

SFP-opas

Opas ilmanvaihtojärjestelmän
ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan
ja mittaamiseen

3. painos
Heinäkuu 2009
LVI-talotekniikkateollisuus ry

Sisältö

Esipuhe	3
Yleinen osa	
Oppaan tarkoitus	4
Soveltamisala	5
Viranomaisvaatimukset	5
Käsitteitä	6
Järjestelmämäärittelyt	6
Ominais sähkötehon laskentaperiaate	7
Suunnittelu	
SFP-tavoitetason valinta	9
Laskentaan sisältyvät puhaltimet	9
Ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähkötehon laskenta	9
Poikkeukset	11
Muuttuvan ilmavirran ilmanvaihtojärjestelmä	11
Asuinrakennusten ilmanvaihto	11
Suunnitteluasiakirjoissa esitettävät asiat	12
Ilmankäsittelykoneen valinta ja mitoituskriteerit	13
Koneen laitekoonpano	13
Kanavajärjestelmän suunnittelu	14
Puhaltimen liitäntä kanavistoon	15
Järjestelmän mitattavuus	17
Mittaukset ja vastaanottotarkastus	
Ilmavirran mittaaminen	18
Taajuusmuuttajalla varustettu puhallin	18
Muuttuvavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä	18
Puhallin ilman taajuusmuuttajaa	18
Sähkötehon mittaaminen	19
Sähkötehon mittaaminen pienestä ilmanvaihtokoneesta	20
Laskennan määrittelyjä	21
Tuotteiden laadunvarmistus	25
Kirjallisuutta	26
Liitteet	27
Ominais sähkötehon laskentakaavake ilmanvaihtojärjestelmälle	

Esipuhe 3. painokseen

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 olivat 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). SFP-kortin lausuntokierroksella saatiin runsaasti toiveita laajemmasta oppaasta, jossa käsiteltäisiin mm. puhaltimen liitännätavan vaikutusta, hyötysuhteen osatekijöitä ja suunnittelun käytännön kulkua. SFP-oppaan ensimmäistä painosta laadittaessa otettiin lausuntoja mahdollisuuksien mukaan huomioon, ja oppaan viimeistelyvaiheessa muodostui yhteistyötä rakennusten energiatehokkuusdirektiivin käyttöönotolle Suomessa kohdistuneeseen ns. RET-hankkeeseen. Opas valmistui tammikuussa 2004.

Oppaan tekstin ovat kirjoittaneet Pekka Mäkinen (Fläkt Woods Oy) ja Jorma Railio (LVI-talotekniikkateollisuus ry). Oppaan teksti käsiteltiin Suomen Ilmateknillisen Toimialayhdistyksen (SITY ry.; 1.1.2004 alkaen LVI-talotekniikkateollisuus ry.) aloitteesta perustetussa työryhmässä, johon kirjoittajien lisäksi kuuluivat Veijo Karvonen (Koja Oy), Erkki Marjasto (Vallox Oy), Mikko Nyman (VTT/Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka) sekä Seppo Niemi (LVI-Parmair Oy).

Vuonna 2005 oppaaseen tehtiin päivityksiä ja lisäyksiä suurimman osan tekstiä pysyessä ennallaan. Asuntoilmanvaihtoa käsittelevää kohtaa täydennettiin esimerkein, ja oppaaseen liitettiin yksinkertainen excel-laskentatyökalu. Päivityksen tekivät Pekka Mäkinen, Erkki Marjasto ja Jorma Railio, ja teksti arvioitiin LVI-talotekniikkateollisuuden sisäilmaryhmässä, jossa on alan laitevalmistajien lisäksi edustettuna rakennusvalvontaviranomaisia ja muita sidosryhmiä.

Nyt julkaistavaan uuteen versioon on esimerkkejä tarkistettu kuvaamaan tämän päivän hyvää tasoa, ja tekstiin on tehty tarkistuksia uusimpien eurooppalaisten standardien mukaan. Lisäksi on tehty muutamia toimituksellisia muutoksia.

