

# **SFP-opas**

Opas ilmanvaihtojärjestelmän  
ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan  
ja mittaamiseen

# Sisältö

<b>Esipuhe</b>	3
<b>Yleinen osa</b>	
Oppaan tarkoitus	4
Soveltamisala	5
Viranomaisvaatimukset	5
Käsitteitä	6
Järjestelmämäärittelyt	6
Ominais sähkötehon laskentaperiaate	8
<b>Ilmanvaihtolaitoksen suunnittelu ominais sähkötehon kannalta</b>	
SFP-tavoitetason valinta	11
Laskentaan sisältyvät puhaltimet	11
Koko ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähkötehon laskenta	11
Poikkeukset	13
Muuttuvan ilmavirran ilmanvaihtojärjestelmä	13
Asuinrakennusten ilmanvaihto	13
Suunnitteluasiakirjoissa esitettävät asiat	14
Ilmankäsittelykoneen valinta ja mitoituskriteerit	15
Koneen laitekoonpano	15
Kanavajärjestelmän suunnittelu	16
Puhaltimen liitäntä kanavistoon	16
Ilmanvaihtojärjestelmän mitattavuus	19
<b>Mittaukset ja vastaanottotarkastus</b>	
Ilmavirran mittaaminen	21
Muuttuvailmavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä	21
Taajuusmuuttajalla varustettu puhallin	21
Puhallin ilman taajuusmuuttajaa	21
Sähkötehon mittaaminen	22
Sähkötehon mittaaminen pienestä ilmanvaihtokoneesta	23
<b>Laskennan määrittelyjä</b>	24
<b>Esimerkki ilmankäsittelykoneen SFP-laskennasta</b>	26
<b>Tuotteiden laadunvarmistus</b>	28
<b>Kirjallisuutta</b>	29
<b>Liitteet</b>	
Ominais sähkötehon laskentakaavake ilmanvaihtojärjestelmälle	

## Esipuhe

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa D2 (2003) esittää uusia vaatimuksia rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuudelle. Niihin kuuluu enimmäisohjearvon antaminen ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien käyttämälle sähköteholle. Tämän oppaan tehtävänä on kuvata käytännön menettelytapa ilmanvaihtojärjestelmien ja ilmankäsittelykoneiden ominaissähkötehon määrittelylle.

Talotekniikan elinkaarihankkeiden oheismateriaalina laadittiin vuonna 2000 Suomen Talotekniikan Kehityskeskuksen julkaisema TAKE-raportti 40. Merkittävää lähdeaineistoa tähän työhön on saatu Ruotsista, jossa Svenska Inneklimatinstitutet ja Föreningen V ovat 1990-luvun aikana useaan otteeseen kehittäneet ns. sähkötehokkuusluokitusta.

D2-määräysten ja ohjeiden lausuntovaiheessa vuonna 2001 tuli esille tarve kirjoittaa auki ohjearvon taustat yhtenäisen määrittelytavan aikaansaamiseksi. Tästä ensimmäisenä tuloksena saatiin LVI-ohjekortistoon ns. SFP-kortti (LVI 30-10349)

Tämän LVI-kortin lausuntokierroksella saatiin runsaasti toiveita laajemmasta oppaasta, jossa käsiteltäisiin mm. puhaltimen liitännätavan vaikutusta, hyötysuhteen osatekijöitä ja suunnittelun käytännön kulkua. Tätä opasta laadittaessa on lausuntoja otettu mahdollisuuksien mukaan huomioon. Oppaan viimeistelyvaiheessa muodostui yhteistyötä ns. RET-hankeeseen, jonka tavoitteena on luoda pohjaa rakennusten energiatehokkuutta koskevan EU-direktiivin käyttöönotolle Suomessa. RETin tulosten perusteella voidaan edelleen kehittää työkalut rakennuksen energiantarpeen arvioimiseksi siten, että kaikki energiaa käyttävät järjestelmät ja laitteet tulevat huomioon otetuksi tasapuolisesti ja luotettavasti.

Oppaan tekstin ovat kirjoittaneet:

Pekka Mäkinen, Fläkt Woods Oy  
Jorma Railio, Suomen Ilmateknillinen Toimialayhdistys ry. (SITY)

Tekstiä on käsitelty Suomen Ilmateknillisen Toimialayhdistyksen aloitteesta perustetussa työryhmässä, johon kirjoittajien lisäksi ovat kuuluneet

Veijo Karvonen, Koja Oy  
Erkki Marjasto, Vallox Oy  
Mikko Nyman, VTT/Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Seppo Niemi, LVI-Parmair Oy

Seuraavat henkilöt ovat arvioineet tekstin käsikirjoituksen, tai heidän aiempaan LVI-korttiin antamiaan lausuntoja on merkittävästi hyödynnetty oppaan valmistelussa:

Timo Nieminen, Turun kaupungin rakennusvalvontatoimisto  
Alvar Hausen  
Juhani Laine, VTT/Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Esa Sandberg, Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Jarkko Heinonen, TKK/LVI-laboratorio

Teksti on ollut esillä myös SITYn sisäilmaryhmässä, jossa edustettuna ovat alan laitevalmistajien lisäksi rakennusvalvontaviranomaisia ja muita sidosryhmiä.

5 tammikuuta 2004

## Oppaan tarkoitus

Tämän oppaan tehtävänä on kuvata käytännön menettelytapa ilmanvaihtojärjestelmien ja ilmapuhaltuskoneiden ominaissähkötehon määrittelylle. Opas on tarkoitettu erityisesti suunnittelijoiden ja urakoinnin käytännön työkaluksi, asennetun järjestelmän mittaajille vastaanottotarkastuksia varten sekä rakennusvalvonnalle järjestelmien ja yksittäisten koneiden ja puhaltimien vaatimustenmukaisuuden arviointiin. Opas täydentää ilmastointikoneita koskevia muita asiakirjoja (TalotekniikkaRYL/ ilmapuhaltuskoneiden järjestelmät, ilmastointikoneiden tyyppihyväksyntäohjeet, LVI-ohjekortti LVI 30-10149

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (2003) on annettu vaatimuksia ilmanvaihtojärjestelmän sähkötehokkuudelle asettamalla enimmäisohjearvo ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien käyttämälle sähköteholle. Määräys esittää yleiset tavoitteet, ja siihen liittyvissä ohjeissa on lukuarvovaatimus josta tavanomaisista poikkeavissa kohteissa voidaan myös poiketa. Tämä opas antaa ohjeita laitteiden tarkoituksenmukaiseen suunnitteluun erityyppisiin kohteisiin sekä myös sähkötehokkuuden tavoitearvon määrittelylle kohteissa, joissa ilmapuhaltuskoneiden vaatii tavanomaista suurempaa sähkötehoa. Tällaisia kohteita ovat mm. sairaaloiden toimenpidetilat, puhdistilat ja laboratoriot

Tässä oppaassa määritellään ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho eli SFP-luku (Specific Fan Power), joka kuvaa ilmanvaihtojärjestelmän sähkötehokkuuden. SFP-luku antaa lukuarvon sille, miten paljon sähkötehoa rakennuksen ilmanvaihto tarvitsee yhden ilmakehän siirtämiseen sekunnissa. Oikealla suunnittelulla ja laitevalinnoilla voidaan vaikuttaa rakennuksen ja sen ilmapuhaltuskoneiden sähkökulutukseen. Koska sähkökulutuksella on hyvin merkittävä osuus energian tarpeesta, voidaan määräysten mukaisella suunnittelulla merkittävästi vaikuttaa koko rakennuksen elinkaarikustannuksiin ja ympäristökuormitukseen.

Tässä suhteessa "hyvin" tai "huonosti" toteutetun järjestelmän välinen suhde sähkötehosta voi olla jopa 1:2. Kuitenkin molemmat toteuttavat saman toiminnallisen laatutason, haluttu ilmavirta haluttuun paikkaan ja halutussa lämpötilassa. Toinen toimii taloudellisesti pienellä sähkötehosta, toinen paljon sähköä käyttäen. "Hyvä" toteutus ei sinänsä ole vaikeampi eikä välttämättä investointikustannuksiltaan kalliimpi kuin "huono".

SFP-luku on tarkoitettu apuvälineeksi jolla voidaan ennalta määrittellä suunniteltavan kohteen ominaissähkötehon tavoitetaso ja täten varmistua siitä, että suunnittelu- ja toteutusprosessi johtavat halutun tasoiseen lopputulokseen. Esimerkiksi jos määritellään ilmanvaihtojärjestelmän SFP-arvoksi 2,5 on tällöin kaikki puhaltimet ja ilmapuhaltuskoneet mitoitettava ja valittava siten, että kaikkien ilmapuhaltuskoneiden painotettu keskiarvo alittaa  $2,5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ . Yksittäisen puhaltimen tai ilmapuhaltuskoneen kohdalla voidaan sallia tavoitearvon ylitys, jos se kompensoidaan matalammilla arvoilla muissa koneissa. Tällä aikaansaadaan se, että koko prosessi suunnittelu - laitehankinnat - toteutus ottaa määritellyn arvon huomioon ja rakennuttaja saa varmuuden siitä, että lopputulos on myös tältä osin halutun mukainen.

Pienen sähkökulutukseen ei luonnollisestikaan pidä pyrkiä sisäilmaston kustannuksella tai heikentämällä ilmanvaihdon tai rakennuksen muuta energiatehokkuutta. Ilmanvaihdon toiminnalliset tavoitteet: ilmavirta, suodatusaste, lämpötila jne. tulee säilyttää. Tämän takia on sähkötehokkuuden suunnittelun edettävä muun suunnittelun rinnalla.

## Soveltamisala

Tämä opas tarkastelee ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien ominaissähkötehoa.

