



SFP-opas

Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon
määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen

Sisällysluettelo

Esipuhe 4. painokseen	3
1 Yleinen osa.....	4
1.1 Johdanto.....	4
1.2 Yleistä.....	5
1.3 Yleisimmät ominaissähkötehosuureet	5
1.4 Ominaissähkötehon määritelmiä	6
1.5 Suomessa käytössä olevat SFP-suureet.....	6
1.6 Ominaissähkötehon laskentaperiaate	8
2 Suunnittelu	10
2.1 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon tavoitetason valinta	10
2.2 Poikkeukset	14
2.3 Asuinrakennusten ilmanvaihto	14
2.4 Koneen laitekoonpano	15
2.5 Koneen SFP _v -luvun käyttö mitoitusvaiheessa sekä vertailutyökaluna.....	16
2.6 Kanavajärjestelmän suunnittelu	16
2.7 Puhaltimen liitäntä kanavistoon	17
2.8 Ominaissähkötehon suunnitteluprosessin kulku	18
2.9 Järjestelmän mitattavuus	18
3 Mittaukset ja vastaanottotarkastus	19
3.1 Ulko- tai ulospuhallusilmavirran mittaaminen.....	19
3.2 Muuttuvilmavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä	19
3.3 Sähkötehon mittaaminen	19
3.4 Sähkötehon mittaaminen pienestä ilmanvaihtokoneesta	20
4 Laskennan määrittelyjä	20
5 Esimerkki ilmankäsittelykoneen SFP_v-laskennasta suunnittelun ja mitoituksen yhteydessä.....	21
6 Kirjallisuutta.....	24
Liite 1. Ominaissähkötehon laskennan ja mittauksen yhteenveto ilmanvaihtojärjestelmälle..	25
Liite 2. Ilmanvaihtokoneen vastaanottopöytäkirja/mittauspöytäkirja	26
Liite 3. SFP_v-luvun määrittäminen mittauksista.....	27
Liite 4. Sisäisten vuotojen hallitsemiseksi tarvittavan lisäpainehäviön määrittäminen.....	31

Esipuhe 4. painokseen

Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa esitetään vaatimuksia rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuudelle. Niihin kuuluu enimmäisohjearvon antaminen ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien käyttämälle sähköteholle ja määräys ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämisestä ennen rakennuksen käyttöönottoa. Tämän oppaan tavoitteena on kuvata käytännön määrittelytapa ilmanvaihtojärjestelmien ja ilmapuhaltimien ominaissähkötehon määrittelylle.

Ensimmäinen painos ohjeista tehtiin sen jälkeen, kun määräysten ja ohjeiden lausuntovaiheessa vuonna 2001 tuli esille tarve kirjoittaa auki ohjearvon taustat yhtenäisen määrittelytavan aikaansaamiseksi. Tämän jälkeen julkaisua on uudistettu kolme kertaa ja nyt julkaistava opas on sen 4. painos. Kiitokset hyvin tehdystä pohjatekstistä kuuluvat siis myös edellisten painosten käsikirjoittajille, jotka käyvät ilmi aikaisemmista esipuheista.

Oppaan 4. painos pohjautuu vahvasti edellisen painoksen teksteihin, mutta muutoksiakin on paljon. Päivitys on kattava ja siinä on otettu huomioon aikaisempi opasversio sekä Svensk Ventilationin syksyllä 2021 julkaisema suositus, josta on otettu mukaan erityisesti liitteessä 3 esitetty mittaustuloksen tarkastelu ja liitteessä 4 esitetty tarkastelu ilmanvaihtokoneen sisäisten vuotojen hallinnasta.

Eurooppalaisten määräysten ja standardien kehittyessä on tullut tarve päivittää opasta vastaamaan nykytilaa niin taustamateriaalien kuin vallitsevien käytäntöjenkin osalta. Oppaan päivittämistä kirjoittamista varten koottiin Talotekninen kauppa ja teollisuus ry:n (Talteka) piirissä työryhmä, joka on ohjannut kirjoitustyötä. Työryhmään kuuluivat Olli Ali-Rantala Swegon Oy:stä, Tero Pyykkö FläktGroup Oy:stä, Jarkko Salo Recair Oy:stä, Sebastian Enberg Systemair Oy:stä ja Taru Lähteenmäki Koja Oy:stä. Ryhmän sihteerinä ja oppaan toimittajana toimi Juhani Hyvärinen Taltekasta. Oppaan julkaisemisesta päätti Taltekan Tekno-jaos tammikuussa 2023.

Maaliskuussa 2023

Talotekninen teollisuus ja kauppa ry

1 Yleinen osa

1.1 Johdanto

Tämän oppaan tehtävänä on kuvata käytännön menettelytapa ilmanvaihtojärjestelmien ja ilmankäsittelykoneiden ominaissähkötehon määrittelylle. Opas on tarkoitettu erityisesti suunnittelijoiden ja urakoinnin työkaluksi, asennetun järjestelmän mittaajille vastaanottotarkastuksia varten sekä rakennusvalvonnalle järjestelmien ja yksittäisten koneiden ja puhaltimien vaatimustenmukaisuuden arviointiin.

Suomen Rakentamismääräyskokoelman uuden rakennuksen energiatehokkuutta koskevassa asetuksessa 1010/2017 on annettu vaatimuksia ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholle. Tämä opas antaa ohjeita laitteiden tarkoituksenmukaiseen suunnitteluun erityyppisiin kohteisiin sekä myös ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho tavoitearvon määrittelylle kohteissa, joissa ilmankäsittely vaatii tavanomaista suurempaa sähkötehoa. Tällaisia kohteita ovat mm. sairaaloiden toimenpidetilat, puhdistilat ja laboratoriot.

Tässä oppaassa esitetään eri määritelmiä ilmanvaihtojärjestelmän ja ilmanvaihtokoneiden ominaissähköteholle, josta käytetään yleisesti lyhenteenä englanninkieliseen termiin Specific Fan Power perustuvaa SFP-lyhennettä ja eurooppalaisissa standardeissa P_{SFP} -alkuista lyhennettä. Ominaissähkötehokkuus antaa lukuarvon sille, kuinka paljon sähkötehoa rakennuksen ilmanvaihto tai ilmanvaihtokone tarvitsee yhden ilmakuution siirtämiseen sekunnissa. Oikealla suunnittelulla ja laitevalinnoilla voidaan vaikuttaa rakennuksen ja sen ilmankäsittelyjärjestelmien sähkönkulutukseen. Koska sähkönkulutuksella on hyvin merkittävä osuus energian tarpeesta, voidaan määräysten mukaisella suunnittelulla merkittävästi vaikuttaa koko rakennuksen elinkaarikustannuksiin ja ympäristökuormitukseen.

Oppaassa esitellään erityisesti Suomen Rakentamismääräyskokoelman määräykset, mutta lyhyesti myös IV-koneiden ekosuunnitteluun liittyvät määräykset ja toimialalla eri tarkoituksiin yleisimmin käytetyt määrittelytavat. Eri määritelmät perustuvat erilaisiin kansallisiin ja eurooppalaisiin säädöksiin, standardeihin ja toimialan käytäntöihin. SFP-lukuun tai ominaissähkötehoon viitattaessa on aina oltava huolellinen sen suhteen, mitä nimenomaista määritelmää kulloinkin tarkoitetaan.

Huolellisella suunnittelulla voidaan vähentää tarvittavaa sähköenergiaa ja tehoa paljon. Hyvin tai huonosti suunnitellun ja 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. Energiatehokas toteutus ei sinänsä ole vaikeampi eikä välttämättä investointikustannuksiltaan kalliimpi kuin sähkötehokkuudeltaan enemmän energiaa kuluttava toteutus.

Ominaissähkötehokkuus on tarkoitettu apuvälineeksi, jolla voidaan ennalta määritellä suunniteltavan kohteen ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon tavoitetaso ja täten varmistua siitä, että suunnittelu- ja toteutusprosessi johtavat halutun tasoiseen lopputulokseen. Esimerkiksi, jos määritellään ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehokkuudeksi $1,8 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ on tällöin kaikki puhaltimet ja ilmankäsittelykoneet mitoitettava ja valittava siten, että kaikkien ilmankäsittelykoneiden ominaissähkötehokkuuden painotettu keskiarvo alittaa $1,8 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Yksittäisen puhaltimen tai ilmankäsittelykoneen kohdalla voidaan sallia tavoitearvon ylitys, jos se kompensoidaan matalammilla arvoilla muissa koneissa. Tällä saadaan aikaan se, että koko prosessi - suunnittelu - laitehankinnat - toteutus - ottaa määritellyn arvon huomioon ja rakennuttaja saa varmuuden siitä, että lopputulos on myös tältä osin halutun mukainen.

Pieneen sähkönkulutukseen ei luonnollisestikaan pidä pyrkiä sisäilmaston kustannuksella tai heikentämällä ilmanvaihtoa tai rakennuksen muuta energiatehokkuutta. Ilmanvaihtoa toiminnalliset

tavoitteet: ilmavirta, suodatusaste, lämpötila jne. tulee säilyttää. Tämän takia on sähkötehokkuuden suunnittelun edettävä muun suunnittelun rinnalla.

