



Jouko Kuha

## **ILMANVAIHTOKONEEN TESTAUS**

# ILMANVAIHTOKONEEN TESTAUS

Jouko Kuha  
Opinnäytetyö  
Kevät 2011  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä: Jouko Kuha

Opinnäytetyön nimi: Ilmanvaihtokoneen testaus

Työn ohjaaja: Pirjo Kimari (OAMK), Jani Moilanen (Indifine Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2011 Sivumäärä: 26 + 4 liitettä

---

Työn tavoitteena oli selvittää olemassa olevan ilmanvaihtokoneen lähtötaso tuotekehityksen lähtötiedoiksi. Selvitettäviä asioita olivat lämmöntalteenottockennojen painehäviöt, SFP-luku, paineentuotto laitteen ulkopuolelle sekä lämmöntalteenottolaitteen poistoilman vuosihyötysuhde. Työn painopiste oli kennojen painehäviöissä ja SFP-luvussa. Työn tilaajana toimi kajaanilainen Indifine Oy.

Tilaaja toimitti koelaitteistoon tarvittavan ilmanvaihtokoneen OAMK:n laboratoriotiloihin. Koelaitteistoon kuului lämmöntalteenottolaitteella varustettu ilmanvaihtone ja jokaiseen koneen kanavalähtöön 100 cm ilmanvaihtokanavaa ja säätöpelti ilmavirtojen mittausta ja säätöä varten. Työ tehtiin ympäristöministeriön laatiman pienten ilmankäsittelykoneiden tyyppihyväksyntäohjeen mukaan. Painehäviöt, paineentuotto ja ilmavirrat saatiin painemittarilla. Puhaltimien otta- ma sähköteho saatiin pistorasiaan kytkettävällä energiamittarilla. SFP-luku ja vuosihyötysuhde määritettiin laskennallisesti.

Koneen teholla 3 ja ilmavirralla 55 dm<sup>3</sup>/s kennojen painehäviöksi saatiin 44 Pa ja paineentuotoksi 80 Pa. SFP-luvuksi saatiin 2,3 kW/(m<sup>3</sup>/s). SFP-luku saisi olla vuonna 2012 voimaan tulevilla määräyksillä korkeintaan 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s). Mittaus- tuloksien perusteella lämmöntalteenottockennojen painehäviöt eivät ole syy korkeaan SFP-lukuun. Syy on puhaltimissa, joissa on huono hyötysuhde, ja virtausaukoissa, joista ilma virtaa kennoihin ja kennoista pois. Virtausaukkojen ja kennotilan yhteinen painehäviö on 128 Pa, joka on melkein kolme kertaa suurempi kuin kennojen painehäviö. Virtausaukkoja suurentamalla painehäviö pieneni. Nykyisillä puhaltimilla hyötysuhde on 22,6 %. Jos vaihdetaan puhaltimet, joiden hyötysuhde on 30 %, SFP-luvuksi saadaan 1,73 kW/(m<sup>3</sup>/s). Lämmöntalteenottolaitteen poistoilman vuosihyötysuhteen laskennassa tulokseksi saatiin 78 %. Tulos on hyvä ja ylittää reilusti vaaditun 45 %.

---

Asiasanat:

SFP-luku, painehäviö, paineentuotto, lämmöntalteenottolaitte, ilmanvaihtokone, vuosihyötysuhde

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

## SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	6
2 PIENTEN ILMANKÄSITTELYKONEIDEN TYYPPIHYVÄKSYNTÄ.....	7
2.1 Tiiviys ja paineenkestävyys .....	7
2.2 Sähköteho .....	8
2.3 Toiminta matalilla ulkoilman lämpötiloilla.....	8
3 KOELAITTEISTO JA MITTAUKSET .....	9
3.1 Koelaitteisto.....	9
3.2 Mittaukset .....	10
3.2.1 Ilman tilavuusvirta .....	11
3.2.2 Lämmöntalteenottokeinojen painehäviöt.....	11
3.2.3 Paineentuotto koneen ulkopuolelle .....	13
3.2.4 Ottoteho .....	14
4 SFP-LUKU .....	15
4.1 SFP-luvun määrittäminen .....	15
4.2 Tulokset.....	16
4.3 SFP-luvun parantaminen.....	16
4.3.1 Puhaltimien hyötysuhde .....	16
4.3.2 Painehäviöiden pienentäminen .....	17
5 LÄMMÖNTALTEENOTON POISTOILMAN VUOSIHYÖTYSUHDE .....	20
5.1 Lämmöntalteenoton rajoitus .....	20
5.2 Lämpötilasuhteet .....	21
5.3 Ulkolämpötilan pysyvyys .....	21
5.4 Vuosihyötysuhteen määrittäminen .....	22
5.5 Tulokset.....	24
6 YHTEENVETO.....	25
LÄHTEET .....	26
LIITTEET	
Liite 1. Lähtötietomuistio	
Liite 2. Painehäviöiden mittaustulokset	

Liite 3. Paineentottojen mittaustulokset

Liite 4. Vuosihyötysuhdelaskelma

# 1 JOHDANTO

Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimii kajaanilainen Indifine Oy, jonka palveluihin kuuluu LVI-alan tuotteiden kehitys. Tilaajan yhteyshenkilönä on yrityksen toimitusjohtaja DI Jani Moilanen.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää olemassa olevan ilmanvaihtokoneen lähtötaso tuotekehityksen lähtötiedoiksi. Valmistaja haluaa kehittää tuotettaan nykyvaatimusten mukaiseksi. Työssä selvitetään tuotteen lähtötaso ja asiat, joita tuotteessa tulisi kehittää. (Liite 1.)

Selvitys tehdään ympäristöministeriön tyyppihyväksyntäohjeen mukaan (1). Selvitettäviä asioita ovat lämmöntalteenottokeinojen painehäviöt, puhaltimien paineentuotto laitteen ulkopuolelle ja ilmanvaihtokoneen SFP-luku koneen eri ilmavirroilla sekä lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde.

Lämmöntalteenottokeinojen painehäviöt, puhaltimien paineentuotto ja ilmavirrat määritetään mittaamalla. SFP-luku ja poistoilman vuosihyötysuhde arvioidaan laskennallisesti.

Työn tilaaja toimitti koelaitteistoon testattavilla lämmöntalteenottokeinoilla varustetun ilmanvaihtokoneen. Koelaitteisto rakennettiin OAMK:n tekniikan yksikön laboratoriotiloihin.

## **2 PIENTEN ILMANKÄSITTELYKONEIDEN TYYPIHYVÄKSYNTÄ**

Tyyppihyväksyntä on todistus siitä, että tuote täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimustason niiltä osin, kuin asia on selvitetty tyyppihyväksynnän yhteydessä. Se on vapaaehtoinen menettely. Suomessa rakennustuotteiden tyyppihyväksynnästä huolehtii kokonaisuudessaan VTT Expert Services Oy. (1.)

Pienillä ilmankäsittelykoneilla tarkoitetaan laitteita, joissa on poistoilman lämmöntalteenotto-laite ja joiden suurin ilman tilavuusvirta on korkeintaan välillä 0,5 – 1,0 m<sup>3</sup>/s. Yleensä tällainen laite on yksittäisen liikehuoneiston tai pien-, rivi- tai kerrostalon huoneistokohtainen ilmanvaihtokone.