Opas ei rajaudu mihinkään tiettyyn rakennus- tai ilmanvaihtojärjestelmätyyppiin. Se soveltuu kuitenkin parhaiten keskitetyllä koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustettuihin toimisto-, liike- ja julkisiin rakennuksiin sekä asuinkerrostaloihin sekä asuinpientaloihin. Opasta voidaan myös käyttää soveltaen

- rakennuksiin, joissa on hajautettu koneellinen ilmanvaihto (esimerkiksi kerrostalot huoneistokohtaisilla tai koulut luokkakohtaisilla ilmanvaihtokoneilla) sekä ns. hybridi-ilmanvaihdolla tai pelkällä koneellisella poistoilmanvaihdolla varustettuihin rakennuksiin.
- teollisuusrakennuksiin, poisluettuna teollisuusprosesseja palveleva ilmanvaihto ja ns. turvallisuusilmanvaihtoratkaisut

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehoa laskettaessa otetaan huomioon kaikki ne puhaltimet, jotka osallistuvat rakennuksen ilmanvaihtoon. Laskennassa ei siis huomioida ilmanvaihtojärjestelmän sisältämiä muita sähkön kuluttajia kuten esimerkiksi lämmitys- ja jäähdytyspumput. Mukaan lasketaan:

- ilmankäsittelykoneiden tuloilmapuhaltimet
- ilmankäsittelykoneiden poistoilmapuhaltimet
- erilliset tuloilmapuhaltimet
- erilliset poistoilmapuhaltimet (huippuimurit)

Mukaan ei lasketa niitä puhaltimia, jotka eivät osallistu varsinaiseen mitoittavaan ilmanvaihtoon, kuten esimerkiksi:

- tuulikaappien ilmanlämmittimien puhaltimet
- muut paikalliseen lämmitykseen käytettävät ilmanlämmittimien puhaltimet
- puhallinkonvektorit
- muut ilman kierrättämiseen käytetyt puhaltimet
- tuotantoprosessin koneiden paikallispoistot, laboratorioden vetokaapit
- teknisten tilojen yllilämmön poistoon tarkoitetut puhaltimet
- takkaimurit
- liesituulettimet

## Viranomaisvaatimukset

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa D2 (2003) esittää vaatimukset seuraavasti (määräys lihavoituna):

### 4.1.1

***Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella siten, että se luo omalta osaltaan edellytykset tehokkaalle energiankäytölle.***

***Ilmanvaihdon energiatehokkuus varmistetaan rakennuksen käytön kannalta tarkoituksenmukaisilla keinoilla tinkimättä terveellisestä, turvallisesta ja viihtyisästä sisäilmastosta.***

#### 4.1.1.1

*Ilmanvaihdon tehokkaan energiankäytön edellytykset varmistetaan tarkoituksenmukaisilla suunnittelu- ja toteutusratkaisuilla, kuten ilmanvaihtolaitteiden toiminta-alueiden ja toiminta-aikojen ryhmittelyllä, ilmanvaihdon tarpeenmukaisella ohjauksella sekä jäteilman lämmöntalteenoton tarpeenmukaisella toiminnalla.*

#### 4.1.1.2

*Kanavat ja kammiot lämmöneristetään siten, ettei ilmavirran ja ympäristön välinen lämpötilaero aiheuta tarpeetonta energiankulutusta eikä sisäilmaston tai säätötoimintojen huononemista.*

#### 4.1.1.3

*Ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava siten, että järjestelmän ottama sähköteho voidaan helposti mitata.*

#### 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.*

## Käsitteitä

### Järjestelmämäärittelyt

Koneellisella tulo- ja poistoilmajärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jolla ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti puhaltimen avulla ja tilalle tuodaan lämmitettyä/jäähdytettyä ja suodatettua ulkoilmaa puhaltimen avulla.

Koneellisella poistoilmajärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jolla ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti puhaltimen avulla ja tilalle tulee ulkoilmaa sekä ulkoilmalaitteiden kautta että rakenteiden ilmapuotoina.

### Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho

**Koko ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP on rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho kW jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla m<sup>3</sup>/s (suurempi näistä). Ilmanvaihtojärjestelmän sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimien moottorien sähkötehon lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden sähkötehon.**

### Tulo- ja poistoilmakoneen ominaissähköteho

**Ilmankäsittelykoneen (joka sisältää tulo- ja poistoilmakoneen) ominaissähköteho SFP on puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho kW jaettuna koneen tulo- tai poistoilmavirralla m<sup>3</sup>/s, suuremmalla näistä. Sähkön ottoteho lasketaan mitoitusilmavirralla.**

### Yksittäisen ilmanvaihtokoneen tai erillisen puhaltimen ominaissähköteho SFP

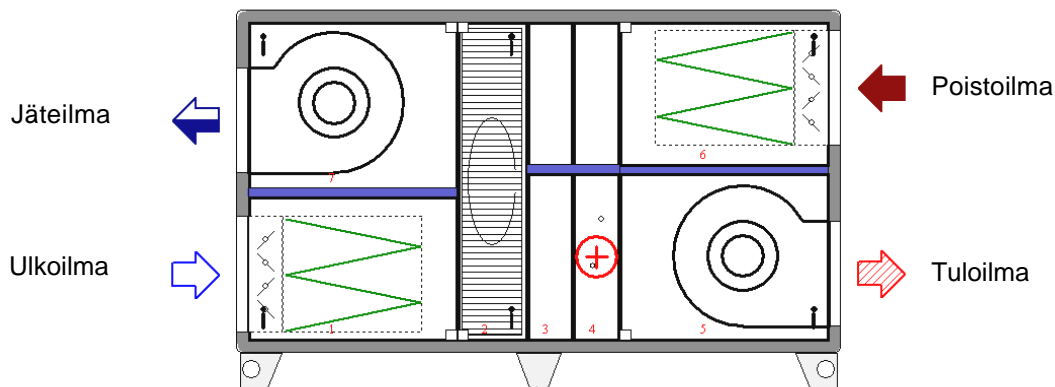
**Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimen (ilmanvaihtokoneen) ominaissähköteho on puhaltimensähköverkosta ottama sähköteho jaettuna puhaltimen mitoitusilmavirralla. Puhaltimen sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimen moottorin sähkötehon lisäksi mahdollisen taajuusmuuttajan ja muun tehonsäätölaitteen sähkötehon.**

## Ominais sähkötehon laskentaperiaate

Ilmankäsittelyjärjestelmän puhaltimien sähkönkulutukseen vaikuttavat kaikki järjestelmään liittyvät laitteet ja komponentit (kuva 1) mm:

- ulkosäleikkö
- tuloilmakanavisto koneen imu- ja painepuolella
- ilmankäsittelykone
- poistoilmakanavisto koneen imu- ja painepuolella
- päätelaitteet

Ilmankäsittelykone muodostaa järjestelmän kokonaispainehäviöstä yleensä suurimman osan, jolloin koneen merkitys korostuu. Jakautuma on tyypillisesti esim. koneelle 700 Pa ja kanavistolle 250 Pa. Lisäksi koneen hyvyys/huonous vaikuttaa myös koneen ulkopuoliseen, kanaviston aiheuttamaan sähkönkulutukseen, koska myös kanaviston tarvitsema paineenkorotus tuotetaan koneen puhaltimessa.



Kuva 1. Ilmankäsittelykone ja kanaviston osat.

## Ominais sähkötehon määrittely rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmälle

Ominais sähkötehoa laskettaessa otetaan mukaan ainoastaan puhallinmoottorien verkosta ottama sähköteho. Ilmanvaihtojärjestelmän tarvitsemat pumput (lämmityspatteri, talteenotto piiri), pyörivän lämmönsiirtimen käyttömoottori ym. jätetään laskennan ulkopuolelle. Sama koskee yksittäisiä kierrätysilmapuhaltimia (tuulikaappikoneet yms.) sekä muita vastaavia laitteita, jotka eivät palvele rakennuksen ilmanvaihtoa.

Ominais sähkötehon määrittely ei kuulu rakennuksen tai ilmanvaihtojärjestelmän elinkaaritarkasteluun, eikä siinä oteta huomioon muuttuvia ilmavirtoja, eri järjestelmien ja tilojen eri käyttöaikoja eikä muita kuin ilmanvaihtoa tai ilman käsittelyä palvelevia koneita ja laitteita. Koko ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho SFP on rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho [kW] jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (suurempi näistä). Ilmanvaihtojärjestelmän sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimien moottorien sähkötehon lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden sähkötehon, kaava 1.



$$SFP = \frac{P_{tuloilmapuhaltimet} + P_{poistoilmapuhaltimet}}{q_{\max}} \quad (1)$$

missä

SFP = ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho, kW/(m<sup>3</sup>/s)  
P<sub>tuloilmapuhaltimet</sub> = tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW  
P<sub>poistoilmapuhaltimet</sub> = poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW  
q<sub>max</sub> = mitoittava jäteilmavirta tai ulkoilmavirta, m<sup>3</sup>/s.

Muuttuvan ilmavirran järjestelmässä SFP-luku määritellään mitoittavalla ilmavirralla ottamatta huomioon mahdollisia eroavuuksia tilojen käyttöajoissa ja ilmavirroissa.

### Ominaissähkötehon määrittely yksittäiselle ilmankäsittelykoneelle tai puhaltimelle

Kohdassa 2.2 on esitetty, miten koko ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luku määritellään. Järjestelmä koostuu yleensä useista alueista, joita kutakin palvelee erillinen ilmankäsittelykone. Konekohtainen ja puhallinkohtainen sähkötehokkuusluku määritellään seuraavasti:

**Yksittäisen ilmankäsittelykoneen** (joka sisältää tulo- ja poistoilmakoneen) 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. Sähkön ottoteho lasketaan mitoitusilmavirralla, puhtaalla suodattimella ja kuivien lämmönsiirtimien painehäviöllä, kaava 2.

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto}}{q_{\max}} \quad (2)$$

missä

SFP = ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho  
P<sub>tulo</sub> = tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW  
P<sub>poisto</sub> = poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW  
q<sub>max</sub> = koneen ilmavirroista suurempi (tulo tai poisto) m<sup>3</sup>/s.

**Yksittäisen puhaltimen ominaissähköteho** on puhaltimen sähköverkosta ottama sähköteho jaettuna puhaltimen ilmavirralla. Puhaltimen sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimen moottorin sähkötehon lisäksi mahdollisen taajuusmuuttajan tai muun tehonsäätölaitteen sähkötehon, kaava 3.

$$SFP = \frac{P_{puhallin}}{q} \quad (3)$$

missä

SFP = puhaltimen ominaissähköteho, kW/(m<sup>3</sup>/s)  
P<sub>puhallin</sub> = puhaltimen ottama sähköteho, kW  
q = puhaltimen ilmavirta m<sup>3</sup>/s.