1.2 Yleistä

Soveltamisala

Tämä opas tarkastelee ilmanvaihtojärjestelmän ja ilmanvaihtokoneiden ominaissähkötehon eri määrittystapoja. Oppaassa esitellään yleisimmät käytössä olevat ilmanvaihtoon liittyvät ominaissähkötehokkuussuureet, ja siinä kuvataan yksityiskohtaisemmin Suomessa rakentamisessa käytetyt suuret.

Opas ei rajaudu mihinkään tiettyyn rakennus- tai ilmanvaihtojärjestelmätyyppiin. Se kattaa keskitehtyillä ja hajautetulla koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustetut toimisto-, liike- ja julkiset rakennukset sekä asuinrakennukset. Opasta voidaan myös käyttää soveltaen rakennuksiin, joissa ns. hybridi-ilmanvaihto, tai pelkällä koneellisella poistoilmanvaihdolla varustettuihin rakennuksiin sekä teollisuusrakennuksiin. Teollisuusprosesseja palvelevaa ilmanvaihtoa ja ns. turvallisuusilmanvaihtoratkaisuja ei kuitenkaan käsitellä oppaassa, sillä ominaissähkötehokkuusvaatimukset eivät koske niitä.

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

Käsitteitä

Koneellisella tulo- ja poistoilmajärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jolla ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti puhaltimen avulla ja tilalle tuodaan lämmitettyä tai 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.

1.3 Yleisimmät ominaissähkötehosuureet

Ominaissähkötehoalla (SFP) tarkoitetaan yleisesti ilmanvaihdon tarvitsemaa sähkötehoa suhteessa ilmanvaihdon ilmavirtaan ja sen yksikkönä käytetään tavallisesti $\text{kW} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}$ tai $\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}$.

$$SFP = \frac{P_{\text{verkko}}}{q_v}$$

SFP voidaan määrittää myös seuraavasti

$$SFP = \frac{\Delta p_{\text{tot}}}{\eta_{\text{tot}}} = \frac{\Delta p_{\text{stat}}}{\eta_{\text{stat}}}$$

Sähköteho saadaan kaavasta:

$$P_{\text{verkko}} = \frac{q_v * \Delta p_{\text{tot}}}{\eta_{\text{tot}}} = \frac{q_v * \Delta p_{\text{stat}}}{\eta_{\text{stat}}}$$

jossa

P_{verkko} on verkosta otettu pätöteho, [W]

q_v on ilmavirta puhaltimen lävitse, [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Δp_{tot}	on kokonaispaineenkorotus puhaltimen imuaukosta puhallusaukkoon, [Pa]
Δp_{stat}	on staattisen paineen korotus puhaltimen imuaukosta puhallusaukkoon, [Pa]
η_{tot}	on puhaltimen kokonaispaineenkorotuksesta määritetty kokonaishyötysuhde
η_{stat}	on puhaltimen staattisesta paineenkorotuksesta määritetty kokonaishyötysuhde

Ominais sähköteho on siis kokonaispainehäviö jaettuna kokonaishyötysuhteella. Siihen voidaan vaikuttaa kanaviston painehäviötä, ilmankäsittelykoneen painehäviötä liitäntähäviöineen ja puhaltimen kokonaishyötysuhdetta muuttamalla.

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

$$P_{verkko} = \frac{\Delta p_{tot} * q_v}{\eta_{puhallin} * \eta_{käyttö} * \eta_{moottori} * \eta_{ohjain} * 1000}$$

jossa

Δp_{tot}	= puhaltimen paineenkorotus (tot)
$q_{puhallin}$	= puhaltimen ilmavirta
$\eta_{puhallin}$	= puhaltimen hyötysuhde (tot)
$\eta_{käyttö}$	= voimansiirron hyötysuhde
$\eta_{moottori}$	= moottorin hyötysuhde
η_{ohjain}	= mahdollisen pyörimisnopeusohjaimen hyötysuhde (esimerkiksi taajuusmuuttaja).

1.4 Ominais sähkötehon määritelmiä

Ominais sähköteholle on useita eri määritelmiä, joista osa on määritelty Suomessakin sovellettavissa EN-standardeissa. Seuraavassa on lueteltu yleisimmät suureet, joista kolme alinta on vain mainittu tässä listassa, eikä niihin palata sen enempää.

- Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho (asetus 1010/2017)
- Ilmanvaihtokoneen sisäisten komponenttien ominais sähköteho $P_{SFP,int}$ (EU:n asetus 1253/2014 ja EN 13053)
- Yksittäisen ilmanvaihtokoneen ominais sähköteho puhtailla suodattimilla (vastaanotto, validointi), SFP_v
- Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho $P_{SFPd,B}$ (EN 16798-3)
- Yksittäisen ilmanvaihtokoneen ominais sähköteho $P_{SFP,E}$ (EN 16798-3)
- Yksittäisen ilmanvaihtokoneen ominais sähköteho ”puolilikaisilla” suodattimilla (keskimääräinen energiankulutus), SFP_e

1.5 Suomessa käytössä olevat SFP-suureet

1.5.1 Viranomaisvaatimukset

Suomen Rakentamismääräyskokoelman asetus 1009/2017 uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta esittää vaatimukset seuraavasti:

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että ilmanvaihtojärjestelmän ilma-
virrat on mitattu ja säädetty, ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho on määritetty ja il-
manvaihtojärjestelmä on saatettu toimimaan suunnitelman mukaisesti ennen rakennuksen
käyttöönottoa.

Suomen Rakentamismääräyskokoelman asetus 1010/2017 uuden rakennuksen energiatehokkuu-
desta esittää:

Jos rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä, voi koneellisen tulo- ja poistoil-
majärjestelmän ominaissähköteho olla enintään 1,8 kW/(m³/s) ja koneellisen poistoilmajär-
jestelmän ominaissähköteho enintään 0,9 kW/(m³/s).

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho voi ylittää edellä mainitut arvot rakennuksen
käyttötarkoituksen mukaisen sisäilmaston niin edellyttäessä.

Kansallisten säädösten lisäksi ilmanvaihtokoneiden asettamista markkinoille säädellään CE-merkin-
nän ja sitä edellyttävien monien eurooppalaisten säädösten kautta. Ominaissähkötehoon liittyen
näistä tärkeimmät ovat ilmanvaihtokoneiden ekosuunnitteluasetus ja ilmanvaihtokoneiden energia-
merkintäasetus. Markkinoille asetetussa ilmanvaihtokoneessa on oltava CE-merkintä, jonka edelly-
tyksenä on mm. eurooppalaisten asetusten asettama vaatimus ilmanvaihtokoneen sisäiselle ominais-
sähköteholle, (SFP_{int} -suurelle).

1.5.2 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho

Rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho rakennuksen koko ilmanvaihtojärjes-
telmän kaikkien puhaltimien ja niihin liittyvien taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden
yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähkötehoa jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän suunnitellun
käyttöajan ulospuhallusilmavirralla tai ulkoilmavirralla sen mukaisesti kumpi näistä on suurempi.

1.5.3 Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho puhtailla suodattimilla SFP_v

Yksittäisen ilmapuhaltimikoneen, joka sisältää tulo- ja poistoilmakoneen, ominaissähköteho SFP_v
on puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho (kW) jaettuna koneen tulo- tai pois-
toilmavirralla m³/s, suuremmalla näistä. Sähkön ottoteho lasketaan mitoitusilmavirralla, jossa on
huomioitu koneen sisäisten vuotojen vaikutus.

1.5.4 Yksittäisen ilmanvaihtokoneen tai erillisen puhaltimen ominaissähköteho

Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimen (ilmanvaihtokoneen) ominaissähköteho on puhaltimensähkö-
verkosta ottama sähköteho jaettuna puhaltimen mitoitusilmavirralla. Puhaltimen sähköverkosta ot-
tama sähköteho sisältää puhaltimen moottorin sähkötehon lisäksi mahdollisen taajuusmuuttajan ja
muun tehonsäätölaitteen sähkötehon.

1.5.5 Ilmanvaihtokoneen sisäisten komponenttien ominaissähköteho SFP_{int}

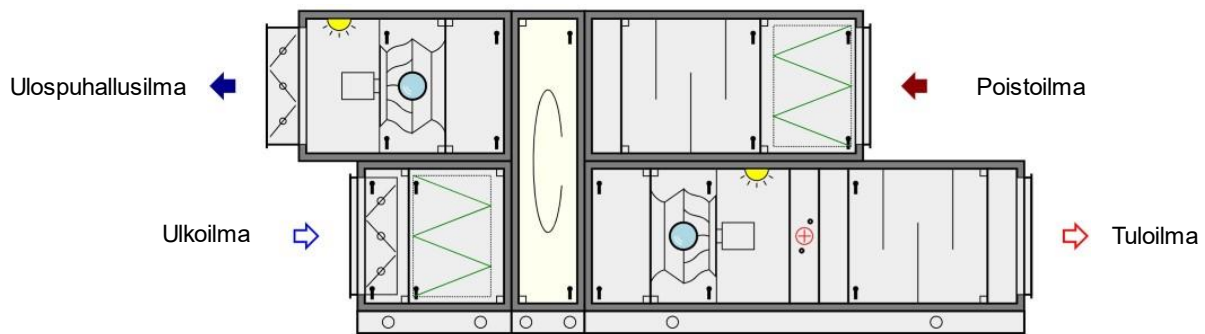
SFP_{int} on ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, jossa on huomioitu ainoastaan ilmanvaihdossa tar-
vittavien koneen sisäisten komponenttien aiheuttama painehäviö. SFP_{int} ei siis huomioi esimerkiksi
lämmitykseen tai jäähdytykseen tarvittavien komponenttien painehäviöitä.