Tyyppihyväksynnässä ilmanvaihtokonetta tarkastellaan kokonaisuutena, johon kuuluvat aina vähintään seuraavat ominaisuudet (2, s. 3):

- materiaali
- mittatarkkuus ja yhteensopivuus
- tiiviys ja paineenkestävyys
- ilmansuodattimen ohivuoto
- virtaustekniset ominaiskäyrät
- sähköteho
- lämmöntalteenottolaitteen lämpötilasuhde
- toiminta matalilla ulkoilman lämpötiloilla
- äänitekniset suoritusarvot
- käyttövarmuus, valvonta ja ohjaus.

### **2.1 Tiiviys ja paineenkestävyys**

Ilmankäsittelykoneen suurin sallittu vuotoilmavirta tulo- ja poistopuolen välillä on 6 % ilmankäsittelykoneen nimellisilmavirrasta koepaineella 300 Pa (2, s. 5). Tyyppihyväksynnässä vuotoilmavirta testataan merkkisavulla. Tässä työssä sitä ei testata.

## **2.2 Sähköteho**

Ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho määritetään useammassa toimintapisteessä tai testataan pistekoeluoontoisesti valmistajan esittämät arvot. Tavoitteena on saada selville se ilmankäsittelykoneen toiminta-alue, jolla ominaissähköteho on korkeintaan  $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . (2, s. 6.) Määräykset tiukentuvat vuoden 2012 alussa, joten tavoitteena on saada selville se toiminta-alue, jolla ominaissähköteho on korkeintaan  $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ .

## **2.3 Toiminta matalilla ulkoilman lämpötiloilla**

Talviaikaan laitteeseen mahdollisesti muodostuvan huurteen poistamiseksi ja umpeen jäätyksen estämiseksi on lämmöntalteenottolaitteen jäätyssuojaus toteutettava toimintavarmalla tavalla. Jäteilman lämpötilan on oltava toimintakohteessa keskimäärin matalampi kuin  $+8 \text{ °C}$ , kun ulkoilman lämpötila on matalampi kuin  $-10 \text{ °C}$ . (2, s. 6.)

Tyyp hyväksynnässä lämmöntalteenottolaitteen jäätyminen testataan poistoilman lämpötilalla  $+20 \text{ °C}$ , jonka suhteellinen kosteus on 35...45 %. Ulkoilman lämpötilaa lähdetään pudottamaan  $+5 \text{ °C}$ :sta  $-20 \text{ °C}$ :seen. Jäteilman minimilämpötilaksi tulee alin lämpötila, jossa huurtumisenestoa ei vielä tarvita. (3.)



## 3 KOELAITTEISTO JA MITTAUKSET

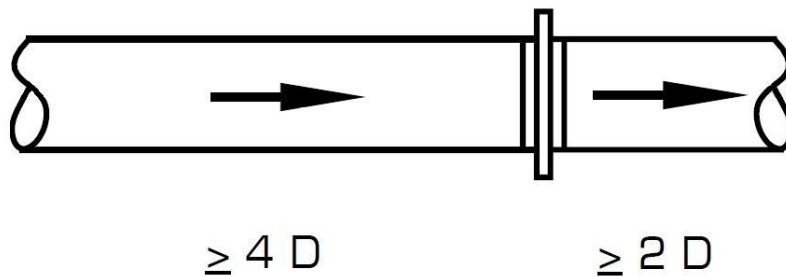
### 3.1 Koelaitteisto

Koelaitteistona käytettiin tilaajan toimittamaa pientalon ilmanvaihtokonetta, jossa oli regeneratiivinen, virtausta vaihtava lämmöntalteenottolaite. Lämmöntalteenottolaitteeseen kuuluu kaksi päällekkäin olevaa kennoa, jotka vuorotellen lämpenevät ja jäähtyvät. Poisto- ja ulkoilma johdetaan vuorotellen eri kennoihin moottoroidun, pyörivän virtauksenvaihtajan avulla. (4.) Mittauksissa virtauksenvaihtaja pidettiin koko ajan samassa asennossa. Koelaitteisto näkyy kuvassa 1.



*KUVA 1. Koelaitteisto*

Ilmanvaihtokoneen jokaiseen lähtöön asennettiin kanavaa sekä säätöpelti mittauksia varten. Kanavana käytettiin Uponor 160 mm muovikanavaa ja säätöpelteinä IRIS-säätöpeltejä. Jotta säätöpelleistä mitattaessa päästäisiin korkeintaan 7 %:n epätarkkuuteen, pitää säätöpeltiä ennen olla suojaetäisyytenä vähintään neljä ja säätöpellin jälkeen vähintään kaksi kertaa halkaisijan verran suoraa kanavaa (5, s. 5) (kuva 2).



*KUVA 2. Säätöpellin suojaetäisyydet kanavan halkaisijan mukaan. (Muokattu 5, s. 5.)*

Ilmanvaihtokoneessa on viisi tehoa, joista pienimpiä käytetään, kun asunto on tyhjiällä. Keskimmäistä tehoa käytetään yleensä mitoitus- eli normaalitilanteessa. Suurimpia tehoja käytetään ilmanvaihdon tehostukseen henkilömäärän lisääntyessä tai korkean lämpötilan perusteella. Mittaustilanteessa keskimmäisen tehon ilmavirraksi säädettiin säätöpelleillä  $55 \text{ dm}^3/\text{s}$ , joka vastaa suuruusluokaltaan tyypillisen pientalon mitoitusilmavirtaa. Ilmavirrat olivat yhtä suuret sekä tulo- että poistoilmapuolella.

### 3.2 Mittaukset

Painemittaukset tehtiin TSI Velocicalc plus 9555 -painemittarilla. Kaikissa mittauksissa mitattiin staattista painetta. Staattinen ja kokonaispaine-ero ovat samat, koska ilmavirta on sama jokaisessa mittauspisteessä ennen puhallinta ja puhaltimen jälkeen. SFP-lukua varten mitattiin laitteen sähköverkosta ottama teho pistorasiaan kytkettävällä energiamittarilla.

### 3.2.1 Ilman tilavuusvirta

Ilman tilavuusvirta saadaan mittaamalla paine-ero säätöpellin mittayhteistä ja lukemalla ilmavirta mittauskäyrästä (5, s. 5). Tarkemman arvon tilavuusvirralle saa kaavalla 1, joka löytyy säätöpellin runkoon liimatusta tarrasta.

$$q_v = k * \sqrt{\Delta P}$$

KAAVA 1

$q_v$  = ilman tilavuusvirta, dm<sup>3</sup>/s

$k$  = kerroin, joka riippuu säätöpellin asennosta

$\Delta P$  = säätöpellistä mitattu paine-ero, Pa

### 3.2.2 Lämmöntalteenottockennojen painehäviöt

Lämmöntalteenottockennojen painehäviön selvittämiseksi mitattiin ensin paine-ero säätöpellin mittayhteistä, kun kennot eivät olleet paikoillaan. Paine-ero mitattiin uudestaan, kun kennot olivat paikoillaan ja ilmavirta oli säädetty säätöpelleillä samaksi kuin se oli ilman kennoja. Ilmavirta täytyi säätää samaksi, koska kennon aiheuttama painehäviö pienentää ilmavirtaa. Näiden paine-erojen erotuksesta saatiin kennojen painehäviö. Mittaukset tehtiin koneen viidellä teholla. Ilmavirrat säädettiin vääntämällä säätöpellin säätömutterista asetusarvo oikeaan kohtaan. Tulo- ja jäteilman säätöpeltien asetusarvot olivat ilman kennoja mitattaessa 6,5 ja kennojen kanssa mitattaessa 5,5. Ulko- ja poistoilmasäätöpelleillä asetusarvot olivat 6 sekä ilman kennoja että kennojen kanssa mitattaessa.