### Miksi molempia ilmavirtoja (tulo ja poisto) ei käytetä laskennassa vaan ainoastaan suurempaa näistä?

Ominaissähköteho määrittelee ilmanvaihtojärjestelmän tehokkuuden tarvittavan sähkötehon suhteen, eli paljonko kilowatteja tarvitaan rakennuksen ilmanvaihdon käyttämiseen. Jos

rakennuksen tuloilmavirta on  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  ja poistoilmavirta  $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , on rakennuksessa tapahtuva ilman vaihtuvuus  $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tästä  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  tulee tuloilmakoneen kautta ja  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  vuotoina. Ilmanvaihdon ilmavirta, jolle sähkötehokkuus lasketaan on siis  $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$  eikä  $3,5 \text{ m}^3/\text{s} + 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## Suunnittelu

### Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu ominaissähkötehon kannalta

#### SFP-tavoitetason valinta

Tavoitetason valinnassa tulee noudattaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (2003) ohjetta, jonka mukaan ominaissähkötehon tulee olla yleensä alle  $2,5 \text{ kW}/(\text{ m}^3/\text{s})$ . Tämä koskee 'tavanomaisia ilmanvaihtojärjestelmiä'. Jos rakennuksen sisäilmaston hallinta edellyttää tavanomaisesta poikkeavia ratkaisuja, antaa ohje mahdollisuuden käyttää korkeampaa SFP-lukua.

*"Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään  $2,5 \text{ kW}/(\text{ m}^3/\text{s})$ . Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään  $1,0 \text{ kW}/(\text{ m}^3/\text{s})$ . Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho voi olla suurempi kuin  $2,5 \text{ kW}/(\text{ m}^3/\text{s})$ , jos esimerkiksi rakennuksen sisäilmaston hallinta edellyttää tavanomaisesta poikkeavaa ilmastointia."*

#### Laskentaan sisältyvät puhaltimet

SFP-määrittelyn tarkoitus on antaa helpokäyttöinen työkalu ilmanvaihdon energiatehokkaaseen mitoittamiseen. Ottamalla SFP huomioon järjestelmän mitoituksessa ja laitteiden valinnassa voidaan merkittävästi vaikuttaa ilmankäsittelyjärjestelmien taloudellisuuteen. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehoa laskettaessa otetaan huomioon kaikki ne puhaltimet, jotka osallistuvat rakennuksen ilmanvaihtoon. Laskennassa ei siis huomioida ilmanvaihtojärjestelmän sisältämiä muita sähkön kuluttajia kuten esimerkiksi lämmitys- ja jäähdytyspumput. Mukaan lasketaan:

- ilmankäsittelykoneiden tuloilmapuhaltimet
- ilmankäsittelykoneiden poistoilmapuhaltimet
- erilliset tuloilmapuhaltimet
- erilliset poistoilmapuhaltimet (huippuimurit)

Mukaan ei lasketa niitä puhaltimia, jotka eivät osallistu varsinaiseen mitoittavaan ilmanvaihtoon, kuten esimerkiksi:

- tuulikaappien ilmanlämmittimien puhaltimet
- muut paikalliseen lämmitykseen käytettävät ilmanlämmittimien puhaltimet
- puhallinkonvektorit
- muut ilman kierrättämiseen käytetyt puhaltimet
- tuotantoprosessin koneiden paikallispoistot, laboratorioiden vetokaapit
- teknisten tilojen yllämmön poistoon tarkoitetut puhaltimet
- takkaimurit
- liesituulettimet

#### Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon laskenta

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon laskenta edellyttää kaikkien ilmankäsittelykoneiden, puhaltimien ja kanavistojen valintaa ja mitoittamista. Järjestelmän SFP lasketaan käyttäen puhaltimien sähkön ottotehoja mitoitusilmavirralla, jotka saadaan esimerkiksi mitoitusohjelman tulosteesta. Seuraavassa esimerkissä on laskettu esimerkkilaitos, jossa on tulo/poistokoneita, erillisiä tuloilmakoneita ja huippuimureita.

## Ilmankäsittelykoneet, joissa sekä tulo- että poistoilmakone

Tuloilma- puhallin	Ilmavirta m <sup>3</sup> /s	Kanava- paine Pa	Verkosta otettu sähköteho <sup>1)</sup> kW	Poisto- ilma- puhallin	Ilmavirta m <sup>3</sup> /s	Kanava- paine Pa	Verkosta otettu sähköteho <sup>1)</sup> kW	Tämän koneen SFP kW/m <sup>3</sup> /s
TK-1	0,5	300	0,98	PK-1	0,5	250	0,85	3,66
TK-2	2,5	250	3,36	PK-2	2,8	250	3,93	2,60
TK-3	6,9	300	9,17	PK-3	7,2	300	8,71	2,28
TK-4	3,3	250	4,33	PK-4	3,6	250	4,83	2,54
Yhteensä	13,2		17,8		14,1		18,3	

### Erilliset tuloilmakoneet tai tuloilmapuhaltimet

Tuloilma- puhallin	Ilmavirta m <sup>3</sup> /s	Kanava- paine Pa	Verkosta otettu sähköteho <sup>1)</sup> kW	Tämän puhaltimen SFP kW/m <sup>3</sup> /s
TK-5	0,4	300	0,66	1,65
TK-6	1,2	220	1,44	1,20
Yhteensä	1,6		2,1	

### Erilliset poistoilmakoneet tai huippuimurit

Poisto- ilma- puhallin	Ilmavirta m <sup>3</sup> /s	Kanava- paine <sup>2)</sup> Pa	Verkosta otettu sähköteho <sup>1)</sup> kW	Tämän puhaltimen SFP kW/m <sup>3</sup> /s
PF-1	0,1	160	0,06	0,60
PF-2	0,2	220	0,17	0,85
PF-3	0,5	350	0,35	0,70
PF-4	1,0	220	0,67	0,67
Yhteensä	1,8		1,25	

Tuloilmavirta yhteensä	13,2+1,6	14,8 m <sup>3</sup> /s
Poistoilmavirta yhteensä	14,1+1,8	15,9 m <sup>3</sup> /s
Sähkötehot yhteensä	17,8+18,3+2,1+1,25	39,4 kW
<b>SFP =</b>	<b>39,4/15,9</b>	<b>2,48 KW/(m<sup>3</sup>/s)</b>

#### 1) Verkosta otettu sähköteho

tarkoittaa kyseisen puhaltimen ottamaa sähkötehoa suunnitellulla ilmavirralla ja annetulla kanaviston painehäviöllä. Lukuarvo saadaan esimerkiksi konevalmistajan mitoitusohjelman tulosteesta. Tätä lukua käytetään lähtöarvona laskettaessa koko ilmanvaihtolaitoksen ominaissähköteho SFP. Tässä on mukana puhaltimen, moottorin, hihnakäytön ja taajuusmuuttajan hyötysuhde. Tämä on myös se sähköteho, joka pitäisi voida mittauksella todeta valmiiksi asennetusta laitoksesta ilmavirtojen säädön jälkeen.

#### 2) Huippuimurin kanavapaine

Moottori ilman taajuusmuuttajaa: sähkön ottotehon laskennassa käytetään imurin maksimi paineenkorotusta moottorin pyörimisnopeudella ja toimintapisteen ilmavirralla. Ylimääräinen paineenkorotus kuristetaan säätöpellillä. Moottorissa taajuusmuuttaja: sähkön ottoteho lasketaan sillä imurin pyörimisnopeudella joka tuottaa halutun ilmavirran ja paineenkorotuksen.

Koska laskenta suoritetaan koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmälle eräänlaisena keskiarvona, kompensoivat koneet toisiaan. Kompensoinnin ansiosta voi jonkun yksittäisen tulo/poistokoneen tai puhaltimien SFP-luku ylittää suositellun arvon 2,5, mikäli muut puhaltimet ovat vastaavasti riittävän paljon rajan alle. Ylläolevassa esimerkissä koneella TK-1 on SFP-luku 3,66, mutta koska sen koneen ilmavirta on pieni, on merkitys lopputulokseen vähäinen, ja muut koneet paremmalla arvolla pystyvät kompensoimaan tämän.

Koko järjestelmän laskenta tapahtuu liitteessä 1 olevan taulukon avulla. Laskentataulukko on saatavissa myös Excel-tilukkonä osoitteesta [www.abcd.fi](http://www.abcd.fi)

## Poikkeukset

Suosittelusta arvosta  $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  voidaan ohjeen mukaan poiketa mikäli rakennuksen sisäilmaston hallinta sitä vaatii. Tällaisia poikkeuksia voi esiintyä esimerkiksi sairaaloissa, laboratorioissa ja tietyissä tuotantotiloissa esimerkiksi seuraavista syistä:

- tuloilman puhtaus edellyttää monivaiheista suodatusta, esimerkiksi normaali hienosuodattimen lisäksi kemiallinen suodatin tai HEPA-suodatin, jotka kasvattavat painehäviön tavanomaista korkeammaksi
- sisäilmaston hallinta edellyttää poikkeuksellisen paljon painehäviöitä aiheuttavia toiminto-osia ilmankäsittelykoneeseen, jos esimerkiksi tarvitaan ilman lämpötilan ja kosteuden hallintaa kaikissa olosuhteissa.
- ilmanvaihtolaitoksen käyttöaika on poikkeuksellisen lyhyt (alle 4 tuntia vuorokaudessa)

Tällaisessa tapauksessa on tyypillinen ominaissähkötehon lisäys  $0,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ .

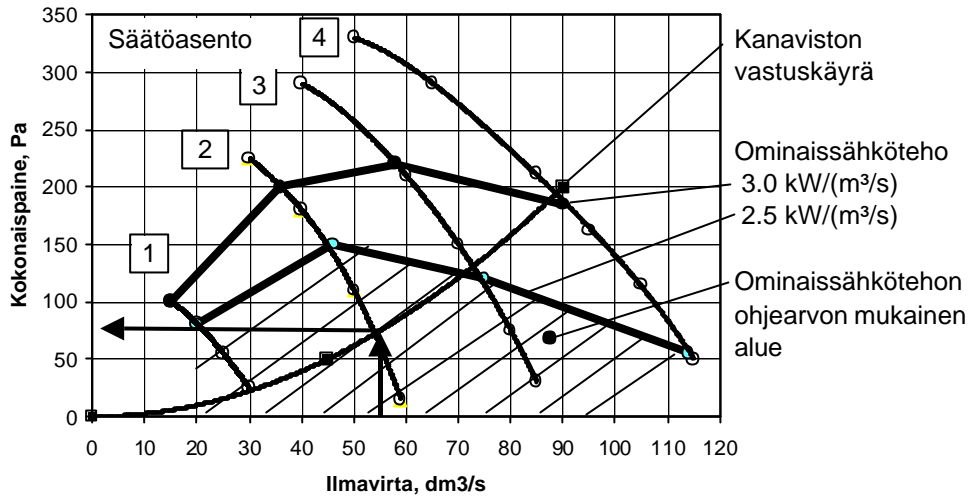
## Muuttuvan ilmavirran ilmanvaihtojärjestelmä

Muuttuvan ilmavirran järjestelmässä ominaissähköteho määritellään mitoittavalla ilmavirralla. Järjestelmän pääkomponenttien mitoitus tehdään mitoittavan tarvetilanteen mukaan (kanavajärjestelmä, jäähdytyspatteri, ilmanvaihtokone ym.). Samassa tilanteessa mitoitetaan myös ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho.

## Asuinrakennusten ilmanvaihto

Asuinrakennusten ilmanvaihdossa ominaissähköteho määritellään käyttöajan ilmavirralla. Ilmavirran tehostusvaihe on hetkellinen tilanne, jolloin ominaissähköteho saa ylittää ohjearvon  $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ .

Kuvassa 1 on esitetty asuinpientalon lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtokoneen (ilmanvaihtojärjestelmän) ominaissähkötehon tarkistus ilmanvaihtojärjestelmän suunnitellussa käyttöajan (tehostamattoman) ilmavirran toimintapisteessä.



Kuva 1. Asuinpienitalon lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtokoneen (ilmanvaihtojärjestelmän) ominaissähkötehon tarkistus ilmanvaihtojärjestelmän suunnitellussa tehostamattoman ilmavirran toimintapisteessä.

Toimintapiste käyttöajan ilmavirralla: poistoilmavirta 53 dm<sup>3</sup>/s, kokonaispaine 75 Pa tehonvalintakytkimen säätöasennolla 2. Ominais sähköteho < 2,5 kW/( m<sup>3</sup>/s). Tehostustilanteessa (tehonvalintakytkimen säätöasennolla 4 toteutuu käyrästä luettuna ilmavirta 90 l/s ja ominais sähkötehoksi tulee noin 3 kW/( m<sup>3</sup>/s).

Kaaviossa oleva viivoitettu alue kuvaa sitä ilmanvaihtokoneen toiminta- aluetta, jossa ominais sähköteho on alle 2,5 kW/( m<sup>3</sup>/s). Laitteen valmistaja voi esittää koneelle soveltuvan toiminta- alueen esimerkiksi tällä tavalla, jolloin suunnittelu- ja valintavaiheessa on helppo todeta, että täyttääkö laite ominais sähkötehon vaatimuksen halutulla käyttöajan ilmavirralla.

## Suunnitteluasiakirjoissa esitettävät asiat

Ominais sähkötehon laskenta vaatii vain hieman lisätietoja perinteisiin suunnittelutietoihin verrattuna. Ohessa esimerkki laiteluettelossa tarvittavista konekohtaisista tiedoista.

### Esimerkki laiteluettelossa esitettävistä tiedoista

Ilmankäsittelykone TK-1	SFP <sup>1)</sup> = 2,30	kW/(m <sup>3</sup> /s)
<b>Tuloilmapuhallin TF-1</b>		
Ilmavirta	3,5	m <sup>3</sup> /s
Kanaviston painehäviö <sup>2)</sup>	270	Pa
Verkosta otettu sähköteho <sup>3)</sup>	4,50	kW
<b>Poistoilmapuhallin PF-1</b>		
Ilmavirta	3,2	m <sup>3</sup> /s
Kanaviston painehäviö <sup>2)</sup>	250	Pa
Verkosta otettu sähköteho <sup>3)</sup>	3,55	kW

1) **Konekohtainen SFP-luku** tarvitaan koneen mitoitus - ja valintavaiheessa, jotta nähdään että ollaan konekohtaisesti oikeassa suuruusluokassa. Tämä lukuarvo, joka on sama kuin sähkön ottotehojen summa jaettuna suuremmalla ilmavirralla, saadaan esimerkiksi konevalmistajan mitoitusohjelman tulosteesta. Tässä tapauksessa siis (4,50 + 3,55) / 3,5 kW/(m<sup>3</sup>/s) = 2,30 kW/(m<sup>3</sup>/s).

- 2) **Kanaviston suunniteltu painehäviö** on välttämätön lähtöarvo, jotta ilmankäsittelykoneen puhallinkohtainen ottoteho voidaan laskea.
- 3) **Verkosta otettu sähköteho** tarkoittaa kyseisen puhaltimen ottamaa sähkötehoa suunnitellulla ilmavirralla ja annetulla kanaviston painehäviöllä. Lukuarvo saadaan konevalmistajan mitoitusohjelman tulosteesta. Tätä lukua käytetään lähtöarvona laskettaessa koko rakennuksen ilmanvaihdon ominaissähköteho SFP. Tässä on mukana puhaltimen, moottorin, hihnakäytön ja taajuusmuuttajan hyötysuhde. Tämä on myös se sähköteho, joka pitäisi voida mittauksella todeta valmiiksi asennetusta laitoksesta ilmavirtojen säädön jälkeen.

## Ilmankäsittelykoneen valinta ja mitoituskriteerit

Ilmankäsittelykoneen valinta tapahtuu haluttujen teknisten reunaehtojen ja vaadittavien ominaisuuksien mukaan. Mitoituksen reunaehtoina päätetään esimerkiksi sallitut äänitehotasot koneen kaikkiin kanavaliitännöihin (äänenvaimentimet), maksimi otsapintanopeudet jäähdytys- ja lämmöntalteenottopattereille, lämmön talteenoton hyötysuhde jne.

Näiden lisäksi otetaan nyt huomioon myös ominaissähköteho SFP.

Ominaissähkötehon määrittelyllä on lisäksi se ominaisuus, että se ottaa huomioon ilmankäsittelykoneen sekä siihen liittyvän kanaviston toiminnan kokonaisuutena, päästään pois ”yhden komponentin optimoinnista”. Sama lukuarvo ottaa kokonaisuutena huomioon koneen kaikkien toimintojen hyvyyden tai huonouden: eri toiminto-osien painehäviöt, puhaltimen, moottorin ja käytön hyötysuhteet, osien väliset liitännähäviöt, koneen rakenteesta johtuvat puhaltimen kotelohäviöt ym. Kun mitoituksen reunaehdot toteutuvat, ei ole merkitystä, onko jonkin yksittäisen toiminto-osan, kuten lämmityspatterin otsapintanopeus 2,4 m/s tai 2,8 m/s tai painehäviö 21 Pa tai 45 Pa, koska kokonaisuuden toiminta on kaikkien osien summa, ja SFP-luku kertoo tämän kokonaisuuden toiminnan.

## Koneen laitekoonpano

Ilmankäsittelykoneen laitekoonpanoon tulee kiinnittää erityishuomiota. On välttämätöntä, että kaikki tarkastelut suunnittelusta hyväksyttämiseen tapahtuvat samalla laitekoonpanolla. Jos esimerkiksi suunnitteluarvot on määritelty koneelle, jossa on äänenvaimentimet, ei tähän koneeseen voi verrata sellaisen koneen SFP-lukua jossa vaimentimet eivät ole mukana. Äänenvaimentimen lisääminen koneeseen aiheuttaa aina törmäyshäviön muodossa syntyvän liitännähäviön, jonka ilmankäsittelykoneen valmistaja tuntee mitattuaan komponenttien toiminnan toisiinsa liitettynä. Jos taas koneeseen liitetään muun valmistajan vaimennin ja ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho lasketaan ilman vaimentimia, pitää tarvittavaa kanaviston painehäviötä korottaa kahdella tekijällä seuraavasti:

- äänenvaimentimen oma painehäviö mitoitusilmavirralla
- liitännähäviö, joka syntyy liitettäessä äänenvaimennin koneeseen ml. mahdollisen ilmanjakajan painehäviö, tuloilmakoneen painepuolen vaimentimessa noin 100 Pa ja poistokoneen imupuolen vaimentimessa noin 25-50 Pa

## Koneen SFP-luvun käyttö mitoitusvaiheessa sekä vertailutyökaluna

Edellä on kuvattu, miten koko ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho lasketaan. Järjestelmä koostuu yleensä useista koneista. Konekohtainen SFP-luku tarvitaan suunnitteluvaiheessa ohjaamaan mitoitusta ja valintaa siten, että jokaisen koneen kohdalla nähdään jo mitoitusvaiheessa, että ollaan oikeassa suuruusluokassa.

Konekohtaista SFP-lukua voidaan käyttää myös vastaavuuskriteerinä. Jos suunnitelmassa esitetyn konevalinnan tilalle esitetään poikkeavaa valintaa, pitää myös vaihtoehdon täyttää suunnitelmassa esitetyn konevalinnan sähkötehokkuus.

## Kanavajärjestelmän suunnittelu

Kanavajärjestelmällä on omana osanaan olennainen vaikutus myös ominaissähkötehoon, koska kanaviston painehäviö merkitsee vastusta, joka on voitettava puhaltimen moottorin avulla. Taloudellisen sähkönkäytön lisäksi toimii kanavisto käytännössä myös muilta ominaisuuksiltaan sitä paremmin, mitä pienempiä nopeuksia käytetään. Pienemmillä kanavanopeuksilla saadaan ilmavirtojen säätölaitteille (haarakanavien säätöpellit ja päätelaitteet) suurempi osuus kokonaispainehäviöstä, jolloin kanaviston tasapainotus helpottuu. Tasapainon ollessa helpommin hallittavissa pienenee samalla haarojen säätöpeltien kuristustarve, mikä taas olennaisesti pienentää kuristamisesta aiheutuvia ääniteknisii ongelmia.