1.6 Oinaissähkötehon 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 esimerkiksi koneelle 700 Pa ja kanavistolle 250 Pa. Lisäksi koneen mitoituksen onnistuminen vaikuttaa myös koneen ulkopuoliseen kanaviston aiheuttamaan sähkönkulutukseen, koska myös kanaviston tarvitsema paineenkorotus tuotetaan koneen puhaltimessa.



Kuva 1 Ilmankäsittelykone ja kanaviston osat.

1.6.1 Oinaissähkötehon määrittely rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmälle

Rakennuksen ominaissähköteho määritellään keskimääräisessä käyttötilanteessa eli tilanteessa, jossa suodattimet ovat puoliliikaisia. Lämmönsiirtimien pinnalle kondensoituvan, härmistyvän tai jäätyvän veden osalta ei ole määritelty keskimääräistä käyttötilannetta.

Ilmavaihtokoneiden ominaissähkötehokkuus todennetaan tarvittaessa mittauksella ennen käyttöönottoa, ja on luontevaa, että ominaissähkötehon konekohtainen määrittelykin tehdään puhtailla suodattimilla, ja lisäksi koska yleisin lämmönsiirtotilanne on kuiva lämmönsiirtotilanne, tehdään määrittelykin kuivalle tilanteelle.

Yksittäisen ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehon määrittelyssä käytetään tulo- tai poistoilmavirtaa ja rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittelyssä ulko- tai ulospuhallusilmavirtaa. Yksittäisten koneiden ulko- ja ulospuhallusilmavirtoja määrittäessä on otettava huomioon koneiden sisäiset vuodot.

Oinaissähkötehon 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.

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

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho lasketaan kaavan 1 esittämällä tavalla.

$$\text{ominaissähköteho} = \frac{P_{\text{verkko,SUP}} + P_{\text{verkko,ETA}}}{q_{\text{max}}} \quad (1)$$

, jossa

ominaissähkötehon yksikkö on kW/(m³/s)

$P_{\text{verkko, SUP}}$ = tuloilmapiuhaltimien verkosta ottama sähköteho yhteensä, [kW]

$P_{\text{verkko, ETA}}$ = poistoilmapiuhaltimien verkosta ottama sähköteho yhteensä, [kW]

q_{max} = rakennuksen mitoittavista ulospuhallusilmavirrasta tai ulkoilmavirrasta suurempi, [m³/s].

Muuttuvan ilmavirran järjestelmässä ominais sähköteho määritellään mitoittavalla ilmavirralla ottamatta huomioon mahdollisia eroavuuksia tilojen käyttöajoissa ja ilmavirroissa.

1.6.2 Yksittäisen ilmanvaihtokoneen tai puhaltimen ominais sähkötehokkuus SFP_v

Edellä on esitetty, miten koko ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähkötehokkuus määritellään. Järjestelmä koostuu yleensä useista alueista, joita kutakin palvelee erillinen ilmankäsittelykone. Konekohtainen ja puhallinkohtainen sähkötehokkuusluku määritellään seuraavasti:

Yksittäisen ilmanvaihtokoneen, joka sisältää tulo- ja poistoilmakoneen, ominais sähköteho SFP_v on puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho [kW] jaettuna koneen ilmavirroista suuremmalla ilmavirralla (joko tulo- tai poistoilmavirta [m³/s]). Puhaltimen sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimen moottorin sähkötehon lisäksi mahdollisen taajuusmuuttajan ja muun tehonsäätölaitteen sähkötehon. Sähkön ottoteho lasketaan mitoitusilmavirralla, jossa on huomioitu koneen sisäiset vuodot, puhtaalla suodattimella ja kuivien lämmönsiirtimien painehäviöllä, kaavan 2 mukaan.

$$SFP_v = \frac{P_{\text{verkko,TP}} + P_{\text{verkko,PP}}}{q_{\text{max}}} \quad (2),$$

jossa

SFP_v = ilmanvaihtokoneen ominais sähköteho

$P_{\text{verkko,TP}}$ = tuloilmapiuhaltimen ottama sähköteho, kW

$P_{\text{verkko,PP}}$ = poistoilmapiuhaltimen ottama sähköteho, kW

q_{max} = koneen ilmavirroista suurempi (tulo tai poisto) m³/s.

Yksittäisen puhaltimen ominais sähköteho 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.

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

jossa

SFP_v	= puhaltimen ominaissähköteho, [kW/(m ³ /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 sen, paljonko kilowatteja tarvitaan rakennuksen ilmanvaihdon käyttämiseen. Jos rakennuksen tuloilmavirta on 3,5 m³/s ja poistoilmavirta 4,0 m³/s, on rakennuksessa tapahtuva ilman vaihtuvuus 4,0 m³/s. Tästä 3,5 m³/s tulee tuloilmakoneen kautta ja 0,5 m³/s vuotoina. Ilmanvaihdon ilmavirta, jolle sähkötehokkuus lasketaan, on siis 4,0 m³/s eikä 3,5 m³/s + 4,0 m³/s.

1.6.3 Yksittäisen ilmanvaihtokoneen tai puhaltimen ominaissähkötehokkuus keskimääräisessä käyttötilanteessa, SFP_v

SFP_v määrittelee uuden koneen ominaissähkötehokkuuden vastaanottotilanteessa, jolloin suodattimet ovat uudet ja lämmönsiirto voidaan tarkastella kuivassa tilanteessa.

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon suunnittelussa tarkastelu on tehtävä kuitenkin keskimääräisessä käyttötilanteessa. Osa iv-koneiden mitoitusohjelmista laskee keskimääräistä käyttötilannetta vastaavan SFP -luvun, jota merkitään esimerkiksi Ruotsissa alaindeksillä e. Tässä oppaassa ei kuitenkaan määritellä käyttötilanteen SFP -luvulle omaa tunnuslukuaan.

Suunnittelija määrittää kohteen keskimääräisen käyttötilanteen ja arvioi sen pohjalta tavoitearvot ilmanvaihtokoneiden ominaisuuksille.

1.6.4 Ilmanvaihtokoneen sisäinen ominaissähkötehokkuus, SFP_{int}

Suomessa vaikuttavaa lainsäädäntöä ovat myös Euroopan unionin ilmanvaihtokoneita koskevat ekosuunnitteluasetukset, joissa asetetaan vaatimuksia ilmanvaihtokoneen sisäiselle ominaissähköteholle. Ekosuunnittelusäädökset ovat niin kutsuttuja markkinoilleasettamissäädöksiä, joiden osalta vastuu noudattamisesta on sillä, joka asettaa tuotteen markkinoille saataville.

SFP_{int} määritellään ilmanvaihtokoneita koskevassa ekosuunnitteluasetuksessa 1253/2014, sen muutostaiheen asiakirjoissa ja asetukseen viittaavissa harmonisoiduissa standardeissa mm. EN 13053, ja EN 308. Tässä oppaassa ei toisteta määrittämiä, koska SFP_{int} -lukua ei ole tarkoitettu rakennuksen ja sen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa käytettäväksi, vaan ainoastaan markkinakelpoisuuden toteamiseen.

2 Suunnittelu

2.1 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon tavoitetason valinta

Tavoitetason valinnassa vähimmäistason antaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan ohje, jonka mukaan rakennuksen ominaissähkötehon tulee olla yleensä alle 1,8 kW/(m³/s). Tämä koskee tavanomaisia ilmanvaihtojärjestelmiä. Jos rakennuksen sisäilmaston hallinta edellyttää tavanomaisesta poikkeavia ratkaisuja, antaa ohje mahdollisuuden käyttää korkeampaa ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehokkuutta.

Toisaalta tuotteiden ja energian hinnan kehitys ovat johtaneet siihen, että on usein järkevää asettaa vähimmäistasoa tiukempi tavoite ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehokkuuden enimmäisarvolle. Tavanomaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä tämä tarkoittaa yleensä tavoitetasoa 1,5...1,8 kW/(m³/s).

Ilmankäsittelykoneiden mitoitus ja valinta tehdään siten, että koko järjestelmälle toteutuu koko rakennukselle määritelty taso. Asetuksen 1010/2017 esittämän enimmäisarvon ylitystarve tarkastellaan suunnittelutilanteessa tarvittaessa konekohtaisesti. Koneiden SFP_v-lukuja suunniteltaessa on otettava huomioon, että jokaiselle koneelle otetaan huomioon konekohtaisesti oikeat kanavistojen painehäviöt. Lisäksi on huomioitava koneiden sisäisten vuotojen ja keskimääräisen käyttötilanteen vaikutus koko järjestelmän ominaissähkötehoon.

2.1.1 Laskentaan sisältyvät puhaltimet

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittelyn tarkoitus on antaa helppokäyttöinen työkalu ilmanvaihdon energiatehokkaaseen mitoitukseen. Ottamalla ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho 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 laboratorioden vetokaapit
- teknisten tilojen yllämmön poistoon tarkoitetut puhaltimet
- takkaimurit
- liesituulettimet

Arvioitaessa koko rakennuksen energiatehokkuutta on nämäkin otettava mukaan laskelmiin. Kysymys on kuitenkin eri asiasta kuin ominaissähkötehokkuudesta.

