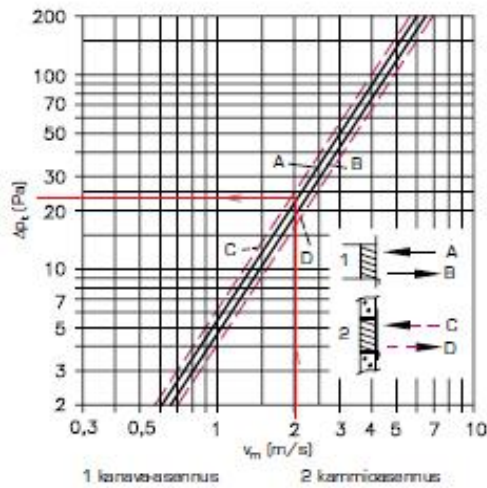
Lämmitys	149296 kWh
Jäähdytys	0 kWh
Tuloilmapuhallin	27005 kWh
Poistoilmapuhallin	26162 kWh

**Vuosikustannus**

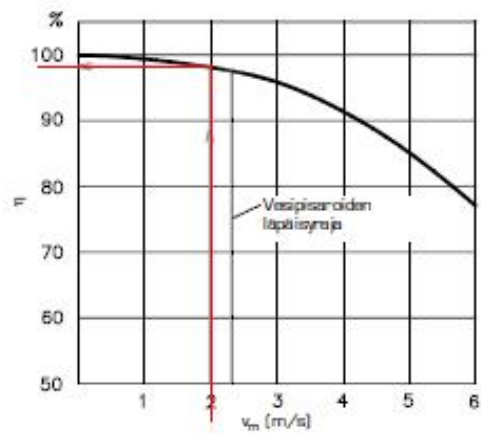
Energia , Lämmitys	7466 EUR
Energia , Jäähdytys	0 EUR
Energia , Puhaltimien sähkö	3722 EUR
Yhteensä	11188 EUR



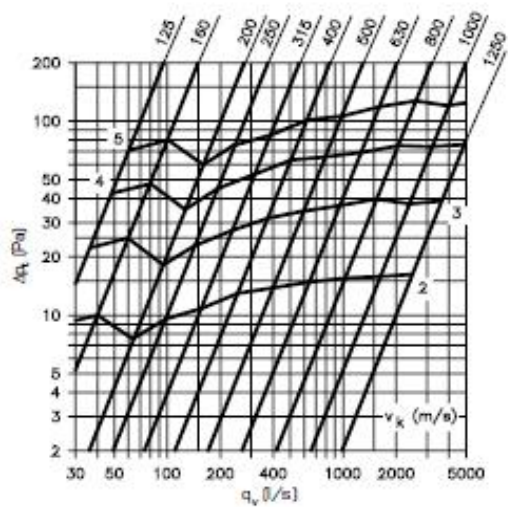
Painehäviö RIS, RISD



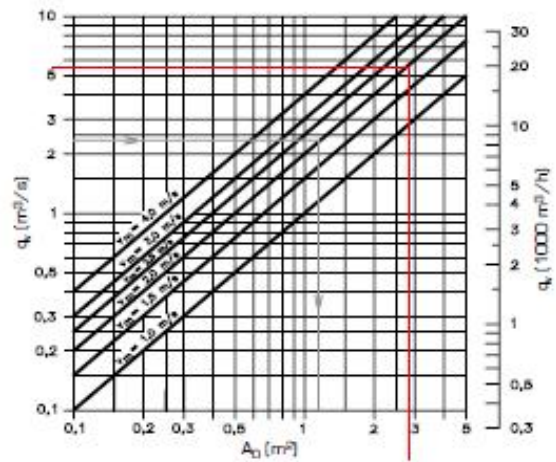
Vedenestokyky RIS, RISD



Painehäviö RISV



Valintakäyrästä





RIS:n painehäviö on 50% RIS:n painehäviöstä.



Valintaesimerkki

Tilavuusvirta  $q_v = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , haluttu otsapintanopeus  $v_m = 2 \text{ m/s}$ .

Ylläolevista käyrästä saadaan painehäviö  $\Delta p_t = 23 \text{ Pa}$  ja vedenestokyky  $h = 98\%$ .  
Mitoituskäyrästä saadaan otsapinta-ala  $A_0 = 1,2 \text{ m}^2$ , joten sopiva säleikkö on esim. RIS-1100x1100.

