

Saku Nieminen

KONEPAJAHALLIN ENERGIATEHOKKUUDEN  
PARANTAMINEN

Energiatekniikan koulutusohjelma  
2010

## KONEPAJAHALLIN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Nieminen, Saku  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikan koulutusohjelma  
Huhtikuu 2010  
Ohjaaja: Sandberg, Esa  
Sivumäärä: 58  
Liitteitä: 26

Asiasanat: ilmanvaihto, ilmalämmitys, ilmanjako, poistoilman lämmöntalteenotto

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia parannusehdotus IS-Kiinteistöt Oy:n omistaman teollisuushallin ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmän ilmanjakomenetelmiin ja energiatehokkuuteen. Ilmalämmitteisen hallin lämmityskustannukset nousevat talvella korkeiksi öljynkulutuksen kasvaessa, ja kustannuksia pyritään pienentämään työssä tutkituilla energiansäästöjärjestelmillä.

Nykyisen järjestelmän ongelmaksi kartoitettiin talviaikaan voimakkaasti ylikuumen tuloilma, jonka jakaminen tehokkaasti oleskeluvyöhykkeelle on haastavaa. Suurin yksittäinen puute nykyisessä ilmanvaihtojärjestelmässä on lämmöntalteenottojärjestelmän puuttuminen. Tällä hetkellä poistoilma puhalletaan suoraan ulos, vaikka suurella poistoilman lämpöpotentiaalilla voitaisiin esilämmittää tuloilmakoneille otettava ulkoilmavirta. LTO-järjestelmällä saataisiin energiasta osa talteen ja rakennuksen lämmitysenergian tarve vähenisi huomattavasti.

Työssä tutustuttiin erilaisiin järjestelmävaihtoehtoihin kirjallisuuden, laitetoimittajien teknisten tietojen ja asiantuntijoiden avustuksella. Halli-ilman lämpötilojen tasaamiseksi löydettiin yksinkertaisia ratkaisuja, joita kannattaa toteuttaa ennen seuraavan lämmityskauden alkamista. IS-halliin sopivaksi LTO-järjestelmävaihtoehdoksi todettiin nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä, josta työssä on esitetty kahden erilaisen siirrintyyppin järjestelmävertailu, mitoitukset sekä kustannus- ja energiasäästölaskelmat.

# IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY IN AN INDUSTRIAL HALL

Nieminen, Saku  
Satakunta University of Applied Sciences  
Degree Programme in Energy Technology  
April 2010  
Supervisor: Sandberg, Esa  
Number of pages: 58  
Appendices: 26

Key words: ventilation, warm-air heating, air distribution, exhaust air heat recovery

---

The aim of this thesis was to formulate a proposal for improvement to the air distribution and energy efficiency of the ventilation and heating systems of an industrial building owned by IS Kiinteistöt Oy. The heating costs of the warm-air heated factory shed rise in winter due the increase in the oil consumption, and the aim is to cut down the costs with the collated energy saving systems which are introduced in the thesis.

The problem in the existing system was a highly overheated supply air, which is challenging to distribute to the residence zone. The major individual shortage in the existing ventilation system is the lack of the exhaust air heat recovery. Currently the exhaust air is blown directly out, although the incoming outdoor airflow to the air-handling machines could be preheated with outgoing air that has high heat potential. Most of the energy could be stored with an exhaust air heat recovery system and the need of heating energy would decrease substantially.

In this thesis, different kinds of system options were studied by means of literature, manufacturers' technical information and support of experts. Simple solutions for balancing the temperatures in the building were found and some of those would be worth putting into practice before the next heating season. The liquid circulation system was found to be the suitable heat recovery system for the IS-hall. This work presents a system comparison between two different heat exchanger-types, their sizings, cost and energy saving calculations.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tausta .....	6
1.2	Työn tavoitteet .....	6
2	IS-HALLIN NYKYTILANNE .....	7
2.1	IS-halli .....	7
2.2	Ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmä .....	8
2.2.1	Tuloilmalaitteet .....	8
2.2.2	Poistoilmalaitteet .....	10
2.2.3	Automaatiikka.....	11
2.2.4	Lämmitysjärjestelmä .....	12
2.3	Ilmanvaihtojärjestelmän mitoitusarvot .....	13
3	IS-HALLIN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN PARANTAMINEN.....	18
3.1	Ilmanvaihtojärjestelmässä havaitut ongelmat.....	18
3.2	Ilmanvaihdon parannusehdotukset .....	19
3.2.1	Tuloilman jako .....	19
3.2.2	Ilman liike .....	20
3.3	Energiatehokkuuden parantaminen.....	20
4	TEOLLISUUDEN LÄMMÖNTALTEENOTTO POISTOILMASTA .....	21
4.1	Lämmöntalteenotto poistoilmasta.....	21
4.2	Lämmöntalteenottojärjestelmä.....	21
4.2.1	Nestekiertoinen järjestelmä.....	21
4.2.2	Levylämmönsiirrin .....	21
4.2.3	Pyörivä lämmönsiirrin, regeneraattori.....	22
4.2.4	Lämpöputkipatteri .....	22
4.3	Teollisuuden erityisongelmat lämmöntalteenotossa .....	22
4.3.1	Rakenteelliset vaatimukset.....	22
4.3.2	Epäpuhtauksien asettamat vaatimukset.....	23
4.3.3	Säätölaitteiden asettamat vaatimukset.....	23
4.3.4	Käyttövarmuus .....	24
4.3.5	Huolto .....	24
4.4	Valittu lämmöntalteenottojärjestelmä.....	25
5	NESTEKIERTOINEN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄ .....	26
5.1	Järjestelmän yleiskuvaus.....	26
5.2	Järjestelmän erityispiirteet .....	27
5.3	Hyötysuhteet .....	29
5.4	Valitut järjestelmävaihtoehdot.....	29
6	LÄMMÖNTALTEENOTTO NEULAPUTKILÄMMÖNSIIRTIMILLÄ.....	30

6.1	Neulaputkilämmönsiirrin .....	30
6.2	IS-hallin neulaputkilämmönsiirrinjärjestelmä .....	31
6.2.1	Tuloilmapuoli .....	31
6.2.2	Poistoilmapuoli.....	32
6.3	Mitoitus .....	33
6.3.1	Neulaputkipatterit.....	33
6.3.2	Uudet poistoilmakoneet.....	33
6.4	Asennus .....	34
6.4.1	Poistoilmakoneen kattoläpiviennin rakentaminen .....	34
6.4.2	Poistoilmapuolen LTO-laitteen asennus .....	35
6.4.3	Tuloilmakoneiden patterit .....	35
6.5	Huolto .....	36
6.5.1	Huollon tarkoitus.....	36
6.5.2	Tarkistustoimenpiteet.....	36
6.5.3	Huoltotoimenpiteet.....	37
6.6	Järjestelmän hankintahinta.....	38
6.7	Energiasäästö ja takaisinmaksuaika.....	39
6.7.1	Energiasäästöt Recal-laskentapalvelulla laskettuna .....	39
6.7.2	Energiasäästöt RakMK:n mukaan laskettuna.....	40
6.7.3	Takaisinmaksuajat Recal-laskentapalvelun energiasäästön mukaan .....	45
6.7.4	Takaisinmaksuajat RakMK:n energiasäästön mukaan.....	46
7	LÄMMÖNTALTEENOTTO LAMELLIPATTEREILLA .....	47
7.1	Yleistä .....	47
7.2	Järjestelmä 1 .....	48
7.2.1	Mitoitus .....	48
7.2.2	Asennus .....	48
7.3	Järjestelmä 2 .....	49
7.3.1	Mitoitus .....	49
7.3.2	Asennus .....	49
7.4	Järjestelmän hankintahinta.....	50
7.5	Energiasäästö .....	51
7.5.1	Energiasäästöt ilman häviöitä.....	51
7.5.2	Kokonaisenergiansäästöt.....	52
7.6	Takaisinmaksuaika.....	54
7.6.1	Järjestelmä 1 .....	54
7.6.2	Järjestelmä 2.....	55
8	YHTEENVETO .....	56
	LÄHTEET.....	57

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta

IS-halli sijaitsee Uudenniityn teollisuusalueella osoitteessa Nyrhintie 7 ja hallin nykyinen omistaja on IS Kiinteistöt Oy. Hallin rakentaminen aloitettiin keväällä 1999, ja halli otettiin käyttöön syys-lokakuussa vuonna 2001. Hallin eteläpäädyssä on toimistotilat ja hallin yhteydessä toimii myös lounaskahvila. Hallin tuotanto-osan käyttäjät ovat Ilmastointi Salminen Oy ja konepaja IS Works Oy.

Vuonna 1987 perustettu Ilmastointi Salminen Oy on perheyritys, joka on keskittynyt erilaisiin ilmastointitöihin, LVISA-kokonaistoimituksiin, LVISA-huoltoon sekä peltitöihin ja osavalmistukseen. IS Works Oy on vuonna 1999 perustettu perheyritys joka aloitti toimintansa syyskuussa vuonna 2000. Yritys tuottaa monipuolisia konepajapalveluja, metallirakenteita, levy- ja hitsaustöitä sekä asennus-, kunnossapito- ja huoltotöitä. Yrityksellä on myös omia tuotteita, mm. OPU-oviverhopuhallusputket sekä kanavien ristipokkausväline IS-Pokkis.

Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona IS Kiinteistöt Oy:lle. Konepajahallin energiakustannukset ovat olleet suhteellisen korkeat, joten on syntynyt tarve energiatehokkuuden parantamiseen. Järjestelmät pääpiirteittäin ovat olleet toiminnassa hallin rakentamisesta asti ja osittain vaativat päivitystä.

## 1.2 Työn tavoitteet

Työssä perehdytään hallin tuotanto-osan nykyiseen ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmään ja haetaan järjestelmiin kustannustehokkaita parannusehdotuksia ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseksi. LTO-järjestelmien laitemitoitusten pohjana on ollut säilyttää ilmavirrat nykyisellään, koska halli vaatii ilmalämmit-

teisyyden takia nykyisen ilmavirran. Epäpuhtauskuormat on hallissa hoidettu kohdepoistojärjestelmällä, ja tuotannon prosessit eivät tuota huomattavia määriä lämpökuormaa halliin, joten niitä ei mitoituksessa ole huomioitu.

## 2 IS-HALLIN NYKYTILANNE

### 2.1 IS-halli

Hallin pohjoispää on Ilmastointi Salminen Oy:n pelti- ja osavalmistusyksikön käytössä. Loppu-osa hallista on IS Works Oy:n käytössä.

Rakennuksen pinta-ala on n. 4 150 m<sup>2</sup>, josta tuotantotilaa on n. 3 300 m<sup>2</sup> sekä toimisto, sosiaali-, lounaskahvila- ja väestönsuoja- yms. tilaa n. 850 m<sup>2</sup> (Kuva 1). Rakennuksen kokonaistilavuus on lähes 40 000 m<sup>3</sup> ja tuotantotilojen vapaa korkeus 10,5 m.



Kuva 1. Ilmakuva IS-hallista

## 2.2 Ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmä

### 2.2.1 Tuloilmalaitteet

Hallin pohjois- ja eteläpäädyssä on IV-Produktin toimittamat tuloilmakoneet, joiden molempien ilmavirta on  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  (Kuva 2). Tuloilmakoneet ovat kaksinopeuksisia, eli koneet käyvät täydellä tai puolella teholla. Koneet on sijoitettu lähelle hallin kattoa, erillisille tasanteille. Tuloilmapuolen runkokeanavistot on sijoitettu hallin kattoon ja tuloilma jaetaan runkokeanavista haarautuvien pystykanavien kautta halliin. Päätelaitteina on koko hallissa yhteensä 25 kpl Fläkt Woodsin KHD-hajottajia (Kuva 3), 13 kpl eripituisia OPU-oviverhohallusputkia sekä piennopeuslaite taukotilan parvella, eli hallin ilmanjako on sekoittava.



Kuva 2. Hallin pohjoispään tuloilmakone



Tulokoneet ovat identtisiä, ainoastaan tuloilman kanavointi on hieman erilainen. Ilmaa jaetaan kummastakin koneesta samalla periaatteella; yhteen tuloilmakoneeseen liitetyistä hajottajista puhalletaan halliin n. 3 m<sup>3</sup>/s ilmaa ja oviverhopuhallusputkista n. 2 m<sup>3</sup>/s. Tuloilmakoneissa on myös kierrätysilmaominaisuus, eli kone ottaa hallin ilmaa halutun prosentuaalisen määrän ulkoilman sijasta, imee ilman suodattimien läpi ja puhaltaa sen takaisin halliin. Kiertoilmapelti on suorakytketty ulkoilmapeltiin, jolloin ulkoilmapellin mennessä kiinni, kiertoilmapelti avautuu ja päinvastoin portaattomasti automatiikan ohjatessa toimintaa. Ilmavaihtokoneen maksimikierrätysilmamäärä on 50 % eli n. 2,5 m<sup>3</sup>/s. Tuloilmakoneiden ulkoilmasäleikköinä ovat IS-lumisieparit (Kuva 4).



Kuva 3. Fläkt Woodsin KHD-venttiili



Kuva 4. Hallin pohjoispään ulkoilmasäleikkönä toimiva lumisieppari

### 2.2.2 Poistoilmalaitteet

Hallin katossa on kaksi F:lli Ferrarin EF 715 aksiaalipuhallinta ja kohdepoistojen puhaltimena F:lli Ferrarin keskipakopuhallin FR 315 (Kuva 5). Aksiaalipuhaltimista ei ole kanavoitua halliin, joten ne imevät katon rajasta poistoilman ja puhaltavat ulospuhallushajottajien kautta jäteilman ulos. Aksiaalipuhaltimet toimivat tulipalon sattuessa savunpoistopuhaltimina. Aksiaalipuhaltimien poistoilmavirta on maksimissaan  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  per puhallin eli yhteensä  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Kohdepoistojärjestelmä on kanavoitu lattialaatan sisään, sieltä kanavat nousevat seinää pitkin katonrajaan ja hitsauskäryt johdetaan keskipakopuhaltimen välityksellä ulos. Hitsauspisteillä on kohdepoistojärjestelmän huuvat. Huuvat on yhdistetty imuletkuilla kohdepoistokanavistoon. Keskipakopuhaltimen poistoilmavirta on  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Plasmaleikkauspisteen kohdepoisto on toteutettu omalla poistoilmapuhaltimella. Puhallin sijaitsee hallin itäseinustalla.



Kuva 5. Aksiaalipuhaltimet sekä keskellä kohdepoistojärjestelmän keskipakopuhallin

### 2.2.3 Automatiikka

Tuloilmakoneiden ohjaus on kytketty poistoilmakoneisiin pareittain, eli pohjoispään tulo- ja poistoilmakoneet toimivat pareina, samoin kuin eteläpään koneet. Automaatiikkajärjestelmä saa mittaustietoa jäätymissuoja-, tulo- ja huoneilma sekä ulkoilmaantureiden perusteella. Hallin puolivälissä katonrajassa on kaksi anturia, joista toinen mittaa lämpötilaa, ja toinen VOC-kaasuja. Katonrajan anturin lämpötilan ylittäessä 50 °C, puhaltimet pysähtyvät palovaaran takia. VOC-anturi tehostaa ulkoilman ottoa automatiikan asetusten mukaisesti.

Puhaltimet käyvät normaalisti 1/1-teholla. Mikäli ulkolämpötila on alle tietyn asetusarvon, tai jos lämmityksen asetusarvoa ei pystytä ylläpitämään, puhaltimet menevät 1/2-teholle. Sisälämpötilan ollessa yli yötuuletus-asetusarvon, ja ulkolämpötila on vähintään 3 °C alle sisälämpötilan mutta yli sisäänpuhallusasetusarvon, puhaltimet käyvät 1/1-teholla ulkoilmapeltien ollessa 100 % auki.

#### 2.2.4 Lämmitysjärjestelmä

Halli on ilmalämmitteinen, eli hallin lämmittämiseen tarvittava yllämpöinen ilma käsitellään kahdessa tuloilmakoneessa, joista lämmitetty ilma johdetaan halliin tulo-kanavia pitkin. Tuloilmakoneiden lämmityspattereissa kiertää öljykattilasta tuleva vesi. Yöaikana lämmitys on hoidettu suurelta osin kierrätysilmalla. Vuosien 2007 ja 2008 öljynkulutus on taulukoitu ja taulukoista saa käsityksen hallin energiakulutuksesta (Taulukot 1 ja 2).

Taulukko 1. IS-hallin vuoden 2007 öljynkulutus

Tankkaus-pvm.	Määrä [l]	Hinta [€/l]	Hinta [€]
21.2.2007	7075	0,44	3125,7
23.4.2007	6734	0,47	3173,7
19.10.2007	6000	0,53	3192,0
7.12.2007	7270	0,56	4106,1
Yht:	<b>27079</b>	Yht:	<b>13598</b>

Taulukko 2. IS-hallin vuoden 2008 öljynkulutus

Tankkaus-pvm.	Määrä [l]	Hinta [€/l]	Hinta [€]
1.2.2008	8006	0,57	4587,4
31.3.2008	6958	0,64	4419,7
23.9.2008	6186	0,66	4061,7
12.12.2008	7889	0,43	3376,5
Yht:	<b>29039</b>	Yht:	<b>16445</b>

Molempia ilmanvaihtokoneita ei voi ottaa kokonaan pois käytöstä varsinkaan talvella, koska halli on ilmalämmitteinen. Ilmanvaihtojärjestelmää tulisi käyttää jaksoittain, kun käytetään pelkkää kierrätysilmaa työajan ulkopuolella. Lämpötilan laskiessa alle asetusarvot, puhaltimien tulisi käydä täydellä ilmavirralla ja käyttää pelkkää

kierrätysilmaa, ja kun on saavutettu haluttu lämpötila, puhaltimet pysähtyisivät. Jos ilmanvaihtokoneet kytketään yöksi kokonaan pois päältä, hallin lämpötila laskee melko nopeasti, ja suuren ilmamassan uudelleenlämmittäminen on taloudellisesti kannattamatonta.

### 2.3 Ilmanvaihtojärjestelmän mitoitusarvot

IS-hallin toimijoiden prosessit eivät tuota yllämpöä eikä kosteutta huomattavia määriä, joten ne eivät vaikuta hallin ilmanvaihtojärjestelmän nykyiseen mitoitukseen. Hitsauksesta, polttoleikkauksesta yms. syntyvät haurut, epäpuhtaudet ja savut poistetaan riittävän tehokkaasti kohdepoistojärjestelmällä sekä plasmaleikkauspisteen erillisellä poistopuhaltimella. Hallin tuloilmakoneiden maksimi-ilmavirta on 5 m<sup>3</sup>/s per kone eli yhteensä 10 m<sup>3</sup>/s. Hallin lattiapinta-ala on n. 3100 m<sup>2</sup>, eli ulkoilmavirta on n. 3,2 l/s m<sup>2</sup> tämänhetkisellä maksimi-ilmavirralla. Ilmanvaihtuvuus epäpuhtauskuormien poistamiseksi riittää hyvin, koska koko hallin alueella ei hitsata.

Poistoilmavirran tulisi olla hieman suurempi kuin tuloilmavirta, jolloin halli pysyy alipaineisena. Alipaineistuksen hoitaa kohdepoistojärjestelmä, joka on työaikana aina osittain käytössä. Hallin alipaineisuus vaihtelee kohdepoistopuhaltimien käyttöasteen mukaisesti, ja hallin tuotanto-osan alipaineisuus estää epäpuhtauksien leviämisen toimisto-osaan.