Kesäkuussa 2009

LVI-talotekniikkateollisuus ry

Oppaan tarkoitus

Tämän oppaan tehtävänä on kuvata käytännön menettelytapa ilmanvaihtojärjestelmien ja ilmastointilaitteiden 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/ ilmastointijärjestelmät, ilmastointilaitteiden tyyppihyväksyntäohjeet, LVI-ohjekortti LVI 30-10149)

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (2003, 2010) 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 ilmastointilaitteiden 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 Oikealla suunnittelulla ja laitevalinnoilla voidaan vaikuttaa rakennuksen ja sen ilmastointijärjestelmien 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 $2,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ on tällöin kaikki puhaltimet ja ilmastointilaitteet mitoitettava ja valittava siten, että kaikkien ilmastointilaitteiden painotettu keskiarvo alittaa $2,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Yksittäisen puhaltimen tai ilmastointilaitteen kohdalla voidaan sallia tavoitearvon ylitys, jos se kompensoidaan matalammilla arvoilla muissa laitteissa. 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 asuinrakennuksiin. 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 jäädytyspumput

Viranomaisvaatimukset

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa D2 (2003, 2010) 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.

4.1.1.3

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/(m³/s). Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 1,0 kW/(m³/s).

4.1.1.5

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho voi olla suurempi kuin 2,5 kW/(m³/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^3/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^3/s , suuremmalla näistä. Sähkön ottoteho lasketaan mitoitusilmavirralla.

Yksittäisen ilmanvaihtokoneen tai erillisen puhaltimen ominaissähköteho SFP

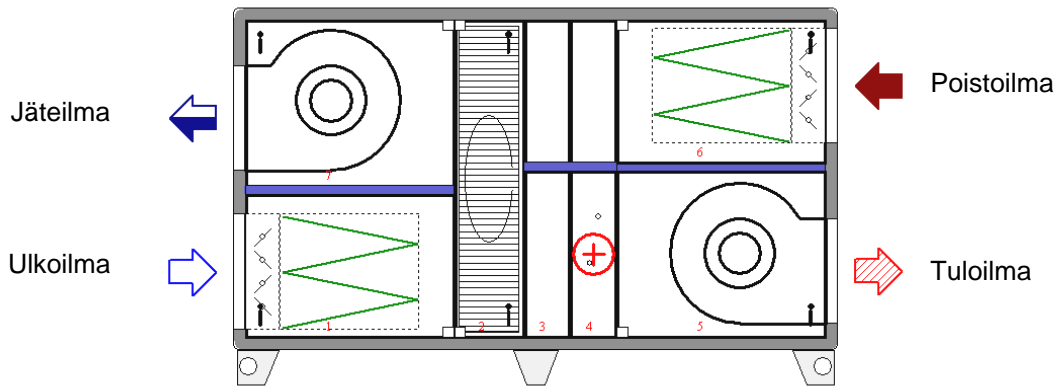
Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimen (ilmanvaihtokoneen) ominaissähköteho on puhaltimensähköverkosta ottama sähköteho jaettuna puhaltimen mitoitusilmavirralla. Puhaltimen sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimen moottorin sähkötehon lisäksi mahdollisen taajuusmuuttajan ja muun tehonsäätölaitteen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

Ominaissähkötehon 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 [m^3/s] (suurempi näistä). Ilmanvaihtojärjestelmän sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimien moottorien sähkötehon lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden sähkötehon, kaava 1.

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

missä

SFP	= ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho, kW/(m^3/s)
$P_{\text{tuloilmapuhaltimet}}$	= tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW
$P_{\text{poistoilmapuhaltimet}}$	= poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW
q_{max}	= mitoittava jäteilmavirta tai ulkoilmavirta, m^3/s .

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

Ominais sähkötehon määrittely yksittäiselle ilmankäsittelykoneelle tai puhaltimelle

Edellä 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) ominais sähköteho SFP on puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho [kW] jaettuna koneen ilmavirroista

suuremmalla ilmavirralla (joko tulo- tai poistoilmavirta [m^3/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.

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

missä

SFP	= ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho
P_{tulo}	= tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW
P_{poisto}	= poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW
q_{max}	= koneen ilmavirroista suurempi (tulo tai poisto) m^3/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.