FLUORIVETY		ICSC: 0283	
		Huhtikuu 2000	
CAS #	7664-39-3	Fluorivetyhappo, vedetön	 
RTECS #	MW7875000	Vetyfluoridi (kaasupullo)	
YK #	1052	HF	
Indeksi #	009-002-00-6	Molekyyli massa: 20.0	
VAARAT / ALTISTUMISTAPA	VÄLITTÖMÄT VAARAT / OIREET	TURVATOIMET	SAMMUTUS / ENSIAPU
PALO	Ei palavaa. Monet reaktiot voivat aiheuttaa palon tai räjähdysen.		Jos palo on lähiympäristössä: käytä sopivaa sammutustapaa.
RÄJÄHDYS			Tulipalotilanteessa: jäähdytä kaasusäiliötä vesisuihkulla, mutta vettä ei saa päästää aineeseen. Sammuta palo suojatusta paikasta käsin.
ALTISTUMISTAPA		VÄLTÄ KAIKKEA KOSKETUSTA!	OTA KAIKISSA TAPAUKSISSA YHTEYS LÄÄKÄRIIN!
Hengitystiet	Polttava tunne. Yskä. Huimaus. Päänsärky. Vaikeutunut hengitys. Pahoinvointi. Hengenahdistus. Kurkkukipu. Oksentelu. Oireet voivat ilmetä vasta altistumisen päätyttyä (ks. huomautukset).	Ilmanvaihto, paikallispoisto tai hengityksensuojain.	Raitis ilma, lepo. Puoli-istuva asento. Toimita lääkärin hoitoon.
Iho	VOI IMEYTYÄ! Punoitus. Kipu. Vakavia ihovaurioita. Rakkuloita. (Lisäksi ks. hengitystiet)	Suojakäsineet. Suojavaatetus.	Riisu tahrinutun vaatetus. Huuhtele iho runsaalla vedellä tai suihkulla. Toimita lääkärin hoitoon.
Silmät	Punoitus. Kipu. Vakavia syövytysvammoja.	Kasvojen suojain tai silmiensuojain yhdistettynä hengityksensuojaimen.	Huuhtele ensin runsaalla vedellä usean minuutin ajan (poista piilolinssit mikäli mahdollista), toimita sitten lääkäriin.
Nieleminen	Vatsakipu. Polttava tunne. Ripuli. Pahoinvointi. Oksentelu. Heikkous. Kollapsi.	Syöminen, juominen ja tupakointi kielletty työn aikana. Pese kädet ennen ateriointia.	Huuhtele suu. ÄLÄ oksennuta. Toimita lääkärin hoitoon.