2.1.2 Laskennassa käytettävät ilmavirrat

Ilmavirtojen, painehäviöiden ja tehontarpeen laskennassa käytettäviä ilmavirtoja määritettäessä otetaan huomioon koneen sisäiset vuodot (OACF ja EATR) ja niiden hallitsemiseksi tarvittavat kuristukset (kts. liite 4) sekä lämmöntalteenoton puhtaaksi puhalluksen vaatimat ilmavirrat. Niissä tapauksissa, kun EATR:n täytyy olla 0, ja säätöpelti sisältyy koneeseen, lisäpainehäviö lasketaan SFP_v-lukuun. Tällöin suunnittelijan on huomioitava laskennassa myös koneeseen liittyvien kanavistojen (4 kpl) painehäviöt.

Mikäli kohteen vaatimuksena on, että poistoilma ei virtaa koneen sisäisten vuotojen johdosta tuloilmaan eli $EATR = 0\%$, lisätään tarvittaessa lisäpainehäviö koneen sisäisten paine-erojen asettelemiseksi sellaisiksi, että vuoto poistoilmasta tuloilmaan ei ole mahdollista, ja lisäpainehäviö huomioidaan SFP_v -luvun laskennassa. Jos $EATR$:lle ei ole erikseen asetettu vaatimuksia, ei lisäpainehäviötä lasketa SFP_v -lukuun. Se, että $EATR > 0\%$, tarkoittaa, että rakennuksen ilmanvaihdon toimivuus vaatii mahdollisesti $EATR$ -suhteen huomiointia koneen ilmavirroissa tai lisäkuristusta koneen ilmavirroissa. Yleisimmin tämä voi tapahtua pyörivällä lämmöntalteenottolaitteella, mutta myös levylämmöntalteenottolaitteella, joissa ”lämpimän pään” paine-ero saattaa aiheuttaa vuotoa poistoilmasta tuloilmaan.

Suunnittelijan ja konevalmistajan on hyvä sopia, millä tavalla mahdollinen lisäpainehäviö huomioidaan koneen ominaissähkötehon laskennassa. Huomiointiin ei ole yksiselitteistä toimintatapaa, mistä syystä sitä ei tässä oppaassa voida tarkemmin kuvata.

Vuodot ja puhtaaksi puhallus käsitellään seuraavasti ilmavirroissa ja painehäviöiden ja tehon laskennassa:

- poistoilmapuhaltimen ilmavirtaa kasvatetaan lämmönsiirtimen mahdollisen puhtaaksi puhalluksen tarvitsemalla ilmavirralla
- poistoilmapuhaltimen ilmavirtaa kasvatetaan vuotoilmavirralla tuloilmapuolelta poistopuolelle
- poistoilmaan lisätään tarvittaessa lisäpainehäviö, jolla aikaansaadaan lämmönsiirtimen poistopuolen alipaineisuus vastaavaan tuloilmapuoleen verrattuna.

Ilmanvaihtokoneissa, joissa on palautusosa, määritetään SFP_v kuten aikaisemmin on määritelty, ja toimintatilana koneella on täysi ulkoilmavirta.

Sisäiset vuodot (OACD ja $EATR$) määritellään standardissa EN 16798-3 ja standardissa EN 308.

2.1.3 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon laskenta

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon laskenta edellyttää kaikkien ilmankäsittelykoneiden, puhaltimien ja kanavistojen valintaa ja mitoittamista. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho lasketaan käyttäen puhaltimien sähkön ottotehoja ulko- tai ulospuhallusilman mitoitusilmavirralla, jotka saadaan esimerkiksi mitoitusohjelman tulosteesta. Seuraavassa esimerkissä on laskettu esimerkkilaitos, jossa on tulo/poistokoneita, erillisiä tuloilmakoneita ja huippuimureita. SFP_v -luvut on laskettu taulukkoon olettaen, että koneessa ei ole sisäisiä vuotoja. Käytännössä SFP_v -luku saadaan mitoitusohjelmasta.

Taulukko 1. Ilmankäsittelykoneet, joissa sekä tulo- että poistoilmakone.

Tuloilmapuhallin	Ulkoilmavirta m ³ /s	Kanavapaineet: ulko-/tuloilma- kanava Pa	Verkosta otettu sähköteho ¹⁾ kW	Poistoilmapuhallin	Ulospuhallusilmavirta m ³ /s	Kanavapaineet: poisto-/ulospuhallus- kanava Pa	Verkosta otettu sähköteho ¹⁾ kW	Tämän koneen SFP_v ²⁾ kW/m ³ /s
TK-1	0,65	60/240	0,7	PK-1	0,6	200/50	0,6	2,00
TK-2	2,5	50/200	2,5	PK-2	2,8	200/50	2,55	1,80
TK-3	6,9	60/210	6,1	PK-3	7,2	190/50	6	1,68
TK-4	3,3	50/200	3,2	PK-4	3,6	200/50	3,2	1,78
Yhteensä	13,35		12,5		14,2		12,35	

Taulukko 2. Erilliset tuloilmakoneet tai tuloilmapuhaltimet.

Tuloilma- puhallin	Ulkoilma- virta m ³ /s	Kanava- paineet: ulko-/tu- loilma- kanava Pa	Verkosta otettu sähköteho ¹⁾ kW	Tämän pu- haltimen SFP _v ²⁾ kW/m ³ /s
TK-5	0,4	60/240	0,6	1,5
TK-6	1,2	50/170	1,2	1
Yhteensä	1,6		1,8	

Taulukko 3. Erilliset poistoilmakoneet tai huippumurit.

Poistoilma- puhallin	Ulospu- hallusil- mavirta m ³ /s	Kanava- paineet, poisto- /ulospu- hallus- kanava ³⁾ Pa	Verkosta otettu sähköteho ¹⁾ kW	Tämän pu- haltimen SFP _v ²⁾ kW/m ³ /s
PF-1	0,1	80/80	0,06	0,6
PF-2	0,2	170/50	0,17	0,85
PF-3	0,5	300/50	0,35	0,7
PF-4	1	170/50	0,62	0,62
Yhteensä	1,8		1,2	

Taulukko 4. Yhteenvedotaulukko ominaissähkötehokkuuden laskemiseksi edellisten taulukoiden perusteella.

Ulkoilmavirta yhteensä	13,35+1,6	14,95
Ulospuhallusilmavirta yh- teensä	14,2+1,8	16
Sähkötehot yhteensä	12,5+12,35 + 1,8+1,2	27,85
Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehokkuus	27,85/16	1,74

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 ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho. 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) Koneen SFP_v-luku saadaan koneen mitoitusohjelmasta, ja se esitetään näissä taulukoissa lisätietona. Koneen SFP_v-luku määritetään koneen tulo- ja poistoilmavirtoihin perustuen, ja taulukkoesimerkeissä on esitetty koneiden ulko- ja ulospuhallusilmavirrat.

3) Huippumurin kanavapaine sähköteho 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_v-luku ylittää suositellun arvon, mikäli muut puhaltimet ovat vastaavasti riittävän paljon rajan alle. Yllä olevassa esimerkissä koneella TK-1 on SFP-luku 2, mutta koska kyseisen 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.

2.2 Poikkeukset

Määräysten mukainen vähimmäisarvo $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ 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 toimintoja ilmapuhdistuskoneeseen, 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 16798-3 antaa ohjeita / suosituksia suositusarvon ylittävälle $P_{\text{SFP,E}}$ -luvulle silloin kun ilmapuhdistuskoneessa on tavanomaista enemmän tai vaativampia toimintoja. Standardissa annetaan seuraavia taulukkoarvoja:

Taulukko 5. Eräitä suositusarvoja ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehokkuuden laskennassa erityistapauksissa.