Kirjallisuudessa on esitetty ilmanvaihdon ja lämpöolojen ohjearvoja konepajateollisuudelle:

– koneistus ja kokoonpano	Ilmavirta	1,6–2,5 l/s, m <sup>2</sup>
– hitsaus	Ilmavirta	4-6 l/s, m <sup>2</sup>

(Insinööritoimisto AIR-IX Oy)

– keskiraskas työ	Suunnittelulämpötila	17 °C
-------------------	----------------------	-------

(Tähti ym. 2002, 33)

Hallin ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirta on mitoitettu ilmalämmityspäristeisesti. Seuraavassa laskelmassa selvitetään, riittääkö nykyinen 10 m<sup>3</sup>/s ilmavirta lämmittämään hallin. Lasketaan, kuinka suuri ilmavirta tarvitaan, kun 17 °C kierrätysilma halutaan lämmittää 32 °C:een tuloilmakoneen lämmityspatterissa eli tuloilma on 15 °C ylälämpöistä. Tätä varten lasketaan rakennuksen johtumisteho sekä vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho, ja näiden yhteenlaskettu teho pitää pystyä lämmittämään ilmankierrolla (Kaava 1). Tämän yhteenlasketun tehon vaatima ilmavirta tarvitaan hallin lämmittämiseksi (Kaava 2). Laskelmat perustuvat Suomen RakMK:n osien C3, C4 ja D5 kaavoihin ja periaatteisiin.

$$\phi_{lä} = \phi_{joht} + \phi_{vuotoilma} \quad (1)$$

$$q_v = \phi_{iv} / (\rho_i c_{pi} \Delta t) \quad (2)$$

Johtumisteho rakenteiden läpi on ulkoseinien, ikkunoiden, ulko-ovien, yläpohjan ja alapohjan johtumistehojen summa. Johtumislämmitysteho  $\phi_{joht}$  lasketaan kaavalla 3.

$$\phi_{joht} = \sum H_{joht} (T_s - T_{u,mit}) \quad (3)$$

Rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö  $\sum H_{joht}$  lasketaan rakennusosa-kohtaisesti (Kaava 4, Taulukko 3).

$$\begin{aligned} \sum H_{joht} = & \sum (U_{ulkoseinä} A_{ulkoseinä}) + \sum (U_{yläpohja} A_{yläpohja}) + \sum (U_{alapohja} A_{alapohja}) \\ & + \sum (U_{ikkuna} A_{ikkuna}) + \sum (U_{ovi} A_{ovi}) \end{aligned} \quad (4)$$

joissa

$\phi_{lä}$	lämmitysteho, W
$\phi_{joht}$	johtumislämmitysteho, W
$\phi_{vuotoilma}$	vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho, W
$q_v$	ilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$\rho_i$	ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 W*s/(kg*K)

$\Delta t$	tuloilman yllilämpöisyys, °C
$\sum H_{joht}$	rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K
$T_s$	mitoittava sisäilman lämpötila, 17 °C
$T_{u,mit}$	mitoittava ulkoilman lämpötila, -26 °C

Taulukko 3. Ominaislämpöhäviö  $H_{joht}$  laskenta rakennusosakohtaisesti

	$\lambda$ [W/(m*K)]	d [m]	R=d/ $\lambda$ (K*m <sup>2</sup> )/W	R <sub>si</sub> + R <sub>se</sub> (K*m <sup>2</sup> )/W	$\Sigma R$ (K*m <sup>2</sup> )/W	U=1/ $\Sigma R$ W/(K*m <sup>2</sup> )	A [m <sup>2</sup> ]	H <sub>joht</sub> = U*A [W/K]
Ulkoseinä				0,170	4,46	0,22	173 0	388
Paroc	0,035	0,150	4,286					
Yläpohja				0,140	5,04	0,20	315 0	625
Laakerivil- la	0,038	0,020	0,526					
Kovavilla	0,032	0,140	4,375					
Profiilipelti	17,000	0,002	0,00012					
Alapohja				0,210	4,83	0,21	310 0	641
Imubetoni	0,120	0,200	1,667					
FinnFoam	0,035	0,100	2,857					
Sepeli	2,000	0,200	0,100					
Ikkuna	—	—				1,80	180	324
Ovi	—	—				0,58	200	116
							Yht:	<b>2094</b>

Taulukon 3. symbolit:

$\lambda$	rakenneosan lämmönjohtavuus, W/(m*K)
d	rakenneosan paksuus, mm
R	rakenneosan lämmönvastus, (m <sup>2</sup> *K)/W
R <sub>si</sub>	sisäpuolinen pintavastus, (m <sup>2</sup> *K)/W
R <sub>se</sub>	ulkopuolinen pintavastus, (m <sup>2</sup> *K)/W
U	rakenneosan lämmönläpäisykerroin, W/(K*m <sup>2</sup> )
A	rakenneosan pinta-ala, m <sup>2</sup>

Rakennuksen johtumislämmitystehoksi saadaan 90 kW, kun rakennusosakohtainen ominaislämpöhäviö on 2094 W/K.

Vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho  $\phi_{vuotoilma}$  lasketaan kaavalla 5.

$$\phi_{vuotoilma} = H_{vuotoilma} (T_s - T_{u,mit}) \quad (5)$$

Vuotoilman ominaislämpöhäviö  $H_{vuotoilma}$  lasketaan kaavalla 6.

$$H_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v, vuotoilma} \quad (6)$$

Vuotoilmavirta  $q_{v, vuotoilma}$  lasketaan kaavalla 7.

$$q_{v, vuotoilma} = n_{vuotoilma} V / 3600 \quad (7)$$

joissa;

$\phi_{vuotoilma}$	vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho
$H_{vuotoilma}$	vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K
$T_s$	sisäilman lämpötila, 17 °C
$T_{u,mit}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, -26 °C
$\rho_i$	ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
$q_{v, vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$n_{vuotoilma}$	rakennuksen vuotoilmakerroin, 1/h
$V$	rakennuksen tilavuus, m <sup>3</sup>
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos m <sup>3</sup> /h -> m <sup>3</sup> /s

Rakennuksen ilmanpitävyys ei ole tarkalleen tiedossa, joten laskennassa käytetään arvoa 0,16 1/h rakennuksen vuotoilmakerroinena.

Vuotoilman lämmitysteholaskennan tulokset (Kaavat 5, 6 ja 7):



Vuotoilman lämmityksen tarvitsemaksi tehoksi saadaan 82 kW, kun rakennuksen vuotoilman ominaislämpöehäviö on 1896 W/K ja rakennuksen vuotoilmavirta on 1,58 m<sup>3</sup>/s.

Rakennuksen ilmanvaihdolla lämmitettävä teho lasketaan kaavalla 1.

$$\phi_{lä} = \phi_{joht} + \phi_{vuotoilma} = 172 \text{ kW}$$

Ilmanvaihdolla lämmitettävän tehon vaatima ilmavirta lasketaan kaavalla 2.

$$q_v = \phi_{iv} / (\rho_i c_{pi} \Delta t) = 9,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nykyinen 10 m<sup>3</sup>/s ilmavirta riittää lämmittämään rakennuksen johtumis- ja vuotoilman lämmitykseen vaadittavan tehon eli ilmanvaihtokoneiden ilmavirtaa ei tarvitse nostaa hallin ilmalämmitteisyyden takia tuloilmakoneita tehostamalla.

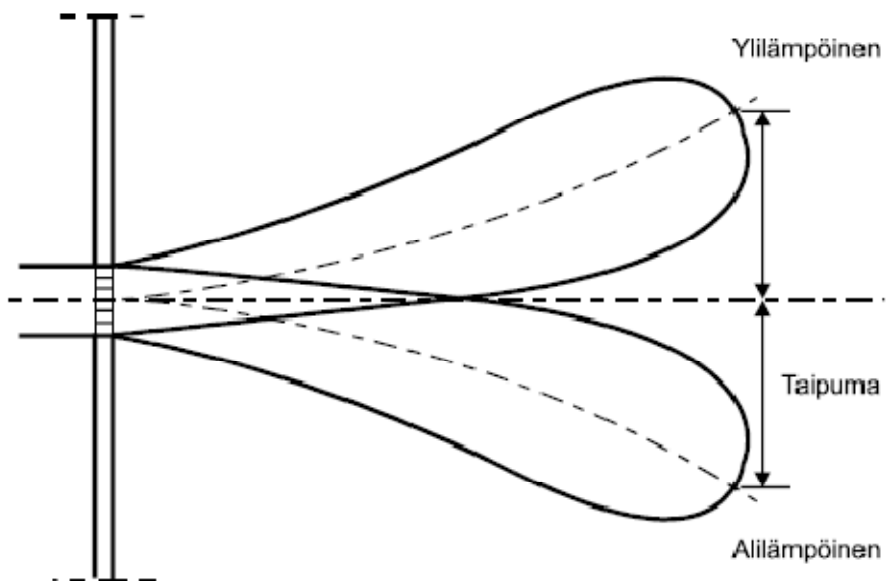
### 3 IS-HALLIN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN PARANTAMINEN

#### 3.1 Ilmanvaihtojärjestelmässä havaitut ongelmat

Hallissa selvitettiin ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmän toimintaa erilaisilla kokeilla ja mittauksilla. Hallin tuloilman lämpötilaa ja sisälämpötilajakaumaa mitattiin TSI-mittarilla ja ilman liikkeitä savukokeilla. Hallin lämpötilamittaukset suoritettiin talvella, kun ulkolämpötila oli  $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sisäilman lämpötila oli oleskeluvyöhykkeellä n.  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ja hallin katossa lähes  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tuloilman lämpötilamittauksissa huomattiin, että tuloilman lämpötila ehtii laskea huomattavasti koneen ja kauimmaisen pääte-elimen välillä. Lähimpänä konetta olevan venttiilin ilmasuihku oli lähes  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kun taas kauimmaisen vain hieman yli  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tuloilman yllämpötila oleskeluvyöhykkeen lämpötilaan nähden oli siis  $6\text{...}14\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Toinen ongelma havaittiin, kun visualisoitiin savukoneella ilman liikkeitä tuloilmahajottajien läheisyydessä eli kuinka tuloilmasuihku levittyy halliin. Tuloilmahajottajista tulevan ilmasuihkun heittokuvio talvella ei vastaa tarkoituksenmukaisuutta, sillä lämmin ilma ei sekoitu oleskeluvyöhykkeen halli-ilmaan. Hallin ilmaan nähden voimakkaasti yllämpöinen tuloilmasuihku kaartuu melko jyrkästi hajottajista ylöspäin ja nousee hallin kattoa kohden (Kuva 6). Hajottajat on sijoitettu oleskeluvyöhykkeen yläpuolelle, joten ilmasuihku ei huuhtele oleskeluvyöhykettä ja kylmä ilma, sekä ilmaa raskaammat epäpuhtaudet jäävät oleskeluvyöhykkeelle. Hajottajan asennon kääntäminen alaspäin ei auta juurikaan asiaa, koska tuloilma kääntyy juuri ennen venttiiliä  $90^{\circ}$  kulmayhteessä. Myöskään hajottajan asennon kääntäminen päinvastaiseksi kääntämällä kartio akselinsa ympäri, jolloin hajottajalla on kapea suihku ja pitkä heittopituus, ei korjaa suihkun kulkusuuntaa alaspäin tarpeeksi. Tuloilmakone kävi mittaushetkellä täydellä teholla.



Kuva 6. Ilmasuihkun heittokuvion periaatepiirros

## 3.2 Ilmanvaihdon parannusehdotukset

### 3.2.1 Tuloilman jako

Hallin tuloilmahajottajien asennustapaa tulisi muuttaa, jotta ilmasuihku saadaan huuhtelemaan paremmin oleskeluvyöhykettä talvella. Tällä hetkellä hajottajat sijaitsevat yli 3 metrin korkeudella. Hajottajien sijaintikorkeutta tulisi laskea, ja ennen venttiiliä oleva  $90^\circ$  käyrä tulisi muuttaa  $45^\circ$  käyräksi. Näin saataisiin osittain käännettyä huomattavasti halli-ilmaa ylälämpöisemmän ilmasuihkun huuhtelemaan oleskeluvyöhykettä. Kesällä halli-ilmaa viileämpi suihku laskee loivasti kohti hallin keskustaa ja sekoittaa oleskeluvyöhykkeen ilmaa tehokkaasti, mutta talvella lämmin tuloilmasuihku nousee nykyisillä hajottajien sijaintikorkeuksilla ylös kattoon.

### 3.2.2 Ilman liike

Lämpimän ilman kohoamista kattoon ei voida täysin estää hajottajan asennustapaa ja korkeutta muuttamalla. Lämmin ilma on saatava katonrajasta kiertämään alas ja lämpötilaerot tasaantumaan. Ilmankierron tehostamiseksi katonrajaan voi asentaa Systemair Oy:n Blandovent-lämpötilantasaajia (Liite 1). Blandovent kierrättää lämmintä ilmaa katonrajasta oleskeluvyöhykkeelle ja näin tasaa lämpötilaeroja. Puhallin koostuu teräskaavun sisään rakennetusta aksiaalipuhaltimesta ja laite ripustetaan n. 0,5 m päähän katosta. Yksi laite kierrättää hieman alle 1 m<sup>3</sup>/s ilmavirtaa. Laitteen ongelmana on, että lämpimän ilman mukana tulee epäpuhtaudet katon rajasta takaisin oleskeluvyöhykkeelle. Hallin pohjoispäähän, peltiverstaan yläpuolelle voisi asentaa kokeilumielessä kaksi laitetta, koska halli-ilma on siellä puhtaampaa verrattuna hallin keskiosan hitsauspisteiden yläpuoliseen ilmanlaatuun.

### 3.3 Energiatehokkuuden parantaminen

IS-hallin poistoilman lämpökapasiteettia ei käytetä tällä hetkellä hyväksi ulkoilmavirran esilämmittämisessä ennen varsinaista lämmityspatteria. Talvella lämmin ilma nousee kattoon, josta aksiaalipuhaltimet imevät lämmintä ilmaa ulos. Kovina pakkas- talvina rakennuksen öljynkulutus kasvaa todella suureksi, ellei kierrätysilman osuutta käytetä voimakkaasti hyväksi. Kierrätysilman runsas käyttö huonontaa hallin sisäilman laatua, koska suodattimet eivät pysty poistamaan kierrätysilmasta kaikkia hitsausshuuruja ennen halliin takaisinpuhaltamista. Energiatehokkuuden parantaminen voidaan toteuttaa sisäilman laadusta tinkimättä käyttämällä ilmanjakomenetelmiä todellisen tarpeen mukaan ja ottamalla poistoilmasta lämpöä talteen.

## 4 TEOLLISUUDEN LÄMMÖNTALTEENOTTO POISTOILMASTA

### 4.1 Lämmöntalteenotto poistoilmasta

Poistoilmassa olevasta lämpöenergiasta voidaan suuri osa saada palautettua takaisin tuloilman lämmittämiseen lämmönsiirtimien avulla.

Teollisuusilmastoinnin lämmöntalteenottoon soveltuvat usein samat laitetypit kuin esim. toimisto- ja liikerakennusten ilmastoinnissa käytetään. Lämmönsiirtimen laite- ja materiaalivalinnat sekä poistoilman puhdistus ennen lämmöntalteenottoa on suunniteltava huolellisesti, koska poistoilmassa olevat epäpuhtaudet likaavat ja syövyttävät lämmönsiirtopintoja. (Neste 1987, 289)

### 4.2 Lämmöntalteenottojärjestelmä

#### 4.2.1 Nestekiertoinen järjestelmä

Poistoilmassa olevassa patterissa kiertävä jäätyvätön neste lämpenee ja pumpataan tuloilmapuolella olevaan patteriin. Kylmä tuloilma jäädyttää nesteen, joka palaa taas poistopuolelle. Pattereina voidaan käyttää erilaisia lamelli-, ripaputki-, neulaputki- ja sileäputkipattereita. Teho säädetään kolmitieventtiilillä ja lämpötilahyötysuhde on 40–55% luokkaa.

#### 4.2.2 Levylämmönsiirrin

Lämpö siirtyy levyjen läpi suoraan poistoilmapuolelta tuloilmapuolelle. Lämmönsiirrin on normaalisti kytketty ristivirtaperiaatteella, mutta saatavana on myös vastavirtamalleja. Useampia siirtimiä voidaan kytkeä sarjaan, jos halutaan nostaa hyötysuhdetta. Teho säädetään ohituspellillä ja lämpötilahyötysuhde on 50–65 %.

#### 4.2.3 Pyörivä lämmönsiirrin, regeneraattori

Laitteessa kennomainen lämmönsiirtopinta pyörii akselinsa ympäri. Otsapinta on jaettu poisto- ja tuloilmapuolen kesken. Kennot valmistetaan yleensä alumiinista. Erikoistapauksiin on saatavissa keraamisia, lasikuiturakenteisia ja erikoisteräksisiä versioita. Kennon materiaalin pintakäsittelystä riippuen saadaan myös poistoilman kosteus siirtymään tuloilmaan. Poistossa lämmennyt kenno luovuttaa lämpönsä tuloilmapuolelle. Tehoa säädetään muuttamalla pyörimisnopeutta ja järjestelmällä päästään jopa 70–90% lämpötilahyötysuhteeseen.

#### 4.2.4 Lämpöputkipatteri

Patteri muodostuu yksittäisistä putkista, joiden sisällä on helposti haihtuvaa ja nesteytyvää ainetta. Putken sisäpinnassa on ns. kapillaarikerros. Poistoilman lämmössä neste haihtuu ja virtaa kylmään tuloilmapäähän, jossa se nesteytyy. Neste valuu kapillaarivoiman ja sitä voimistavan painovoiman ansiosta kapillaarikerrosta pitkin takaisin poistopäähän ja kierto jatkuu. Patteri on jaettu keskeltä siten, että toiseen päähän johdetaan tuloilma, ja toiseen päähän poistoilma. Tehoa säädetään muuttamalla patterin asentoa, jolloin painovoiman osuus muuttuu nesteen virtauksessa. Pattereita tehdään eri materiaaleista ja eri lämpötiloille ja lämpöputkipatterijärjestelmällä päästään 55–65% lämpötilahyötysuhteeseen.

(Neste 1990, 70)

### 4.3 Teollisuuden erityisongelmat lämmöntalteenotossa

#### 4.3.1 Rakenteelliset vaatimukset

Teollisuudessa on laitevalintoja tehtäessä kiinnitettävä erityistä huomiota materiaalien korroosion ja lämmön kestävyteen. Sopivan materiaalin kustannukset saattavat moninkertaistaa laitteen hankintakustannukset, mutta myös käyttöiän.

Kanavamateriaaleja valittaessa on selvitetävä myös puhdistuksen, lämpötilavaihtelujen, värinän yms. aiheuttamat rasitukset. LTO-laitteet joutuvat kosketuksiin kostean, kuuman ja epäpuhtauksia sisältävän ilman kanssa. Tällaisissa olosuhteissa korroosion riski on hyvin suuri. (Neste 1987, 297)

#### 4.3.2 Epäpuhtauksien asettamat vaatimukset

Ennen kuin voidaan valita käytettävä lämmöntalteenottolaitteisto, on tiedettävä poistoilmassa olevien epäpuhtauksien laatu ja määrä. Teollisuuden poistoilmassa olevat epäpuhtaudet saattavat olla hyvinkin syövyttäviä ja aggressiivisesti kiinnitarttuvia. Tavallisimpia epäpuhtauksia ovat:

- pöly (tekstiili, hiekka yms.)
- hitsauskäryt, savu
- öljysumu
- maalit, liuottimet

sekä näiden yhdistelmät, mitkä ovat usein huomattavasti vaikeampia käsitellä kuin yksittäiset epäpuhtaudet. (Neste 1987, 301)

#### 4.3.3 Säätlaitteiden asettamat vaatimukset

Säätlaitteet joutuvat teollisuusilmastoinnissa kovien rasitusten alaisiksi. Lämpö-, virtaus- ja paine-eromittarien on toimittava luotettavasti likaantumisen, värinästä yms. huolimatta. Tämä asettaa tiukemmat vaatimukset säätö- ja valvontalaitteille teollisuussovellutuksissa.

Tyypillinen perusongelma säätlaitteiden anturien ja mittareiden sijoittelussa on lämmönsiirtimen epätasainen lämpötilakenttä, 5-10 °C erot ovat tavallisia. Anturit tulee sijoittaa paikkoihin, joissa ilma on sekoittunut tai mittausten perusteella edustaa luotettavaa keskiarvoa.