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

missä

SFP	= puhaltimen ominaissähköteho, $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
P_{puhallin}	= puhaltimen ottama sähköteho, kW
q	= puhaltimen ilmavirta m^3/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

SFP-tavoitetason valinta

Tavoitetason valinnassa vähimmäistason antaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 ohje, 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.

Toisaalta tuotteiden kehitys on johtanut siihen, että tänä päivänä kannattaa asettaa vähimmäistasoa tiukempi tavoite SFP-luvun enimmäisarvolle. Tavanomaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä tämä tarkoittaa yleensä tavoitetasoa $1,5 \dots 2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Ilmankäsittelykoneiden mitoitus ja valinta tehdään siten, että koko järjestelmälle toteutuu koko rakennukselle määritelty taso. D2:n enimmäisohjearvon ylitystarve tarkastellaan konekohtaisesti. Koneiden SFP-lukuja laskettaessa on otettava huomioon, että jokaiselle koneelle otetaan huomioon konekohtaisesti oikea kanaviston painehäviö. Konekohtaisia SFP-lukuja käytetään laskettaessa koko ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luku .

Laskentaan sisältyvät puhaltimet

SFP-määrittelyn tarkoitus on antaa helppokäyttöinen työkalu ilmanvaihdon energiatehokkaaseen mitoitukseen. 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
- yksittäiset tuotantoprosessin koneiden paikallispoistot ja laboratorioiden vetokaapit
- teknisten tilojen yllämmön poistoon tarkoitetut puhaltimet
- takkaimurit
- liesituulettimet

Arvioitaessa koko rakennuksen energiatehokkuutta on nämäkin otettava mukaan laskelmiin – kysymys on kuitenkin eri asiasta kuin SFP-luvusta.

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 ³ /s	Kanava- paine Pa	Verkosta otettu sähköteho ¹⁾ kW	Poisto- ilma- puhallin	Ilmavirta m ³ /s	Kanava- paine Pa	Verkosta otettu sähköteho ¹⁾ kW	Tämän koneen SFP kW/m ³ /s
TK-1	0,5	300	0,88	PK-1	0,5	250	0,70	3,16
TK-2	2,5	250	2,76	PK-2	2,8	250	2,80	1,99
TK-3	6,9	270	6,23	PK-3	7,2	240	6,05	1,71
TK-4	3,3	250	3,53	PK-4	3,6	250	3,55	1,97
Yhteensä	13,2		13,4		14,1		13,1	

Erilliset tuloilmakoneet tai tuloilmapuhaltimet

Tuloilma- puhallin	Ilmavirta m ³ /s	Kanava- paine Pa	Verkosta otettu sähköteho ¹⁾ kW	Tämän puhaltimen SFP kW/m ³ /s
TK-5	0,4	300	0,6	1,50
TK-6	1,2	220	1,2	1,00
Yhteensä	1,6		2,0	

Erilliset poistoilmakoneet tai huippuimurit

Poisto- ilma- puhallin	Ilmavirta m ³ /s	Kanava- paine ²⁾ Pa	Verkosta otettu sähköteho ¹⁾ kW	Tämän puhaltimen SFP kW/m ³ /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	0,62	0,62
Yhteensä	1,8		1,2	

Tuloilmavirta yhteensä	13,2+1,6	14,8 m ³ /s
Poistoilmavirta yhteensä	14,1+1,8	15,9 m ³ /s
Sähkötehot yhteensä	13,4+13,1+2,0+1,2	29,7 kW
SFP =	29,7/15,9	1,87 KW/(m³/s)

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 jopa arvon 2,5, mikäli muut puhaltimet ovat vastaavasti riittävän paljon rajan alle. Ylläolevassa esimerkissä koneella TK-1 on SFP-luku 3,16, 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-taulukkona osoitteesta <http://www.lvi-ttt.fi> (sivu "Julkaisut")

Poikkeukset

D2-ohjeen arvo $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ saadaan ylittää, 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 ilmapuhaltuskoneeseen, jos esimerkiksi tarvitaan ilman lämpötilan ja kosteuden hallintaa kaikissa olosuhteissa.
- ilmanvaihtolaitoksen käyttöaika on poikkeuksellisen lyhyt (alle 4 tuntia vuorokaudessa)