Sallittu SFP-luvun perustaso ylitys tietyille ilmapuhdistuskomponenteille Komponentti	sallittu ylitys ($\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$)
mekaaninen lisäsuodatin	+ 0,3
EN 1822-3 mukainen HEPA-suodatin	+ 1,0
kaasusuodatin	+ 0,3
Lämmöntalteenottoluokka H2 tai H1	+ 0,3

2.3 Asuinrakennusten ilmanvaihto

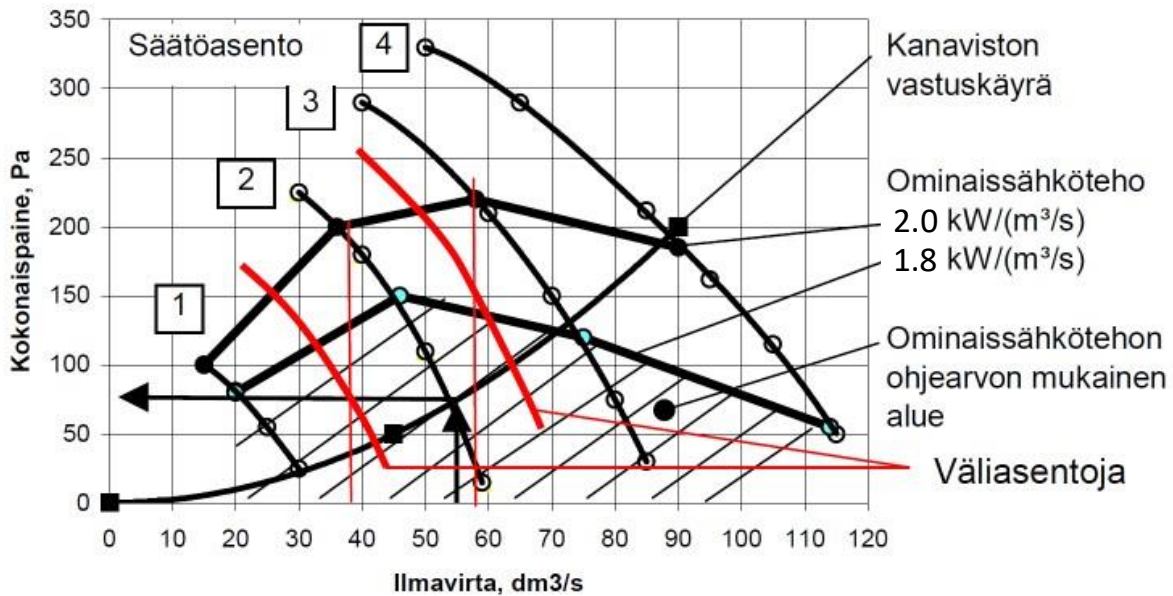
Asuinrakennusten ilmapuhdistuksessa ominaissähköteho määritellään käyttöajan tehostamattomalla ilmapuhdistuksella. Ilmapuhdistuksen tehostusvaihe on lyhytaikainen tilanne, jolloin ominaissähköteho saa ylittää ohjearvon $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

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 ilmapuhdistuksen päätelaitteen painehäviö minimoidaan ja toisia päätelaitteita kuristetaan tarpeen mukaan.

Mikäli haluttua käyttöajan ilmapuhdistusta ei saavuteta tarkasti millään ilmanvaihtokoneen säätöasennolla em. ohjeilla, ja seuraavalla säätöasennolla ilmapuhdistusta olisi liian suuri, niin ilmapuhdistusta ei tule säätää halutuksi venttiileitä kuristamalla. Sen sijaan ilmanvaihtokoneen ohjaimelta valitaan toinen pyörimisnopeus tai jokin väliasento, jolla 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 ilmanvaihtojärjestelmän (ilmanvaihtokoneen) ominaissähkötehon tarkistus ilmanvaihtojärjestelmän suunnitellussa tehostamattoman ilmavirran toimintapisteessä.

Kaaviossa oleva viivoitettu alue kuvaa sitä ilmanvaihtokoneen toiminta-aluea, jossa ominaissähköteho on alle 1,8 kW/(m³/s). Laitteen valmistaja voi esittää koneelle soveltuvan toiminta-alueen esimerkiksi tällä tavalla, jolloin suunnittelu- ja valintavaiheessa on helppo todeta, täyttääkö laite ominaissähkötehon vaatimuksen halutulla käyttöajan ilmavirralla.

Esimerkki

Toimintapiste käyttöajan ilmavirralla: poistoilmavirta 53 dm³/s, kokonaispaine 75 Pa tehonvalintakytkimen säätöasennolla 2. Ominaissähköteho < 1,8 kW/(m³/s). Tehostustilanteessa (tehonvalintakytkimen säätöasennolla 4) toteutuu käyrästä luettuna ilmavirta 90 l/s ja ominaissähkötehoksi tulee noin 2 kW/(m³/s).

Esimerkissä toimintapiste on valittu oikein. Mikäli ilmavirroiksi olisi valittu esim. 38 tai 58 dm³/s niin kuvasta 2 nähdään, että ominaissähköteho 1,8 kW/(m³/s) tultaisiin ilman toimenpiteitä ylittämään. Ilmavirralla 38 dm³/s tulee ottaa käyttöön väliasento (välinopeus) "1,5" tai kasvattaa mitoitusilmavirtaa käyrälle 2, tai vaihtoehtoisesti pienentää ilmavirtaa käyrälle 1 toimintapisteeseen, jolla ominaissähköteho 1,8 kW/(m³/s). Ilmavirralla 58 dm³/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 1,8 kW/(m³/s).

2.4 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_v-lukua, jossa vaimentimet eivät ole mukana. Äänenvaimentimen lisääminen koneeseen aiheuttaa aina törmäyshäviön muodossa syntyvän liitäntähäviön, jonka ilman käsittelykoneen valmistaja tuntee mitattuaan komponenttien toiminnan toisiinsa liitettynä. Jos taas koneeseen liitetään muun valmistajan vaimennin ja ilmapuhaltimen omaisssähköteho laskeetaan ilman vaimentimia, pitää tarvittavaa kanaviston painehäviötä korottaa kahdella tekijällä seuraavasti:

- äänenvaimentimen oma painehäviö mitoitusilmavirralla
- liitäntähäviö, joka syntyy liitettäessä äänenvaimennin koneeseen ml. mahdollisen ilmanjakajan painehäviö

2.5 Koneen SFP_v-luvun käyttö mitoitusvaiheessa sekä vertailutyökaluna

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

Osa mitoitusohjelmista antaa tuloksena myös käyttötilanteen mukaisen SFP-luvun, ja konevalinta on järkevää tehdä tätä lukuarvoa käyttäen. Käyttöön otossa käytettävä SFP_v-luku on pienempi kuin käyttötilanteen mukainen SFP-luku ja antaa näin jonkin verran suunnittelutoleranssia, sillä käyttötilanteessa esimerkkeinä mainiten suodattimet eivät ole puhtaita eikä lämmönsiirto välttämättä täysin kuivaa.

Konekohtaista SFP_v-lukua voidaan käyttää myös vastaavuuskriteerinä. Jos suunnitelmassa esitetyn konevalinnan tilalle esitetään poikkeavaa valintaa, pitää myös vaihtoehdon täyttää suunnitelmassa esitetyn konevalinnan ominaissähkötehokkuus muita ominaisuuksia kuten esimerkiksi lämmöntalteenotto-ominaisuuksia heikentämättä.

2.6 Kanavajärjestelmän suunnittelu

Kanavajärjestelmällä on omana osanaan olennainen vaikutus myös ominaissähkötehoon, koska kanaviston painehäviö merkitsee vastusta, joka on voitettava puhaltimen moottorin avulla. Kanaviston suunnitteluun on kiinnitettävä huomiota erityisesti korjausrakentamisessa, jossa tilaa väljien kanavien asentamiselle on usein uudisrakentamista vähemmän.

Taloudellisen sähkönkäytön lisäksi toimii kanavisto käytännössä myös muilta ominaisuuksiltaan sitä paremmin, mitä pienempiä nopeuksia käytetään. Pienemmillä kanavanopeuksilla saadaan ilmapuhaltimien 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 äänitekniisiä ongelmia.

Kanaviston ilmavirrat asettuvat aina sellaisiksi, että jokaisen puhaltimelta lähtevän ilmavirran 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 ahtaampaan 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
- muuttuvailmavirtainen kanavisto 300 Pa
- asuntokohtaisen ilmanvaihdon kanavisto 50 - 100 Pa

Kanaviston painehäviö sisältää myös koneen ja ulkoilman välisen osuuden ulospuhallushajottimien ynnä muine laitteineen. Koneen valinnassa ja tarkassa mitoittamisessa on tiedettävä kaikkien liityntäkanavien painehäviöt erikseen. Näin kanavistosta tulisi ilmoittaa neljä eri painehäviötä.

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

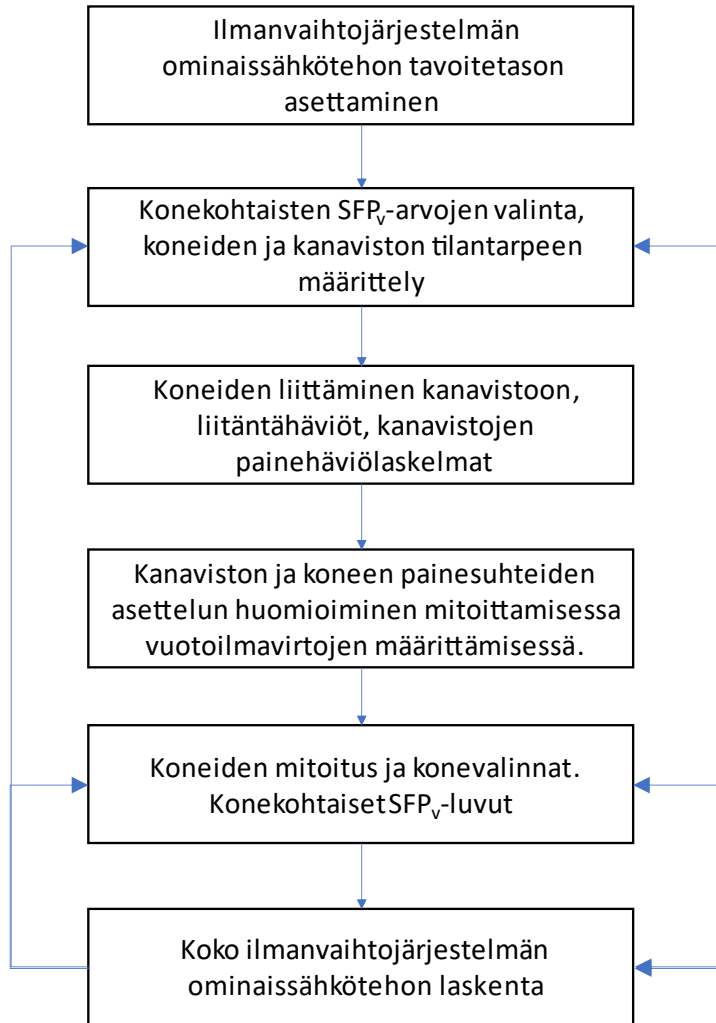
2.7 Puhaltimen liitänthä kanavistoon

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 laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti oikein.