ICSC: 0283		FLUORIVETY	
<b>TÄRKEÄÄ TIETOA</b>			
<b>OLOMUOTO, VÄRI, HAJU:</b> VÄRITÖN KAASU TAI VÄRITÖN, SAVUAVA NESTE, JOLLA PISTÄVÄ HAJU.		<b>ALTISTUMISTIET:</b> Aine voi imeytyä elimistöön hengitysteitse, ihon läpi ja nieltynä.	
<b>KEMIAALLISET VAARAT:</b> Aine on vahva happo, se reagoi kiivaasti emästen kanssa ja syövyttää. Reagoi kiivaasti monien yhdisteiden kanssa aiheuttaen palo- ja räjähdysvaaran. Syövyttää metalleja, lasia, joitakin muoveja, kumia ja maalipintoja.		<b>HENGITYSTEITSE ALTISTUMISEN VAARA:</b> Säiliön rikkoutuessa haitallinen pitoisuus tätä kaasua syntyy hyvin nopeasti.	
<b>TYÖHYGIEENISET RAJA-ARVOT:</b> TLV (F): 0.5 ppm (TWA) (BEI) (ACGIH 2006). TLV (F): 2 ppm (katkoarvo) (BEI) (ACGIH 2006). HTP: 1.8 ppm; 1.5 mg/m <sup>3</sup> (8 h) (iho) (Suomi 2005). HTP: 3 ppm; 2.5 mg/m <sup>3</sup> (15 min) (iho) (Suomi 2005). MAK: 1 ppm, 0.83 mg/m <sup>3</sup> ; hetkellisyysluokka: I(2); raskausvaarallisuusryhmä: C; (DFG 2006).		<b>LYHYTAIKAISEN ALTISTUMISEN VAIKUTUKSET:</b> Aine syövyttää silmiä, ihoa ja hengitysteitä. Kaasun tai höyryn hengittäminen voi aiheuttaa keuhkopöhön (ks. huomautukset). Aine voi aiheuttaa veren niukkakalkkisuutta. Altistuminen työhygieenistä raja-arvoa suuremmille pitoisuuksille voi johtaa kuolemaan. Vaikutukset voivat ilmetä viivästyneinä. Lääkärin tarkkailu on tarpeen.	
<b>FYSIKAALLISET OMINAISUUDET</b>		<b>PITKÄAIKAISEN TAI TOISTUVAN ALTISTUMISEN VAIKUTUKSET:</b> Aine saattaa aiheuttaa fluoroosia.	
Kiehumislämpötila: 20°C Sulamislämpötila: -83°C Suhteellinen tiheys (vesi = 1): 1.0 nestemäisenä 4°C:ssa Liukoisuus veteen: erittäin hyvä Höyrynpaine, kPa 25°C:ssa: 122 Suhteellinen höyryn tiheys (ilma = 1): 0.7			
<b>YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET</b>			
<b>HUOMAUTUKSET</b>			
Työhygieenistä raja-arvoa ei pitäisi ylittää missään altistumisen vaiheessa. Keuhkopöhön oireet ilmaantuvat usein vasta tuntien kuluttua, ja fyysinen ponnistus pahentaa niitä. Lepo ja lääkärin tarkkailu ovat siten tärkeitä. Lääkärin tai muun lääkintähenkilöstön välittömästi aloittaman hengitystä tukevan hoidon tarpeellisuutta tulee harkita. Käännä vuotava säiliö vuotokohta ylöspäin, jolloin kaasun vuotaminen nestemäisenä estyy. Altistumisen määrästä riippuen määrääkainen lääkärintarkistus on tarpeen. YK-numero fluorivety, vesiliuos: 1790, vaaraluokka 8, lisävaara 6.1, pakkausryhmä I (>60%). Korti on osittain päivitetty huhtikuussa 2006. Katso osiot Työhygieeniset raja-arvot. Ohjeita onnettomuuden varalta.			
<b>LISÄTIETOJA</b>			
Biomonitoroinnin toimenpideraja BTR: virtsan fluoridi 200 umol/l (aamunäyte) ja 350 umol/l (iltanäyte) (Työterveyslaitos 2007).			

TYPPIHAPPO		ICSC: 0183	
		Lokakuu 2006	
CAS # RTECS # YK # Indeksi #	7697-37-2 QU5775000 2031 007-004-00-1	Typpihappo (väkevyty, 70%) HNO <sub>3</sub> Molekyyli­massa: 63.0	 
VAARAT / ALTISTUMISTAPA	VÄLITTÖMÄT VAARAT / OIREET	TURVATOIMET	SAMMUTUS / ENSIAPU
PALO	Ei palavaa, mutta kiihdyttää muiden aineiden palamista. Palossa vapautuu ärsyttäviä tai myrkyllisiä huuruja (tai kaasuja). Kuumeneminen voi aiheuttaa paineen nousun ja repeämisvaaran.	Ei saa sekoittua palaviin aineisiin. Ei saa päästä kosketuksiin palavien aineiden tai orgaanisten yhdisteiden kanssa.	Jos palo on lähiympäristössä: Ei vaahtoa.
RÄJÄHDYS	Palo- ja räjähdysvaara monien tavallisten orgaanisten yhdisteiden kanssa.		Tulipalotilanteessa: jäädytä säiliötä vesisuihkulla.
ALTISTUMISTAPA		VÄLTÄ KAIKKEA KOSKETUSTA!	OTA KAIKISSA TAPAUKSISSA YHTEYS LÄÄKÄRIIN!
Hengitystiet	Polttava tunne. Yskä. Vaikeutunut hengitys. Hengenahdistus. Kurkkukipu. Oireet voivat ilmetä vasta altistumisen päätyttyä (ks. Huomautukset).	Ilmanvaihto, paikallispoisto tai hengityksensuojain.	Raitis ilma, lepo. Puoli-istuva asento. Tekohengitystä voidaan tarvita. Toimita välittömästi lääkärin hoitoon.
Iho	Vakavia ihovaurioita. Kipu. Ihon kellertyminen.	Suojakäsineet. Suojavaatetus.	Riisu tahrintunut vaatetus. Huuhtele iho runsaalla vedellä tai suihkulla. Toimita lääkärin hoitoon.
Silmät	Punoitus. Kipu. Polte.	Kasvojen­suojain tai silmiensuojain yhdistettynä hengityksensuojaimen.	Huuhtele runsaalla vedellä (poista pilolinssiä mikäli mahdollista). Toimita välittömästi lääkärin hoitoon.
Nieleminen	Kurkkukipu. Vatsakipu. Polttava tunne kurkussa ja rinnassa. Sokki tai kollapsi. Oksentelu.	Syöminen, juominen ja tupakointi kielletty työn aikana.	ÄLÄ oksennuta. Juota vettä 1 tai 2 lasillista. Lepo. Toimita lääkärin hoitoon.