Painehäviöiden tulokset tarkistettiin yhdellä tarkistusmittauksella. Mittausmenetelmä oli eri kuin varsinaisessa mittauksessa. Siinä mitattiin vain toisesta kennoista ja käytettiin vain koneen keskimmäistä tehoa. Painemittarin paineeroletkut aseteltiin kennotilan molemmin puolin mahdollisimman lähelle kennotilan virtausaukkoja. Letkujen päiden täytyi osoittaa myötävirtaan, koska mitattiin staattista painetta. Sitten mitattiin paine-ero ilman kennoja ja kennojen ollessa paikoillaan. Myös tässä menetelmässä ilmavirtojen täytyi olla samat molemmissa mittauksissa. Näiden paine-erojen erotuksesta saatiin kennojen painehäviö.

Lopuksi painehäviöt mitattiin jokaisella teholla myös toisella tavalla. Puhaltimien paineentuotto eli paine-ero imu- ja painekanavan välillä mitattiin ensin ilman kennoja ja sitten kennojen ollessa paikoillaan. Paineentuottojen erotuksesta saatiin kennojen painehäviö. Tässäkin tapauksessa ilmavirtojen täytyi olla samat molemmissa mittauksissa. Painehäviöt on esitetty taulukossa 1. Mittaustulokset on esitetty liitteessä 2.

*TAULUKKO 1. Lämmöntalteenottokennojen painehäviöt eri ilmavirroilla*

Laitteen teho	1	2	3	4	5
Ilmavirta [dm <sup>3</sup> /s]	21.1	44.4	55.4	63.7	68.3
Painehäviö 1 kenno 1 [Pa]	6.9	28.0	44.6	58,0	65.6
Painehäviö 1 kenno 2 [Pa]	6.5	26.2	43.4	55.7	66.8
Tarkistusmittaus			44.2		
Painehäviö 2 kenno1 [Pa]	7.0	26.1	40.3	51.0	59.4
Painehäviö 2 kenno2 [Pa]	6.8	23.1	40.2	50.5	60.5

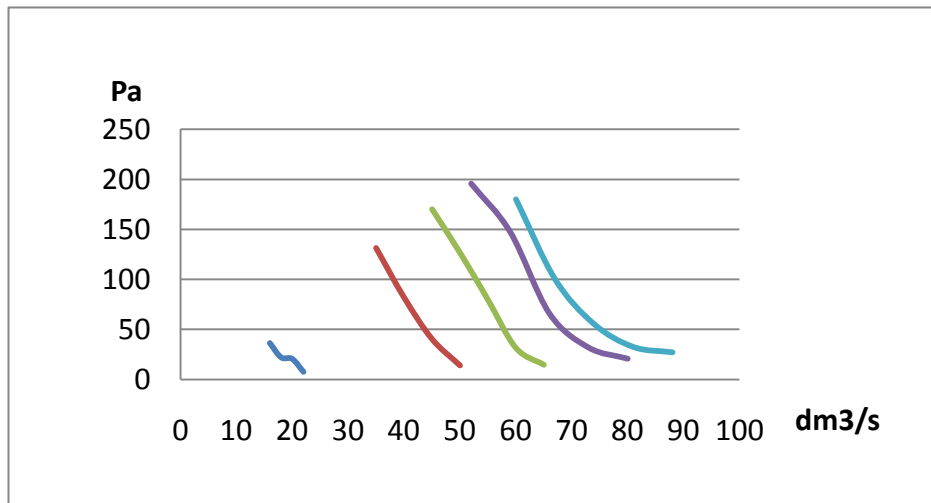
Painehäviöt mitattiin molemmista kennoista samalla ilmavirralla. Ilmavirrat mitattiin säätöpelleistä, joiden mittausepäätarkkuus oli 7 %, joten ilmavirrat eivät todellisuudessa ole täysin samat. Painehäviöiden mittaustulokset eroavat kennojen välillä. Erot johtuvat mittausepäätarkkuudesta sekä eroista ilmavirtojen välillä.

Kahden mittausmenetelmän välillä tulokset eroavat enemmän kuin kahden kennon välillä samassa mittauksessa. Syy löytyy säätöpelleistä. Mittausmenetelmien välillä ilmavirtoja muutettiin ja säätöpeltien epätarkkuuden vuoksi niitä ei saatu täysin samoiksi toiseen mittausmenetelmään. Näin pienillä ilmavirroilla ja paineilla tulokset ovat kuitenkin riittävän tarkkoja ja vertailukelpoisia.

Painehäviöille etsittiin vertailukohtetta suuruusluokan arvioimiseksi. Erään laitevalmistajan laskentaohjelmasta saatiin painehäviö pyörivälle lämmöntalteenottolaitteelle. Ilmanvaihtokone oli suurin piirtein samankokoinen kuin tässä työssä testattava kone. Ohjelma antaa ilmavirralla 55 dm<sup>3</sup>/s painehäviöksi 44 Pa. Kiinteiden kennojen painehäviö näyttäisi olevan samaa suuruusluokkaa, kuin pyörivien kennojen.

### 3.2.3 Paineentuotto koneen ulkopuolelle

Paineentuotto koneen ulkopuolelle saatiin mittaamalla puhaltimien paineenkorotus eli paine-ero imu- ja painekananavasta. Tässä mittauksessa lämmöntalteenotokennot olivat koko ajan paikoillaan. Kumpaankin kanavaan porattiin reikä painemittarin letkulle. Reiän täytyi olla tarpeeksi kaukana puhaltimesta, että virtaus olisi häiriötöntä. Puhallin sijaitsee aivan painekananavan alussa. Painekananavan mittausreiät porattiin noin 60 cm:n päähän puhaltimesta ja imukanavan reiät noin 10 cm:n päähän koneen kanavalähdöstä. Paineentuotto mitattiin laitteen viidellä eri teholla ja jokaisesta tehosta 4...5:llä eri ilmavirralla. Mittaustulokset on esitetty käyrästäönä kuvassa 3 ja taulukkona liitteessä 3.



KUVA 3. Puhaltimien paineentuotto ilmavirran funktiona

### 3.2.4 Ottoteho

Ottoteho mitattiin koelaitteiston virtajohdon ja pistorasian väliin kytkettävällä energiamittarilla laitteen jokaisella teholla. Mittaukset tehtiin samanaikaisesti painemittausten kanssa. Ottotehot näkyvät taulukossa 2.

*TAULUKKO 2. Puhaltimien sähköverkosta ottama teho laitteen eri ilmavirroilla*

Laitteen teho	Ilmavirta [dm <sup>3</sup> /s]	Ottoteho [kW]
1	21	0.042
2	44	0.098
3	55	0.128
4	63	0.160
5	68	0.203

## 4 SFP-LUKU

Tärkein selvittävä asia työssä oli koelaitteiston SFP-luku ja sen parantaminen. SFP-luku (Specific Fan Power) eli ilmanvaihtokoneen puhaltimien ominaissähköteho kuvaa ilmanvaihtokoneen sähkötehokkuutta. Se kertoo, kuinka suuri sähköteho (kW) tarvitaan puhaltimille, kun ilmaa vaihdetaan yksi kuutiometri. SFP-lukuun sisältyy tulo- ja poistopuhaltimet sekä niiden mahdolliset taajuusmuuttajat.