Epäedullisessa liitännässä voidaan aiheuttaa suuri painehäviö, joka kasvattaa ominaissähkötehoa. Ilmanvaihtokoneen mitoitus tehdään yleensä käyttäen valmistajan mitoitusohjelmaa, johon annetaan syöttötietona kaikkien neljän koneeseen liittyvän kanaviston painehäviöt.

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%.

2.8 Ominais sähkötehon suunnitteluprosessin kulku



Kuva 3. Ominais sähkötehon suunnittelun kulku.

2.9 Järjestelmän mitattavuus

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

Ilmavirran mittausta varten puhallimet varustetaan kiinteällä ilmavirran mittausanturilla, joka on kalibroitu ko. puhallimeen. Puhallinkohtaisella mittausanturilla saadaan mahdollisimman luotettava mittaustulos. Pienessä ilmankäsittelykoneessa, kun liittäminen 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 mittausta 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.

3 Mittaukset ja vastaanottotarkastus

Rakentamismääräyskokoelman asetus 1009/2017 Sisäilmasto ja ilmanvaihto edellyttää rakennuksen ominaissähkötehon mittaamista laitoksen käyttöönottovaiheessa. Suunnittelu voidaan hyväksyntävaiheessa todentaa käyttämällä liitteen 1 mukaista kaavaketta, jossa lasketaan koko järjestelmän ominaissähköteho. Käyttämällä liitteen mukaista kaavaketta mittausten dokumentoinnissa voivat esimerkiksi tilaaja ja rakennusvalvonta todeta ilmanvaihtojärjestelmän vaatimustenmukaisuuden ominaissähkötehon osalta. Liitteessä 2 on esimerkki yksittäisen ilmanvaihtokoneen vastaanottomittauspöytäkirjasta ja liitteessä 3 yksityiskohtainen menettely, jolla voidaan arvioida vaatimusten täyttymistä tilanteissa, joissa vaatimus ei yksinkertaisen mittauksen perusteella näytä toteutuvan.

3.1 Ulko- tai ulospuhallusilmavirran mittaaminen

Puhaltimen nopeus asetellaan sellaiseksi, että ulko- tai ulospuhallusilmavirran mitoitusilmavirta, jossa on huomioitu mahdollisten vuotojen kompensointi, saavutetaan ja sähkötehon mittausta suoritetaan tässä pisteessä. Konevalmistajan mitoituslaskelmasta katsotaan koneittain, millä tulo- tai poistoilmavirralla saavutetaan mitoituksen perustana oleva ulko- tai ulospuhallusilmavirta.

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 ilmapuhaltimella ulospuhallusilman lämpötila voi poiketa merkittävästi poistoilman lämpötilasta. Mikäli poistoilmapuhaltimen ilmavirta mitataan puhaltimessa olevalla mittausanturilla, pitää mittauksessa huomioida lämpötilasta johtuva korjauskorroin.

3.2 Muuttuvilmavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä

Muuttuvilmavirtaisessa järjestelmässä kaikki ilmavirtasäätimet ajetaan mitoittavan ilmavirran mukaan säädettyihin asentoihinsa ja koneen kokonaisilmavirta sekä ominaissähköteho SFP_v 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.

3.3 Sähkötehon mittaaminen

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

Mittaus suoritetaan aina taajuusmuuttajan tulopuolelta taajuusmuuttajan ja verkon välistä. Mittausta ei saa tehdä 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 $\cos \phi$) 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.

3.4 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.

4 Laskennan määrittelyjä

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 liitänthäviöt 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

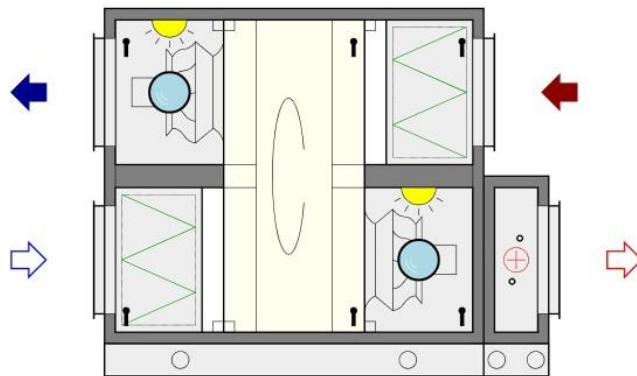
Lämmönsiirtimet lasketaan kuivassa tilanteessa, ilman kondensoivan veden aiheuttamaa painehäviön kasvua.

Kostutusosa

Kennotyyppinen ilmankostutin lasketaan kuivan painehäviön mukaan.

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

5 Esimerkki ilmankäsittelykoneen SFP_v-laskennasta suunnittelun ja mitoituksen yhteydessä



Ilmankäsittelykoneen 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.

Koneen ominais sähköteho SFP_v lasketaan käyttäen puhtaiden suodattimien painehäviötä. Samoin mahdollisesti märkänä toimivat osat lasketaan kuivina. Tällöin tilanne vastaa mahdollisimman hy-

vin vastaanottomittauksen tilannetta. Tämä laskenta voidaan mitoitusohjelmassa automatisoida siten, että ohjelma laskee molemmat tehot: mitoittava toimintapiste moottorin koon valintaa varten ja SFP_v-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 liitäntähäviöt (koneen sisällä tai kanavaliitännässä), mahdolliset kotelohäviöt (aiheutuu puhaltimen asennuksesta koneen koteloon) ym. Nämä tulevat yleensä automaattisesti huomioiduiksi, kun ilmankäsittelykoneet mitoitetaan valmistajan mitoitusohjelmalla.

Ilmankäsittelykone	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
, josta koneen ja ulkoilman välille	60	60	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)	80	33	Pa
LTO lämmönsiirrin	80	98	Pa
Lämmityspatteri	72	-	Pa
Ilmanjakaja	40		
Äänenvaimennin	33	-	Pa
Koneen toiminto-osien painehäviöt yhteensä	310	154	Pa
Tuloilmapuhaltimen ulospuhallushäviö äänenvaimentimeen	30	-	Pa
Poistoilmapuhaltimen liitäntähäviö kanavaan	-	41	
Puhaltimen koteloasennuksesta johtuva painehäviö	30	50	Pa
Koneen sisäiset painehäviöt yhteensä	370	245	Pa
Koneen ulkopuolinen painehäviö (kanavisto, imu- ja painepuoli)	210	235	Pa
Puhaltimen kokonaispaineenkorotus	580	470	Pa

SFP-laskennassa käytettävä puhaltimen paineenkorotus	580	470	Pa
Puhaltimen hyötysuhde	72,0	72,0	%
Moottorin hyötysuhde	86,0	85,0	%
Hihnakäytön hyötysuhde	96,0	96,0	%
Taajuusmuuttajan hyötysuhde	95,0	95,0	%

$$P_{verkko} = \frac{\Delta p * q_v}{\eta_{puhallin} * \eta_{voimansiirto} * \eta_{moottori} * \eta_{ohjain} * 1000}$$

$$P_{verkko,tulo} = \frac{580 \text{ Pa} * 2,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,720 * 0,860 * 0,960 * 0,950 * 1000} = 2,57 \text{ kW}$$

$$P_{\text{verkko,poisto}} = \frac{470 \text{ Pa} * 2,3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,720 * 0,860 * 0,960 * 0,950 * 1000} = 1,91 \text{ kW}$$
$$SFP_v = \frac{2,57 \text{ kW} + 1,91 \text{ kW}}{2,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 1,79 \text{ kW} / \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

6 Kirjallisuutta

Suomen rakentamismääräyskokoelman asetus 1009/2017 Uuden rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto.

Suomen rakentamismääräyskokoelma asetus 1010/2017 Uuden rakennuksen energiatehokkuus

Rekommenderade SFP-definitioner med beräkningar och testmetoder. Svensk Ventilation, november 2018.

SFS-EN 308:2022 Heat exchangers. Test procedures for establishing performance of air to air heat recovery components

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

SFS-EN 16211:2015 Rakennusten ilmanvaihto. Ilmavirtausten mittaaminen paikan päällä. Menetelmät

SFS-EN 16798-3:2017 Rakennusten energiatehokkuus. Rakennusten ilmanvaihto. Osa 3: Muiden kuin asuinrakennusten ilmanvaihto- ja huoneilmastointijärjestelmien tehokkuusvaatimukset.

SFS 5148 Ilmatekniikka. Puhaltimet. Puhaltimen käyttö ilmastointilaitoksissa.