Kanaviston ilmavirrat asettuvat aina sellaisiksi, että jokaisen puhaltimelta lähtevän ilmareitin kokonaispainehäviö on yhtä suuri. Kanavisto tulee suunnitella painehäviöiltään symmetriseksi siten, että minkään yksittäisen haaran tai liitännäkanavan painehäviö ei ole selvästi muita korkeampi. Yhdenkin haaran ollessa muita ahtaampi joudutaan kaikkia muita haaroja kuristamaan, jotta kanavistoon muodostuu niin korkea painetaso, että myös ahtaimpaan haaraan saadaan haluttu ilmavirta. Tällaisessa tapauksessa joutuu puhallin tuottamaan korkeamman paineenkorotuksen koko ilmavirtaan ja sähkötehokkuus huononee.

Kanaviston suurimmalla ilmavirralla suositellaan kokonaispainehäviössä pyrittäväksi korkeintaan seuraaviin arvoihin:

- vakioilmavirtainen kanavisto 200 Pa
- muuttuvilmavirtainen kanavisto 300 Pa
- asuntokohtaisen ilmanvaihdon kanavisto 50-100 Pa

Kanaviston painehäviö sisältää myös koneen ja ulkoilman välisen osuuden ulospuhallushajottimiseen yms.

Puhaltimen liitännähäviö kanavistoon ei kuulu kanavapainehäviöön, vaan otetaan erillisenä tekijänä huomioon. Suositellut suurimmat kanavanopeudet

- ≤ 160 mm            2,5 m/s
- 200 mm             3 m/s
- 315 mm             4 m/s
- 400 mm             4,5 m/s
- 500 mm             5 m/s
- 630 mm             6 m/s
- 800 mm             7 m/s

Asuntojen huonekanavat

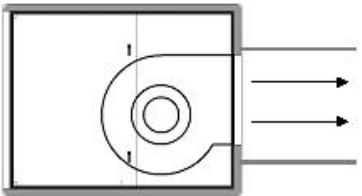
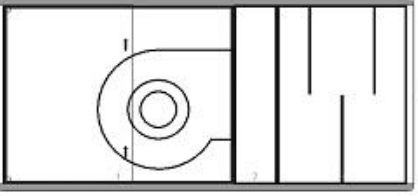
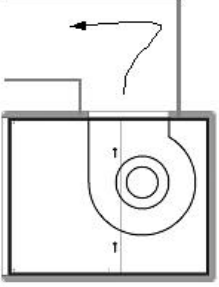
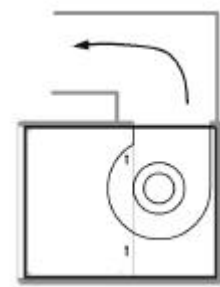
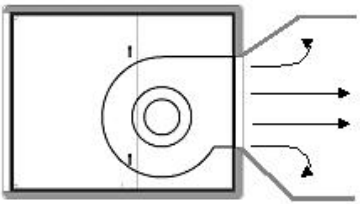
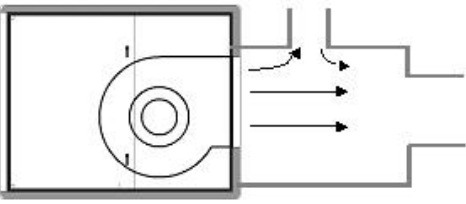
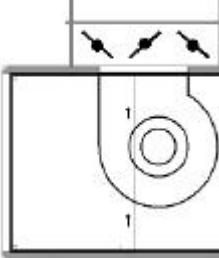
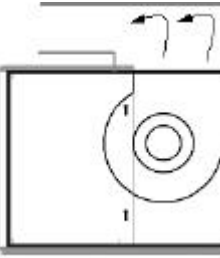
- 100 mm             2 m/s
- 100 mm             2 m/s

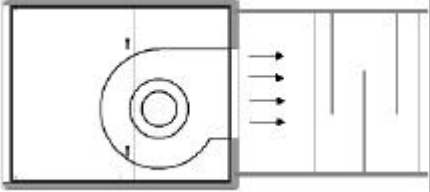
## Puhaltimen liitäntä kanavistoon

Kanaviston painehäviön lisäksi tulee ottaa huomioon puhaltimien liitännähäviöt. Sekä ilmanvaihtokanaviston suunnittelujärjestelmät että ilmankäsittelykoneiden mitoitusohjelmat eivät kumpikaan osaa ottaa huomioon odottamattomia puhaltimen liitännähäviöitä. Liitännähäviön kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että puhaltimen liitäntä kanavistoon tehdään oikein. Epäedullisessa liitännässä voidaan aiheuttaa suuri painehäviö, joka kasvattaa ominaissähkötehoa.

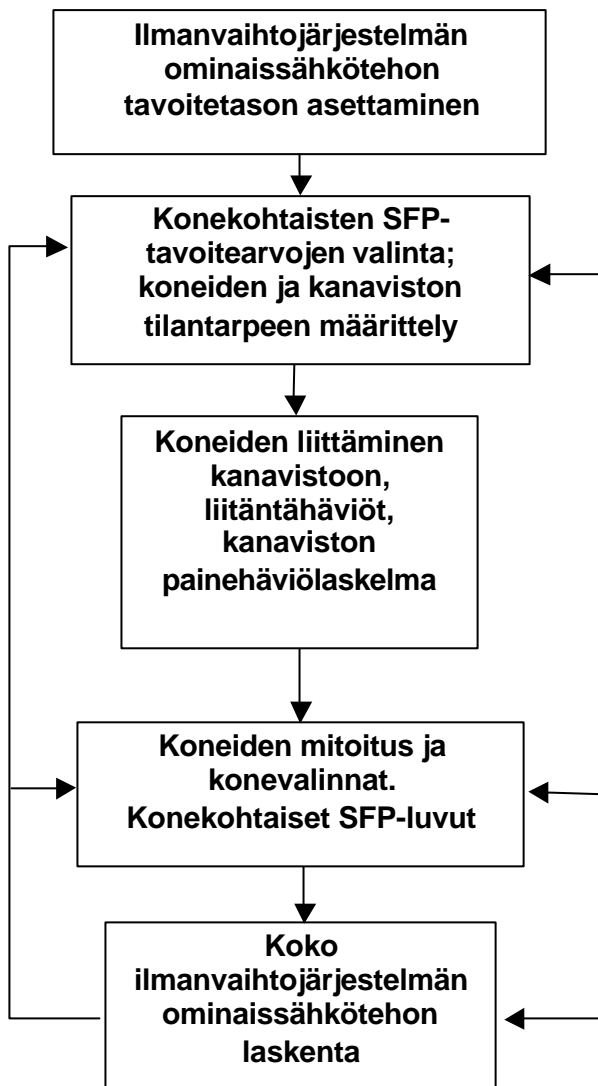


Ilmanvaihtokoneen mitoitus tehdään yleensä käyttäen valmistajan mitoitusohjelmaa, johon annetaan syöttötietona kanaviston painehäviö. Mitoitusohjelma laskee puhaltimen toimintapisteen käyttäen asennustavasta riippuvaa oletusliitännähäviötä. Ellei tietoa saada mitoitusohjelmasta, on liitännähäviö arvioitava erikseen. Mikäli toteutunut liitännätapa poikkeaa tästä oletetusta ja liitännähäviö on laskettua suurempi, on toteutuva ilmavirta pienempi kuin suunniteltu. Puhaltimen pyörimisnopeutta joudutaan kasvattamaan, ja samalla kasvaa verkosta otettu sähköteho. Jos ilmavirta on kasvaneen liitännähäviön takia esimerkiksi 10 % vajaa suunnitellusta, ja ilmavirta kasvatetaan suunnitteluarvoon pyörimisnopeutta muuttamalla, merkitsee se sähkötehon kasvuna  $1,1^3 = 1,33$  eli peräti 33%.

	
<p>Kun ilmanvaihtokoneen puhallin valitaan ja mitoitetaan kanavaliitännäisenä, laskee mitoitusohjelma liitännähäviön käyttäen tiettyä, puhaltimeen liittyvää kanavakokoa. Asennuksessa tulee noudattaa puhaltimen valmistajan suositusta kanavakoon ja esteettömän pituuden suhteen.</p>	<p>Kun ilmanvaihtokoneen puhallin mitoitetaan samaan tuotesarjaan kuuluvan äänenvaimentimen kanssa, ottaa mitoitusohjelma automaattisesti huomioon tarvittavat painehäviökorjaukset. Vaimentimen jälkeen ilman nopeus on niin tasainen, että liitännätavalla ei ole käytännön merkitystä.</p>
	
<p>Mikäli puhaltimen paineaukko liitetään käyrään, joka kääntyy väärään suuntaan puhaltimen pyörimissuuntaan nähden, aiheutuu tästä suuri liitännähäviö, koska puhaltimesta suurella nopeudella tuleva ilmavirta joutuu vaihtamaan suuntaa pienessä tilassa.</p>	<p>Kun käyrä kääntyy samaan suuntaan puhaltimen pyörimissuunnan kanssa, saadaan virtausteknisesti edullinen liitäntä. Puhaltimen pyörimissuunta tuleekin mahdollisuuksien mukaan aina valita tämän tapauksen mukaisesti.</p>
	
<p>Kanavan laajentaminen jyrkällä 'diffuusorilla' ei ole suositeltavaa. Kanavaliitännässä pitää kanavan yläreunan jatkua suoraan pitkin puhaltimen ulospuhallusaukon yläreunaa. Vaihtoehtoisesti kanavan pitää olla kaukana puhallusaukon yläreunasta (= puhallus kammioon -tilanne).</p>	<p>Mikäli puhaltimen painepuoli on liitetty kammioon, josta lähtee kanavaliitännät eri suuntiin, joudutaan ejektorivaikutuksen takia kuristamaan eteenpäin lähtevää kanavaa kohtuuttoman paljon, jotta ilma saataisi menemään ylöspäin olevaan liitännään.</p>
	

<p>Puhaltimen paineaukkoon ei ilman suojaetäisyyttä pidä asentaa mitään osia, kuten esimerkiksi sälepeltiä. Sälepelti estää virtauksen tasaantumisen ja aiheuttaa näin suuren törmäyshäviön. Samalla pelti joutuu voimakkaasti pyörteilevään ilmavirtaan, jolloin sen elinikä lyhenee ratkaisevasti.</p>	<p>Liian pieni kanavakoko puhaltimen jälkeisessä käyrässä aiheuttaa voimakkaan törmäyshäviön ja virtaushäiriön. Tällöin puhaltimen ilmavirta tulee epästabiiliksi eli puhallin alkaa 'pumpata'. Puhallin pitää voimakasta ääntä ja vaurioituu ennen pitkää. Kanavamitoissa pitää noudattaa valmistajan ohjeita.</p>
	

## Ominais sähkötehon suunnitteluprosessin kulku



## Järjestelmän mitattavuus

Ominais sähkötehon määrittämiseen tarvitaan puhallinkohtaisesti mitattu ilmavirta ja verkosta otettu sähköteho. Laitteen ollessa tyyppihyväksytty tai sertifioitu voidaan pienen koneen ominais sähköteho todeta myös ko. koneen tehokäyrästä, jolloin riittää ilmavirran mittaus itse kohteessa.