#### 4.3.4 Käyttövarmuus

Teollisuudessa käyttövarmuus on eräs tärkeimmistä valintakriteereistä laitteita hankittaessa. On myös kiinnitettävä huomiota käyttövarmuuteen ja toimivuuteen vaikeissa olosuhteissa (runsas kuormitus, jäätymisvaara yms.). Yksinkertainen ja vankka rakenne lisää käyttövarmuutta, helpottaa puhdistettavuutta ja vähentää varajärjestelmien tarvetta sekä kustannuksia. Teollisuudessa laitteistoja kohdellaan usein, esim. puhdistettaessa, varsin kovakouraisesti. (Neste 1987, 303)

#### 4.3.5 Huolto

Lämmöntalteenottolaitteen likaantuminen ilmassa olevien epäpuhtauksien takia vaikuttaa:

- hyötysuhteeseen ja kannattavuuteen eli tehontarve ja energiankulutus kasvavat
- laitteiston vioittumisalttiuteen
- ilmastoitavan tilan olosuhteisiin, esim. poistoilmavirta pienenee
- puhaltimien kuormitukseen

Lämmöntalteenottojärjestelmän hyvän toimivuuden takia on laitteet puhdistettava määräajoin. Puhdistukseen käytettäviä menetelmiä ovat:

- paineilmapuhdistus
- harjaus ja imurointi
- vesipesu (lämmin/kylmä, matala-/korkeapaine, pesuaine)
- höyry-/kuumennuspuhdistus
- liuotus, kemikaalit

( Neste 1987, 304)



Laitteiden huoltoa ja puhdistusta varten varataan riittävästi tilaa, vähintään huollettavien laitteiden mittainen tila huoltosuunnassa. Huollettavuuden varmistamiseksi laitteiden ja ilmanvaihtokoneiden toiminto-osien ympärille varataan riittävästi tilaa. Ilmanvaihtokoneet varustetaan ilman työkaluja avattavilla huoltoluukuilla.

(Suomen RakMK D2 2010, 21)

#### 4.4 Valittu lämmöntalteenottojärjestelmä

IS-hallissa on hajautettu tulo- ja poistoilmajärjestelmä. Tulo- ja poistoilmakoneet ovat pitkän etäisyyden päässä toisistaan. Järjestelmä suunnitellaan nykyisille tuloilmakoneille sopivaksi, eli ainoastaan nykyiset poistoilmakoneet uusitaan, jos on tarve. Lämmönsiirrintyypeistä levylämmönsiirtimessä, pyörivässä lämmönsiirtimessä ja lämpöputkipatterissa pitää tulo- ja poistoilmakanavisto yhdistää, joten mikään ko. vaihtoehdoista ei sovi IS-hallin energiatehokkuuden parannustapaukseen. Ainoa lämmönsiirrintyyppi, joka voidaan valita hallin lämmöntalteenottojärjestelmäksi, on nestekiertoinen järjestelmä. Järjestelmässä ei tarvitse tulo- ja poistoilmakanavistoja yhdistää.

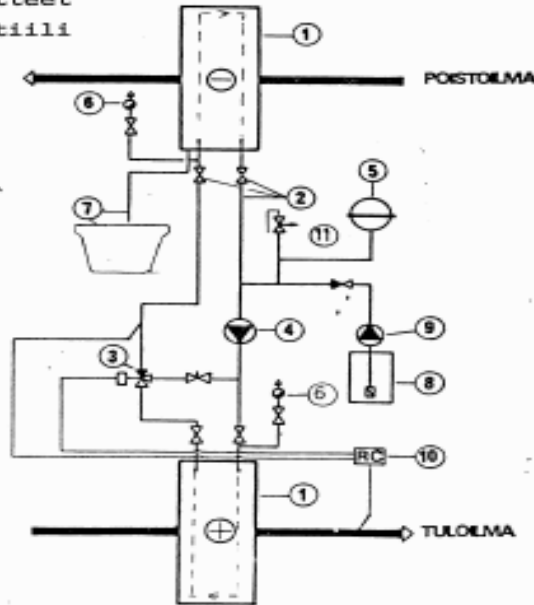
## 5 NESTEKIERTOINEN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄ

### 5.1 Järjestelmän yleiskuvaus

Tulo- ja poistoilmakoneiden ja kanavoinnin sijoitusmahdollisuudet vaikuttavat ratkaisevasti lämmöntalteenottolaitteen valintaan. Vain nestekiertojärjestelmässä vältetään kanavointien yhdistämiseltä. Järjestelmän avulla on mahdollista yhdistää useita tulo- ja poistoilmalaitteita.

Poistoilman sisältämää lämpöenergiaa otetaan talteen yhdellä tai useammalla lämmönsiirtimellä ja lämpöenergia siirretään liuosputkiston avulla tuloilmapuolen lämmönsiirtimeen, missä lämpö luovutetaan tuloilmaan. Lämmönsiirtimien välillä kiertetään nestettä lämmönsiirtoaineena. Kiertonesteinä käytetään joko vesiglykoli- tai vesialkoholiseoksia (Kuva 7).

- 1 tuloilmapuolen ns. lämmityspatteri ja poistoilmapuolen ns. jäädytyspatteri
- 2 kiertojohto ja sulkuventtiili
- 3 3-tieventtiili
- 4 kiertopumppu
- 5 paisuntasäiliö
- 6 ilmanpoistimet
- 7 nesteen tyhjennys ja sitä varten tarkoitettu säiliö
- 8 täyttösäiliö, jossa on valmiiksi sekoitettua liuosta
- 9 käsipumppu, jota käytetään kun verkostoon pumpataan liuosta
- 10 säätölaitteet
- 11 varoventtiili



Kuva 7. Lämmöntalteenottolaitoksen osia (Castrén 2006, 11)

## 5.2 Järjestelmän erityispiirteet

Nestekiertoinen LTO- järjestelmä on hyvin joustava. Lämmönsiirtimet voidaan sijoittaa toisiinsa nähden keskitetysti samaan konehuoneeseen tai hajautetusti eri puolille rakennusta. LTO:n toteuttaminen hajautetusti säästää tilaa ja helpottaa suunnittelua, kun tulo- ja poistoilmakanavia ei tarvitse tuoda samaan konehuoneeseen, eikä järjestelmä aiheuta paloteknisiä rajoituksia. Tulo- ja poistoilmakoneiden lukumäärä voidaan valita vapaasti, koska nestekiertoisella LTO- järjestelmällä voidaan siirtää talteenotettua lämpöenergiaa rakennuksen osasta toiseen joustavasti ilmanvaihtokoneen avulla. Lisäksi järjestelmä mahdollistaa talteenotetun lämmön varastoinnin ja optimaalisen jakelun eri käyttökohteiden välillä.

Nestekiertoisessa LTO-järjestelmässä ei ole vaaraa, että bakteereja, hajuja tai kaasumaisia epäpuhtauksia (VOC:it, formaldehydi) siirtyisi poistoilmasta tuloilmaan. Myös tulo- ja poistoilmakanavien välisiltä ilmavuodoilta vältytään. Tuloilmakanavassa olevaa lämmönsiirintä voidaan kesällä käyttää jäähdytyspatterina, jolloin poistoilma jäädyttää liuosta.

Kiertonesteen glykoli- tai alkoholipitoisuuden pitää olla 20–40 % huurtumisen estämiseksi. (Neste 1987, 291)

Lämmönsiirtimen aiheuttamat painehäviöt ovat tyypillisesti ilmapuolella 100 – 300 Pa ja nestepuolella 50 – 150 kPa mitoituksesta riippuen.

Epäsuoran LTO-järjestelmän hyviä puolia ovat:

- tulo- ja poistokanavistoa ei tarvitse yhdistää
- ei ilmavirtojen sekoittumisvaaraa
- yksinkertainen säädettävyys (hyötysuhde, huurtumisenesto)
- pieni tilantarve

Epäsuoran LTO-järjestelmän huonoja puolia ovat:

- vaatimaton lämpötilahyötysuhde
- kuluvia liikkuvia osia (pumppu, moottoriventtiili)
- huurtumisenesto välttämätön
- tarvitaan suhteellisen suuria lämpöpintoja (syvät patterit)

( Neste 1987, 293)

### 5.3 Hyötysuhteet

Oleellisin lämmöntalteenoton tehokkuutta kuvaava suure on vuosihyötysuhde. Se antaa parhaan käsityksen rakennuksen ilmanvaihdossa säästettävästä energiamäärästä. Se on eri asia kuin LTO-laitteen lämpötilahyötysuhde. Lämpötilahyötysuhde on yleensä aina suurempi kuin vuosihyötysuhde. Vuosihyötysuhteeseen vaikuttavat alentavasti esimerkiksi huurtuminen poistupuolen lämmönsiirtopinnoille sekä laitteen sijaintipaikkakunnan lämpötilaolosuhteet. Lämpötilahyötysuhde on laitteen ominaisuus, joka tulisi ilmoittaa laitteelle standardisoidussa testaustilanteessa mitattuna lukuarvona.

Vuosihyötysuhde on koko rakennukselle laskettava arvo. Se ei ole siis laitteen ominaisuus, eikä näin ollen tule verrata keskenään eri laitetyypeillä eri rakennuksissa aikaansaatuja vuosihyötysuhteen arvoja tai yhden laitteen lämpötilahyötysuhdetta jollakin toisella laitteella varustetun rakennuksen LTO-vuosihyötysuhteeseen. Eri laitetyypeillä saavutettavia vuosihyötysuhteita voidaan verrata sertifikaattien avulla tai laskemalla.

(Railio 2009, verkkojulkaisu)

### 5.4 Valitut järjestelmävaihtoehdot

IS-hallin lämmöntalteenottojärjestelmä mitoitetaan kahdella erilaisella nestekiertoisella lämmöntalteenottojärjestelmätyypillä. Ensimmäinen järjestelmävaihtoehto on neulaputkilämmönsiirrinjärjestelmä (Kappale 6), ja toinen on tavanomainen lamellipattereilla varustettu järjestelmä (Kappale 7).

## 6 LÄMMÖNTALTEENOTTO NEULAPUTKILÄMMÖNSIIRTIMILLÄ

### 6.1 Neulaputkilämmönsiirrin

Neulaputkilämmönsiirrin on Retermia Oy:n valmistama lämmöntalteenottolaite, jossa lämmönsiirtopintana toimii patentoitu neulaputki. Alumiininauhasta ja kupari- tai alumiiniputkesta valmistettava neulaputki taivutetaan ja kootaan lämmönsiirtimeksi Retermia Oy:n tehtailla. Koska tuloilmapuolen lämmönsiirrin toimii samalla karkeasuodattimena, siitä käytetään myös nimitystä LTO-esisuodatin.

Karkeasti jaoteltuna neulaputkilämmönsiirtimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: aaltomallinen neulaputkilämmönsiirrin ja U-mallinen neulaputkilämmönsiirrin. Aaltomallisia neulaputkia käytetään rakenneosissa, U-mallisia ilmanotto- ja ulospuhalluskatoksissa sekä LTO-huippuimureissa.

Neulaputkilämmönsiirtimien putket ja neulat ovat alumiinia ja jakotukit kuparia. Jakotukeissa on laippaliitokset ja ilmanpoisto. Putket on varustettu sisäpuolisilla turblaattoreilla lämmönsiirron tehostamiseksi mitoitusolosuhteissa. Lämmönsiirtimien ilmapuolen painehäviö on max. 100 Pa ja tulo- ja poistupuolen pattereiden nestepuolen painehäviö yhteensä max. 200 kPa.

Neulalämmönsiirrin toimii paitsi lämmöntalteenottopatterina, myös esisuodattimena ja lumensulatuspatterina.

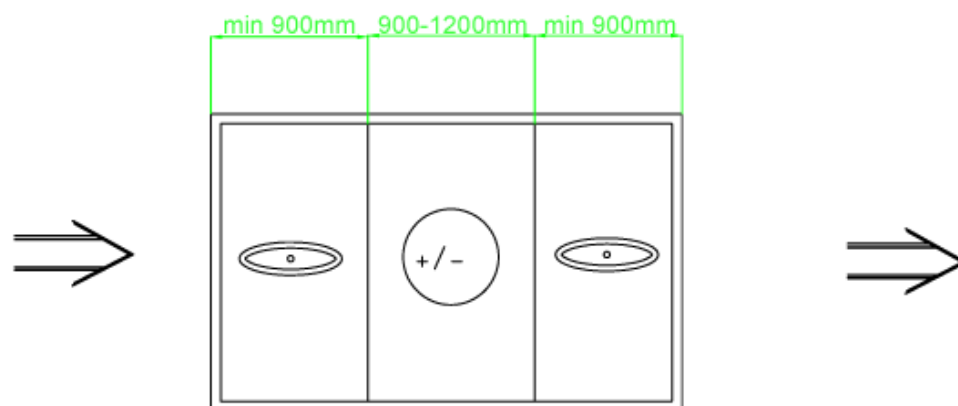
## 6.2 IS-hallin neulaputkilämmönsiirrinjärjestelmä

### 6.2.1 Tuloilmapuoli

Neulalämmönsiirrin sijoitetaan ensimmäiseksi komponentiksi ilmanottopuolelle. Esi-lämmittävä ja esisuodattava neulaputkilämmönsiirrin pitää pääsuodattimen kuivana. Tuloilmapuolella patterille on kaksi sijoitusmahdollisuutta. Kummallekin tuloilma-koneelle tulee molemmissa sijoitusvaihtoehdoissa omat patterit, jota ovat yhteydessä poistoilmapuolen pattereihin omilla liuosputkistoilla.

#### Vaihtoehto 1.

Ensimmäinen vaihtoehto on sijoittaa neulaputkilämmönsiirrin tuloilmakoneen raken-neosaksi (Kuva 8). Urakoitsija toimittaa tyhjän, 1000 - 1200 mm syvän väliosian Re-termia Oy:n tehtaalle, jonka sisään neulaputkilämmönsiirrin valmistetaan. IS-hallin lämmönsiirrin rakennetaan IV-Produktin lohkokoon, ja LTO-osan molemmille puolille jätetään 900–1000 mm pitkät huolto-osat.

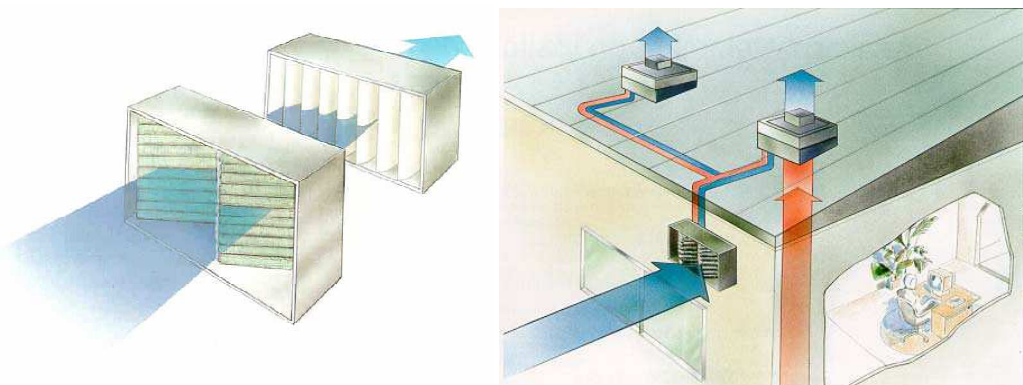


Kuva 8. Neulaputkilämmönsiirrin ja huolto-osat iv-koneen rakenne-osana

## Vaihtoehto 2.

Toisessa vaihtoehdossa neulaputkilämmönsiirrin voidaan sijoittaa kuvan 9 mukaisesti tuloilmapuolella ennen pääsuodatinta nykyisen lumisiepparin tilalle ulkoilmasäleiköksi (Liitteet 6A ja 6B). Näin varmistetaan pääsuodattimen pysyminen kuivana ja lämpimänä ympäri vuoden, jolloin pääsuodattimen suodatusluokka pysyy suunnitellulla tasolla koko suodattimen käyttöajan ajan ja märkäsuodatinongelmilta vältytään

Kierreportaikko rakennetaan hallin pohjoispään tuloilmapuolen patterin viereen vesikatolle asti ja patterin kohdalle rakennetaan erillinen huoltotaso. Kierreportaat tulisi joka tapauksessa rakentaa vesikatolla sijaitsevien LTO-huippuimurien huoltoa varten. Eteläpään patterin huolto suoritetaan nostokorista.

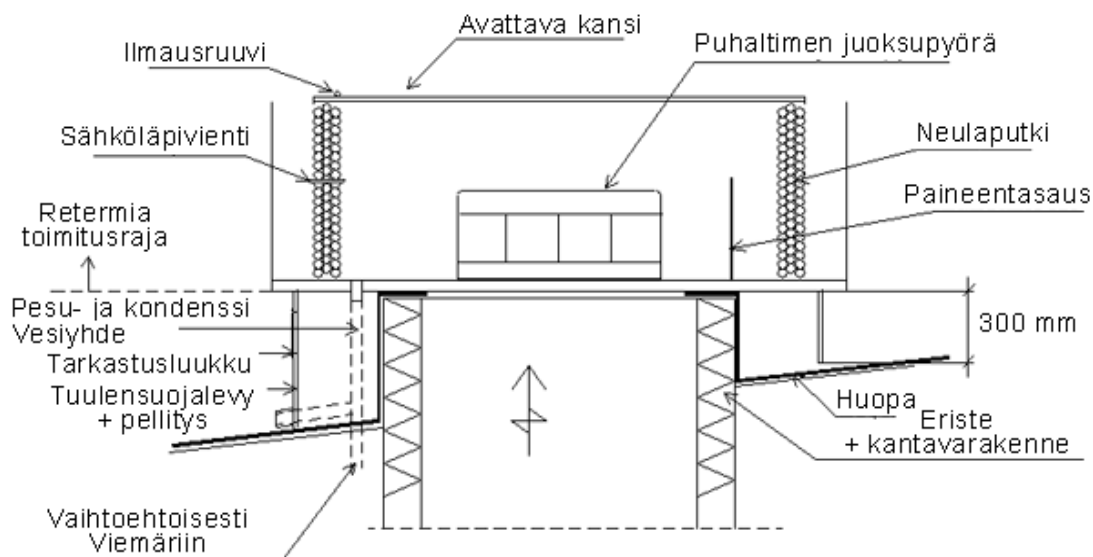


Kuva 9. Neulaputkilämmönsiirrin tuloilmapuolen ulkoilmasäleikkönä

### 6.2.2 Poistoilmapuoli

Nykyiset poistoilmakoneet uusitaan, koska vanhat aksiaalipuhaltimet ovat jo niin vanhoja, ettei niiden uusiokäyttö tätä järjestelmää rakennettaessa ole järkevää. Aksiaalipuhaltimien ympärille rakennettava neulaputkisiirrin lisää paineenkorotustarvetta niin paljon, että vanhat koneet toimisivat tehollisesti aivan äärirajoilla. Uudet huippuimurit toimitetaan Retermia Oy:n tehtaalle, jossa valmistetaan LTO-laite huippuimurin ympärille (Kuva 10).





Kuva 10. Neulaputkilämmönsiirtimellä varustetun poistoilmalaitteiston osat

## 6.3 Mitoitus

### 6.3.1 Neulaputkipatterit

Tuloilmakoneisiin mitoitettiin kaksi eri vaihtoehtoa: Ilmanvaihtokoneen rakenne- osaksi tuleva neulaputkipatteri sekä ulkoilmasäleiköksi tuleva patteri. Poistoilmalaitteen ympärille rakennettava patteri on samanlainen kummassakin tuloilmapuolen sijoitusvaihtoehdossa. Patterit mitoitettiin  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  ilmavirran mukaan. Mitoitus toteutettiin täyttämällä Retermia Oy:n mitoituslomake, joka lähetettiin tehtaalle analysoitavaksi. Tehtaalta tuli ehdotus mahdollisista pattereista (Liitteet 2A-3C).

### 6.3.2 Uudet poistoilmakoneet

Vanhat aksiaalipuhaltimet vaihdetaan huippuimureihin. Huippuimurit mitoitettiin tarvittavan  $5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{kone}$  mukaan. Uusiksi huippuimureiksi valittiin sivustapuhaltava Kojan Safek-malli. Safek-mallistosta valittiin käytettäväksi suurin, Safek 63-malli, jossa on riittävä tilavuusvirta sekä paineenkorotus (Liite 7). Safek-savuimurissa on yhtenäinen, kuumasinkitystä teräksestä valmistettu ulkovaippa, jossa on saranoitu pohjalevy ja se toimii myös savunpoistopuhaltimena. Koneessa on kaksi säleiköllä

varustettua ulospuhallusaukkoa. Aukot sijaitsevat vastakkaisilla puolilla ulkovaippaa. Neulaputkipatterin asentaminen huippumurin ympärille ei estä laitteen toimimista hallin määräysten mukaisena savunpoistopuhaltimena.