Tyypillinen ominaissähkötehon lisäys em. syistä on noin $0,3 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ kutakin lisäkomponenttia kohden, HEPA-suodattimilla kuitenkin luokkaa $1 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Eurooppalainen standardi EN 13779 antaa ohjeita / suosituksia suositusarvon ylittävälle SFP-luvulle silloin kun ilmapuhaltuskoneessa on tavanomaista enemmän tai vaativampia toimintoja. Standardissa annetaan seuraavia taulukkoarvoja:

Sallittu SFP-luvun perustaso ylitys tietyille ilmapuhaltuskomponenteille

Komponentti	sallittu ylitys ($\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$)
mekaaninen lisäsuodatusosa	+ 0,3
HEPA -suodatin	+ 1,0
kaasusuodatin	+ 0,3
korkean (yli 70%) hyötysuhteen LTO-osa	+ 0,3
suurtehojäähdytin	+ 0,3

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

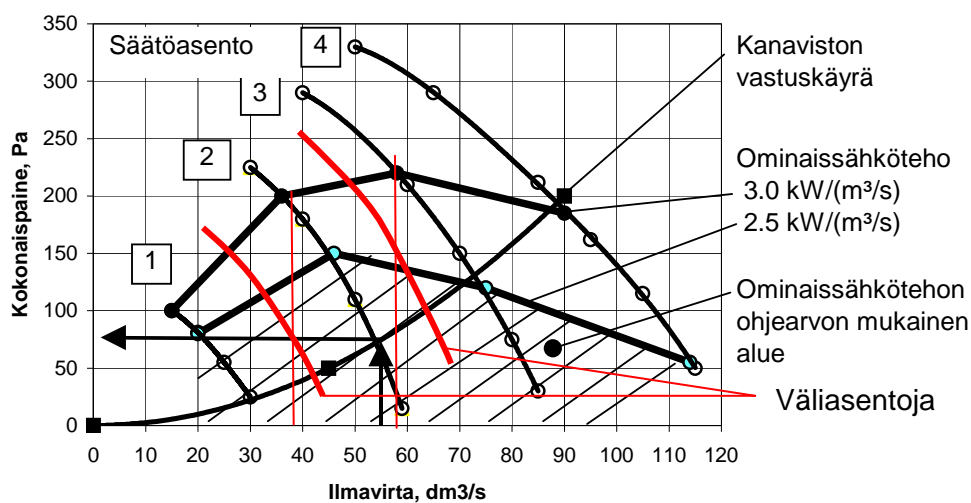
Asuinrakennusten ilmanvaihdossa ominaissähköteho määritellään käyttöajan tehostamattomalla ilmavirralla. Ilmavirran tehostusvaihe on lyhytaikainen tilanne, jolloin ominaissähköteho saa ylittää ohjearvon $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Omakoti- ja rivitalojen, sekä kerrostaloissa hajautetun järjestelmän ilmanvaihtokoneet ovat huoneistokohtaisia ja pieniä. Niiden puhaltimia käyttävät pienet ($< 400 \text{ W}$) sähkömoottorit, joiden hyötysuhde voi olla alhainen. Täten ilmanvaihtokoneen toimintapisteen valinta on tärkeää.

Kanavisto tulee mitoittaa väljäksi. Päätelaitteilla suoritetaan vain tilojen välinen suhteellinen säätö, eli suurimman ilmavirran päätelaitteen painehäviö minimoidaan ja toisia päätelaitteita kuristetaan tarpeen mukaan.

Mikäli haluttua käyttöajan ilmavirtaa ei saavuteta tarkasti millään ilmanvaihtokoneen säätöasennolla e.m. ohjeilla, ja seuraavalla säätöasennolla ilmavirta olisi liian suuri, **niin ilmavirtaa ei tule säätää halutuksi venttiileitä kuristamalla**. Sen sijaan ohjauskeskuksesta valitaan jokin väliasento, mikä on usein mahdollista, tai käyttöajan ilmavirta valitaan uudelleen vastaamaan kyseistä säätöasentoa. Näin saavutetaan mahdollisimman edullinen ominaissähköteho.