Liite 1. Ominais sähkötehon laskennan ja mittauksen yhteenveto ilmanvaihtojärjestelmälle

Laitoksen nimi:

Tulo- ja poistoilmakoneet

Tuloilma-puhallin	Ulkoilmavirta	Kanavapaineet: ulko-/tuloilmakanava	Verkosta otettu sähköteho	Poistoilmapuhallin	Ulospuhallusilmavirta	Kanavapaineet: poisto-/ulospuhalluskanava	Verkosta otettu sähköteho	Tämän koneen SFP _v mitoitusohjelmasta
	m ³ /s	Pa	kW		m ³ /s	Pa	kW	kW/m ³ /s
		/				/		
		/				/		
		/				/		
Yhteensä								

Tuloilmakoneet

Tuloilma-puhallin	Ulkoilmavirta	Kanavapaineet: ulko-/tuloilmakanava	Verkosta otettu sähköteho	Tämän puhaltimen SFP _v mitoitusohjelmasta
	m ³ /s	Pa	kW	kW/m ³ /s
		/		
		/		
Yhteensä				

Poistokoneet ja huippuimurit

Poistoilmapuhallin	Ulospuhallusilmavirta	Kanavapaineet, poisto/ulospuhalluskanava	Verkosta otettu sähköteho	Tämän puhaltimen SFP _v mitoitusohjelmasta
	m ³ /s	Pa	kW	kW/m ³ /s
Yhteensä	1,8			

Ulkoilmavirta yhteensä	
Ulospuhallusilmavirta yhteensä	
Sähkötehot yhteensä	
Ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähkötehokkuus	

Liite 2. Ilmanvaihtokoneen vastaanottopöytäkirja/mittauspöytäkirja

Mittauspöytäkirja tehdään jokaisesta mitatusta koneesta ja tiedot siirretään yhteenvetolomakkeelle rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon laskentaa varten.

Kohteen nimi:

Koneen tunnus:

Mittauspäivämäärä:

Mittaaja:

Suure	Suunniteltu ¹⁾	Mitattu ²⁾	yksikkö	Huomautus
Ulkoilmavirta	2,5	ei mitata	m ³ /s	
Ulospuhallusilmavirta	2,5			
Tuloilmavirta	2,58			
Poistoilmavirta	2,58	ei mitata		
Tulopuhaltimen teho			kW	
Poistopuhaltimen teho			kW	
Tulopuhaltimen kierrosnopeus			rpm	tarvittaessa
Poistopuhaltimen kierrosnopeus			rpm	tarvittaessa
EATR	3 %	ei mitata		
LTO:n vuotoilmavirrat	0,08	ei mitata	m ³ /s	
Lisäpainehäviö vuotosuuntien hallitsemiseksi	30	ei mitata	Pa	
Ulkoilmakanaviston painehäviö	60		Pa	
Ulospuhalluskanaviston painehäviö	60		Pa	
Tulokanaviston painehäviö	220		Pa	
Poistokanaviston painehäviö	190		Pa	
Ilman lämpötila ennen tulopuhallinta	xx		C	
Ilman lämpötila ennen poistopuhallinta	xx		C	
Ulkoilman lämpötila	20		C	
Poistoilman lämpötila	20		C	
Ilmanpaine	1013		hPa	

- 1) Koneen valmistaja tuottaa tiedon mitoitusajan yhteydessä
- 2) taulukko on esimerkki mittauspöytäkirjasta, jossa on esimerkinomaisesti esitetty mitkä suureet mitataan ja mitkä kyseisessä kohteessa jätetään mittaamatta. Esimerkiksi valmistaja voi merkitä mitattu-sarakkeeseen, minkä suureiden mittausvalmius on toimituskokonaisuudessa mukana. Tyhjiksi jätettyjen rivien suureiden arvot mitataan.

Liite 3. SFP_v-luvun määrittäminen mittauksista

1 Edellytykset

Käyttöönottoa ennen tehtävässä SFP_v-luvun mittauksessa käytetään puhtaita suodattimia.

Ilmanvaihtokoneen mitoituksessa käytetyt ilman tiheyden ja puhaltimen kierrosnopeuden arvot saattavat poiketa vastaavista käyttötilanteen arvoista. Koska koneen ilmavirrat riippuvat näistä arvoista, on vastaanottotarkastuksessa mitatut arvot redusoitava suunnittelutilanteen arvoihin niin, että mitattuja ja suunniteltuja SFP-lukuja voidaan ylipäätään verrata. Vastaanottomittauksissa on ilmavirroissa huomioitava mahdollisten vuotoilmavirtojen vaikutus, ja esimerkiksi tuloilmapuhaltimelta mitattua ilmavirtaa on yleensä kasvatettava mahdollisen vuodon takia niin, että suunniteltu ulkoilmavirta toteutuu.

Käyttöönotossa ja myöhemmissäkin tarkastusmittauksissa olisi tärkeää mitata puhaltimien kierrosnopeus vallitsevassa kuormituksessa, sillä kierrosnopeus vaikuttaa ottotehoon nopeuden kolmannessa potenssissa. On myös melko yleistä, että kierrosnopeutta joudutaan muuttamaan suunnittelu-arvosta asennuksen ja ilmavirtojen säädön yhteydessä. Kierrosnopeuden mittaaminen käynnissä olevasta koneesta ei kuitenkaan ole aina helppoa tai mahdollistakaan. Tästä syystä kierrosnopeus mitataan ja huomioidaan redusoinnissa niissä tapauksissa, joissa siihen on todellinen tarve.

2 Kohteeseen asennetun koneen mittaus

Kohteeseen asennetun koneen suoritusarvojen mittaus ja mittauksen virhetarkastelu on vaikeampi toteuttaa kuin laboratoriossa tehtäessä. Ellei ulkoisia painehäviöitä voi asetella niin, että ne vastaavat suunniteltuja arvoja (kierrosluvun ja ilmantiheyden kompensointien jälkeen), on koneen toimintapistettä puhallinkäyrästöllä verrattava suunnittelun antamaan toimintapisteeseen, jotta voidaan muodostaa käsitys, kuinka paine, ilmavirta ja teho poikkeavat suunnitteluarvoista. Mitään yleisiä redusointikaavoja ei voida esittää.

Merkinnät

Seuraavassa käytetään suunnitteluarvoista alaindeksiä "s", mittausarvoista indeksiä "m" ja korjatuista arvoista indeksiä "k". Puhaltimen imuaukosta mitattuja arvoja merkitään indeksillä "puh". Mikäli on haluttu korostaa tulo- tai poistoilmavirtaa, käytetään indeksejä "tulo" ja "poisto".

Kaikissa mittaustuloksissa on mukana mittausvirhettä, joka vaikuttaa tuloksen tarkkuuteen. Mittausvirheistä johtuva suhteellinen epätarkkuus merkitään m-symbolilla ja suureen indeksillä.

Mittausvirheen lisäksi on otettava huomioon toimittajan ilmoittamat toleranssit tuotetiedoissa. Mikäli toleransseja ei ole ilmoitettu, oletetaan niiden olevan $\pm 0,05$ (5 %) ilmavirralla ja SFP_v-luvulle. Suureiden sallittujen poikkeamien suhteellisia arvoja merkitään "a"-symbolilla ja suuretta kuvaavalla alaindeksillä.

SFP_v-luvun määrittäminen puhaltimelle tai ilmanvaihtokoneelle

		Suunniteltu		Mitattu	
Suure	yksikkö	Arvo	Sallittu suhteellinen poikkeama	Arvo	Suhteellinen mittausvirhe
Ilmanpaine	hPa	$B_s = 1013$		B_m	m_B

lämpötila, jossa ilmavirta mitataan	°C K	$t_s = 20,0$ $T_s = 293$		t_m $T_m = 273 + t_m$	m_T
lämpötila puhaltimen imuaukossa	°C K			t_{mpuh} $T_{mpuh} = 273 + t_{mpuh}$	m_{Tpuh}
tiheys	$kg \cdot m^{-3}$	$\rho_s = 1.20$		ρ_m	m_ρ
Ulkoinen painehäviö	Pa	Δp_{sext}		Δp_{mext}	m_{pr}
Suodattimen painehäviö	Pa	Δp_{sfil}		Δp_{mfil}	m_{pr}
Ilmavirta	$m^3 \cdot s^{-1}$	q_s	a_q	q_m	m_q
Kierrosnopeus	rpm	n_s		n_m	m_n
Sähköteho	kW	P_s		P_m	m_P
SFP _v -luku	$kW \cdot m^{-3} \cdot s$	SFP_{vs}	a_s	SFP_{vu}	m_s

3 Mittaukset

Ilmanvaihtokoneen ovien ja luukkujen on oltava suljettuina kierrosluvun mittauksen aikana, jotta paineen ja ilmavirran arvot eivät muuttuisi.

Lämpötila, ilmavirta ja teho mitataan mittaustapahtuman edellyttämässä toimintatilassa. Mikäli tarvitaan suurempi varmuus mittaustulokselle, mitataan myös kaikki ulkoiset painehäviöt ja suodattimen painehäviö. Mikäli ilmanpainetta ei tiedetä, käytetään sen arvona 1013 hPa ja huomioidaan lisättynä mittausepävarmuutena virhearvioon.