Suomen rakennusmääräyskokoelman osan D2, 2010 ohjeessa sanotaan ominaissähkötehosta seuraavaa (6, s. 23):

### ”4.1.1.4

*Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s). Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 1,0 kW/(m<sup>3</sup>/s).*

### 4.1.1.5

*Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho voi olla suurempi kuin 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s), jos esimerkiksi rakennuksen sisäilmaston hallinta edellyttää tavanomaisesta poikkeavaa ilmastointia.”*

Määräyksiä tullaan tiukentamaan vuoden 2012 alusta. Sen jälkeen koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s).

### 4.1 SFP-luvun määrittäminen

Ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho, SFP, on puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho [kW] jaettuna koneen ilmavirroista suuremmalla ilmavirralla (joko tulo- tai poistoilmavirta[m<sup>3</sup>/s]). Puhaltimen sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimen moottorin sähkötehon lisäksi mahdollisen taajuusmuuttajan ja muun tehonsäätölaitteen sähkötehon. SFP-luku voidaan määrittää kaavalla 2. (7, s. 10.)

$$SFP = \frac{P_{Tulo} + P_{Poisto}}{q_{max}}$$

KAAVA 2

$SFP$  = ilmapuhaltimen ominaisenergia, kW/(m<sup>3</sup>/s)

$P_{Tulo}$  = tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW

$P_{Poisto}$  = poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW

$q_{max}$  = koneen ilmavirroista suurempi (tulo tai poisto) m<sup>3</sup>/s.

## 4.2 Tulokset

Laitteen SFP-luku vaihteli tehon mukaan välillä 2,0...3,0 kW/(m<sup>3</sup>/s) (taulukko 1). Keskimmaisella teholla laitteen SFP-luvuksi saatiin 2,3 kW/(m<sup>3</sup>/s). Luku on lähellä maksimiarvoa voimassa olevilla määräyksillä. Tulevilla määräyksillä se on jo liian suuri. Taulukossa 3 näkyvät paineentuotot koneen ulkopuolelle ja ilmavirrat on mitattu samassa mittauksessa.

TAULUKKO 3. SFP-luvut laitteen eri ilmavirroilla ja paineentuotoilla

Laitteen teho	Ilmavirta [dm <sup>3</sup> /s]	Paineentuotto [Pa]	SFP-luku
1	21	20	2,0
2	44	56	2,2
3	55	88	2,3
4	63	119	2,5
5	68	135	3,0

## 4.3 SFP-luvun parantaminen

Laitteen SFP-luvun täytyy olla pienempi täyttääkseen tulevat määräykset. SFP-lukua voidaan parantaa esimerkiksi pienentämällä laitteen painehäviöitä rakenteellisilla ratkaisuilla tai vaihtamalla puhaltimet, joissa on parempi hyötysuhde.

### 4.3.1 Puhaltimien hyötysuhde

Puhaltimen hyötysuhde kuvaa, kuinka tehokkaasti puhaltimen akselille tuotu teho saadaan muutettua ilman liikkeeksi. Hyötysuhde voidaan laskea kaavalla 3.



$$\eta_{\text{puhallin}} = \frac{\Delta P_{\text{puhallin}}}{SFP}$$

KAAVA 3

$\eta_{\text{puhallin}}$  = puhaltimen hyötysuhde

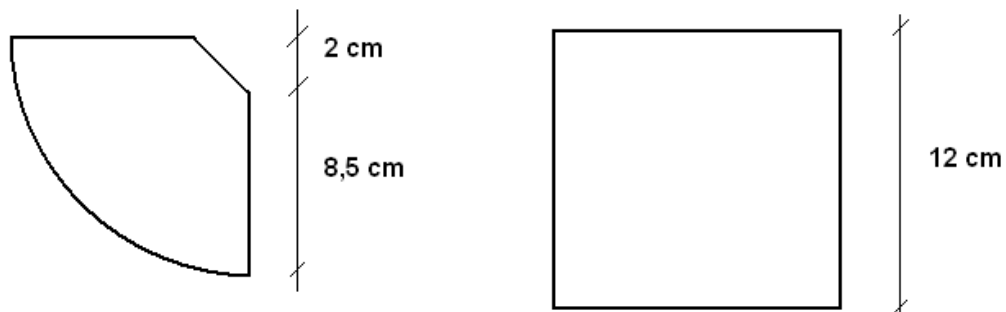
$\Delta P_{\text{puhallin}}$  = puhaltimen kokonaispaineentuohto, Pa (paineen tuotto koneen ulkopuolelle + painehäviöt laitteen sisällä)

$SFP$  = puhaltimen SFP-luku kW/(m<sup>3</sup>/s), (puolet koneen SFP-luvusta).

Puhaltimen hyötysuhteeksi saatiin 22,6 %. Arvoina käytettiin laitteen SFP-lukua 2,3 kW/(m<sup>3</sup>/s), joka on yhdelle puhaltimelle 1,15 kW/(m<sup>3</sup>/s), sekä kokonaispaineen tuottoa 260 Pa. Se sisältää paineentuoton koneen ulkopuolelle 88 Pa, virtausaukkojen ja kennotilan painehäviön 128 Pa sekä kennon painehäviön 44 Pa.

#### 4.3.2 Painehäviöiden pienentäminen

Laitteen painehäviöiden pienentämisen voisi toteuttaa virtauksenvaihtajan virtausaukkoja suurentamalla. Virtauksenvaihtaja on pyöreä kiekko, jonka säde on 10,5 cm, jolloin virtausaukon pinta-ala on neljäsosa koko ympyrästä eli 86,6 cm<sup>2</sup>. Kun tästä luvusta vähennetään vielä kiekon keskiosassa oleva suorakulmisen kolmion muotoinen alue, jonka pinta-ala on 2 cm<sup>2</sup>, saadaan virtausaukon pinta-alaksi 84,6 cm<sup>2</sup>. Virtausaukon muotoa voisi muuttaa neliöksi, jonka sivun pituus on korkeintaan 12 cm. Aukon pinta-alaksi tulisi 144 cm<sup>2</sup>. Nykyisellä virtausaukolla pinta-alaa jää hyödyntämättä 59,4 cm<sup>2</sup>. (Kuva 3.)



KUVA 3. Virtauksenvaihtajan nykyinen virtausaukko ja suurennettu aukko

Kennotilan molemmin puolin on samanlainen virtausaukko. Kennotilan ja kummankin virtausaukon yhteinen painehäviö mitattiin keskimmaisella teholla, kun kennot eivät olleet paikalla. Ilmavirta mittaustilanteessa oli 55 dm<sup>3</sup>/s. Mittaustulokseksi saatiin 128 Pa. Painehäviö on huomattavan suuri verrattuna kennon painehäviöön, joka on 44 Pa. Paineentuotto koneen ulkopuolelle on 88 Pa. Suuremmalla aukolla painehäviö pienenesi ja paineentuotto koneen ulkopuolelle kasvaisi. Sen vuoksi puhaltimet voisivat käydä pienemmällä teholla. Se vaikuttaisi positiivisesti SFP-lukuun.