Kuvassa 2 on esitetty asuinpientalon lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtokoneen (ilmanvaihtojärjestelmän) ominaissähkötehon tarkistus ilmanvaihtojärjestelmän suunnitellussa käyttöajan (tehostamattoman) ilmavirran toimintapisteessä.



Kuva 2. Asuinpientalon lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtokoneen (ilmanvaihtojärjestelmän) ominaissähkötehon tarkistus ilmanvaihtojärjestelmän suunnitellussa tehostamattoman ilmavirran toimintapisteessä.

Kaaviossa oleva viivoitettu alue kuvaa sitä ilmanvaihtokoneen toiminta-aluetta, jossa ominaissähköteho on alle $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Laitteen valmistaja voi esittää koneelle soveltuvan toiminta-alueen esimerkiksi tällä tavalla, jolloin suunnittelu- ja valintavaiheessa on helppo todeta, että täyttääkö laite ominaissähkötehon vaatimuksen halutulla käyttöajan ilmavirralla.

Esimerkki

Toimintapiste käyttöajan ilmavirralla: poistoilmavirta $53 \text{ dm}^3/\text{s}$, kokonaispaine 75 Pa tehonvalintakytkimen säätöasennolla 2. Ominaissähköteho $< 2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Tehostustilanteessa (tehonvalintakytkimen säätöasennolla 4) toteutuu käyrästä luettuna ilmavirta 90 l/s ja ominaissähkötehoksi tulee noin $3 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Esimerkissä toimintapiste on valittu oikein. Mikäli ilmavirroiksi olisi valittu esim. 38 tai $58 \text{ dm}^3/\text{s}$ niin kuvasta 2 nähdään, että ominaissähköteho $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ tultaisiin ilman toimenpiteitä ylittämään. Ilmavirralla $38 \text{ dm}^3/\text{s}$ tulee ottaa käyttöön väliasento (välinopeus) "1,5" tai kasvattaa mitoitusilmavirtaa käyrälle 2, tai vaihtoehtoisesti pienentää ilmavirtaa käyrälle 1. toimintapisteeseen jolla ominaissähköteho $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Ilmavirralla $58 \text{ dm}^3/\text{s}$ on valittava väliasento "2,5" ja lisäksi muutettava ilmavirtaa, tai vaihtoehtoisesti ilmavirtoja on muutettava niin paljon, että käyrillä 2. tai 3. jää ominaissähköteho alle $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

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 liitäntähäviön, 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 mitoitustilavirralla
- liitäntähäviö, 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 tuleekin suunnitella painehäviöiltään symmetriseksi siten, että minkään yksittäisen haaran tai liitäntäkanavan 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 liitänthäviö kanavistoon ei kuulu kanavapainehäviöön, vaan otetaan erillisenä tekijänä huomioon. Suositellut suurimmat kanavanopeudet ovat:

- | | |
|--------------------------|---------|
| - ≤ 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 | 2 m/s |