Kuva 11. Koja Safek huippumuri

## 6.4 Asennus

### 6.4.1 Poistoilmakoneen kattoläpiviennin rakentaminen

Kattoläpiviennin ympärille rakennetaan runkokehikko. Rakennusmateriaalina voidaan käyttää esim. sahatavaraa 50 x100 T24. Vanhojen aksiaalipuhaltimien imuaukot on lämpöeristetty valmiiksi vaaditulla tavalla. Kattoläpiviennin mitat  $L_{\min}$  ja  $H_{\min}$  on merkitty Retermia-laitteen mittakuviin (Liitteet 5A-5C). Tukilevyt asennetaan paikoilleen ennen kattoläpiviennin asentamista. Tukilevyjen tarkoitus on toimia jäykistävänä rakenteena ja alustana vedeneristysmateriaalille. Kattoläpivienti on vielä teh-

tävä vesitiiviiksi eristämällä se bitumikermillä tai pellittämällä. Vesieristys on aina tehtävä Retermia-laitteiden tukirakenteena käytettäviin kattoläpivienteihin.

#### 6.4.2 Poistoilmapuolen LTO-laitteen asennus

Retermia Oy toimittaa LTO-laitteen mukana tiivistelevyn, joka asennetaan ennen neulaputkipatterilla varustetun huippuimurin asennusta. Tiivistelevy asetetaan kattoläpiviennin päähän, kanavaan nähden keskitetysti. LTO-laitteen pohja on tehtaalla valmiiksi eristetty.

Retermia Oy:n tehtaalle toimitetaan uudet huippuimurit, jossa ne asennetaan LTO-laitteeseen. Laite toimitetaan tehtaalta kohteeseen ja LTO-laite nostetaan paikoilleen laitteeseen kiinnitettyjen nosto-ohjeiden mukaisesti. Nostokorvat poistetaan noston jälkeen. LTO-laite kiinnitetään läpivientirakenteeseen kiinnityskorvistaan. Tarkistetaan, että tiivistelevy on kunnolla puristunut kattoläpiviennin ja LTO-laitteen väliin, ettei ohivuotoja jää.

Sähkökaapelointia asennettaessa on otettava huomioon, että huippuimuri pääsee kallistumaan patterin ja huippuimurin puhdistusta varten.

#### 6.4.3 Tuloilmakoneiden patterit

Tuloilmapatterin sijoitusvaihtoehdossa 1 väliosaan valmistettu neulaputkilämmönsiirrin liitetään tuloilmakoneeseen koneen tasanteella. Tuloilmakonetta, tuloilmakanavistoa sekä lämmityspatterin putkistoa pitää siirtää n. 3,2 m eteenpäin, jotta saadaan tarvittava tila väliosalle sekä väliosan molemminpuolisille huolto-osille.

Tuloilmapatterin sijoitusvaihtoehdossa 2, ulkoilmasäleikköpatteri asennetaan vanhan lumisiepparin tilalle. Seinään pitää tehdä tukirakenteet, jotta säleikkö pysyy tukevasti seinässä kiinni.

## 6.5 Huolto

### 6.5.1 Huollon tarkoitus

Huollon tarkoituksena on poistaa pattereihin kerääntyneet epäpuhtaudet. Patterin pinnalle kerääntyvät epäpuhtaudet lisäävät ilmapuolen painehäviötä ja toimivat eristeenä neulapinnalla.

Ilmapuolen painehäviön lisäys vaikuttaa suoraan tarvittavaan puhallintehoon. Eristeenä toimiva epäpuhtaus neulaputken pinnalla heikentää neulaputken kykyä luovuttaa ja vastaanottaa lämpöenergiaa ohivirtaavasta ilmasta, mikä vastaavasti laskee järjestelmän hyötysuhdetta.

Neulapattereiden huollon yhteydessä patterit tulisi imuroida. Varsinkin tuloilmapuolen pattereihin kerääntyy puiden lehtiä ja siitepölyä, jotka on parasta poistaa imuroimalla/kuivapoistolla. Neulapintaa ei saa vaurioittaa imuroitaessa.

### 6.5.2 Tarkistustoimenpiteet

Seuraavat tarkistustoimet tehdään huollon yhteydessä:

- ilmauksen tarkistus
- liuoslaippojen tiivisteiden tarkistus (ei vuotoja)
- eristeiden tarkistus (paikoillaan, ehjät)
- neulapinnan tarkistus ja mahdollisesti kokoonpainuneiden neulojen oikaiseminen
- huoltokansien linkkujen ja saranointien tarkastus (ruuvit paikoillaan)
- viemäroinnin ylivuotoputken tarkistaminen ja mahdollisen tukkeuman poisto.

Ilmaus tarkistetaan siten, että suojatulppa poistetaan kiertämällä ja ilmaushana aukaistaan. Kun ilmaushana on auki, ilman poistuminen aiheuttaa suhisevan äänen.

Kun suhina loppuu, ilmaushanan voi sulkea.

Tämän jälkeen tarkistetaan verkoston paine ja mikäli se ei ole riittävä, verkostoon lisätään nestettä käsipumpulla pumpaamalla.

### 6.5.3 Huoltotoimenpiteet

Neulalämmönsiirrin on helppo puhdistaa imuroimalla ja painepesutekniikalla. Säännöllinen huolto takaa ilmastointijärjestelmän häiriöttömän toiminnan. Huoltotilassa on oltava vesipistoke sekä sähkökytkentä. Ylätasanteelle, jossa tuloilmakoneet sijaitsevat, sekä katolle tulisi putkittaa ja kaapeloida erikseen pisteet painepesuria sekä imuria varten.

Korkeapainepesu suoritetaan siten, että pesusuutinta liikutellaan ylhäältä alas tai vasemmalta oikealta (huom. vesisuihkun tulee olla neulaputken suuntainen). Pesusuutin kallistetaan noin 60 asteen kulmaan. Tässä asennossa suihku tunkeutuu kunnolla neulaputkirivin läpi, myös keskiputkiin. Pesu tulee aloittaa ilmavirran vastaiselta puolelta.

Retermia Oy:n toimittama pesusuutin on ns. viuhkasuutin. Suutin on suunniteltu siten, että suurin sallittu paine neulapinnalle on 50 bar. Neulaputkipatterin pesuun saa käyttää ainoastaan Retermia-pesusuutinta. Jos LTO-patteri vaurioituu pesussa väärän suuttimen vuoksi, Retermia Oy:n takuu ei kata aiheutuneita vahinkoja. Pesuaineena käytetään inhibiittoriainetta sisältävää, alumiinin pesuun soveltuvaa metallinpesuainetta (esim. DESKEM SP130) ja vettä. Neulaputkilämmönsiirtimiä ei saa pestä ilman Retermia-pesusuutinta ja/tai pelkällä vedellä. Neulalämmönsiirtimet on varustettu pesuvesialtaalla (RST) ja yhteellä. Pesuedet voidaan johtaa tulokoneilta pesuvesiyhteen kautta lattiakaivoon, jolloin on käytettävä kaksoisvesilukkoa. Katolle sijoitettavista LTO-huippuimureista pesuedet johdetaan pesuvesialtaan kulmista katolle. (Retermia Oy:n verkkosivut)

## 6.6 Järjestelmän hankintahinta

Neulaputkilämmönsiirtimien budjettihintana, poistoilmapuoli asiakkaan toimittamaan huippuimuriin valmistettuna, voidaan molemmissa tuloilmapatterien sijoitusvaihtoehtoissa käyttää n. 30 000 € / per piiri elikaksi tuloilmapuolen patteria ja kaksi LTO- huippuimuria n. 60 000 €. Jos järjestelmä rakennetaan tuloilmapuolen sijoitusmahdollisuus 1:n mukaan, eli neulaputkilämmönsiirrin sijoitetaan tuloilmakoneen rakenneosaksi, tulee vielä päälle välisosien kustannukset, lisäkanavointi sekä tuloilmakoneen siirron aiheuttamat lisäkustannukset. Ulkoilmasäleikön sijoitusmahdollisuuteen pitää rakentaa ulkoilmasäleiköille huoltotasot, ellei joka huoltoon tilata henkilönostinta erikseen. Kierreportaat pitää joka tapauksessa asentaa LTO-huippuimureiden huoltoa varten.

Järjestelmien kokonaiskustannusarviot perustuvat Retermia Oy:n antamiin neulaputkipatterien hintoihin sekä muut järjestelmien osien hankinta- ja asennuskustannukset on arvioinut Kari Koskela ja Jari Peltola Ilmastointi Salminen Oy:stä (Taulukko 4).

Taulukko 4. Järjestelmän kokonaiskustannusarvio kummankin tuloilmapuolen patterin sijoitusmahdollisuuden mukaan

	Ulkoilmasäleikkö [€]	Rakenneosa [€]
Patterien valmistus	60000	60000
Putkiurakka	20000	20000
Huippuimurit (2xSafek 63)	9000	9000
Lisäkanavointi ja tulokoneen siirto		3000
Sähkötyöt	2500	2500
Huoltotaso/kierreportaat	10000	7000
<b>Yhteensä</b>	<b>101500</b>	<b>101500</b>

Neulaputkilämmöntalteenottojärjestelmästä aiheutuvat vuotuiset huoltokustannukset ovat 2000 €/a kummassakin tuloilmapuolen neulaputkipatterin sijoitusvaihtoehdossa.

## 6.7 Energiasäästö ja takaisinmaksuaika

### 6.7.1 Energiasäästöt Recal-laskentapalvelulla laskettuna

Neulaputkijärjestelmän tunnusluvut lasketaan Retermia Oy:n kehittämällä laskentaohjelmalla. Recal-laskentapalvelu antaa järjestelmän vuosihyötysuhteeksi 47,9 %. Laskelmaan on asetettu poistoilman lämpötilaksi 18 °C ja pumpun hyötysuhteeksi 70 %. Ohjelma käyttää Tampereen säätietoja ja laskelmassa on esitetty yhden LTO-parin tunnusluvut. Laskennassa on huomioitu patterien painehäviöistä johtuva tulo- ja poistoilmapuhaltimen paineenkorotustarve sekä nestepiirin painehäviöstä johtuva pumpun paineenkorotustarve, jotka molemmat nostavat sähkönkulutusta ja sitä kautta käyttökustannuksia (Liitteet 4A, 4B sekä 4D).

Käyntiaikojen 1 laskelmat perustuvat ilmanvaihtolaitteiden seuraaviin käyntiaikoihin: tuloilmakone käyttää ulkoilmavirtaa 5 m<sup>3</sup>/s maanantaista perjantaihin 06.00–22.00 välisen ajan eli 16 h/vrk ja 80 h viikossa. Maanantaista perjantaihin 22.00–06.00 kone käyttää puolet ulkoilmavirtaa eli 8 h/vrk ja 40 h viikossa ja puolet kierrätysilmaa eli 2,5 m<sup>3</sup>/s kumpaakin. Viikonloppuisin tuloilmakone käy puolella teholla ja käyttää pelkkää kierrätysilmaa 2,5 m<sup>3</sup>/s. Molemmat tulo- ja poistoilmaparit toimivat samoilla käyntiajoilla (Liite 4C).

Näillä käyntiajoilla yhden parin, eli yhden tuloilmapuolen ja poistoilmapuolen lämmöntalteenoton vuotuinen energiasäästö  $Q_{lä,säästö}$  rahaksi muutettuna lasketaan kaavalla 8.

$$\text{Energiasäästö} = \text{Hinta} * Q \quad (8)$$

Kahden identtisen järjestelmäparin vuotuinen energiasäästö (Energiasäästö 1) on kaksinkertainen.

Yhden parin Recal-laskentapalvelun antama vuotuinen energiasäästö  $Q_{lä,säästö}$  on n. 197 MWh/a. Energia öljyllä tuotettuna maksaa n. 70€/MWh (www.energianet.fi), joten vuotuiset energiasäästöt ovat (Kaava 8):

Energiasäästö (yksi tulo-/poistoilmapari) = 13790 €/a

Energiasäästö 1 = 27580 €/a

Käyntiaika 2: seuraavassa laskelmassa esitetään, kuinka ulkoilmavirran supistaminen vaikuttaa lämmöntalteenottojärjestelmän energiasäästöön. Jos tuloilmakone käyttää maanantaista perjantaihin 06.00–22.00 välisen ajan  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$  ulkoilmaa ja  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$  kierrätysilmaa, sekä muina aikoina pelkkää kierrätysilmaa, vuotuinen LTO-järjestelmän tuottama energiasäästö pienenee suhteessa suurempaan ulkoilmavirran käyttöasteeseen. Käyntiajat 1 vastaavat viikoittaista käyttöä muutettuna täydelle ilmavirralle:  $80 \text{ h} + 0,5 \cdot 40 \text{ h} = 100 \text{ h}$ . Käyntiajat 2 vastaavat viikoittaista käyttöä muutettuna täydelle ilmavirralle:  $0,5 \cdot 80 \text{ h} + 0 \text{ h} = 40 \text{ h}$ , joten energiankulutus ja säästö pienenevät 60 %. Energiasäästö käyntiajoilla 2 on energiasäästö 2 (Kaava 9).

$$\text{Energiasäästö 2} = 0,4 \cdot \text{Energiasäästö 1} \quad (9)$$

$$\text{Energiasäästö 2} = 0,4 \cdot 27580 \text{ €/a} = 11030 \text{ €/a}$$

### 6.7.2 Energiasäästöt RakMK:n mukaan laskettuna

Seuraavassa lasketaan neulaputkilämmönsiirtimen energiasäästöt Suomen RakMK:n osan D5 periaatteiden mukaisesti käyttämällä Porin kuukausittaisia säätietoja. Energiasäästölaskelmat on laskettu yhdelle koneparille. Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia  $Q_{lä}$  lasketaan kaavalla 10. Taulukossa 5 on esitetty energialaskenta ilman LTO:ta sekä neulaputkijärjestelmän mukaisella LTO-järjestelmällä  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  ilmavirran mukaan. Järjestelmä on laskettu käyntiaika 1:n mukaan.

$$Q_{lä} = \sum (H_{iv} (T_s - T_u) \Delta t) / 1000 \quad (10)$$

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö  $H_{iv}$  lasketaan kaavalla 11 ja laskelmat taulukossa 5.



$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v, poisto} t_d t_v (1 - \eta_a) \quad (11)$$

Taulukko 5. Kuukausittaisen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitseman energian  $Q_{lä}$  sekä ilmanvaihdon ominaislämpöhäviön laskenta käyntiajalla 1

Kuukausi	$T_u$ [°C]	$T_s - T_u$ [°C]	$H_{iv, LTO:lla}$ [W/K]	$H_{iv, ilman LTO:ta}$ [W/K]	$\Delta t$ [h]	$Q_{lä, LTO:lla}$ [kWh]	$Q_{lä, ilman LTO:ta}$ [kWh]
Tammikuu	- 8,53	26,53	1489	2857	744	29390	56392
Helmikuu	- 9,75	27,75	1489	2857	672	27767	53277
Maaliskuu	- 1,68	19,68	1489	2857	744	21802	41832
Huhtikuu	1,8	16,2	1489	2857	720	17368	33324
Toukokuu	10,8	7,2	1489	2857	744	7976	15304
Kesäkuu	16	2	1489	2857	720	2144	4114
Heinäkuu	14,7	3,3	1489	2857	744	3656	7015
Elokuu	16	2	1489	2857	744	2216	4251
Syyskuu	9,69	8,31	1489	2857	720	8909	17094
Lokakuu	3,95	14,05	1489	2857	744	15565	29865
Marraskuu	1,42	16,58	1489	2857	720	17775	34106
Joulukuu	- 3,85	21,85	1489	2857	744	24206	46445
<b>Yht:</b>						<b>178773</b>	<b>343019</b>

joissa,

$Q_{lä}$	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh
$H_{iv}$	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K
$\rho_i$	ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
$q_{v, poisto}$	poistoilmavirta, täydellä ilmavirralla 5 m <sup>3</sup> /s
$t_d$	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, 16h/24h
$t_v$	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, 5vrk/7vrk
$T_s$	sisäilman lämpötila, 18 °C
$T_u$	ulkoilman kuukausittainen keskilämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi
$\eta_a$	ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, 47,9 %

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytetään Recal-laskentapalvelun antamaa vuosihyötysuhdetta.

$$\begin{aligned} H_{iv,LTO:lla} &= 1490 \text{ W/K} \\ H_{iv,ilmanLTO:ta} &= 2860 \text{ W/K} \\ Q_{lä,LTO:lla} &= 178,8 \text{ MWh/a} \\ Q_{lä,ilmanLTO:ta} &= 343,0 \text{ MWh/a} \end{aligned}$$

Järjestelmän energiansäästö lasketaan nykyisen järjestelmän energiakulutuksen ja lämmöntalteenotolla varustetun järjestelmän energiakulutuksen erotuksena (Kaava 12).

$$\begin{aligned} Q_{lä,säästö} &= Q_{lä,ilmanLTO:ta} - Q_{lä,LTO:lla} \\ Q_{lä,säästö} &= 343,0 \text{ MWh/a} - 178,8 \text{ MWh/a} = 164,2 \text{ MWh/a} \end{aligned} \quad (12)$$

Järjestelmän energiansäästö on kaksi kertaa taulukon 5 antaman LTO-järjestelmän säästöjen suuruinen, koska järjestelmän kokonaisilmavirta on  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$$Q_{lä,säästö} \text{ (koko järjestelmä)} = 328 \text{ MWh/a}$$

Rahaksi muutettuna LTO-järjestelmän energiansäästö ilman häviöitä saadaan kaavalla 8.

$$\text{Energiasäästö} = 22988 \text{ €/a}$$

Seuraavassa lasketaan, paljonko järjestelmän poistoilmapuhaltimet vaativat sähkötehon lisäystä neulaputkipatterista johtuvan painehäviön takia (Kaava 13). Lasketaan myös, paljonko tuloilmapuolelle asennettavat neulaputkipatterit vaativat sähkötehon lisäystä tuloilmapuhaltimelta (Kaava 13) sekä nestepiirin aiheuttama painehäviö vaatii sähkötehon lisäystä nestepiirin pumpulta (Kaava 14). Nämä tehontarpeiden lisäykset nostavat sähkönkulutusta, ja sitä kautta energiakustannuksia. Energiahäviöt pitää vähentää LTO-järjestelmän tuottamasta energiasäästöstä.

Järjestelmässä tulo- ja poistoilmapuolella LTO-patterista aiheutuva painehäviö on 27 Pa. Huippumurin puhaltimen hyötysuhde on 66 % ja tuloilmapuhaltimen hyötysuhde on 70 %. Nestepiirin kokonaispainehäviö on patterien nestepuolen, putkiston sekä säätöventtiilin painehäviöiden summa. Neulaputkipatterin nestepuolen häviöt tulo- ja poistoilmapuolella on 96 kPa. Putkiston painehäviönä käytetään 30 kPa ja säätöventtiilin painehäviönä 100 kPa. Nestepiirin kokonaispainehäviö on 322 kPa, ja pumpun hyötysuhteena käytetään 70 %. Liuoksen massavirta neulaputkijärjestelmässä on 1,72 kg/s ja lämmönsiirtonesteenä käytettävän liuoksen tiheys on 1120 kg/m<sup>3</sup> (Liitteet 2A-3C).

$$P = \frac{q_v \times \Delta p}{\eta_{\text{puh.}}} = \frac{q_v \times \Delta p}{\eta_{\text{pumppu}}} \quad (13)$$

$$P = \frac{\frac{q_m \times \Delta p}{\rho}}{\eta_{\text{pumppu}}} \quad (14)$$

joissa,

$P$	lisääntynyt sähkötehon tarve, W
$q_v$	ilma- tai liuosvirta, m <sup>3</sup> /s
$q_m$	liuoksen massavirta, kg/s
$\Delta p$	painehäviö, Pa (ilmapuolen LTO-patteri tai nestepiiri)
$\eta_{\text{puh.}}$	puhaltimen hyötysuhde
$\eta_{\text{pumppu}}$	pumpun hyötysuhde
$\rho$	liuoksen tiheys, kg/m <sup>3</sup>

Tehonlisäystarpeet:

$P_{\text{poistoilmapuh.}}$	$\approx 205 \text{ W}$
$P_{\text{tuloilmapuh.}}$	$\approx 193 \text{ W}$
$P_{\text{pumppu}}$	$\approx 706 \text{ W}$

Pumppujen ja puhaltimien tehonlisäystarpeet kaksinkertaistuvat, kun lasketaan molempien tulo- ja poistoilmaparien painehäviöt. Koko järjestelmän tehonlisäystarve on

2208 W. Tehonlisästarve kerrotaan LTO-järjestelmän vuotuisella käyntiajalla, jolloin saadaan tehonlisäyksen vaatima energiamäärä. Tämä energiamäärä kerrotaan sähkön hinnalla, jolloin saadaan LTO-järjestelmän vuotuisesta energiasäästöstä vähennettyä tehonlisästarpeen kustannukset. Sähkön keskihinnaksi on arvioitu 70 €/MWh lämmityskauden aikana (www.energianet.fi).