Ilmavirran mittausta varten tulee puhaltimet mieluiten varustaa kiinteällä ilmavirran mittausanturilla, joka on kalibroitu ko. puhaltimeen. Puhallinkohtaisella mittausanturilla saadaan mahdollisimman luotettava mittaus tulos. Pienessä ilmankäsittelykoneessa, kun liitäntä koneeseen tapahtuu pyöreällä kanavalla, saadaan luotettava ilmavirran mittaus tulos myös käyttämällä korkealaatuista pyöreään kanavaan tarkoitettua kiinteää mittalaitetta, jolle on olemassa varmennettu käyrästä säätöasento/mittauspaine/ilmavirta.

Sähkötehon mittausta varten pitää ryhmäkeskuksessa olla mahdollisuus mitata pihtimittarilla moottorille lähtevien vaiheiden virta sekä jännite. Normaalin moottorin mittaus voidaan hoitaa

esimerkiksi jättämällä puhaltimelle lähtevän kaapelin johtimiin riittävän väljä lenkki, johon pihti saadaan helposti asetettua. Taajuusmuuttajakäyttöisen moottorin mittausta suoritetaan verkon puolelta, ennen taajuusmuuttajaa. Tällöin mitataan sähköverkosta otettu teho, ja taajuusmuuttajan häviöteho tulee huomioiduksi mukaan kokonaistehoon. Keskuksessa pitää olla mahdollisuus mitata samanaikaisesti myös vaihejännitteet.

Keskuksen rakenteen tulee lisäksi olla sellainen, että ko. mittauspisteisiin on hyvä luoksepäästävyys ja mittauksen voi tehdä sähköalan ammattihenkilön lisäksi myös tehtävään opastettu henkilö.

Mittalaitteen pitää olla sellainen, että se mittaa samanaikaisesti virran ja jännitteen sekä laskee ja näyttää verkosta otettavan sähkötehon. Perinteinen, pelkästään virtaa mittaava pihtimittari ei sovellu tähän käyttöön, koska vain virta-arvo mittaamalla ja muut arvot olettamalla (jännite ja  $\cos \varphi$ ) ei saada riittävän tarkkaa tehoarvoa. Erityisesti, kun mitataan taajuusmuuttajalla varustetun moottorin tehoa, voidaan saada hyvin virheellisiä mittaustuloksia, ellei mittalaite ole soveltuva tähän käyttöön.

## Mittaukset ja vastaanottotarkastus

Rakentamismääräyskokoelman osa D2 edellyttää ominaissähkötehon osalta sekä ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelua yleensä ohjeellisen tason  $2,5 \text{ kW}/\text{m}^3/\text{s}$  alle että sähkötehojen mittaamista laitoksen käyttöönottovaiheessa. Suunnittelu voidaan hyväksyntävaiheessa todentaa käyttämällä liitteen 1 mukaista kaavaketta, jossa lasketaan koko järjestelmän ominaissähköteho. Mittaamalla lopputulos todennetaan, että suunnitelman mukainen sähkötehokkuus toteutuu koko ketjulle suunnittelu – laitevalinnat – toteutus. Käyttämällä liitteen 2 mukaista kaavaketta mittausten dokumentoinnissa voivat esimerkiksi tilaaja ja rakennusvalvonta todeta ilmanvaihtojärjestelmän vaatimustenmukaisuuden ominaissähkötehon osalta.

### Ilmavirran mittaaminen

Ominaissähkötehon määrittämiseen tarvitaan puhallinkohtaisesti mitattu ilmavirta ja verkosta otettu sähköteho.

Ilmavirran mittausta varten tulee puhaltimet mieluiten varustaa kiinteällä ilmavirran mittaasanturilla, joka on kalibroitu ko. puhaltimeen. Puhallinkohtaisella mittaasanturilla saadaan mahdollisimman luotettava mittaustulos. Pienessä ilmankäsittelykoneessa, kun liitäntä koneeseen tapahtuu pyöreällä kanavalla, saadaan luotettava ilmavirran mittaustulos myös käyttämällä korkealaatuista pyöreään kanavaan tarkoitettua kiinteää mittalaitetta, jolle on olemassa varmennettu käyrästä säätöasento/mittauspaine/ilmavirta. Lämmön talteenotolla varustetussa ilmankäsittelykoneessa poistoilman lämpötila voi poiketa merkittävästi lämpötilasta, jolle anturi on kalibroitu. Mikäli poistoilmapuhaltimen ilmavirta mitataan puhaltimessa olevalla mittaasanturilla, pitää mittauksessa huomioida lämpötilasta johtuva korjauskerroin.

### Taajuusmuuttajalla varustettu puhallin

Taajuusmuuttajan avulla säädetään puhaltimen nopeus siten, että mitoitusilmavirta saavutetaan ja sähkötehon mittaaminen suoritetaan tässä pisteessä.

### Muuttuvailmavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä

Muuttuvailmavirtaisessa järjestelmässä kaikki ilmavirtasäätimet ajetaan säädettyihin maksimiasentoihinsa ja koneen kokonaisilmavirta sekä ominaissähköteho SFP mitataan tässä pisteessä. Tässä vaiheessa on suositeltavaa kytkeä puhaltimen paineohjaus pois ja asettaa taajuusmuuttajalle tätä nopeutta vastaava kiinteä taajuusohjaus. Tällä tavalla vältetään säädön ja sähkötehon huojuminen mittauksen aikana.

### Puhallin ilman taajuusmuuttajaa

Hihnakäyttöinen puhallin sovitetaan toimintapisteeseensä vaihtamalla hihnapyörien kokoja siten, että haluttu puhaltimen pyörimisnopeus ja ilmavirta/paineenkorotus saavutetaan ilman että kanavajärjestelmää joudutaan tarpeettomasti kuristamaan. Hihnapyörien koot muuttuvat kuitenkin noin 6% portain jolloin aina ei välttämättä päästä tarkkaan haluttuun pisteeseen.

Esimerkki:

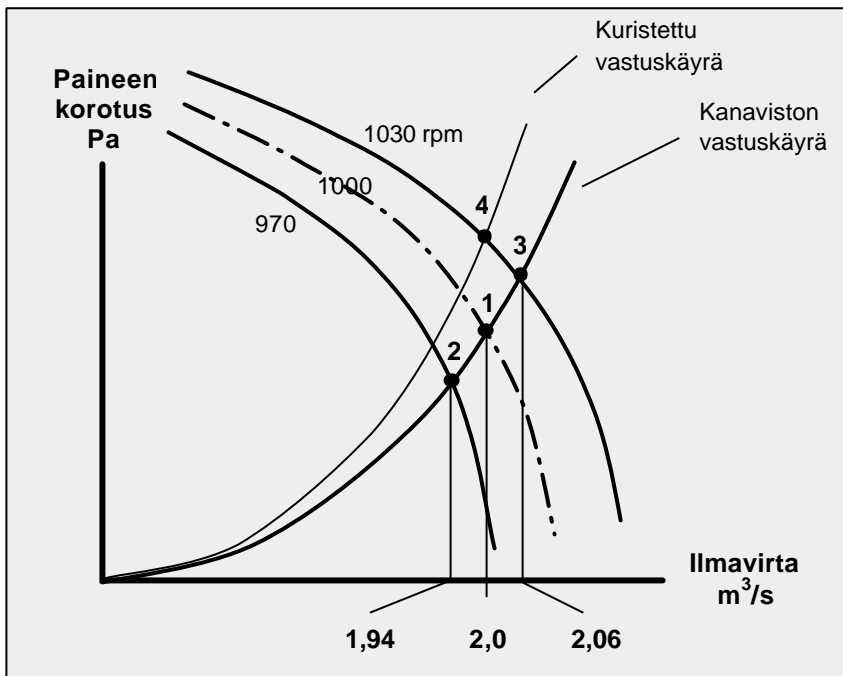
- haluttu ilmavirta  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , kuvan toimintapiste 1, puhaltimen tarvittava pyörimisnopeus 1000 rpm
- lähimmäksi osuvat hihnakäytöt 970 ja 1030 rpm
- nopeus 970 rpm tuottaa ilmavirran  $1,94 \text{ m}^3/\text{s}$ , toimintapiste 2

- nopeus 1030 tuottaa ilmavirran  $2,06 \text{ m}^3/\text{s}$ , toimintapiste 3

Mikäli ei sallita ilmavirran alitusta ja valitaan suurempi nopeus, kasvaa puhaltimen ottama sähköteho ja samalla SFP-luku. Tässä tapauksessa ottotehon kasvu on  $(1030/1000)^3 = 1,09$ . Tapauskohtaisesti pitää tällöin harkita kumpi vaihtoehdoista valitaan: pieni ilmavirran alitus vai sallitaanko SFP-luvun ylitys.

Järjestelmää voidaan myös kuristaa alkuperäiseen haluttuun ilmavirtaan siten, että suuremmalla nopeudella (1030 rpm) toteutuu haluttu ilmavirta  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tällöin saadaan uusi kanaviston vastuskäyrä ja toimintapiste 4. Ilmavirta pienenee, mutta puhaltimen ottama sähköteho ei juuri pienene, koska puhallinkäyrän muodon takia puhaltimen paineenkorotus kasvaa samalla (pisteestä 3 pisteeseen 4), kun ilmavirta pienenee.

Tällöin kasvanut paineenkorotus jokseenkin kompensoi ilmavirran pienentämisen aiheuttaman ottotehon pienenemisen. SFP kasvaa, koska suunniteltu ilmavirta saadaan, mutta suunniteltua suuremmalla sähköteholla.