Puhaltimen liitänthä kanavistoon

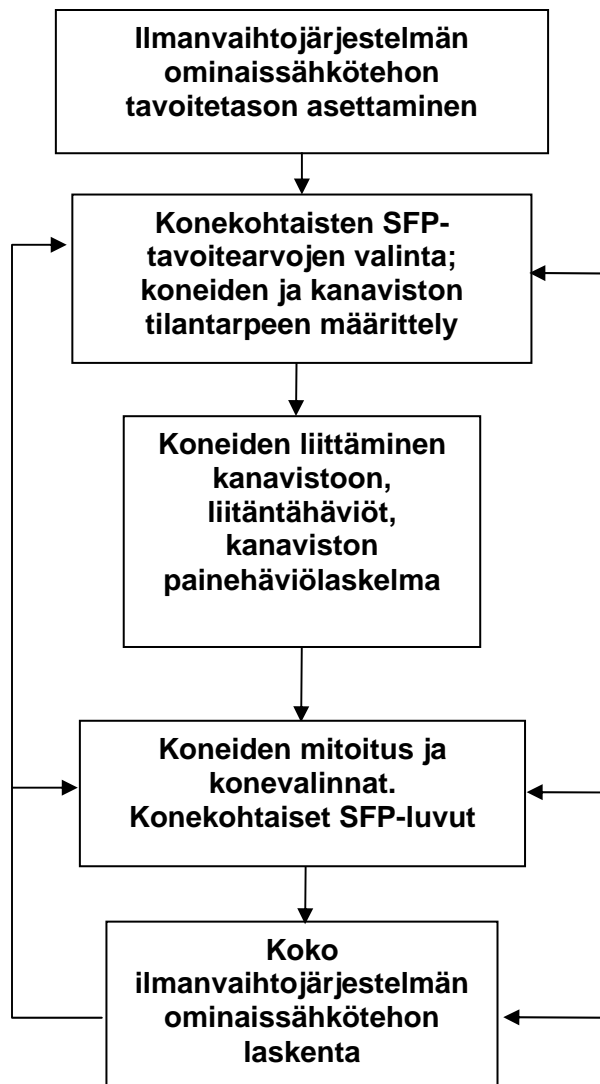
Kanaviston painehäviön lisäksi tulee ottaa huomioon puhaltimien liitänthäviöt. Sekä ilmanvaihtokanaviston suunnittelujärjestelmät että ilmankäsittelykoneiden mitoitusohjelmat eivät kumpikaan osaa ottaa huomioon odottamattomia puhaltimen liitänthäviöitä. Liitänthäviön kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että puhaltimen liitänthä kanavistoon tehdään oikein. Epäedullisessa liitänthässä 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 oletusliitänthäviötä. Ellei tietoa saada mitoitusohjelmasta, on liitänthäviö arvioitava erikseen. Mikäli toteutunut liitänthätapa poikkeaa tästä oletetusta ja liitänthäviö on laskettua suurempi, on toteutuva ilmavirta pienempi kuin suunniteltu. Puhaltimen pyörimisnopeutta joudutaan kasvattamaan, ja samalla kasvaa verkosta otettu sähköteho. Jos ilmavirta on kasvaneen liitänthäviön 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 kanavakoko. 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 jatkaa 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 kanavaliitäntöjä eri suuntiin, joudutaan ejektorivaikutuksen takia kuristamaan eteenpäin lähtevää kanavaa kohtuuttoman paljon, jotta ilma saataisi menemään ylöspäin olevaan liitäntään.</p>
<p>Puhaltimen paineaukkoon ei ilman suojaetäisyyttä pidä asentaa mitään osia, kuten esimerkiksi sälepeltejä. Sälepelteistä virtauksen tasaantumisen ja aiheuttaa näin suuren törmäyshäviön. Samalla pelte 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>

Kuva 3. Puhaltimen liitäntä kanavistoon

Ominais sähkötehon suunnitteluprosessin kulku



Kuva 4. Ominais sähkötehon suunnittelun kulku.

Järjestelmän mitattavuus

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

Ilmavirran mittausta varten puhaltimet tulisi varustaa kiinteällä ilmavirran mittausanturilla, joka on kalibroitu ko. puhaltimeen. Puhallinkohtaisella mittausanturilla saadaan mahdollisimman luotettava mittaustulos. Pienessä ilmankäsittelykoneessa, kun liitäntä koneeseen tapahtuu pyöreällä kanavalla, saadaan luotettava ilmavirran mittaustulos myös käyttämällä korkealaatuista pyöreään kanavaan tarkoitettua kiinteää mittauslaitetta, jolle on olemassa varmennettu mittauskäyrästä säätöasento/mittauspaine/ilmavirta. Jos kiinteää mittausjärjestelyä ei ole käytettävissä, tehdään mittaukset puhallinstandardien mukaisesti.

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 mittaus 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, vrt. kohta "Sähkötehon mittaaminen".