Laitteen SFP-lukua suurennetulla aukolla on vaikea arvioida, koska ei tiedetä pelkkää aukkojen painehäviötä. Asiaa voidaan lähestyä toiselta suunnalta. Kaavalla 4 voidaan laskea, mikä on SFP-luku, jos kennotilan ja virtausaukkojen yhteenlaskettua painehäviötä saadaan pienennettyä esimerkiksi 40 Pa.

$$SFP = \frac{\Delta P_{Puhallin}}{\eta_{Puhallin}} \quad \text{KAAVA 4}$$

$SFP$  = puhaltimen sfp-luku, kW/(m<sup>3</sup>/s), (puolet koneen sfp-luvusta).

$\Delta P_{puhallin}$  = puhaltimen kokonaispaineentuotto, Pa (paineen tuotto koneen ulkopuolelle + painehäviöt laitteen sisällä)

$\eta_{puhallin}$  = puhaltimen hyötysuhde

Jos painehäviötä saadaan pienennettyä 40 Pa, kokonaispaineentuotto on 220 Pa. Puhaltimien hyötysuhde on 22,6 %. Yhden puhaltimen SFP-luvuksi saadaan 0,973 kW/(m<sup>3</sup>/s). Koko koneen SFP-luku on tässä tapauksessa 1,95 kW/(m<sup>3</sup>/s). Jos painehäviötä saadaan pienennettyä 60 Pa, laitteen SFP-luvuksi saadaan 1,77 kW/(m<sup>3</sup>/s). Jos vaihdetaan vanhojen puhaltimien tilalle puhaltimet, joiden hyötysuhde on 30 %, saadaan SFP-luvuksi 1,73 kW/(m<sup>3</sup>/s). (Taulukko 4.)

*TAULUKKO 4. Kokonaispaineentuoton ja puhaltimien hyötysuhteiden vaikutus laitteen SFP-lukuun*

$\Delta P_{\text{puhallin}}$ [Pa]	$\eta_{\text{puhallin}}$ [%]	SFP [kW/(m <sup>3</sup> /s)]
260	22,6	<b>2,30</b>
220	22,6	<b>1,95</b>
200	22,6	<b>1,77</b>
260	30	<b>1,73</b>
220	30	<b>1,47</b>
200	30	<b>1,33</b>

Painehäviöihin vaikuttaa myös sähköpuolen jakorasiat, jotka ovat puhallinkammiossa ilmavirtauksen tiellä. Parempi paikka jakorasioille voisi olla puhaltimien takana tai alla. Laitte on sisäpuolelta kulmikas, mikä myös osaltaan tuottaa virtausvastusta. Sulavammalla ja virtausta myötäilevällä muotoilulla voisi olla vaikutusta painehäviön pienenemiseen.

## 5 LÄMMÖNTALTEENOTON POISTOILMAN VUOSIHYÖTYSUHDE

Energiatehokkuuden kannalta oleellisin ilmanvaihdon lämmöntalteeottolaitteen tehokkuutta kuvaava suure on poistoilman vuosihyötysuhde. Se on poistoilmasta talteen otetun energian suhde koko ilmanvaihdon energian tarpeeseen. Ilmanvaihdon energian tarpeella tarkoitetaan energiaa, joka tarvitaan, kun tulo- ja korvausilma lämmitetään ulkoilman lämpötilasta huonelämpötilaan. Vuosihyötysuhde ei siis ole laitteen ominaisuus vaan kuvastaa koko rakennuksen energiatehokkuutta ilmanvaihdon osalta. Poistoilmasta on otettava talteen energiamäärä, joka on vähintään 45 % koko ilmanvaihdon tarvitsemasta energiamäärästä (6, s. 23).

### 5.1 Lämmöntalteenoton rajoitus

Matalilla ulkoilman lämpötiloilla lämmön talteenottoa joudutaan usein rajoittamaan lämmöntalteenottokennon jäätyksen estämiseksi. Kun kenno kylmenee, poistoilmasta tiivistyvä kosteus saattaa jäätää ja tukkia kennon. Lämmöntalteenoton rajoitus tarkoittaa käytännössä tuloilmapuhaltimen nopeuden pienentämistä tai käynnin jaksottamista. Kun tuloilmapuhallin ei käy jatkuvasti tai käy pienemmällä nopeudella, poistoilma lämmittää kennoa tehokkaammin. Lämmöntalteenoton rajoittaminen huonontaa vuosihyötysuhdetta.

Laskelmissa lämmöntalteenottolaitteen huurtumisenesto on toteutettu rajoittamalla jäteilman lämpötila  $-8\text{ °C}$ :seen. Lämpötila on erään valmistajan ilmanvaihtokoneen tyyppihyväksynnässä saatu arvo. Laskelman mukaan jäteilman lämpötila-anturi käynnistää huurtumiseneston, kun lämpötila laskee alle  $-8\text{ °C}$ . Tällöin huurtumisenestotilanteita tulee useammin, koska pelkkä lämpötilan mittaminen ei kerro, onko kennossa todella jäätä. Tarkempi tapa on käyttää valokennoa. Lämmöntalteenottokennon läpi lähetetään infrapunavaloa valokennon tunnistinosaa kohti. Kun tunnistinosa ei havaitse valoa, lämmöntalteenottokenno on jäässä ja huurtumisenesto käynnistyy.

## 5.2 Lämpötilasuhteet

Vuosihyötysuhteen laskennassa tärkeä lähtöarvo on laitteen lämpötilasuhde. Se on laitteen ominaisuus, joka on testattu tilanteessa, jossa tulo- ja poistoilmavirta ovat yhtä suuret. Laskelmissa ilmavirrat ovat yhtä suuret, joten lämpötilasuhde on sama sekä tulo- että poistopuolella.

Tuloilman lämpötilasuhde on tuloilman lämpenemisen suhde poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon. Tuloilman lämpötilasuhde lasketaan kaavalla 5. Poistoilman lämpötilasuhde on poistoilman jäähtymisen suhde poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon. Poistoilman lämpötilasuhde lasketaan kaavalla 6. (8, s. 14.) Tässä työssä lämpötilasuhteita ei määritetä vaan laskennassa käytetään tilaajan antamaa arvoa 80 %.

$$\eta_{tulo} = \frac{T_{lto} - T_{ulko}}{T_{poisto} - T_{ulko}} \quad \text{KAAVA 5}$$

$\eta_{tulo}$  = tuloilman lämpötilasuhde

$T_{lto}$  = tuloilman lämpötila lto:n jälkeen, °C

$T_{ulko}$  = ulkoilman lämpötila, °C

$T_{poisto}$  = poistoilman lämpötila, °C

$$\eta_{poisto} = \frac{T_{poisto} - T_{jäte}}{T_{poisto} - T_{ulko}} \quad \text{KAAVA 6}$$