Käyntiajoilla 1 puhaltimien ja pumppujen viikoittainen käyttö muutettuna täydelle ilmavirralla on 100 h/vko. Tämän perusteella järjestelmän vuotuinen käyttöaika on:

$$\text{Vuotuinen käyttöaika} = 100 \text{ h/vko} * 52 \text{ vko/a} = 5200 \text{ h/a.}$$

LTO-järjestelmän aiheuttama pumppujen ja puhaltimien lisääntynyt energiatarve lasketaan kaavalla 15.

$$Q_{LTO\text{-häviöt}} = P * t \quad (15)$$

jossa;

P      tehonlisästarve, W  
t      vuotuinen käyttöaika, h/a

$$Q_{LTO\text{-häviöt}} = 11,5 \text{ MWh/a}$$

Rahaksi muutettuna  $Q_{LTO\text{-häviöt}}$  lasketaan kaavalla 8.

$$\text{Energiahäviöt} = 805 \text{ €/a}$$

LTO-järjestelmän kokonaisenergasäästö (Energiasäästö 1) käyntiajoilla 1 saadaan vähentämällä LTO-järjestelmän vuotuisesta energiasäästöstä järjestelmän tuottamat energiahäviöt.

$$\text{Energiasäästö 1} = 22988 \text{ €/a} - 805 \text{ €/a} = 22183 \text{ €/a}$$

Käyntiajat 2 vastaavat 40 h viikoittaista käyttöä muutettuna täydelle ilmavirralla joiden energiankulutus ja säästö pienenevät 60 % suhteessa käyntiaikaan 1. Energiasäästö käyntiajan 2 mukaan lasketaan kaavalla 9.

$$\text{Energiasäästö 2} = 8873 \text{ €/a}$$

### 6.7.3 Takaisinmaksuajat Recal-laskentapalvelun energiasäästön mukaan

Järjestelmän suora takaisinmaksuaika (TA) on kummassakin tuloilmapatterin sijoitusvaihtoehdossa lähes sama (Kaava 16).

$$\text{TA} = \text{Kokonaisinvestointi} \div \text{Energiasäästö} \quad (16)$$

Neulaputkilämmöntalteenottojärjestelmän suoraksi takaisinmaksuajaksi käyntiajan 1 mukaisella energiansäästöllä 1 saadaan:

$$\text{TA} = 101500 \text{ €} \div 27580 \text{ €/a} = 3,7 \text{ vuotta}$$

Neljän vuoden huoltokustannukset (8000 €) nostavat järjestelmän kokonaisinvestoinnin hintaa ja todelliseksi takaisinmaksuajaksi saadaan (TA1):

$$\text{TA1} = 109500 \text{ €} \div 27580 \text{ €/a} = 4,0 \text{ vuotta}$$

Neulaputkilämmöntalteenottojärjestelmän suoraksi takaisinmaksuajaksi käyntiajan 2 mukaisella energiansäästöllä 2 saadaan:

$$\text{TA} = 101500 \text{ €} \div 11030 \text{ €/a} = 9,2 \text{ vuotta}$$

Kymmenen vuoden huoltokustannukset (20000€) nostavat järjestelmän todelliseksi takaisinmaksuajaksi (TA2):

$$\text{TA2} = 121500 \text{ €} \div 11030 \text{ €/a} = 11,0 \text{ vuotta}$$

#### 6.7.4 Takaisinmaksuajat RakMK:n energiasäästön mukaan

Neulaputkilämmöntalteenottojärjestelmän suora takaisinmaksuaika käyntiajan 1 mukaisella energiansäästöllä 1 saadaan kaavalla 16.

$$TA = 101500 \text{ €} \div 22183 \text{ €/a} = 4,6 \text{ vuotta}$$

Viiden vuoden huoltokustannukset (10000 €) nostavat järjestelmän kokonaisinvestoinnin hintaa ja todelliseksi takaisinmaksuajaksi saadaan (TA1):

$$TA1 = 111500 \text{ €} \div 22183 \text{ €/a} = 5,0 \text{ vuotta}$$

Neulaputkilämmöntalteenottojärjestelmän suoraksi takaisinmaksuajaksi käyntiajan 2 mukaisella energiansäästöllä 2 saadaan:

$$TA = 101500 \text{ €} \div 8873 \text{ €/a} = 11,4 \text{ vuotta}$$

11 vuoden huoltokustannukset (22000€) nostavat järjestelmän todelliseksi takaisinmaksuajaksi (TA2):

$$TA2 = 123500 \text{ €} \div 8873 \text{ €/a} = 13,9 \text{ vuotta}$$

## 7 LÄMMÖNTALTEENOTTO LAMELLIPATTEREILLA

### 7.1 Yleistä

LTO-ratkaisu rakennetaan vesi-glykolipiirillä, jolloin poistoilmakoneeseen tulee patteri, ja tuloilmakoneeseen vastapatteri. Ensimmäisessä vaihtoehdossa, järjestelmä 1, pohjoinen tuloilmakone ja pohjoinen poistoilmakone toimivat pareina ja eteläpäädyn koneet samoin pareina. Toisessa vaihtoehdossa, järjestelmä 2, korvataan kaksi vanhaa puhallinta yhdellä uudella poistokoneella, jonka eteen asennetaan patteri.

Käytännössä kummassakin vaihtoehdossa vanhat aksiaalipuhaltimet korvataan koteloiduilla poistoilmakoneilla, joissa on LTO-patteri, patterin molemmilla puolilla huolto-osat sekä taajuusmuuttajaohjattu puhallin. Vanhan aksiaalipuhaltimen teho ei tule kuitenkaan riittämään, johtuen LTO-patterin aiheuttamasta painehäviölisäyksestä.

Patterin eteen pitäisi laittaa G3-luokkaa oleva suodatin, jotta se pysyy puhtaana. Suodatin aiheuttaa ongelmia, koska hallissa hitsataan paljon, joten IS-hallin tapauksessa suodattimien vaihtotarve kasvaa liian suureksi. Ratkaisu tässä tilanteessa on jättää suodatin kokonaan pois ja varustaa poistokoneet harva- ja paksulamellisilla pattereilla. Hyväksytään se, että patteri joudutaan pesemään säännöllisin väliajoin.

Vanhat aksiaalipuhaltimet tulee jättää savunpoistopuhaltimiksi katolle, koska uudet koteloidut poistoilmamanpuhaltimet eivät täytä Suomen RakMK:n osan E2 lämpötilankestävyysluokkia sekä minimitoiminta-aikoja palotilanteessa sekä savunpoistopuhaltimelle standardissa SFS-EN 12101-3 asetettuja vaatimuksia.

## 7.2 Järjestelmä 1

### 7.2.1 Mitoitus

Järjestelmään valitaan kaksi 5 m<sup>3</sup>/s koteloitua poistoilmapuhallinta ja niille vastapatterit tuloilmakoneisiin. Poistoilmapuhaltimen, poistoilmapuolen LTO-patterin ja tuloisuuden patterin mitoituksessa käytetään IV- Produktin mitoitusohjelmaa (Liitteet 9A-9C).

### 7.2.2 Asennus

Koteloidut poistoilmakoneet voidaan sijoittaa vesikatolle niille erikseen Paroc-elementeistä rakennettuihin eristettyihin sääsuojiin. Kattoon tehdään erikseen imuaukot uusille poistoilmakoneille, koska vanhojen aksiaalipuhaltimien jäädessä savunpoistopuhaltimiksi niiden imuaukot jäävät käyttöön. Aukon päälle rakennetaan erillinen peti, johon poistoilmakone asennetaan. Aukon ja koneen väliin asennetaan kantikanavasta liitoskappale, joka eristetään ja pellitetään. Moottoroitu sulkupelti asennetaan jäteilmapuolen kanavaan poistoilmakoneen jälkeen. Poistoilmakoneelle on tehtävä hyvä taso, jotta huoltaminen onnistuu. Kun suodatinta ei laiteta, patteri tulee pestä tarpeeksi usein ja tason pitää olla pesu- ja huoltotoimenpiteitä helpottava ja ennen kaikkea turvallinen työskennellä. Poistoilmakoneiden sijaitessa vesikatolla ei poistoilmapuolta kanavoida erikseen, vaan poistoilma imetään katonrajasta poistoilmakoneen alapuolisesta imuaukosta kanavointikustannuksissa säästämiseksi.

LTO-pattereilla varustettujen poistoilmakoneiden sijaitessa vesikatolla, on kulkuyhteyksien oltava hyvät huolto varten. Vesikatolle tulee rakentaa kierreportaat.



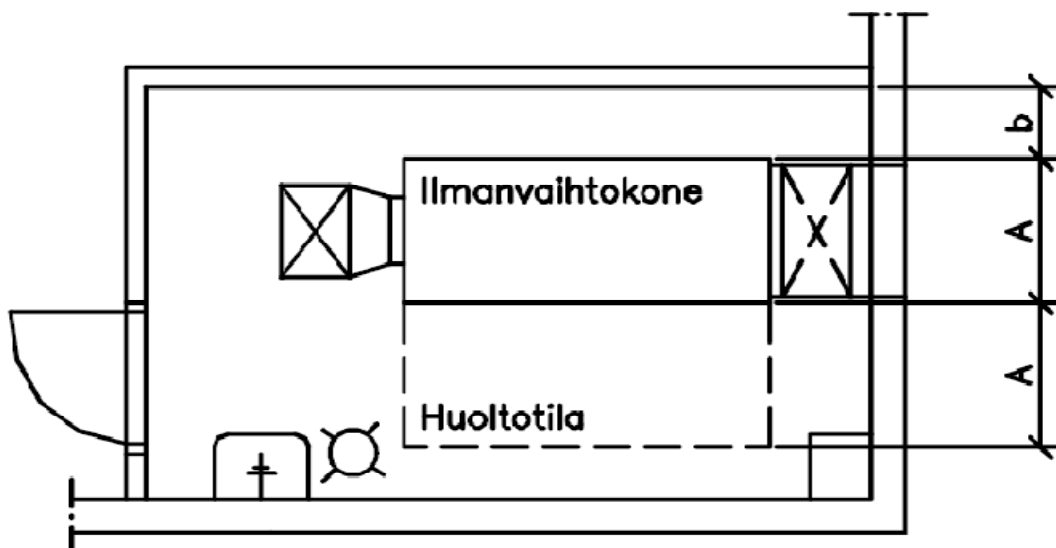
## 7.3 Järjestelmä 2

### 7.3.1 Mitoitus

Järjestelmään valitaan 10 m<sup>3</sup>/s koteloitu poistoilmapuhallin ja kummallekin tuloilmakoneelle vastapatterit. Poistoilmapuhaltimen, poistoilmapuolen LTO-patterin ja tuloilmapuolen patterin mitoituksessa käytetään IV- Produktin mitoitusohjelmaa (Liitteet 10A-10C).

### 7.3.2 Asennus

Järjestelmä rakennetaan yhdellä maantasalle sijoitettavalla poistoilmapuhaltimella. Poistokoneelle rakennetaan erillinen konehuone IS-hallin luodeseinustalle, ja jäteilma johdetaan seinää pitkin poistokanavalla vesikaton räystääskorkeuteen. Konehuone rakennetaan metallikehikosta ja Paroc-elementeistä. Koneen leveys on 2040 mm, huoltotilan leveys vähintään 2040 mm sekä koneen takana tilaa vähintään 800 mm. (Suomen RakMK D2 2010, 21)



Kuva 12. Koteloidun poistoilmakoneen huoltotilan sijoitus ja konehuoneen mitoitus. A= 2040mm, b= 0,4 kertaa koneen korkeus eli vähintään 800mm

Poistoilmapuhaltimen LTO-patteri palvelee kumpaakin tuloilmakonetta. LTO-piiri rakennetaan siten, että poistoilmapuolen patteri on yksin ja sen läpi menevä neste jaetaan tasan kahdelle tuloilmakoneen LTO-patterille.

Hallin kattoon sijoitetaan erillinen poistoilmakanavointi, jonka avulla poistoilma johdetaan poistoilmakoneelle. Poistoilmakanava sijoitetaan hallin kattoon niin ylös, ettei se ole siltanosturin tiellä ja LTO-patterille saadaan johdettua mahdollisimman lämmintä ilmaa. Poistoilmakanava eristetään ja pellitetään katosta alaspäin tulevalta osuudelta, jotta lämpötilan kerrostumien vuoksi kanavassa kulkeva ilma ei jäähy matkalla poistoilmakoneelle.

Poistoilmakanavointi suoritetaan kahdella suorakaidekanavalla, joiden päissä on imuaukot. Imuaukot on sijoitettu keskelle hallia. Siltanosturin kisko jättää vain 400 mm tilaa kanavalle laskea kattotuolien päältä, seinän ja kiskon välistä, lattian tasalle. Kattotuolien päältä laskevat kaksi suorakaidekanavaa ovat 1200x400 kokoisia ja poistoilmakanavat muuttuvat yhdeksi 1600x400 suorakaidekanavaksi hallin sisällä ennen läpivientä poistoilmakoneelle (Liite11). Poistoilmakoneen molemmille puolille sijoitetaan äänenvaimentimet sekä moottoroitu sulkupelti jäteilmapuolen äänenvaimentimen jälkeen.

#### 7.4 Järjestelmän hankintahinta

Järjestelmien hinnat on arvioinut Kari Koskela sekä Jari Peltola Ilmastointi Salminen Oy:stä (Taulukko 6).

Taulukko 6. Järjestelmien 1 ja 2 hinta-arviot

	Järjestelmä 1 [€] 2 kpl 5 m <sup>3</sup> /s poistokoneita	Järjestelmä 2 [€] 10 m <sup>3</sup> /s poistokone
Koneet	45000	50000
Putkiurakka	20000	24000
Sähkötyöt	2500	2500
Kanavointi	2000	8000
Konehuone	4000	30000
Metallipeti	4000	
Kierreportaat	7000	
Uudet kattoläpiviennit	3000	
<b>Yhteensä</b>	<b>87500</b>	<b>114500</b>

Lamellipatterijärjestelmien huoltokustannuksiksi on arvioitu kummallakin järjestelmällä 1500 €/a.

## 7.5 Energiasäästö

### 7.5.1 Energiasäästöt ilman häviöitä

Tuloilmakoneiden laskennalliset käyntiajat ovat samat kuin neulaputkilämmöntalteenottojärjestelmässä, eli käyntiajat 1 ja 2.

Yhden  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  koneen energiasäästö on käytännössä sama, kuin kahden  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  koneen säästö, koska kummankin lämmöntalteenottojärjestelmän vuosihyötysuhde sekä kokonaisilmavirta ovat samat.

Lamellipatterijärjestelmän energiasäästölaskelmat on laskettu yhdelle koneparille. Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia  $Q_{iv}$  lasketaan kaavalla 12. Taulukossa 5 on esitetty energialaskenta ilman LTO:ta sekä järjestelmän 1 ja 2 mukaisilla LTO-järjestelmillä  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  ilmavirran mukaan. Lamellipatterijärjestelmän energiasäästö on sama kuin neulaputkijärjestelmällä kun ei oteta häviöitä huomioon. Lamellipatterijärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytetään samaa hyötysuhdetta, kuin neulaputkilämmönsiirtimessä. Hyötysuhteessa on huomioitu huurteenestojärjestelmän aiheuttama vaikutus, joka on oletettu samansuuruiseksi.

Rahaksi muutettuna lamellipatterijärjestelmien 1 ja 2 energiasäästö ilman häviöitä saadaan kaavalla 8 ja on sama kuin neulaputkijärjestelmällä.

$$\text{Energiasäästö} = 22988 \text{ €/a}$$

### 7.5.2 Kokonaisenergiesäästöt

Seuraavassa lasketaan kummankin lamellipatterijärjestelmän aiheuttamat teholliset häviöt pumpuissa ja puhaltimissa.

Järjestelmässä 1 tulo- ja poistoilmapuolella lamellipattereista aiheutuva painehäviö on 361 Pa/patteri. Poistoilmapuhaltimen hyötysuhde on 64,7 % ja tuloilmapuhaltimen hyötysuhde on 70 %. Patterien nestepuolen painehäviöt ovat 99 kPa, putkiston 30 kPa sekä säätöventtiilin 100 kPa. Nestepiirin kokonaispainehäviö on 328 kPa, ja pumpun hyötysuhteena käytetään 70 %. Liuosvirta lamellipatterijärjestelmässä 1 on 0,0021 m<sup>3</sup>/s (Liitteet 9B ja 9C).  $P_{puh.}$  ja  $P_{pumppu}$  lasketaan kaavalla 13.

$$\begin{aligned} P_{poistoilmapuh.} &\approx 558 \text{ W} \\ P_{tuloilmapuh.} &\approx 515 \text{ W} \\ P_{pumppu} &\approx 984 \text{ W} \end{aligned}$$

Lamellipatterijärjestelmän 1 aiheuttama pumpun ja puhaltimien lisääntynyt tehontarve kaksinkertaistuu, kun lasketaan koko järjestelmän häviöitä. Lamellipatterijärjestelmän 1 tehonlisäystarve on 4,1 kW. Käyntiaikojen 1 mukaisella vuotuisella käyttöajalla 5200 h/a järjestelmän tuottamat energiahäviöt lasketaan kaavalla 15.

$$Q_{LTO-häviöt} = 21,3 \text{ MWh/a}$$

Rahaksi muutettuna energiamäärä lasketaan kaavalla 8.

$$\text{Energiahäviöt} = 1491 \text{ €/a}$$

Lamellipatterijärjestelmän 1 kokonaisenergiesäästö (Energiasäästö 1) käyntiajoilla 1 saadaan vähentämällä LTO-järjestelmän vuotuisesta energiasäästöstä järjestelmän tuottamat energiahäviöt.

$$\text{Energiasäästö 1} = 22988 \text{ €/a} - 1491 \text{ €/a} = 21497 \text{ €/a}$$

Energiasäästö käyntiajan 2 mukaan lasketaan kaavalla 9.

$$\text{Energiasäästö 2} = 8599 \text{ €/a.}$$

Lamellipatterijärjestelmässä 2 tuloilmapuolella patterista aiheutuva painehäviö on 195 Pa. Poistoilmapatterien painehäviöt on yhteensä 195 Pa/patteri. Poistoilmapuhaltimen hyötysuhde on 60 % ja tuloilmapuhaltimen hyötysuhde on 70 %. Nestepuolella patterien painehäviöt ovat yhteensä 271 kPa, putkistojen 60 Pa sekä säätöventtiilien 200 kPa. Nestepiirien kokonaispainehäviö on yhteensä 531 kPa, ja pumppujen hyötysuhteena käytetään 70 %. Liuosvirta lamellipatterijärjestelmässä 2 on 0,0041 m<sup>3</sup>/s. (Liitteet 10B ja 10C).  $P_{puh.}$  ja  $P_{pumppu}$  lasketaan kaavalla 13.

$$P_{poistoilmapuh.} \approx 325 \text{ W}$$

$$P_{tuloilmapuh.} \approx 279 \text{ W}$$

$$P_{pumppu} \approx 311 \text{ W}$$

Lamellipatterijärjestelmän 2 aiheuttama pumppujen ja puhaltimien lisääntynyt tehontarve on 915 W. Käyntiaikojen 1 mukaisella vuotuisella käyttöajalla 5200 h/a, järjestelmän tuottamat energiahäviöt lasketaan kaavalla 15.

$$Q_{LTO\text{-häviöt}} = 4,8 \text{ MWh/a}$$

Rahaksi muutettuna energiamäärä lasketaan kaavalla 8.

$$\text{Energiahäviöt} = 333 \text{ €/a}$$

Lamellipatterijärjestelmän 2 kokonaisenergiasäästö (Energiasäästö 1) käyntiajoilla 1 saadaan vähentämällä LTO-järjestelmän vuotuisesta energiasäästöstä järjestelmän tuottamat energiahäviöt.

$$\text{Energiasäästö 1} = 22988 \text{ €/a} - 333 \text{ €/a} = 22655 \text{ €/a}$$

Energiasäästö käyntiajan 2 mukaan lasketaan kaavalla 9.