Mittaukset ja vastaanottotarkastus

Rakentamismääräyskokoelman osa D2 edellyttää ominaissähkötehojen mittaamista laitoksen käyttöönottovaiheessa. Suunnittelu voidaan hyväksyntävaiheessa todentaa käyttämällä liitteen 1 mukaista kaavaketta, jossa lasketaan koko järjestelmän ominaissähköteho. Käyttämällä liitteen mukaista kaavaketta mittauksen 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 mittausanturilla, joka on kalibroitu ko. puhaltimeen. Lämmön talteenotolla varustetussa ilmapuhaltimessa jäteilmän lämpötila voi poiketa merkittävästi poistoilman lämpötilasta. Mikäli poistoilmapuhaltimen ilmavirta mitataan puhaltimessa olevalla mittausanturilla, pitää mittauksessa huomioida lämpötilasta johtuva korjauskerroin.

Taajuusmuuttajalla varustettu puhallin

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

Muuttuvailmavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä

Muuttuvailmavirtaisessa järjestelmässä kaikki ilmavirtasäätimet ajetaan mitoittavan ilmavirran mukaan 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.

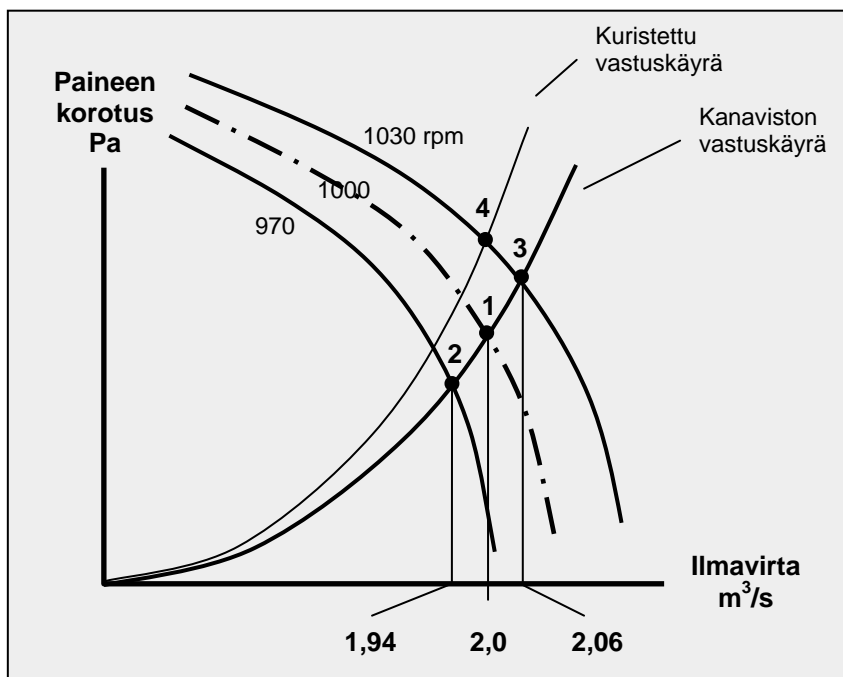
Esimerkki:

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



Kuva 5. Puhaltimen toimintapisteen sovitusesimerkki.

Sähkötehon mittaaminen

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

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

Mittauslaitteen 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 $\cos \varphi$) ei saada riittävän tarkkaa tehoarvoa. Erityisesti, kun mitataan taajuusmuuttajalla varustetun moottorin tehoa, voidaan saada hyvin virheellisiä mittaustuloksia, ellei mittauslaite ole soveltuva tähän käyttöön. Mittarin mittaustavan pitää olla ns. true-RMS, jolloin se pystyy ottamaan huomioon taajuusmuuttajan aiheuttamat poikkeamat sähkövirran siniaaltoon, vaikka mittaus suoritetaan taajuusmuuttajan tulopuolelta. Oheisessa kuvassa on esitetty tämältyyppisiin mittauksiin hyvin sopiva pihtimittari Metrix MX 240.



Kuva 6. Esimerkki ominaissähkötehon mittauslaitteesta.

Edellä kuvattu mittauslaite mittaa virran yhdestä vaiheesta kerrallaan, mutta jännite mitataan samalla kaikista kolmesta vaiheesta. Näin mittari pystyy laskemaan jännitteen ja virran välisen vaihekulman $\cos \varphi$ 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 puhallimet tulevat mukaan samaan mittaukseen. Mittauksen ajaksi pitää mahdollinen pyörivän lämmönsiirtimen roottori pysäyttää, koska sen ottama teho ei kuulu mittaukseen.