$\eta_{poisto}$  = poistoilman lämpötilasuhde

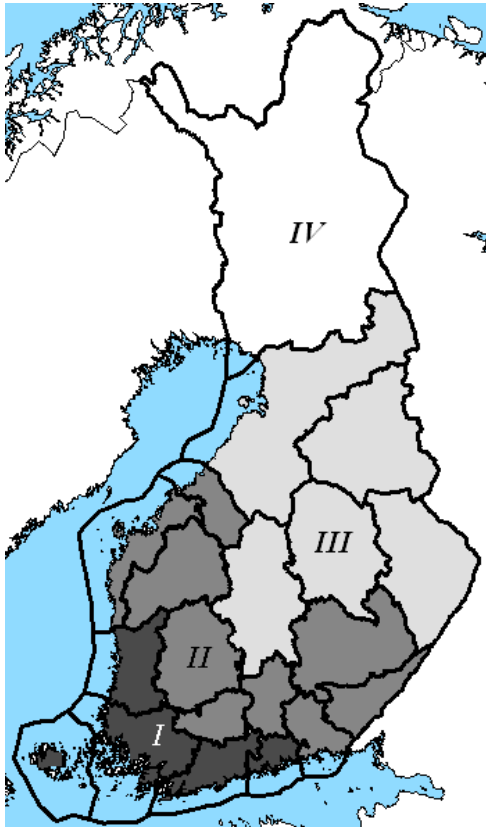
$T_{jäte}$  = jäteilman lämpötila, °C

## 5.3 Ulkolämpötilan pysyvyys

Vuosihyötysuhde lasketaan sääolosuhteiltaan keskimääräisen vuoden sääolosuhteissa ulkolämpötilan pysyvyyskäyrän mukaan. Siitä näkee, kuinka kauan jokin tietty ulkolämpötila esiintyy vuoden aikana. Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen, joilla on omat pysyvyyskäyrät (kuva 4). Pohjois-Suomessa vuosihyötysuhde on pienempi kuin samalla laitteella Etelä-Suomessa. Tämä laskelma on tehty Jyväskylän korkeudelle eli säävyöhykkeelle 3, jonka mitoitta-

va ulkoilman lämpötila on  $-32\text{ °C}$ . Laitteen todellinen vuosihyötysuhde voi poiketa laskennallisesta vuosittain vaihtelevan sään mukaan.

Laskelma tehtiin lämpötilojen perusteella eikä sinä huomioitu ilman kosteutta. Kun lämmin ja kostea poistoilma jäähtyy lämmöntalteenottokennossa, ilmankosteus tiivistyy vedeksi eli kondensoituu. Poistoilmassa tapahtuva kondensoituminen luovuttaa lämpöenergiaa tuloilmaan.



KUVA 4. Säävyöhykkeet (8, s.56)

#### 5.4 Vuosihyötysuhteen määrittäminen

Lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde on poistoilmasta talteenotetun energian suhde koko ilmanvaihdon energian tarpeeseen. Vuosihyötysuhde voidaan laskea kaavalla 7. (9, s. 24.)

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{IV}}$$

KAAVA 7

$\eta_a$  = Vuosihuötysuhde

$Q_{LTO}$  = Poistoilmasta talteenotettu energia, kWh

$Q_{IV}$  = Koko ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia, kWh

### Poistoilmasta talteenotettu lämmitysenergia

Poistoilmasta talteenotettu lämmitysenergia voidaan laskea kaavalla 8 (9, s. 20).

$$Q_{LTO} = q_v * C_p * \rho * \sum(T_{LTO} - T_{Ulko}) * t \quad \text{KAAVA 8}$$

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

$C_p$  = ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg °C

$\rho$  = ilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$T_{LTO}$  = tuloilman lämpötila lto:n jälkeen, °C

$T_{Ulko}$  = ulkoilman lämpötila, °C

$t$  = ulkolämpötilan esiintymisaika vuoden aikana, h

### Koko ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia

Koko ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia voidaan laskea kaavalla 9 (9, s. 18).

$$Q_{IV} = q_v * C_p * \rho * \sum(T_{Poisto} - T_{Ulko}) * t \quad \text{KAAVA 9}$$

$T_{Poisto}$  = poistoilman lämpötila, °C

### Lämpötilat

Tuloilman lämpötila lto:n jälkeen voidaan laskea kaavalla 10.

$$T_{LTO} = T_{Ulko} + \eta_{Tulo} * (T_{Poisto} - T_{Ulko}) \quad \text{KAAVA 10}$$

Jäteilman lämpötila voidaan laskea kaavalla 11. Lämpötilan laskettua alle –8 °C:een rajoitetaan lämmöntalteenottoa kunnes jäteilman lämpötila on yli raja-arvon.

$$T_{Jäte} = T_{Poisto} - \eta_{Poisto} * (T_{Poisto} - T_{Ulko}) \quad \text{KAAVA 11}$$

Tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen huurtumisenestotilanteessa voidaan laskea kaavalla 12. Huurtumisenestotilanne on käynnissä silloin, kun jäteilman lämpötilaa pitää rajoittaa.

$$T_{LTO,huurt.} = T_{Ulko} + (T_{Poisto} - T_{Jäte})$$

KAAVA 12

$T_{LTO, huurt}$  = Tuloilman lämpötila lto:n jälkeen huurtumisenestotilanteessa, °C

$T_{Jäte}$  = Jäteilman lämpötila, °C

## 5.5 Tulokset

Lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhteeksi saatiin 78 %, kun jäteilman minimilämpötila oli –8 °C, poistoilman lämpötila 21 °C ja tulo- ja poistoilman lämpötilasuhteet 80 %. Vuosihyötysuhde on hyvä ja se voi todellisuudessa olla parempikin. Epävarmuustekijänä on jäteilman minimilämpötila. Siitä ei ole testatuloksia kyseiselle laitteelle. Arvo on otettu erään valmistajan pyörivän lämmöntalteenottolaitteen tyyppihyväksynnän tuloksista. Jos jäteilman lämpötilaa ei tarvitse rajoittaa ollenkaan, vuosihyötysuhde nousee 80 %:iin. Vuosihyötysuhteen laskenta on esitetty liitteessä 4.



## 6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää olemassa olevan ilmanvaihtokoneen lähtötaso tuotekehityksen lähtötiedoiksi. Selvitettäviä asioita oli SFP-luku, kennojen painehäviö, puhaltimien paineentuotto koneen ulkopuolelle sekä lämmöntalteenottolaitteen poistoilman vuosihyötysuhde.

Painehäviöt ja puhaltimien paineentuotto selvitettiin mittaamalla painemittarilla. Laitteen ottama sähköteho saatiin pistorasiaan kytkettävällä energiamittarilla. SFP-luku ja lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhde määritettiin laskennallisesti.

Ilmanvaihtokoneen teholla 3 ja ilmavirralla 55 dm<sup>3</sup>/s lämmöntalteenottokennojen painehäviöksi saatiin 44 Pa, paineentuotoksi laitteen ulkopuolelle 80 Pa ja SFP-luvuksi 2,3 kW/(m<sup>3</sup>/s). Vuosihyötysuhteeksi saatiin 78 %.

Kehitettäviä asioita SFP-luvun parantamiseksi ovat ilmanvaihtokoneen rakenteelliset muutokset sekä puhaltimien vaihto puhaltimiin, joissa on parempi hyötysuhde. Rakenteellisilla muutoksilla saadaan pienennettyä painehäviöitä laitteen sisällä, jolloin puhaltimien paineentuoton tarve pienenee. Puhaltimien vaihdolla saadaan puhaltimien sähköverkosta ottama teho siirrettyä tehokkaammin ilman liikkeeseen. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 78 % on hyvä ja ylittää reilusti vaaditun 45 %.