ICSC: 0183		TYPPIHAPPO	
<b>TÄRKEÄÄ TIETOA</b>			
<p><b>OLOMUOTO, VÄRI, HAJU:</b> VÄRITÖN- KELTAINEN NESTE, JOLLA PISTÄVÄ HAJU.</p> <p><b>KEMIAALLISET VAARAT:</b> Aine hajooa lämmitessään, jolloin muodostuu typen oksideja. Aine on voimakas hapetin ja reagoi kiivaasti palavien ja pelkistävien aineiden kanssa, esim. tärpätti, puuhiili, alkoholi. Aine on vahva happo, se reagoi kiivaasti emästen kanssa ja syövyttää.</p> <p><b>TYÖHYGIEENISET RAJA-ARVOT:</b> TLV: 2 ppm (TWA) 4 ppm; (STEL) (ACGIH 2006). HTP: 0.5 ppm; 1.3 mg/m<sup>3</sup> (8 h) (Suomi 2007). HTP: 1 ppm; 2.6 mg/m<sup>3</sup> (15 min) (Suomi 2007). MAK: IIB (tietomateriaali on olemassa, mutta arvoa ei ole annettu) (DFG 2007).</p>		<p><b>ALTISTUMISTIET:</b> Vakavia paikallisia vaikutuksia kaikkein altistumisteiden kautta.</p> <p><b>HENGITYSTEITSE ALTISTUMISEN VAARA:</b> Tästä aineesta voi syntyä hyvin nopeasti haitallinen pitoisuus ilmaan haihtumalla 20°C:ssa.</p> <p><b>LYHYTAIKAISEN ALTISTUMISEN VAIKUTUKSET:</b> Aine syövyttää silmiä, ihoa ja hengitysteitä. Syövyttävää nieltynä. Aineen hengittäminen voi aiheuttaa keuhkopöhön (ks. Huomautukset). Vaikutukset voivat ilmetä viivästyneinä (ks. Huomautukset).</p> <p><b>PITKÄAIKAISEN TAI TOISTUVAN ALTISTUMISEN VAIKUTUKSET:</b> Toistuva tai pitkäaikainen altistuminen höyrylle voi vahingoittaa keuhkoja. Aineelle altistumisesta voi seurata vaikutuksia hampaille, johtaan hampaiden eroosioon.</p>	
<b>FYSIKAALLISET OMINAISUUDET</b>			
<p>Kiehumislämpötila: 121°C Sulamislämpötila: -41.6°C Suhteellinen tiheys (vesi = 1): 1.4 Liukoisuus veteen: sekoittuu Höyrynpaine, kPa 20°C:ssa: 6.4 Suhteellinen höyryn tiheys (ilma = 1): 2.2 Suhteellinen höyry-ilma-seoksen tiheys 20°C:ssa (ilma = 1): 1.07 Oktanoli/vesi-jakaantumiskerroin, log Pow: -0.21</p>			
<b>YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET</b>			
<b>HUOMAUTUKSET</b>			
<p>Altistumisen määrästä riippuen määrääikainen lääkärintarkistus on tarpeen. Keuhkopöhön oireet ilmaantuvat usein vasta tuntien kuluttua, ja fyysinen ponnistus pahentaa niitä. Lepo ja lääkärin tarkkailu ovat siten tärkeitä.</p>			
<b>LISÄTIETOJA</b>			
<p>Suosittelavia suojakäsinemateriaaleja: butyylikumi, kloropreenikumi, polyeteeni, etyleeni­vinyyli­alkoholi.</p>			