## Sähkötehon mittaaminen

Sähkötehon mittaaminen käy luontevimmin käyttäen pihtityyppistä mittaria, joka ei vaadi johtimien irroittamista. Jokainen puhallin mitataan erikseen.

Mittaus suoritetaan aina taajuusmuuttajan tulopuolelta, ei koskaan taajuusmuuttajan lähtöpuolelta, muuttajan ja moottorin välistä.

Mittalaitteen pitää olla sellainen, että se mittaa samanaikaisesti virran sekä jännitteen ja laskee sekä näyttää verkosta otettavan sähkötehon. Perinteinen, pelkästään virtaa mittaava pihtimittari ei sovellu tähän käyttöön, koska vain virta-arvo mittaamalla ja muut arvot olettamalla (jännite ja  $\cos \phi$ ) ei saada riittävän tarkkaa tehoarvoa. Erityisesti, kun mitataan taajuusmuuttajalla varustetun moottorin tehoa, voidaan saada hyvin virheellisiä mittaustuloksia, ellei mittalaite ole soveltuva tähän käyttöön. Mittarin mittaustavan pitää olla ns. true-RMS, jolloin se pystyy ottamaan huomioon taajuusmuuttajan aiheuttamat poikkeamat sähkövirran siniaaltoon, vaikka mittaus suoritetaankin

taajuusmuuttajan tulopuolelta. Oheisessa kuvassa on esitetty tämän tyyppisiin mittauksiin hyvin sopiva pihtimittari Metrix MX 240.



Edellä kuvattu mittalaite mittaa virran yhdestä vaiheesta kerrallaan, mutta jännite mitataan samalla kaikista kolmesta vaiheesta. Näin mittari pystyy laskemaan jännitteen ja virran välisen vaihekulman  $\cos \phi$  arvon ja näyttämään pätötehon kilowatteina ko. mitattavan vaiheen perusteella koko moottorille. Mittaus suoritetaan erikseen jokaisesta kolmesta vaiheesta ja tulokseksi ilmoitetaan mittausten keskiarvo.

### **Sähkötehon mittaaminen pienestä ilmanvaihtokoneesta**

Pienessä ilmanvaihtokoneessa mitataan helpoimmin sähköteho laitteen syöttökaapelin vaihejohtimesta, jolloin molemmat puhaltimet tulevat mukaan samaan mittaukseen. Mittauksen ajaksi pitää mahdollinen pyörivän lämmönsiirtimen roottori pysäyttää, koska sen ottama teho ei kuulu mittaukseen.

Ominais sähkötehon määrittämiseen tarvitaan puhallinkohtaisesti mitattu ilmavirta ja verkosta otettu sähköteho. Laitteen ollessa tyyppihyväksytty tai sertifioitu voidaan pienen koneen ominais sähköteho todeta myös ko. koneen tehokäyrästä, jolloin riittää ilmavirran mittaus itse kohteessa.

## Laskennan määrittelyjä

Lähtökohtana on puhaltimen hyötyteho  $P_F$ , jonka se antaa tarvittavan ilmavirran liikuttamiseksi tietyillä vastusolosuhteilla.

$$P_F = q_v \cdot \Delta p_F$$

missä

$P_F$  = puhaltimen hyötyteho

$q_v$  = puhaltimen ilmavirta

$\Delta p_F$  = puhaltimen paineenkorotus

$$P_E = \frac{q_v \cdot \Delta p_F}{h_{kok}}$$

missä

$P_E$  = puhallinmoottorin ottama sähköteho

$\eta_{kok}$  = puhallinkäytön kokonaishyötysuhde

$$SFP = \frac{P_E}{q_v} \quad \frac{kW}{m^3 / s}$$

Määritelmän mukaan on ominaissähköteho SFP sähköverkosta otettu sähköteho jaettuna ilmavirralla

$$\Rightarrow SFP = \frac{q_v \cdot \Delta p_F}{h_{kok} \cdot q_v}$$

$$\Rightarrow SFP = \frac{\Delta p_F}{h_{kok}}$$

$$\Rightarrow SFP = \frac{\Delta p_{kanavisto} + \Delta p_{kone}}{h_{kok}}$$

Siis SFP on kokonaispainehäviö jaettuna kokonaishyötysuhteella. Siihen voidaan vaikuttaa kanaviston painehäviötä, ilman käsittelykoneen painehäviötä liitäntähäviöineen ja puhaltimen kokonaishyötysuhdetta muuttamalla.

Puhallinkäytön kokonaishyötysuhde  $\eta_{kok}$  koostuu useasta eri hyötysuhteesta, ja puhaltimen sähköverkosta ottama teho määritellään oheisen kaavan mukaisesti.

$$P_{sähkö} = \frac{\Delta p_{puhallin} \times q_{puhallin}}{h_{puhallin} \times h_{käyttö} \times h_{moottori} \times h_{säätö} \times 1000}$$



missä	
$\Delta p_{\text{puhallin}}$	= puhaltimen paineenkorotus
$Q_{\text{puhallin}}$	= puhaltimen ilmavirta
$\eta_{\text{puhallin}}$	= puhaltimen hyötysuhde
$\eta_{\text{käyttö}}$	= voimansiirron hyötysuhde
$\eta_{\text{moottori}}$	= moottorin hyötysuhde
$\eta_{\text{säätö}}$	= mahdollisen pyörimisnopeussäätimen hyötysuhde (esimerkiksi taajuusmuuttaja)

### **Puhaltimen akseliteho**

Puhaltimen akseliteho sisältää sen mekaanisen työn, joka puhaltimen akselilla tarvitaan halutun ilmavirran ja paineenkorotuksen saamiseksi.

### **Puhaltimen paineenkorotus**

Puhaltimen paineenkorotus  $\Delta p_{\text{puhallin}}$  sisältää ulkoisen painehäviön  $\Delta p_{\text{ulk}}$  sekä koneen sisäisen painehäviön  $\Delta p_{\text{kone}}$ . Ulkoinen painehäviö  $\Delta p_{\text{ulk}}$  on kanaviston ja ilmanjakojärjestelmän painehäviö, sisältää osuuden koneen imupuolella ja painepuolella. Tämä painehäviö ilmoitetaan kohteen suunnitteluasiakirjoissa laskennan lähtötietona. Suunnittelutietona ei pidä ilmoittaa puhaltimen kokonaispaineenkorotusta.

Ulkoiseen painehäviöön voidaan vaikuttaa mm. kanaviston muotoilulla ja suunnittelemalla koneen ja kanavan välinen liitos oikein standardin SFS 5148 mukaisesti

Koneen sisäinen painehäviö sisältää ilmankäsittelykoneen komponenttien yhteenlasketun painehäviön sekä puhaltimen koteloon asentamisesta syntyvät liitäntähäviöt imu- ja painepuolella mitoituspisteessä. Tämän arvon laskee koneen toimittaja.

### **Puhaltimen hyötysuhde**

Puhaltimen hyötysuhde on puhaltimen akselille tuodun tehon ja ilmavirtaan siirretyn tehon suhde. Huomattakoon, että asennuspaikan ahtauden takia puhaltimen hyötysuhde koneeseen asennettuna poikkeaa yleensä käyrästä luetusta arvosta.

### **Voimansiirron hyötysuhde**

Voimansiirron hyötysuhde ottaa huomioon esimerkiksi kiilahihnakäytön, lattahihnakäytön, hydraulisen kytkimen, induktiovariaattorin tms. hyötysuhteen.

### **Moottorin hyötysuhde**

Sisältää varsinaisen sähkömoottorin hyötysuhteen.

### **Säädön hyötysuhde**

Jos puhallinmoottori on varustettu pyörimisnopeussäädöllä kuten taajuusmuuttaja tai jännitesäädin, otetaan sen hyötysuhde tässä huomioon. Säädön hyötysuhteen pitää sisältää myös säätimen heikentävä vaikutus sähkömoottorin hyötysuhteeseen.

### **Suodattimen painehäviö**

Ominais sähkötehon laskennassa käytetään puhtaan suodattimen painehäviötä.

### **Ilmanjäähdyttimet ja lämmöntalteenotto**

Lämmönsiirtimet lasketaan kuivassa tilanteessa, ilman kondensoivan veden aiheuttamaa painehäviön kasvua.

### **Kostutusosa**

Kennotyypinen ilmankostutin lasketaan kuivan painehäviön mukaan.

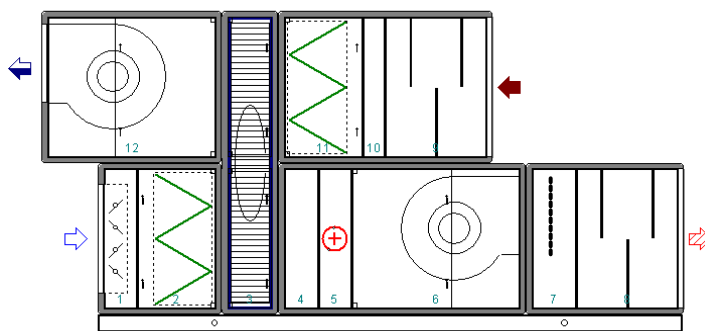
Tällöin määrittely vastaa parhaiten tilannetta, jolloin sähkötehoa mitataan käyttöönottovaiheessa olevasta ilmanvaihtolaitoksesta.

### Pyörivä lämmönsiirrin

Kun ilmkäsittelykoneessa on pyörivä lämmönsiirrin, otetaan tehon laskennassa huomioon seuraavat asiat:

- poistoilmapuhaltimen ilmavirtaa kasvatetaan lämmönsiirtimen puhtaaksipuhalluksen tarvitsemalla ilmavirralla
- poistoilmapuhaltimen ilmavirtaa kasvatetaan vuotoilmavirralla tuloilmapuolelta poistopuolelle
- poistoilmaan lisätään tarvittaessa lisäpainehäviö, jolla aikaansaadaan pyörivän lämmönsiirtimen poistopuolen olevan alipaineinen vastaavaan tuloilmapuoleen verrattuna.