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

Laskennan määrittelyjä

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

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

missä

P_F = puhaltimen hyötyteho

q_v = puhaltimen ilmavirta

Δp_F = puhaltimen paineenkorotus

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

missä

P_E = puhallinmoottorin ottama sähköteho

η_{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

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

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

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

Siis SFP on kokonaispainehäviö jaettuna kokonaishyötysuhteella. Siihen voidaan vaikuttaa kanaviston painehäviötä, ilmankäsittelykoneen painehäviötä liitännähäviöineen ja puhaltimen kokonaishyötysuhdetta muuttamalla.

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

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

missä	
$\Delta p_{\text{puhallin}}$	= puhaltimen paineenkorotus
Q_{puhallin}	= puhaltimen ilmavirta
η_{puhallin}	= puhaltimen hyötysuhde
$\eta_{\text{käyttö}}$	= voimansiirron hyötysuhde
η_{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 Δp_{ulk} sekä koneen sisäisen painehäviön Δp_{kone} . Ulkoinen painehäviö Δp_{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 käyrästöstä 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

Kennotyyppinen ilmankostutin lasketaan kuivan painehäviön mukaan.

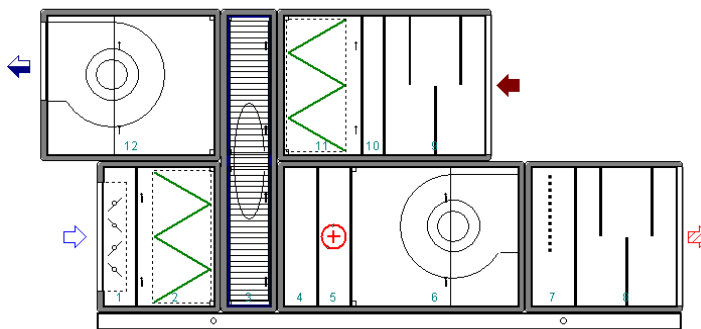
Tällöin määrittely vastaa parhaiten tilannetta, jolloin sähkötehoa mitataan käyttöönottovaiheessa olevasta ilmanvaihtolaitoksesta.

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.

Ominais sähköteho 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 toimintapiste 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 liitännähäviöt (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 ³ /s
Roottorin vuotoilmavirta		0,07	m ³ /s
Puhaltimen kokonaisilmavirta	2,50	2,30	m ³ /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	382	164	Pa
Tuloilmapuhaltimen ulospuhallushäviö äänenvaimentimeen	56	-	Pa
Poistoilmapuhaltimen liitantähäviö kanavaan	-	41	
Puhaltimen koteloasennuksesta johtuva painehäviö	70	50	Pa
Koneen sisäiset painehäviöt yhteensä	508	255	Pa
Koneen ulkopuolinen painehäviö (kanavisto, imu- ja painepuoli)	300	250	Pa
Puhaltimen kokonaispaineenkorotus	808	505	Pa

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	%

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

KIRJALLISUUTTA

[Suomen rakentamismääräyskokoelman](#) osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet.

TalotekniikkaRYL 2002. Rakennustieto Oy, 2002

LVI 30-10349. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP

Talotekniikan elinkaaritarkastelut, Talotekniikan Käsikirja 1.

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

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

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

SFS-EN 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

SFS 5148 Ilmatekniikka. Puhaltimet. Puhaltimen käyttö ilmastointilaitoksissa.

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

Metrix MX 240 pihtimittarin tekniset tiedot. Perel Oy, Hyvinkää

Liite 1 Ominais sähkötehon laskenta ilmanvaihtojärjestelmälle

Ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähkötehon laskenta ja mittaus

Laitoksen nimi:

Tulo- ja poistoilmakoneet

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

Tuloilmakoneet

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

Poistoilmakoneet

Poisto-ilmakone	Ilmavirta	Kanavapaine	Sähköteho	Tämän koneen SFP
merkintä	m ³ /s	Pa	kW	kW/m ³ /s
Yhteensä				

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