Energiasäästö 2 = 9062 €/a

## 7.6 Takaisinmaksuaika

### 7.6.1 Järjestelmä 1

Lamellipatterijärjestelmän 1 suora takaisinmaksuaika käyntiajan 1 mukaisella energiansäästöllä 1 saadaan kaavalla 16.

$$TA = 87500 \text{ €} \div 21497 \text{ €/a} = 4,1 \text{ vuotta}$$

Neljän vuoden huoltokustannukset,  $4 * 1500 \text{ €}$ , nostavat järjestelmän kokonaisinvestoinnin hintaa ja todelliseksi takaisinmaksuajaksi saadaan (TA1):

$$TA1 = 93500 \text{ €} \div 21497 \text{ €/a} = 4,5 \text{ vuotta}$$

Lamellipatterijärjestelmän 1 suoraksi takaisinmaksuajaksi käyntiajan 2 mukaisella energiansäästöllä 2 saadaan:

$$TA = 87500 \text{ €} \div 8599 \text{ €/a} = 10,2 \text{ vuotta}$$

10 vuoden huoltokustannukset,  $10 * 1500 \text{ €}$ , nostavat järjestelmän todelliseksi takaisinmaksuajaksi (TA2):

$$TA2 = 102500 \text{ €} \div 8599 \text{ €/a} = 11,9 \text{ vuotta}$$

## 7.6.2 Järjestelmä 2

Lamellipatterijärjestelmän 2 suora takaisinmaksuaika käyntiajan 1 mukaisella energiansäästöllä 1 saadaan kaavalla 16.

$$TA = 114500 \text{ €} \div 22655 \text{ €/a} = 5,1 \text{ vuotta}$$

Viiden vuoden huoltokustannukset,  $5 * 1500 \text{ €}$ , nostavat järjestelmän kokonaisinvestoinnin hintaa ja todelliseksi takaisinmaksuajaksi saadaan (TA1):

$$TA1 = 122000 \text{ €} \div 22655 \text{ €/a} = 5,5 \text{ vuotta}$$

Lamellipatterijärjestelmän 2 suoraksi takaisinmaksuajaksi käyntiajan 2 mukaisella energiansäästöllä 2 saadaan:

$$TA = 114500 \text{ €} \div 9062 \text{ €/a} = 12,6 \text{ vuotta}$$

13 vuoden huoltokustannukset,  $13 * 1500 \text{ €}$ , nostavat järjestelmän todelliseksi takaisinmaksuajaksi (TA2):

$$TA2 = 134000 \text{ €} \div 9062 \text{ €/a} = 14,8 \text{ vuotta}$$

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää kustannustehokkaita ratkaisuja parantamaan IS-hallin nykyistä ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmää sekä tutkia erilaisten lämmöntalteenottoratkaisujen toteuttamisen kannattavuutta.

Halli on ilmalämmitteinen, ja tästä johtuen lämpöolosuhteet ovat voimakkaasti kerrostuneita talvella. Ylilämpöinen tuloilmasuihku nousee hajottajista kattoon, eikä ilmanjako pysty huuhtelemaan rakennuksen oleskeluvyöhykettä lämpimällä ilmalla tehokkaasti. Hallin katosta lämmin ilma joko kierrätetään tuloilmakoneiden kautta takaisin halliin, tai puhalletaan ulos aksiaalipuhaltimilla ilman poistoilman lämmöntalteenottoa.

Hallin ilmanjakomenetelmiin löydettiin parannusehdotuksia, joita tulee toteuttaa jo ennen seuraavan lämmityskauden alkua. Halliin sopivaksi lämmöntalteenottojärjestelmäksi valittiin nestekiertoinen järjestelmä. Nestekiertoisesta järjestelmästä tehtiin kahden siirrintyyppin järjestelmä-, energiasäästö- ja kustannusvertailut (Taulukko 7). Nykyisillä ulkoilmavirran käyttöasteilla (käyntiaika 2) ei ole järkevää toteuttaa lämmöntalteenottojärjestelmää, koska järjestelmästä saatava hyöty (takaisinmaksuaika 2) ei pysty pienentämään nykyistä öljynkulutusta (Taulukot 1 ja 2) kannattavasti. Jos ulkoilmavirran käyttöä lisätään käyntiaikojen 1 mukaisiksi, järjestelmät tulevat kannattavaksi (takaisinmaksuaika 1). Käyntiaikojen lisääminen voi tulla tarpeelliseksi, jos hallissa mm. hitsauksen määrä lisääntyy ja siten ulkoilmavirran tarve kasvaa.

Taulukko 7. Lämmöntalteenottojärjestelmien kustannukset ja takaisinmaksuajat

	Neulaputkijärjestelmä	Lamellipatteri-järjestelmä 1 2 kpl 5 m <sup>3</sup> /s poistokoneita	Lamellipatteri-järjestelmä 2 10 m <sup>3</sup> /s poistokone
Hankintahinta [€]	101500	87500	114500
Huoltokustannukset [€/a]	2000	1500	1500
Takaisinmaksuaika 1	5 vuotta	4,5 vuotta	5,5 vuotta
Takaisinmaksuaika 2	14 vuotta	12 vuotta	15 vuotta



## LÄHTEET

Ahokas, R. 2010. Suomen rakennusmääräyskokoelman osa C3. Rakennuksen lämmöneristys. Viitattu 5.4.2010.

[http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010\\_suomi\\_221208.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010_suomi_221208.pdf)

Ahokas, R. 2003. Suomen rakennusmääräyskokoelman osa C4. Lämmöneristys. Viitattu 5.4.2010.

<http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>

IV-Produktin lamellipatterijärjestelmän ja poistopuhaltimien tekniset tiedot ja mitoitusohjelma.

<http://www.ivprodukt.se/Pages/Page.aspx?pageId=38&contentPageId=904&limRedir=1>

Kalliomäki, P. 2010. Suomen rakennusmääräyskokoelman osa D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Viitattu 5.4.2010.

[http://www.finlex.fi/data/normit/34164-D2-2010\\_suomi\\_22-12-2008.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/34164-D2-2010_suomi_22-12-2008.pdf)

Kalliomäki, P. 2007. Suomen rakennusmääräyskokoelman osa D5. Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Viitattu 5.4.2010.

<http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>

Markus Castrén. 2006. Diplomityö. Nestekiertoisten lämmöntalteenottojärjestelmien vuosihyötysuhteet.

Neste, AIR-IX, Ekono. 1990. Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys.

Neste. 1987. Teollisuushallin lämmityksen ja ilmastoinnin suunnittelutietoa.

Neste. 1987. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton käyttö- ja suunnittelutietoa teollisuudelle.

Railio, J. 2009. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. Viitattu 5.4.2010.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/attachments/sem2009/railio.pdf>

Retermia Oy:n neulaputkijärjestelmän tekniset tiedot.

<http://www.retermia.fi/fi/>

Safek-huippuimurin mitoitus tiedot.

<http://www.koja.fi/?id=46>

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.

## LIITTEET

Liite 1	Blandovent lämpötilantasaaja
Liite 2A	Tuloilmakoneen neulaputkilämmönsiirrin rakenne-osana, mitoitus
Liite 2B	Huippuimurin neulaputkilämmönsiirrin, mitoitustiedot
Liite 2C	Neulaputkimitoitus, rakenne-osa
Liite 3A	Tuloilmakoneen Retermia-ulkoilmasäleikkö, mitoitustiedot
Liite 3B	Huippuimurin neulaputkilämmönsiirrin, mitoitustiedot
Liite 3C	Neulaputkimitoitus, ulkoilmasäleikkö
Liite 4A	Neulaputkilämmönsiirrinjärjestelmän tunnusluvut
Liite 4B	Neulaputkilämmönsiirrinjärjestelmän tunnusluvut
Liite 4C	Ilmanvaihtolaitoksen käyttötiedot neulaputkijärjestelmällä
Liite 4D	Neulaputkilämmönsiirrinjärjestelmän energiakaavio
Liite 5A	Poistoilmapuolen neulaputkilämmönsiirtimen mittakuva
Liite 5B	Poistoilmapuolen neulaputkilämmönsiirtimen periaatekuva
Liite 5C	Poistoilmapuolen kattoläpiviennin mittakuva
Liite 6A	Ulkoilmasäleikön mittakuva
Liite 6B	Ulkoilmasäleikön periaatekuva
Liite 7	Safek 63 huippuimurin puhallinkäyrästä
Liite 8	Neulaputkilämmönsiirrinjärjestelmän huurteenesto, toimintaselostus
Liite 9A	Lamellipatterijärjestelmä 1, poistoilmakoneen ja pattereiden mittakuvat
Liite 9B	Lamellipatterijärjestelmä 1, poistoilmakoneen tekniset tiedot
Liite 9C	Lamellipatterijärjestelmä 1, pattereiden tekniset tiedot
Liite 10A	Lamellipatterijärjestelmä 2, poistoilmakoneen ja pattereiden mittakuvat
Liite 10B	Lamellipatterijärjestelmä 2, poistoilmakoneen tekniset tiedot
Liite 10C	Lamellipatterijärjestelmä 2, pattereiden tekniset tiedot
Liite 11	Suorakaidekanavan mitoitusaulukko

## Lämpötilantaasaajat

**Blandovent**



- Tasaaja lämpötilat.
- Sopii kattokorkeuksille 4-20 m
- Säädettävissä
- Ilmanhajoittaja säädettävissä 0-100 astetta.
- Alhainen äänitaso

Blandovent aientaa lämmityskustannuksia tasamalla lämpötilat lattian ja katon välillä. Blandovent voidaan asentaa keikkalle lämpötilan tasainnukseen, ilmanliiktoon tai käyttää keuhkittuun ilmanvirtaukseen.

Sisänsäädin on aksiaalipuhallin on erittäin hiljainen. Kaapeli on valmistettu joustavasta muovista. Ilmanhajoittaja on valmistettu alumiinista.

Blandovent ripustetaan katulta n. 0,5 m katosta. Ilmanhajoittajan säädössä on huomioitava lattian tasolla olevat kohteet. Blandovent on aina kytkettävä lämpöjohtokäyttöön AWE-SK. Huonotermostaatti, esim. RT 0-30 voidaan kytkeä tasoojaan.

## Blandovent

Jännite/Taajuus	V/50Hz	230
Vähe	-	1
Teho	W	63
Virta	A	0,28
Muotoilu ilmeistä	m <sup>2</sup> /s	0,08 (3000)
Pyörimisnopeus	min <sup>-1</sup>	900
Äänipainetaso 3 m	dB(A)	43
Paino	kg	5,5
Moottorisuoja		AWE-SK
Pyörimisnopeus säätö, 0-portainen	Muuttaja	RTRE 1,5
Pyörimisnopeus säätö, portaaton	Tyylitön	REE 1
Kytkevätkaavio sivut 13-15		5



## TULOILMAPATTERIT: YLEISET TIEDOT

Lämpöteho, yhteensä	158.71 kW
Neulaputkimäärä, yhteensä	528.00 m
Riviluku	3
Ilman tilavuusvirta	5.00 m <sup>3</sup> /s
Ilman massavirta	6.00 kg/s
Tulolämpötila	-29.0 °C
Lähtölämpötila	-2.7 °C
Otsapintanopeus	0.77 m/s
* Ilmapuolen painehäviö	27.34 Pa
Tuloilmapattereiden vesitilavuus	84.10 l
Nesteen massavirta	1.72 kg/s
Tulolämpötila	10.5 °C
Lähtölämpötila	-15.4 °C
Virtausnopeus	0.77 m/s

## TULOILMAPATTERIT:

1 laite(tta)

Tyyppi	TK LTO-ESIS/Future 1812	kätsyys oikea
Lukumäärä	1 laite(tta)	
* Lämpöteho	158.71 kW	
Neulaputkimäärä	528.00 m	
Putkiläpimenoja	16	
Pass	6	
Putkea/läpimeno	33.00 m	
Putkea/rivitaso: 5.50 x 1	5.50 m	
* Nestepuolen painehäviö	95.88 kPa	
Nesteen virtausnopeus	0.77 m/s	
Patterin leveys	1.99 m	
Patterin korkeus	1.35 m	
Patterin syvyys	1.20 m	
Aukon pinta-ala	2.37 m <sup>2</sup>	
Patterin otsapinta-ala	6.51 m <sup>2</sup>	
Patterin vesitilavuus	84.10 l	
Ilman tilavuusvirta	5.00 m <sup>3</sup> /s	
Ilman massavirta	6.00 kg/s	
Nesteen massavirta	1.72 kg/s	

DN 65 / 64

Neulalämmönsiirrin osa toimitetaan Retermian tehtaalle omalla koneskkellilla ja irtonaisella karsipaneelilla.

Retermia osan molemmiin puoliin tulee sijoittaa 1000 mm syvät huolto-osat.

## POISTOILMAPATTERIT: YLEISET TIEDOT

Lämpöteho, yhteensä	158.71 kW
Neulaputkimäärä, yhteensä	528.00 m
Poistoilman kosteus	25.0 %
Ilman massavirta, yhteensä	5.90 kg/s
Tulolämpötila, kaasu	23.0 °C
Lähtölämpötila, kaasu	-1.3 °C
Ilman lämpökapasitetti virta	6.53 kW/K
Otsapintanopeus	0.77 m/s
* Ilmapuolen painehäviö	27.36 Pa
Poistopattereiden vesitilavuus	84.10 l
Nesteen massavirta	1.72 kg/s
Tulolämpötila	-15.4 °C
Lähtölämpötila	10.5 °C
Nesteen mitoitusnopeus	0.77 m/s

## POISTOILMAPATTERIT 1 laite(tta)

Tyyppi	PK LTOH / es. SAFEK-63
Lukumäärä	1 laite(tta)
* Lämpöteho/laite	158.71 kW
Ilman tulolämpötila	23.0 °C
Ilman lähtölämpötila	-1.2 °C
Patterin vesitilavuus	84.1 l
Neulaputkimäärä/laite	528.00 m
Putkiläpimenoja/laite	16
Pass	6
Putkea/läpimeno	33.00 m
Putkea/rivitaso: 5.50 x 1	5.50 m
Riviluku	3
Patterin pituus	2.30 m
Patterin korkeus	1.27 m
Patterin syvyys	2.30 m
Patterin otsapinta-ala	6.51 m <sup>2</sup>
* Ilman tilavuusvirta/laite	5.00 m <sup>3</sup> /s
Nesteen massavirta/laite	1.72 kg/s
Nesteen virtausnopeus	0.77 m/s
* Nestepuolen painehäviö	95.88 kPa

DN 65 / 64

## ITEROINTIARVOT:

ILMA	tulo	6.00 kg/s 6.04 kW/K	5.00 m <sup>3</sup> /s
	poisto	5.90 kg/s 6.53 kW/K	5.00 m <sup>3</sup> /s
LS-neste		1.72 kg/s 6.13 kW/K	35.0 % VGL Etyleeniglykoli (Dowcal 10)
Lämpötilahyötysuhde			0.51
Lämpöteho			158.71 kW
Putkipituudet	T/P	528.00 m	528.00 m
Lämpötilat	T1/T2	-29.0 °C	-2.7 °C
	T3/T4	23.0 °C	-1.3 °C
	T8/T9	10.5 °C	-15.4 °C

## TULOILMAPATTERIT: YLEISET TIEDOT

Lämpöteho, yhteensä	158.71 kW
Neulaputkimäärä, yhteensä	528.00 m
Riviluku	3
Ilman tilavuusvirta	5.00 m <sup>3</sup> /s
Ilman massavirta	6.00 kg/s
Tulolämpötila	-29.0 °C
Lähtölämpötila	-2.7 °C
Otsapintanopeus	0.77 m/s
* Ilmapuolen painehäviö	27.34 Pa
Tuloilmapattereiden vesitilavuus	84.10 l
Nesteen massavirta	1.72 kg/s
Tulolämpötila	10.5 °C
Lähtölämpötila	-15.4 °C
Virtausnopeus	0.77 m/s

## TULOILMAPATTERIT:

1 laite(tta)

Tyyppi	TK LTO-ESIS./Ulkosäleikkö
Lukumäärä	1 laite(tta)
* Lämpöteho	158.71 kW
Neulaputkimäärä	528.00 m
Putkiläpimenoja	16
Pass	6
Putkea/läpimeno	33.00 m
Putkea/rivitaso: 5,50 x 1	5.50 m
* Nestepuolen painehäviö	95.88 kPa
Nesteen virtausnopeus	0.77 m/s
Patterin leveys	2.20 m
Patterin korkeus	1.27 m
Patterin syvyys	0.86 m
Aukon pinta-ala	2.37 m <sup>2</sup>
Patterin otsapinta-ala	6.51 m <sup>2</sup>
Patterin vesitilavuus	84.10 l
Ilman tilavuusvirta	5.00 m <sup>3</sup> /s
Ilman massavirta	6.00 kg/s
Nesteen massavirta	1.72 kg/s

DN 65 / 64

Neulalämmörsiimin varustetaan päätä avattavalla huoltokannella.