### Esimerkki ilmkäsittelykoneen SFP-laskennasta



Ilmkäsittelykoneen mitoitusohjelma mitoittaa koneen ja valitsee moottorit sekä taajuusmuuttajat käyttäen tyypillisesti ns. mitoittavaa toimintapistettä. Tällöin esim. suodattimet lasketaan käyttäen puolilikaantunutta painehäviötä, ns. mitoittavaa painehäviötä. Samoin kondensoivat toiminto-osat lasketaan sen käyttötilanteen mukaan, jossa painehäviö on suurin, eli märkänä. Tämä maksimipisteen mitoitus tarvitaan, jotta valituksi tulee sellainen moottori, jonka teho riittää kaikissa käyttötilanteissa.

Ominaisähköteho SFP lasketaan käyttäen puhtaiden suodattimien painehäviötä. Samoin mahdolliset märkänä toimivat osat lasketaan kuivina. Tällöin tilanne vastaa mahdollisimman hyvin vastaanottomittauksen tilannetta. Tämä laskenta voidaan mitoitusohjelmassa automatisoida siten, että ohjelma laskee molemmat tehot: mitoittava toimintapistete moottorin koon valintaa varten ja SFP-laskennassa käytettävä teho puhtailla suodattimilla ja kuivilla lämmönsiirtimillä.

On huomattava, että koneen kokonaispainehäviön laskennassa ei riitä, että lasketaan kaikkien toiminto-osien painehäviöt yhteen. Sen lisäksi pitää ottaa esim. mahdolliset puhaltimen liitänthäviöt (koneen sisällä tai kanavaliitännässä), mahdolliset kotelohäviöt (aiheutuu puhaltimen asennuksesta koneen koteloon) ym. Nämä tulevat yleensä automaattisesti huomioiduiksi kun ilmkäsittelykoneet mitoitetaan valmistajan mitoitusohjelmalla.

Ilmkäsittelykone	Tulo	Poisto	
Ilmavirta	2,50	2,23	m <sup>3</sup> /s
Roottorin vuotoilmavirta		0,07	m <sup>3</sup> /s
Puhaltimen kokonaisilmavirta	2,50	2,30	m <sup>3</sup> /s
Koneen ulkopuolinen painehäviö	300	250	Pa

Puhaltimen hyötysuhde	70,9	65,1	%
Moottorin hyötysuhde	86,0	85,0	%
Hihnakäytön hyötysuhde	93,9	93,1	%
Taajuusmuuttajan hyötysuhde	94,1	94,0	%
Puhallinkäytön kokonaishyötysuhde	53,8	48,4	%
Sulkupelti	8	-	Pa
Äänenvaimennin	-	23	
Suodatin, alkupainehäviö (puhdas suodatin)	100	33	Pa
LTO lämmönsiirrin	109	108	Pa
Lämmityspatteri	82	-	Pa
Ilmanjakaja	50		
Äänenvaimennin	33	-	Pa
Koneen toiminto-osien painehäviöt yhteensä	<b>382</b>	<b>164</b>	<b>Pa</b>
Tuloilmapuhaltimen ulospuhallushäviö äänenvaimentimeen	56	-	Pa
Poistoilmapuhaltimen liitântähäviö kanavaan	-	41	
Puhaltimen koteloasennuksesta johtuva painehäviö	70	50	Pa
Koneen sisäiset painehäviöt yhteensä	<b>508</b>	<b>255</b>	<b>Pa</b>
Koneen ulkopuolinen painehäviö (kanavisto, imu- ja painepuoli)	300	250	Pa
Puhaltimen kokonaispaineenkorotus	<b>808</b>	<b>505</b>	<b>Pa</b>

SFP-laskennassa käytettävä puhaltimen paineenkorotus	808	505	Pa
Puhaltimen hyötysuhde	70,9	65,1	%
Moottorin hyötysuhde	86,0	85,0	%
Hihnakäytön hyötysuhde	93,9	93,1	%
Taajuusmuuttajan hyötysuhde	94,1	94,0	%

$P_{\text{sähkö}} = \frac{\Delta p \cdot q_v}{h_{\text{puh}} \cdot h_{\text{hihna}} \cdot h_{\text{moott}} \cdot h_{\text{säätö}} \cdot 1000}$			
$P_{\text{sähköTK}} = \frac{808 \text{ Pa} \cdot 2,5 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,709 \cdot 0,860 \cdot 0,939 \cdot 0,940 \cdot 1000} = 3,75 \text{ kW}$	3,75		kW
$P_{\text{sähköPK}} = \frac{505 \text{ Pa} \cdot 2,3 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,651 \cdot 0,850 \cdot 0,931 \cdot 0,940 \cdot 1000} = 2,40 \text{ kW}$		2,40	kW
$SFP = \frac{3,75 \text{ kW} + 2,40 \text{ kW}}{2,5 \text{ m}^3 / \text{s}} = 2,46 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{s})$	2,46		kW/m <sup>3</sup> /s

## Tuotteiden laadunvarmistus

**Koska sähkötehokkuuden merkitys järjestelmän taloudellisuudelle on hyvin merkittävä, on arvojen määrittely ja laskenta saatava yhteisen standardin mukaiseksi. Valmistaja laskee eri koneyhdistelmille ominaisuudet, jotka varmennetaan ensin valmistajan omilla testauksilla. Lopuksi varmennetaan sekä valmistajan laskentaohjelma että mittaukset esimerkiksi tyyppihyväksynnällä, sertifiointilla tai muulla luotettavalla menettelyllä.**

Koska konevalmistajan tuotevalikoimassa voi olla konekokoja 10-25 joista koostuu lukematon määrä komponenttiyhdistelmiä, on kaikkien koneiden ja yhdistelmien sähkötehokkuuden arviointi mahdollista vain laskentaohjelmalla. Mitoitusohjelman ja varsinaisen tuotteen tietojen vastaavuus varmistuu vain sillä, että ilmankäsittelykoneen valmistaja tuntee tuotteensa ominaisuudet riittävän hyvin. Tämä varmistetaan mittaamalla riittävä määrä yhdistelmiä valituissa toimintapisteissä.

Sähkötehokkuuden laadunvarmistuksen tavoitteena on varmistaa, että jokainen vapaasti valittu koneyhdistelmä ja konekoko täyttävät sen tapauskohtaisen sähkötehokkuuden jonka valmistajan mitoitusohjelma juuri tälle tapaukselle antaa. Koska käytännössä kaikki toimitettavat koneet poikkeavat toisistaan ja koostuvat vapaasti valittavista yhdistelmävaihtoehdosta, lasketaan jokaisen ilmankäsittelykoneen suoritusarvot tapauskohtaisesti ko. koneen mitoitusohjelman avulla. Ohjelma tulostaa ilma- ja lämpöteknisten arvojen lisäksi koneen ominaissähkötehon. Tuotehyväksynnässä todennetaan mitatun arvon ja mitoitusohjelman antaman luvun vastaavuus, mutta ei puututa siihen, mikä arvon suuruus tai pienuus on tapauskohtaisesti.

Tuotannosta satunnaisesti otetun ilmankäsittelykoneen tulee saavuttaa mitoitusohjelman ilmoittama sähkötehokkuus määritellyn toleranssin puitteissa, muuten kone ei läpäise mittausta. Riittävän kattavan mittaussarjan jälkeen voidaan valmistajalle myöntää ko. konetyypin sähkötehokkuuden hyväksyntä, johon tarvitaan puolueettomalta testauslaitokselta valmistajan laskelmien tarkistus sekä muutaman testatun laitteen pistokoetestit muutamassa toimintapisteissä.

Hyväksynnän/laadunvarmistuksen täytyy kattaa riittävällä tarkkuudella koko hyväksyttävän konetyypin tuotevalikoima ja kaikki mahdolliset yhdistelmät. Hyväksynnässä sertifioidaan paikkansapitävyys valmistetun konekokonaisuuden ja laskentaohjelman tulostaman lukuarvon sekä valmiista, fyysisestä koneesta mitatun arvon välillä.

## KIRJALLISUUTTA

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet

TalotekniikkaRYL 2002. Rakennustieto Oy, 2002

LVI 30-10349. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP

Föreningen V: Assessing the Power Efficiency of Fans and Air Handling Units. Calculating and checking the SFPV

Talotekniikan elinkaaritarkastelut, Talotekniikan Käsikirja 1

EUROVENT: Life Cycle Cost guidelines for air handling units

EUROVENT: Life Cycle Cost of air filters

Edited Esko Tähti, Howard Goodfellow. Industrial ventilation design guidebook. Academic press, April 2001 ,1519 pages

EN 1886 Ventilation for buildings - Air handling units - Mechanical performance

EN 13053 Ventilation for buildings - Air handling units - Ratings and performance for units, components and sections

prEN 13779 Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems

SFS - EN ISO 14040:1997 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, Ympäristöasioiden hallinta ja elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet

Ilmakanaviston suunnittelu- ja mitoitusmenetelmä. Dipl. ins. Juhani Laine. INSKO julkaisu 11-91

Metrix MX 240 pihtimittarin tekniset tiedot. Perel Oy, Hyvinkää

## Liite 1 Omaissähkötehon laskenta ilmanvaihtojärjestelmälle

### Ilmanvaihtojärjestelmän omaissähkötehon laskenta ja mittaus

Laitoksen nimi:

#### Tulo- ja poistoilmakoneet

Tulo-ilmakone	Ilmavirta	Kanavapaine	Sähköteho	Poistoilmakone	Ilmavirta	Kanavapaine	Sähköteho	Tämän koneen SFP
merkintä	m <sup>3</sup> /s	Pa	kW	merkintä	m <sup>3</sup> /s	Pa	kW	kW/m <sup>3</sup> /s
Yhteensä								

#### Tuloilmakoneet

Tuloilmakone	Ilmavirta	Kanavapaine	Sähköteho	Tämän koneen SFP
merkintä	m <sup>3</sup> /s	Pa	kW	kW/m <sup>3</sup> /s
Yhteensä				

#### Poistoilmakoneet

Poistoilmakone	Ilmavirta	Kanavapaine	Sähköteho	Tämän koneen SFP
merkintä	m <sup>3</sup> /s	Pa	kW	kW/m <sup>3</sup> /s
Yhteensä				

Tuloilmavirta m <sup>3</sup> /s	
Poistoilmavirta m <sup>3</sup> /s	
Sähkötehot yhteensä kW	
SFP [kW/m <sup>3</sup> /s]	