## LÄHTEET

1. Tyyppihyväksyntä – ympäristö.fi. 2010. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=311872&lan=fi> Hakupäivä 24.3.2011.
2. RakMK. 2008. Pienten ilmapuhaltimien tyypin hyväksyntä. Ohjeet. Ympäristöministeriö. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/pdf/normit/33884-THohje\\_151108\\_pienet\\_ivkoneet.pdf](http://www.finlex.fi/pdf/normit/33884-THohje_151108_pienet_ivkoneet.pdf) Hakupäivä 24.3.2011.
3. Nyman, Mikko 2010. Diplomi-insinööri, VTT. Haastattelu 18.11.2010.
4. Energent Oy. LTO:n toiminta. 2010. Saatavissa: [http://www.energent.fi/lto\\_toiminta.html/](http://www.energent.fi/lto_toiminta.html/). Hakupäivä 16.11.2010
5. Fläkt Woods Oy. Mittaus- ja säätölaite IRIS. Tekninen esite. 2011. Saatavissa: <http://www.flaktwoods.fi/f0d83e62-93fd-4b6a-b348-d2bc193f9872>. Hakupäivä: 14.3.2011
6. RakMK D2. 2008. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö. Saatavissa: [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) Hakupäivä 24.3.2011.
7. RYL. LVI 30-10349. 2002. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP. Ohjekortti.
8. RakMK D5. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf> Hakupäivä 24.3.2011.
9. Ympäristöministeriön moniste 122. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. 2003. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.environment.fi/download.asp?contentid=9298&lan=fi> Hakupäivä 24.3.2011

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Jouko Kuha

Tilaaaja Indifine Oy

Tilaaajan yhdyshenkilö  
Jani Moilanen

Työn nimi Energian talteenottolaitteen testaus

Työn kuvaus Työn tilaaja toimittaa koelaitteistoon testattavilla lämmöntalteenotto-kennoilla varustetun ilmanvaihtokoneen. Koelaitteisto rakennetaan OAMK:n tekniikan yksikön laboratoriotiloihin.

Lämmöntalteenottokennojen painehäviöt mitataan koneen eri ilmavirroilla. Painehäviöiden vaikutus ilmanvaihtokoneen SFP-lukuun arvoidaan laskennallisesti.

Lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhde lasketaan käyttäen valmistajan ilmoittamaa tuloilman lämpötilahyötysuhdetta Jyväskylän normivuoden säätietoja käyttäen.

Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on kuvata olemassa olevan teknologian lähtötaaso tuotekehityksen lähtötiedoiksi. Tavoitteena on selvittää lämmöntalteenottokennojen painehäviöt ja sitä kautta niiden aiheuttama sähköenergian kulutus.

Tavoiteaikataulu

Koelaitteisto rakennettu lokakuun 2010 loppuun mennessä

Mittaukset tehty marraskuun 2010 loppuun mennessä

Laskelmat tehty tammikuun 2011 loppuun mennessä

Raportti valmis maaliskuun 2011 loppuun mennessä

Päiväys ja allekirjoitukset

06.09.2010

Jani Moilanen

Jouko Kuha

## Mittaustulokset

Ilman kennoja

Koneen teho	Kanava	Ilmavirta [dm <sup>3</sup> /s]	$\Delta P_{\text{Säätöpeltti}}$ [Pa]	Tarkistusmittaus [Pa]	Paineentuotto [Pa]	Ottoteho [kW]
Teho 1	Tulo	21,3	14,5		19,5	0,042
	Ulko	21,4	9,9			
	Poisto	21,9	10,4		19,7	
	Jäte	21,2	14,3			
Teho 2	Tulo	44,1	62,0		81,9	0,102
	Ulko	43,9	41,7			
	Poisto	45,2	44,2		79,6	
	Jäte	43,6	60,7			
Teho 3	Tulo	55,6	98,6	128,4	127,5	0,132
	Ulko	55,7	67,2			
	Poisto	55,8	67,4		128,2	
	Jäte	55,6	98,5			
Teho 4	Tulo	63,8	130,0		169,8	0,164
	Ulko	63,7	87,8			
	Poisto	65,5	92,8		169,6	
	Jäte	63,2	127,2			
Teho 5	Tulo	68,2	148,6		193,5	0,211
	Ulko	68,5	101,5			
	Poisto	70,2	106,6		196,0	
	Jäte	68,1	148,1			

Säätöpelttien arvot

Tulo	6,5
Ulko	6
Poisto	6
Jäte	6,5

## Mittaustulokset

Kennojen kanssa

Koneen teho	Kanava	Ilmavirta [dm <sup>3</sup> /s]	$\Delta P_{\text{Säätöpeltti}}$ [Pa]	Tarkistusmittaus [Pa]	Paineentuotto [Pa]	Ottoteho [kW]
Teho 1	Tulo	20,7	7,6		12,5	0,042
	Ulko	20,4	9,0			
	Poisto	21,2	9,7		12,9	
	Jäte	20,9	7,8			
Teho 2	Tulo	43,7	34,0		55,8	0,098
	Ulko	43,2	40,4			
	Poisto	44,1	42,1		56,5	
	Jäte	44,1	34,5			
Teho 3	Tulo	55,1	54,0	84,2	87,2	0,128
	Ulko	54,1	63,3			
	Poisto	55,5	66,7		88,0	
	Jäte	55,5	55,1			
Teho 4	Tulo	63,6	72,0		118,8	0,160
	Ulko	62,5	84,4			
	Poisto	63,6	87,6		119,1	
	Jäte	63,4	71,5			
Teho 5	Tulo	68,3	83,0		134,1	0,203
	Ulko	67,1	97,4			
	Poisto	68,2	100,7		135,5	
	Jäte	67,6	81,3			

## Säätöpelttien arvot

Tulo	5,5
Ulko	6
Poisto	6
Jäte	5,5

## Paineentuoitto ilmavirran funktiona

Koneen teho	Ilmavirta [dm <sup>3</sup> /s]	Tulopuhaltimen paineentuoitto [Pa]	Poistopuhaltimen paineentuoitto [Pa]	Keskiarvo [Pa]
Teho 1	16	36	38	37
	18	23	21	22
	20	21	21	21
	22	8	8	8
Teho 2	35	130	133	132
	40	81	83	82
	45	40	41	40
	50	13	15	14
Teho 3	45	168	172	170
	50	124	129	127
	55	79	80	80
	60	31	32	31
	65	15	14	15
Teho 4	52	196	196	196
	59	147	148	147
	66	66	66	66
	73	32	32	32
	80	21	21	21
Teho 5	60	180	180	180
	67	100	101	100
	74	55	56	55
	81	32	33	33
	88	28	27	27

# VUOSIHYÖTYSUHDELASKELMA

LIITE 4/1

## LTO:n vuosihyötysuhdelaskelma ulkoilman lämpötilan pysyvyyden perusteella

Lähtöarvot	
$T_{LTO, max}$	21 °C
$T_{jäte, min}$	-8 °C
$T_{poisto}$	21 °C
Lämpötilasuhde yhtä suurilla ilmavirroilla	80 %

Lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde **78** %

Ulkolämpötila, jota alemmissa lämpötiloissa huurtumisenestoautomaatika rajoittaa **jäteilman** lämpötilaa laskemasta alle -8 °C

$T_{ulko}$	-15
------------	-----

Ulkolämpötila, jota korkeammassa lämpötiloissa LTO:n säätöautomaatika rajoittaa **tuloilman** lämpötilaa nousemasta yli 21 °C