## POISTOILMAPATTERIT: YLEISET TIEDOT

Lämpöteho, yhteensä	158.71 kW
Neulaputkimäärä, yhteensä	528.00 m
Poistoilman kosteus	25.0 %
Ilman massavirta, yhteensä	5.90 kg/s
Tulolämpötila, kaasu	23.0 °C
Lähtölämpötila, kaasu	-1.3 °C
Ilman lämpökapasiteetti virta	6.53 kW/K
Otsapintanopeus	0.77 m/s
* Ilmapuolen painehäviö	27.36 Pa
Poistopattereiden vesitilavuus	84.10 l
Nesteen massavirta	1.72 kg/s
Tulolämpötila	-15.4 °C
Lähtölämpötila	10.5 °C
Nesteen mitoitusnopeus	0.77 m/s

## POISTOILMAPATTERIT

1 laite(tta)

Tyyppi	PK LTOH / es. SAFEK-63
Lukumäärä	1 laite(tta)
* Lämpöteho/laite	158.71 kW
Ilman tulolämpötila	23.0 °C
Ilman lähtölämpötila	-1.2 °C
Patterin vesitilavuus	84.1 l
Neulaputkimäärä/laite	528.00 m
Putkiläpimenoja/laite	16
Pass	6
Putkea/läpimeno	33.00 m
Putkea/rivitaso: 5.50 x 1	5.50 m
Riviluku	3
Patterin pituus	2.30 m
Patterin korkeus	1.27 m
Patterin syvyys	2.30 m
Patterin otsapinta-ala	6.51 m <sup>2</sup>
* Ilman tilavuusvirta/laite	5.00 m <sup>3</sup> /s
Nesteen massavirta/laite	1.72 kg/s
Nesteen virtausnopeus	0.77 m/s
* Nestepuolen painehäviö	95.88 kPa

DN 65 / 64

SAKU NIEMINEN  
NEULAMITOITUS

16.02.2010

IS- WORKS Alt 2 / FIN2010-0009

Sivu:4

## ITEROINTIARVOT:

ILMA	tulo	6.00 kg/s 6.04 kW/K	5.00 m <sup>3</sup> /s
	poisto	5.90 kg/s 6.53 kW/K	5.00 m <sup>3</sup> /s
LS-neste		1.72 kg/s 6.13 kW/K	35.0 % VGL. Etyleeniglykoli (Dowcal 10)
Lämpötilahyötysuhde			0.51
Lämpöteho			158.71 kW
Putkipituudet	T/P	528.00 m	528.00 m
Lämpötilat	T1/T2	-29.0 °C	-2.7 °C
	T3/T4	23.0 °C	-1.3 °C
	T8/T9	10.5 °C	-15.4 °C



### Retermia LTO- järjestelmän tunnusluvut

kohde: IS Works  
suunnittelija: Samk / Saku Nieminen 6.4.2010

<u>Tulopatterien mitoitustiedot:</u>			<u>Poistopatterien mitoitustiedot:</u>		
Mitoitusilmavirta	<b>5,00</b>	[m <sup>3</sup> /s]	Mitoitusilmavirta	<b>5,00</b>	[m <sup>3</sup> /s]
kokonais nestevirta	1,72	[kg/s]	kokonais nestevirta	1,72	[kg/s]

<u>Liuospiirin mitoitustiedot:</u>			<u>Yleiset tiedot:</u>		
LS neste:	Etyleeniglykoli		LTO:n jälkeisen ilman max It	18	[C]
liuosvahuus	35	[%]	laskenta vuosi	1990	
putkiston painehäviö	20	[kPa]	laskenta paikkakunta:	Tampere	
3 - tie venttiin vaikutusaste	15	[%]	laskennallinen epätarkkuus	5	[%]
pumpun hyötysuhde	70	[%]			

### Tunnusluvut:

<b>Tuloilman vuosihyötysuhde</b>	<b>47,9</b>	<b>%</b>
<b>LTO:n vuotuinen energiakerroin</b>	<b>196,9</b>	
- LTO- järjestelmän vuotuinen energian säästö	<b>196,9</b>	<b>MWh/a</b>
- Lämmön hinta	40	€/MWh
- Sähkön hinta	80	€/MWh
- LTO:sta aiheutuva taloudellinen säästö	<b>7876,9</b>	<b>€/a</b>
- LTO- järjestelmän vuotuinen sähkön kulutus	<b>5,71</b>	<b>MWh/a</b>
LTO:n vuotuisen sähkönkulutuksen kustannus	<b>456,4</b>	<b>€/a</b>
<b>Vuotuinen taloudellinen säästö</b>	<b>7420,4</b>	<b>€/a</b>

Lämmön talteenotto on toteutettu hajautetusti 1 kpl poistopuolen neulalämmönsiirtimellä ja 1 kpl tuloisuuden neulalämmönsiirtimellä.

Retermia LTO- järjestelmän tuloilman vuosihyötysuhteen laskennassa on huomioitu eri suuret tulo- ja poistoilmavirrat.

Tuloilman vuosihyötysuhde lasketaan jakamalla vuotuinen LTOlla tuloilmaan siirretty lämmitysenergia vuotuisella tuloilman lämmitysenergian tarpeella:

$$\text{Tuloilman vuosihyötysuhde : } \varepsilon_T = \frac{Q_{LTO}}{Q_{TOT}} = \frac{Q_{LTO}}{Q_{LTO} + Q_{JÄLK}}$$

$$\text{LTO:n energiakerroin: } E_{LTO} = \frac{Q_{LTO}}{Q_S}$$

missä  $Q_{LTO}$  on vuotuinen LTO:lla tuloilmaan siirretty lämpöenergia [kWh]  
 $Q_{TOT}$  on vuotuinen tuloilman lämmitysenergian tarve [kWh]  
 $Q_{JÄLK}$  on vuotuinen tuloilman jälkilämmitysenergian tarve [kWh]  
 $Q_{SÄHKÖ}$  LTO-järjestelmän vuotuinen sähkönkulutus [kWh]

Retermia LTO- järjestelmän poistoilman vuosihyötysuhde saadaan kertomalla tuloilman vuosihyötysuhde tulo- ja poistoilmavirtojen suhteella  $R_{LTO}$ .

Tulo- ja poistoilmavirtojen suhde:	$R_{LTO} =$	<b>1,00</b>
<b>Poistoilman vuosihyötysuhde</b>	<b>47,9</b>	<b>%</b>



$t_{\text{ulko}}$ [C]	$Q_{\text{tot}}$ [kWh]	$Q_{\text{jalk}}$ [kWh]	$Q_{\text{LTO}}$ [kWh]
-32	0	0	0
-31	0	0	0
-30	0	0	0
-29	0	0	0
-28	0	0	0
-27	0	0	0
-26	0	0	0
-25	0	0	0
-24	0	0	0
-23	0	0	0
-22	59	31	28
-21	1268	683	585
-20	1579	871	707
-19	1634	903	732
-18	4423	2392	2031
-17	3358	1833	1525
-16	2666	1408	1258
-15	3321	1796	1525
-14	4499	2441	2057
-13	2710	1461	1249
-12	3017	1628	1389
-11	4118	2199	1920
-10	5834	3059	2774
-9	7761	4092	3669
-8	8203	4320	3884
-7	5281	2787	2494
-6	9443	5005	4438
-5	13784	7182	6602
-4	17621	9187	8435
-3	25077	13132	11945
-2	31700	16485	15215
-1	32261	16884	15377
0	38763	20106	18657
1	25962	13528	12434
2	23572	12158	11414
3	21238	10943	10295
4	18009	9297	8712
5	14029	7286	6743
6	14218	7311	6907
7	9868	5085	4784
8	11492	5899	5593
9	10017	5141	4876
10	7782	3962	3820
11	7744	3986	3758
12	5753	2945	2808
13	4726	2417	2309
14	3966	2046	1920
15	2495	1284	1212
16	1307	678	628
17	461	246	215
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0
<b>Yhteensä [MWh]</b>	<b>411,0</b>	<b>214,1</b>	<b>196,9</b>

Ilmastointilaitoksen käyttötiedot:

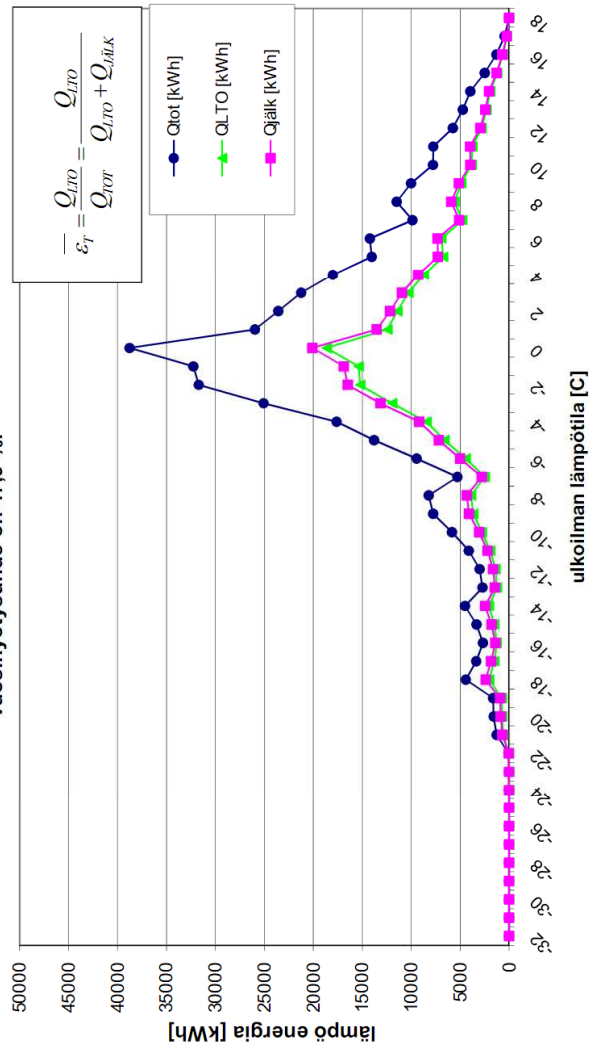
maanantai - perjantai		ilmamäärä prosentteina mitoitusilmavirrasta [%]			lauantai		ilmamäärä prosentteina mitoitusilmavirrasta [%]			sunnuntai		ilmamäärä prosentteina mitoitusilmavirrasta [%]		
aika	100	ilma2	ilma3	100	ilma2	ilma3	aika	100	ilma2	ilma3	aika	100	ilma2	ilma3
0:00 - 1:00			x				0:00 - 1:00				0:00 - 1:00			
1:00 - 2:00			x				1:00 - 2:00				1:00 - 2:00			
2:00 - 3:00			x				2:00 - 3:00				2:00 - 3:00			
3:00 - 4:00			x				3:00 - 4:00				3:00 - 4:00			
4:00 - 5:00			x				4:00 - 5:00				4:00 - 5:00			
5:00 - 6:00			x				5:00 - 6:00				5:00 - 6:00			
6:00 - 7:00			x				6:00 - 7:00				6:00 - 7:00			
7:00 - 8:00			x				7:00 - 8:00				7:00 - 8:00			
8:00 - 9:00			x				8:00 - 9:00				8:00 - 9:00			
9:00 - 10:00			x				9:00 - 10:00				9:00 - 10:00			
10:00 - 11:00			x				10:00 - 11:00				10:00 - 11:00			
11:00 - 12:00			x				11:00 - 12:00				11:00 - 12:00			
12:00 - 13:00			x				12:00 - 13:00				12:00 - 13:00			
13:00 - 14:00			x				13:00 - 14:00				13:00 - 14:00			
14:00 - 15:00			x				14:00 - 15:00				14:00 - 15:00			
15:00 - 16:00			x				15:00 - 16:00				15:00 - 16:00			
16:00 - 17:00			x				16:00 - 17:00				16:00 - 17:00			
17:00 - 18:00			x				17:00 - 18:00				17:00 - 18:00			
18:00 - 19:00			x				18:00 - 19:00				18:00 - 19:00			
19:00 - 20:00			x				19:00 - 20:00				19:00 - 20:00			
20:00 - 21:00			x				20:00 - 21:00				20:00 - 21:00			
21:00 - 22:00			x				21:00 - 22:00				21:00 - 22:00			
22:00 - 23:00			x				22:00 - 23:00				22:00 - 23:00			
23:00 - 24:00			x				23:00 - 24:00				23:00 - 24:00			

Ilmavirrat:

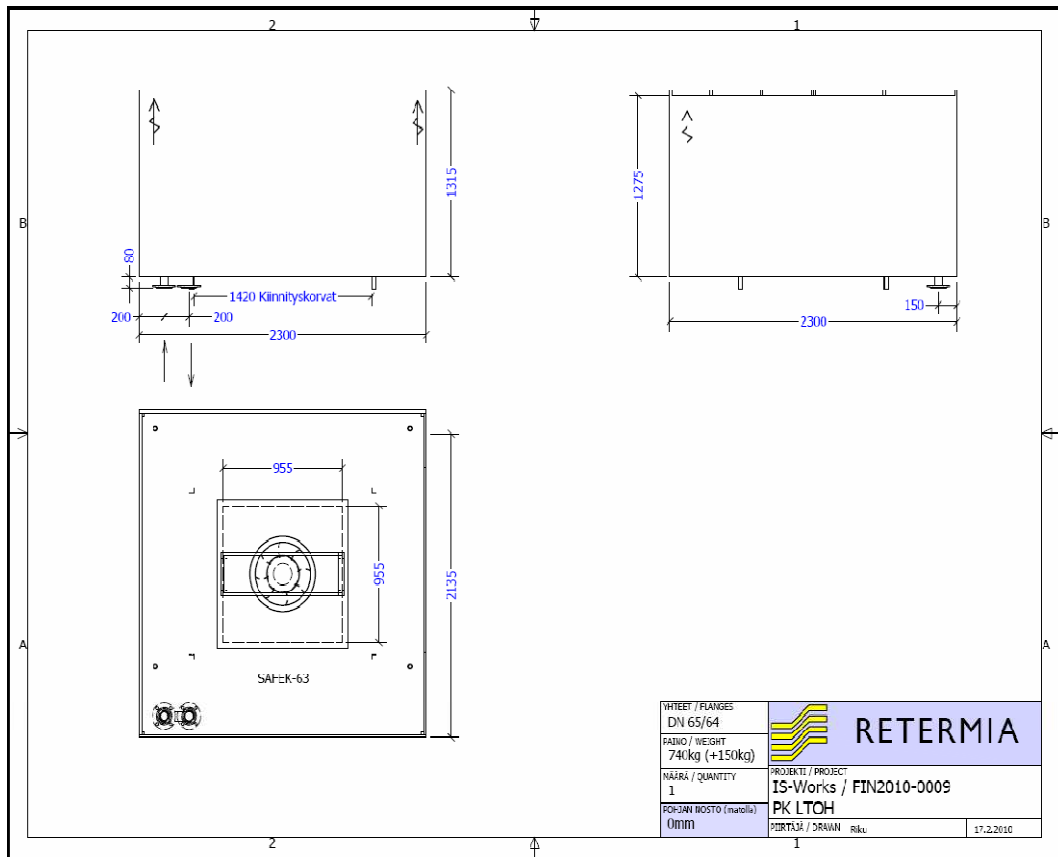
	tulo m <sup>3</sup> /s	poisto m <sup>3</sup> /s	Poistoilman lt. C	Poistoilman kosteus %RH	Nestevirta kg/s
100	5	5	18	30	1,72
ilma2	2,5	2,5	18	30	1,72
ilma3					



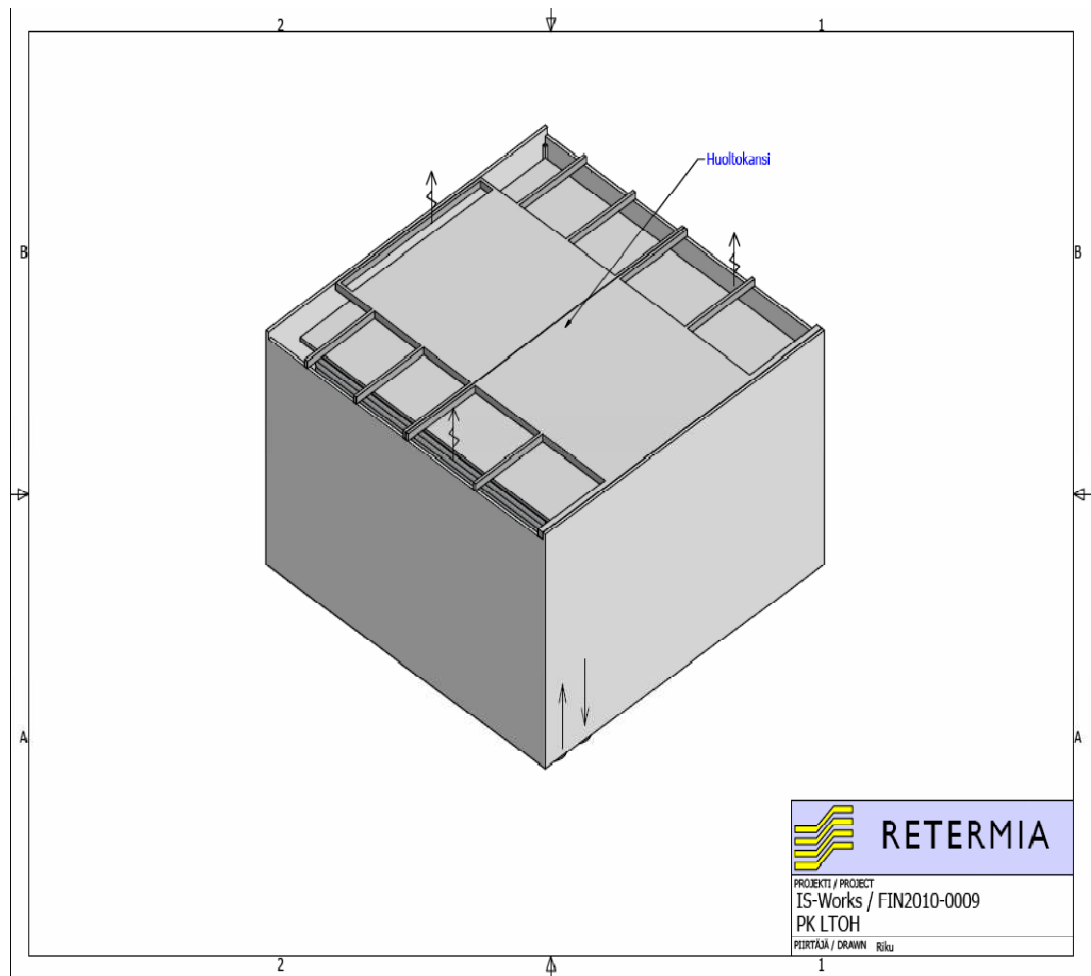
Tuloilman lämmitysenergian tarve, Retermia LTO-järjestelmällä säästetty energia sekä jälkilämmitykseen tarvittava energia vuoden 1990 Tampereen säädattä laskettuna. Tuloilman vuosihyötysuhde on 47,9 %.