$T_{ulko}$	21
------------	----

$T_{ulko}$ °C	Aika vuodesta %	Aika vuodesta h	$T_{LTO, max}$ °C	$T_{jäte, min}$ °C	$T_{poisto}$ °C	$T_{jäte}$ °C	$T_{LTO}$ °C	$Q_{LTO}$ kWh	$Q_{LP}$ kWh	$Q_{tuloilma}$ kWh	$Q_{poistoilma}$ kWh
-35	0	0	21	-8	21	-8,00	-6,00	0	0	0	0
-34	0,0006	5,256	21	-8	21	-8,00	-5,00	152,424	136,656	289,08	289,08
-33	0,0008	1,752	21	-8	21	-8,00	-4,00	50,808	43,8	94,608	94,608
-32	0,0009	0,876	21	-8	21	-8,00	-3,00	25,404	21,024	46,428	46,428
-31	0,0017	7,008	21	-8	21	-8,00	-2,00	203,232	161,184	364,416	364,416
-30	0,0026	7,884	21	-8	21	-8,00	-1,00	228,636	173,448	402,084	402,084
-29	0,0038	10,512	21	-8	21	-8,00	0,00	304,848	220,752	525,6	525,6
-28	0,0055	14,892	21	-8	21	-8,00	1,00	431,868	297,84	729,708	729,708
-27	0,0075	17,52	21	-8	21	-8,00	2,00	508,08	332,88	840,96	840,96
-26	0,0090	13,14	21	-8	21	-8,00	3,00	381,06	236,52	617,58	617,58
-25	0,0121	27,156	21	-8	21	-8,00	4,00	787,524	461,652	1249,18	1249,18
-24	0,0155	29,784	21	-8	21	-8,00	5,00	863,736	476,544	1340,28	1340,28
-23	0,0197	36,792	21	-8	21	-8,00	6,00	1066,97	551,88	1618,85	1618,85
-22	0,0243	40,296	21	-8	21	-8,00	7,00	1168,58	564,144	1732,73	1732,73
-21	0,0297	47,304	21	-8	21	-8,00	8,00	1371,82	614,952	1986,77	1986,77
-20	0,0337	35,04	21	-8	21	-8,00	9,00	1016,16	420,48	1436,64	1436,64
-19	0,0398	53,436	21	-8	21	-8,00	10,00	1549,64	587,796	2137,44	2137,44
-18	0,0475	67,452	21	-8	21	-8,00	11,00	1956,11	674,52	2630,63	2630,63
-17	0,0573	85,848	21	-8	21	-8,00	12,00	2489,59	772,632	3262,22	3262,22
-16	0,0696	107,748	21	-8	21	-8,00	13,00	3124,69	861,984	3986,68	3986,68
-15	0,0774	68,328	21	-8	21	-7,80	13,80	1967,85	491,962	2459,81	2459,81
-14	0,0840	57,816	21	-8	21	-7,00	14,00	1618,85	404,712	2023,56	2023,56
-13	0,0906	57,816	21	-8	21	-6,20	14,20	1572,6	393,149	1965,74	1965,74
-12	0,0968	54,312	21	-8	21	-5,40	14,40	1433,84	358,459	1792,3	1792,3
-11	0,1045	67,452	21	-8	21	-4,60	14,60	1726,77	431,693	2158,46	2158,46
-10	0,1195	131,4	21	-8	21	-3,80	14,80	3258,72	814,68	4073,4	4073,4
-9	0,1332	120,012	21	-8	21	-3,00	15,00	2880,29	720,072	3600,36	3600,36
-8	0,1451	104,244	21	-8	21	-2,20	15,20	2418,46	604,615	3023,08	3023,08
-7	0,1596	127,02	21	-8	21	-1,40	15,40	2845,25	711,312	3556,56	3556,56
-6	0,1771	153,3	21	-8	21	-0,60	15,60	3311,28	827,82	4139,1	4139,1
-5	0,1990	191,844	21	-8	21	0,20	15,80	3990,36	997,589	4987,94	4987,94
-4	0,2291	263,676	21	-8	21	1,00	16,00	5273,52	1318,38	6591,9	6591,9
-3	0,2629	296,088	21	-8	21	1,80	16,20	5684,89	1421,22	7106,11	7106,11
-2	0,2910	246,156	21	-8	21	2,60	16,40	4529,27	1132,32	5661,59	5661,59
-1	0,3293	335,508	21	-8	21	3,40	16,60	5904,94	1476,24	7381,18	7381,18
0	0,3818	459,9	21	-8	21	4,20	16,80	7726,32	1931,58	9657,9	9657,9

T <sub>ulko</sub> °C	Aika vuodesta %	Aika vuodesta h	T <sub>LTO, max</sub> °C	T <sub>jäte, min</sub> °C	T <sub>poisto</sub> °C	T <sub>jäte</sub> °C	T <sub>LTO</sub> °C	Q <sub>LTO</sub> kWh	Q <sub>LP</sub> kWh	Q <sub>tuloilma</sub> kWh	Q <sub>poistoilma</sub> kWh
1	0,4547	638,604	21	-8	21	5,00	17,00	10217,7	2554,42	12772,1	12772,1
2	0,5021	415,224	21	-8	21	5,80	17,20	6311,4	1577,85	7889,26	7889,26
3	0,5403	334,632	21	-8	21	6,60	17,40	4818,7	1204,68	6023,38	6023,38
4	0,5695	255,792	21	-8	21	7,40	17,60	3478,77	869,693	4348,46	4348,46
5	0,5939	213,744	21	-8	21	8,20	17,80	2735,92	683,981	3419,9	3419,9
6	0,6207	234,768	21	-8	21	9,00	18,00	2817,22	704,304	3521,52	3521,52
7	0,6395	164,688	21	-8	21	9,80	18,20	1844,51	461,126	2305,63	2305,63
8	0,6596	176,076	21	-8	21	10,60	18,40	1831,19	457,798	2288,99	2288,99
9	0,6837	211,116	21	-8	21	11,40	18,60	2026,71	506,678	2533,39	2533,39
10	0,7088	219,876	21	-8	21	12,20	18,80	1934,91	483,727	2418,64	2418,64
11	0,7374	250,536	21	-8	21	13,00	19,00	2004,29	501,072	2505,36	2505,36
12	0,7639	232,14	21	-8	21	13,80	19,20	1671,41	417,852	2089,26	2089,26
13	0,7926	251,412	21	-8	21	14,60	19,40	1609,04	402,259	2011,3	2011,3
14	0,8274	304,848	21	-8	21	15,40	19,60	1707,15	426,787	2133,94	2133,94
15	0,8579	267,18	21	-8	21	16,20	19,80	1282,46	320,616	1603,08	1603,08
16	0,8869	254,04	21	-8	21	17,00	20,00	1016,16	254,04	1270,2	1270,2
17	0,9107	208,488	21	-8	21	17,80	20,20	667,162	166,79	833,952	833,952
18	0,9324	190,092	21	-8	21	18,60	20,40	456,221	114,055	570,276	570,276
19	0,9490	145,416	21	-8	21	19,40	20,60	232,666	58,1664	290,832	290,832
20	0,9635	127,02	21	-8	21	20,20	20,80	101,616	25,404	127,02	127,02
21	0,9752	102,492	21	-8	21	21,00	21,00	0	0	0	0
22	0,9839	76,212	21	-8	22	22,00	21,00	0	0	0	0
23	0,9900	53,436	21	-8	23	23,00	21,00	0	0	0	0
24	0,9935	30,66	21	-8	24	24,00	21,00	0	0	0	0
25	0,9969	29,784	21	-8	25	25,00	21,00	0	0	0	0
26	0,9986	14,892	21	-8	26	26,00	21,00	0	0	0	0
27	0,9995	7,884	21	-8	27	27,00	21,00	0	0	0	0
28	1	4,38	21	-8	28	28,00	21,00	0	0	0	0
							ΣQ	122590	33838	156427	156427