LIITE 5A



LIITE 5B

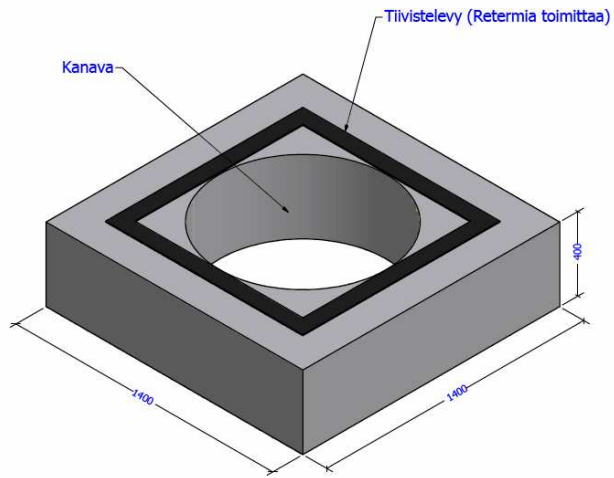


	<b>RETERMIA</b>
PROJEKTI / PROJECT IS-Works / FIN2010-0009	
PK LTOH	
PIIRTÄJÄ / DRAWN Riku	

LIITE 5C



## Piipun mitoitus

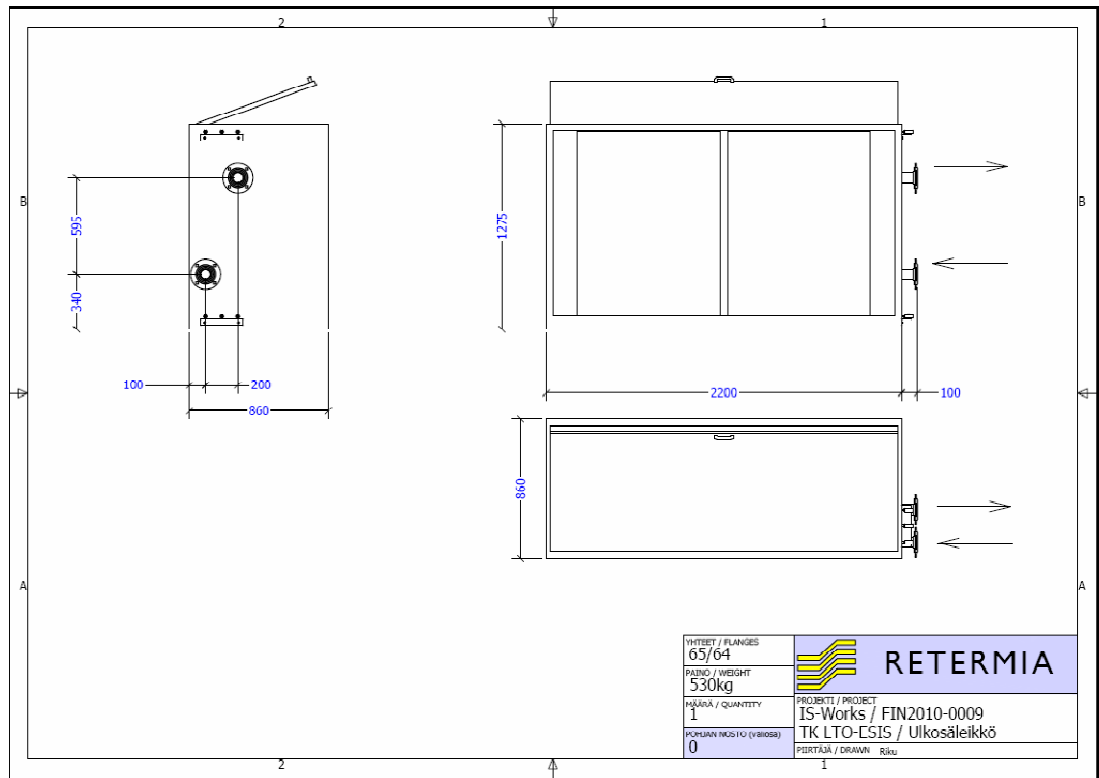


Piippu ei kuulu Retermian toimitukseen

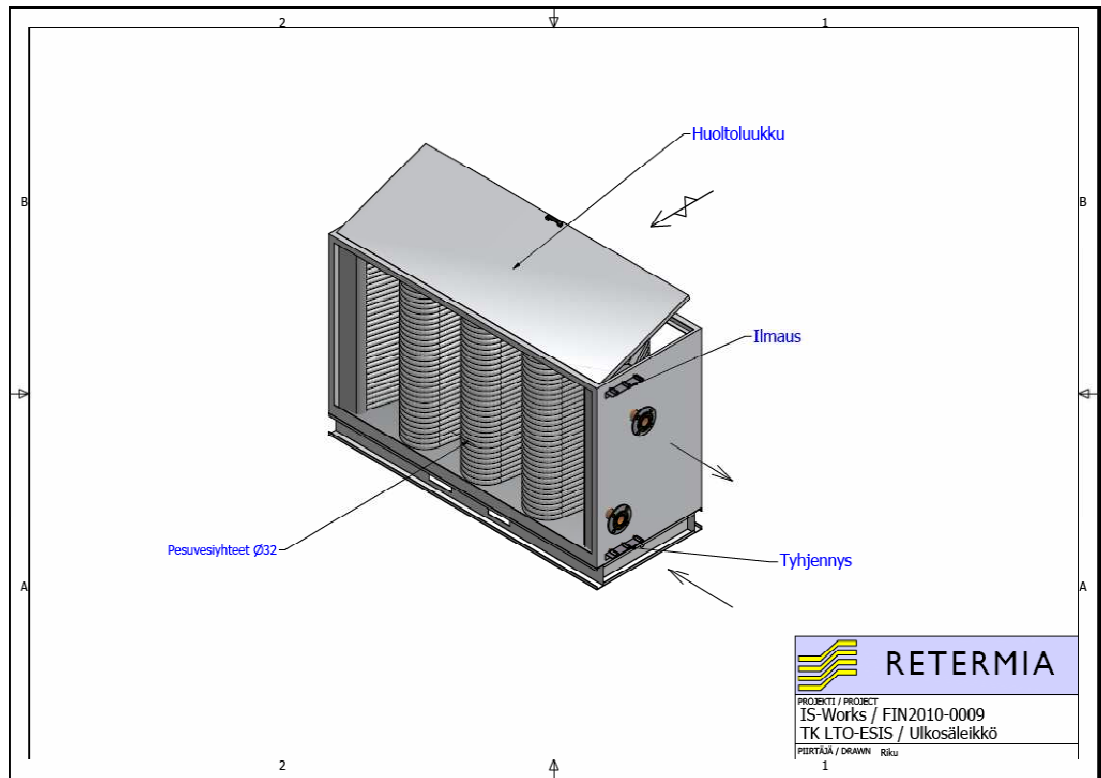
Katso erillinen piipunrakennusohje, joka toimitetaan kuvien mukana.  
Lisäohjeita myös [www.retermia.fi](http://www.retermia.fi) tai suoraan Retermialta.

Asennuksen korkeus = LTO-laitteen korkeus+piipun korkeus

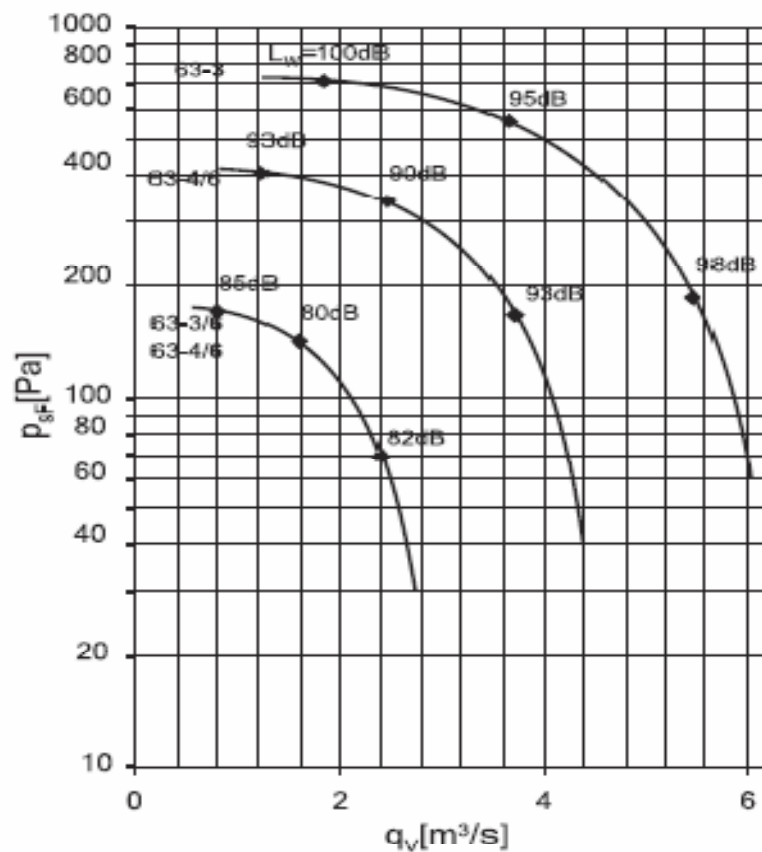




# LIITE 6B

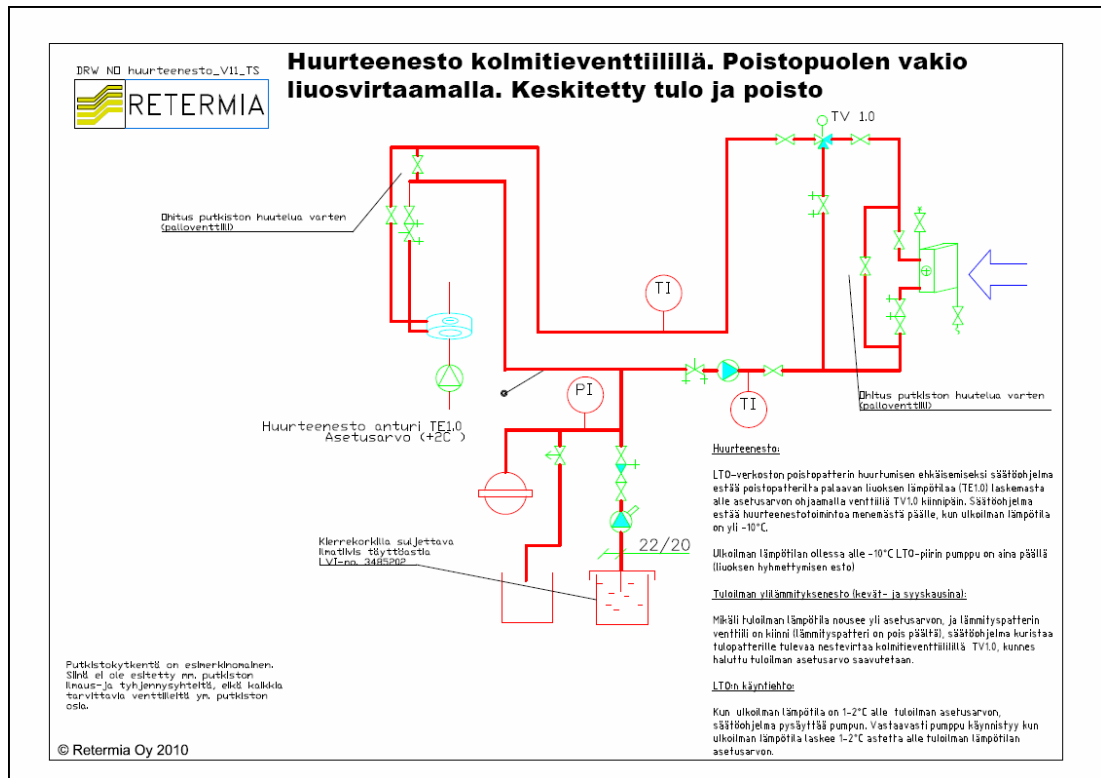


### SAFEK 63



The characteristics are valid for air with a density of 1.2 kg/m<sup>3</sup>.

- $q_v$  = air flow volume m<sup>3</sup>/s
- $p_{sf}$  = static pressure Pa
- $L_W$  = sound power level (re 10<sup>-12</sup> W) dB
- $L_A$  = A-weighted sound pressure level dB



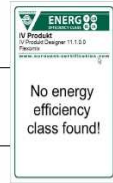


**Flexomix**

**Mittakuva**

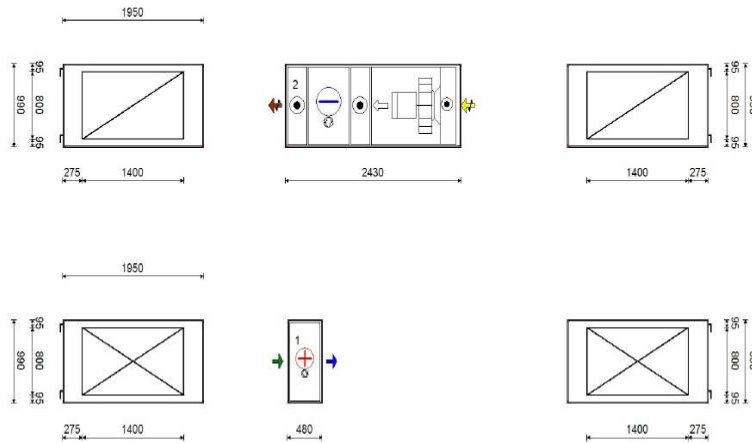
**Projekti**  
Ilmastointikone

Opinnäytetyö, Saku Nieminen  
IS-halli1  
Tuloilma: 480, Poisto: 480



**Ilmastointikone**

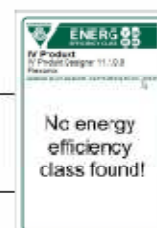
Leveys	Tuloilma 1950 Poisto 1950 mm	1) 251 kg
Korkeus	Tuloilma 990 Poisto 990 mm	2) 628 kg
Pituus	Tuloilma 480 Poisto 2430 mm	
Paino	Tuloilma 251 Poisto 628 kg	



Huomioi riittävä huoltotila avautuville tarkastusluukuille ja putkikytkennöille

**Flexmix****Tekniset tiedot**

Projekti	Opinnäytetyö, Saku Nieminen
Ilmastointikone	IS-hallii
Koko	Tuloilma: 480, Poisto: 480



Tämän koneen sähkötehokkuusluku (SFPv) on laskettu puhtailla suodattimilla, moottorin puhtaaksipuhallus ja lisäpainehäviö huomioiden

**SFP-LUKU**

Laskelma sisältää taajuusmuuttajan 1,20 kW/m<sup>3</sup>/s

**MITAT JA PAINOT**

	Tuloilma	Poisto
Leveys	1950	1950 mm
Korkeus	900	900 mm
Pituus	480	2430 mm
Paino	251	628 kg

**PAINEHÄVIÖ**

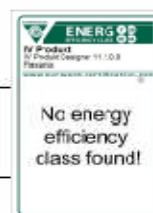
	Tuloilma	Poisto
Alkutiedo: Ilmavirta	5,00	5,00 m <sup>3</sup> /s
Laskelma: LTO-patteri	325	Pa
LTO-patteri		381 Pa
Built-in loss		47 Pa
Koneen painehäviöt		408 Pa
Kanavapaine	250	250 Pa

**Puhaltimet**

	Tuloilma	Poisto
Laskelma: Kokonaispainehäviö		658 Pa
Kierrosnopeus		1574 r/m
Puh. hyötysuhde		64,7 %
Puh. akseliteho		5,09 kW
Moottorin hyötysuhde		84,5 %
Kokonaishyötysuhde		54,7 %
Sähköteho mitoitusp.		6,02 kW
Sähköteho puhtailla suod.		6,02 kW
Moottoriteho		7,50 kW
Virta		15,1 A
Jännite		400 V
Max. kierrokset		1710 r/m
Välikapasiteetti		22 %
Max. taajuus		59 Hz
K-arvo ilmamäärämittaukselle		8,4
Poistilma		95 dB
Ympäristöön	78 79 71 81 58 51 41 33 dB	87 dB(A)
Poiste	80 85 88 87 95 31 74 70 dB	89 dB(A)
Jäteilma	80 85 88 86 84 77 70 63 dB	88 dB(A)

**Flexomix****Tekniset tiedot**

Projekti	Opinnäytetyö, Saku Nieminen
Ilmastointikone	IS-hallii1
Koko	Tuloilma: 480. Poisto: 480

**LTC-PATTERI**

Alkutiedo:	Ilman sisäänmerolämpötila	-26,0	°C
	Suhteellinen kosteus ulkoilma	80,0	%
Laskelma	Jäätymissuojajaluus	Etyleeniglykoli	
	Liukosen konsentraatio	30,0	%
	Lämpötilahyötysuhde (toivottu)	50,0	%
	Lämpötila patterin jälkeen	-11,0	°C
	Otsapintanopeus	3,0	m/s
	Lämpötilahyötysuhde (0 C:ssa)	50,7	%
	Jäätymissuojan asetukset	-3,0	°C
	Nestevirta	2,1	l/s
	Neste sisään	5	°C
	Neste ulos	-1,1	°C
	Painehäviö neste	99,0	kPa
	LTO:n teho	92,0	kW
Tehovaihtoehdot	08		
Reititys	Ptkä		
Lamellijako	2,0mm		
Pukililitäntä	32	mm	

**LTC-PATTERI**

Alkutiedo:	Poistilman lämpötila	18,0	°C
	Suhteellinen kosteus poistilma	30,0	%
Laskelma	Neste sisään	-1,1	°C
	Neste ulos	5	°C
	Painehäviö neste	99,0	kPa
	LTO:n teho	92,0	kW
	Tehovaihtoehdot	08	
	Lämpötila patterin jälkeen	-1,0	°C
	Otsapintanopeus	3,3	m/s
	Condensation	23,4	l/h
	Reititys	Ptkä	
	Lamellijako	2,0mm	
	Pukililitäntä	32	mm

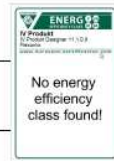




## Flexomix

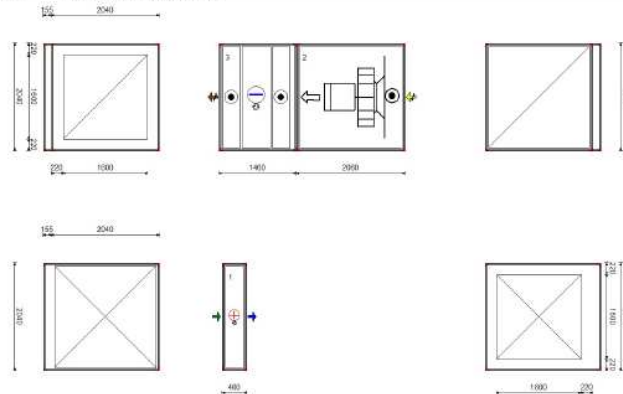
## Mittakuva

Projekti Opinnäytetyö, Saku Nieminen  
 Ilmastointikone IS-halli  
 Koko Tuloilma: 1150, Poisto: 1150



## Ilmastointikone

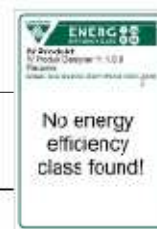
Leveys	Tuloilma 2040 Poisto 2040 mm	1) 346 kg
Korkeus	Tuloilma 2040 Poisto 2040 mm	2) 755 kg
Pituus	Tuloilma 460 Poisto 3520 mm	3) 521 kg
Paino	Tuloilma 349 Poisto 1276 kg	



Huomioi riittävä huolto- ja avautuville tarkastusluukuille ja putkikytkennöille

**Flexomix****Tekniset tiedot**

Projekti	Opinnäytetyö, Saku Nieminen
Ilmastointikone	IS-halli
Koko	Tuloilma: 1150, Poisto: 1160



Tämän koneen sähkötehokkuusluku (SFPv) on laskettu puhtailla suodatimilla, roottorin puhtaaksi puhallus ja lisäpaneelivälit huomioiden

**SFP-LUKU**

Laskelma	Ilmastointikone	0,95	kW/m3/s
----------	-----------------	------	---------

**MITAT JA PAINOT**

	Tuloilma	Poisto
Leveys	2040	2040 mm
Korkeus	2040	2040 mm
Pituus	460	3620 mm
Paino	349	1270 kg

**PAINEHÄVIÖ**

	Tuloilma	Poisto	
Aikutiedot	Ilmavirta	5,00	10,00 m3/s
Laskelma	LTO-patteri	39	Pa
	Pisaraerotimen painehäviö		25 Pa
	LTO-patteri		195 Pa
	Built-in loss		34 Pa
	Koneen painehäviöt		254 Pa
	Kanavopaine	260	260 Pa

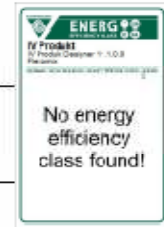
**Puhallimet**

	Tuloilma	Poisto
Laskelma	Kokonaispainehäviö	604 Pa
	Kierrosnopeus	1039 r/m
	Puh. hyötysuhde	60,0 %
	Puh. akseliteho	8,40 kW
	Moottorin hyötysuhde	89,8 %
	Kokonaishyötysuhde	53,2 %
	Sähköteho mitoituks.	0,48 kW
	Sähköteho puhtailla suod.	0,48 kW
	Moottoriteho	11,00 kW
	Virta	24,0 A
	Jännite	400 V
	Max. kierrokset	1070 r/m
	Ylikapasiteetti	8 %
	Max. taajuus	55 Hz
	K-arvo imamäärämitaukselle	4,5

Poistoilma										95	dB
Ympäristöön	80	75	69	61	62	53	43	36	dB	67	dB(A)
Prista	83	85	83	88	85	80	74	66	dB	90	dB(A)
Jäteilma	93	85	82	87	84	78	70	62	dB	83	dB(A)

**Flexomix****Tekniset tiedot**

Projekti	Öpinnäytetyö, Saku Nieminen
Ilmastointikone	IS-halli
Koko	Tuloilma: 1150, Poisto: 1150

**LTO-PATTERI**

Alkutiedot	Ilman sisäänmenolämpötila	-26,0	°C
	Suhteellinen kosteus ulkoilma	30,0	%
	Jäätymissuojaliuos	Etyleeniglykoli	
	Liuoksen konsentraatio	30,0	%
Laskelma	Lämpötilahyötysuhde (toivottu)	30,0	%
	Lämpötila patterin jälkeen	1,0	°C
	Otsapintaropeus	1,3	m/s
	Lämpötilahyötysuhde (C C:ssa)	31,8	%
	Nestevirta	4,1	l/s
	Neste sisään	9	°C
	Neste ulos	-2	°C
	Painehäviö, neste	33,0	kPa
	LTO:n teho	131,0	kW
	Tehovaihtoehto	04	
	Reititys	Pitkä	
Lamellijako	2,0mm		
Putkiliitäntä	50	mm	

**LTO-PATTERI**

Alkutiedot	Pcistbilman lämpötila	18,0	°C
	Suhteellinen kosteus pcistbilma	30,0	%
Laskelma	Neste sisään	-2	°C
	Neste ulos	9	°C
	Painehäviö, neste	98,0	kPa
	LTO:n teho	131,0	kW
	Tehovaihtoehto	08	
	Lämpötila patterin jälkeen	5,0	°C
	Otsapintaropeus	2,8	m/s
	Condensation	0,0	l/h
	Reititys	Pitkä	
	Lamellijako	2,0mm	
	Putkiliitäntä	50	mm

LIITE 8.4