Lämpötilat mitataan niistä kanaviston poikkileikkauksista, joita käytetään ilmavirran mittaamiseen, sekä puhaltimien imuaukoista. Lämpötilaeron (verrattuna mihin, suunnitteluarvoon) tulee olla pienempi kuin 15°C, sillä muuten ilmantiheyden ero suunnitteluarvoon kasvaa suuremmaksi kuin 5 %.

Eurooppalainen standardi EN 16211:2015 määrittelee ilmavirran mittausten menetelmät kohteessa tehtäville mittauksille.

Mitattu teho redusoidaan vastaamaan ilman tiheyttä $\rho = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ja suunniteltua kierrosnopeutta. Tämän jälkeen lasketaan puhaltimen korjattu ominaissähköteho SFP_{vk} . Korjattua arvoa voidaan käyttää vertaamiseen toimittajan ilmoittaman arvon kanssa.

4 Mittaustapahtuma ja tuloksen arviointi

Arvioinnin pohjana on, että iv-koneen tulee olla vähintään suunniteltujen tavoitearvojen mukainen suunnitellun ilmavirran ja sähkötehon osalta. Tulos ilmoitetaan SFP_v -lukuna ja sen arvioinnissa huomioidaan ilmoitetut toleranssit ja hyväksytyt poikkeamat.

Alla on esitetty laskennan ja arvioinnin kulku kahdessa vaiheessa. Vaihe 2 kuvaa yksityiskohtaisemman käsittelytavan, jossa on tehty korjauksia ja huomioita oikean arviointituloksen varmistamiseksi.

Mitatut arvot redusoidaan vastaamaan suunnittelussa käytettyä ilmantiheyttä.

Alla olevien kaavojen oikealla puolella on esitetty, millä tavalla mittausepätaarkkuus vaikuttaa tuloksen epävarmuuteen.

Ilmantiheys

Ilmantiheyden muutokset on huomioitava kaikissa tarkasteluissa. Tavanomainen vaihtelu voi olla lämpötilan vaihtelusta johtuen 10 %, ilmanpaineen muutoksista johtuen 4 % ja 1 % ilmankosteuden muutoksista johtuen. Ilman lämpötila on mitattava aina. Ilmanpaineen arvona voidaan käyttää ensimmäisessä vaiheessa arvoa 1013 hPa jollon sen suhteellisena virheenä käytetään 0,04 (4 %). Kosteuden vaihtelun vaikutus voidaan yleensä jättää huomiotta.

Vaihe 1. Perustarkastelu

Vaiheen 1 tarkastelussa oletetaan, että ilmavirran toteutunut arvo on hyväksytyllä tasolla. Puhaltimien kierrosnopeutta ei tarkastella.

$$P_k = P_m * \frac{B_s}{B_m} * \frac{T_m}{T_p} \qquad m_{Pk} = \sqrt{m_p^2 + m_T^2 + m_B^2}$$

Jos ilmanpainetta ei mitata, käytetään $B_m = B_s$ ja $m_B = 0,04$ (4%).

$$SFP_{vk} = \frac{P_{k,tulo} + P_{k,poisto}}{q_{mmax}} \qquad m_S = \sqrt{m_{Pk}^2 + m_{qm}^2}$$

, jossa q_{mmax} on koneen suurin mitattu ulko- tai ulospuhallusilmavirta ($m^3 \cdot s^{-1}$).

Seuraavan ehdon täyttyessä voidaan kone hyväksyä ilman vaiheen 2 yksityiskohtaista tarkastelua.

$$SFP_{vk} * (1 - m_S) \leq SFP_{vs} * (1 + a_S)$$

Vaihe 2. Yksityiskohtainen tarkastelu

Vaiheen 2 tarkastelussa oletetaan, että järjestelmän laitoskäyrä on neliöllinen, minkä johdosta puhaltimelle voidaan soveltaa ns. affiniteettilakeja. Mitatut arvot voidaan tällöin redusoida korjatuiksi arvoiksi (merkitty indeksillä ”k”), joissa on käytetty suunniteltua kierrosnopeutta ja normaalia ilmantiheyttä ($1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Puhaltimen tilavuusvirta ei muutu ilmantiheyden muuttuessa. Ilmavirta kuitenkin muuttuu kanaviston eri kohdissa sillä muuttunut ilmantiheys vaikuttaa massavirtaan. Tästä voidaan johtaa, että mitattu ilmavirta täytyy korjata lämpötilan suhteessa.

Alla olevissa kaavoissa on käytetty suunniteltua kierrosnopeutta ja puhtaita suodattimia.

$$q_k = q_m * \frac{n_s}{n_m} * \frac{T_{m,puh}}{T_m} \qquad m_{qk} = \sqrt{m_q^2 + m_n^2 + m_{T_{puh}}^2 + m_T^2} \approx m_q$$

$$P_k = P_m * \left(\frac{n_s}{n_m}\right)^3 * \frac{B_s}{B_m} * \frac{T_{m,puh}}{T_s} \qquad m_{Pk} = \sqrt{m_p^2 + (3m_n)^2 + m_B^2 + m_{T_{puh}}^2}$$

SFP_{vk} lasketaan korjattujen mittausarvojen mukaisesti aikaisemmin annettujen kaavojen mukaisesti. Tulo-poistoilmanvaihtokoneelle

$$SFP_{vk} = \frac{P_{k,tulo} + P_{k,poisto}}{q_{kmax}} \qquad m_S = \sqrt{m_{Pk}^2 + m_{qk}^2}$$

Ilmavirran täytyy toteuttaa seuraava vaatimus:

$$q_k * (1 + m_{qk}) \geq q_s * (1 - a_q)$$

Mikäli yllä oleva ehto ei toteudu, se voi johtua siitä, että laitoksen virtausvastus on suurempi kuin laskettu tai siitä, että suodatinten alkupainehäviö on suunniteltua suurempi. Syyn tarkempaa selvittämistä varten mitataan ulkoinen painehäviö ja suodatinten painehäviö.

SFP_V-arvon täytyy toteuttaa seuraava vaatimus:

$$SFP_{vk} * (1 - m_s) \leq SFP_{vs} * (1 + a_s)$$

Kone voidaan hyväksyä, mikäli sekä ilmavirtaehto että SFP_{Vk}-arvon ehto toteutuvat. Mikäli jompi kumpi ehdoista tai kumpikaan ei toteudu ota yhteyttä konetoimittajaan ennen mahdollista hylkäämistä.

5 Virhetarkastelun laskentaesimerkki

Iv-kone on mitattu poutaisena päivänä.

$B_m = 1045 \text{ hPa} \pm 1 \%$, $t_m = 18^\circ\text{C} \pm 3^\circ$, $T_m = 291 \text{ K} \pm 1 \%$, $t_{mfl} = 5^\circ\text{C} \pm 3^\circ$, $T_{mfl} = 278 \text{ K} \pm 1 \%$, $n_m = 1030 \text{ rpm} \pm 0.5 \%$, $q_m = 8,3 \text{ m}^3/\text{s} \pm 8 \%$, $P_m = 9,8 \text{ kW} \pm 3 \%$.

Kone on suunniteltu mitoitusilmavirralla $q_s = 8,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Tällä kuormituksella puhaltimen kierrosnopeus on toimittajan ilmoittaman mukaan $n_s = 1000 \text{ rpm}$ ja SFP_V $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Toimittaja ilmoittaa toleransseiksi annetuille suoritusarvoille $\pm 5 \%$. Voidaanko järjestelmä hyväksyä?

Ilman redusointia tulisi SFP_V-luvun arvoksi $9,8/8,3 = 1,18 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, joka ylittää tavoitearvon reippaasti. Muut mittaustiedot eivät eroa kovinkaan paljon odotuksista.

Redusoinnin jälkeen:

$$q_k = 8,3 * \frac{1000}{1030} * \frac{278}{291} = 7,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m_{qk} = m_q = 8 \%$$

$$P_k = 9,8 * \left(\frac{1000}{1030}\right)^3 * \frac{1013}{1045} * \frac{278}{293} = 8,25 \text{ kW}$$

$$m_{pk} = \sqrt{3^2 + (3 * 0,5)^2 + 1^2 + 1^2} = 3,6 \%$$

$$SFP_{vk} \frac{8,25}{7,7} = 1,07 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m_s = \sqrt{3,6^2 + 8^2} = 9 \%$$

$$\text{Ilmavirta: } 7,7 \cdot (1 + 0,08) \geq 8,0 \cdot (1 - 0,05) \Leftrightarrow 8,3 \geq 7,6$$

toteutuu, OK.

$$\text{SFP}_{vk}: 1,07 \cdot (1 - 0,09) \leq 1,0 \cdot (1 + 0,04) \cdot (1 + 0,05) \Leftrightarrow 0,97 \leq 1,09$$

toteutuu, OK.

Liite 4. Sisäisten vuotojen hallitsemiseksi tarvittavan lisäpainehäviön määrittäminen

Lisäpainehäviön avulla voidaan estää, että poistoilmaa virtaa ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottolaitteen läpi tuloilmaan. Lisäpainehäviöllä voidaan ohjata paine-eroa niin, että vuotosuunta on puhtaasta tuloilmasta koneen poistoilmapuolelle.

Poistokanavaan mahdollisesti tarvittavan lisäpainehäviön laskenta

Edellytyksenä oikealle virtaussuunnalle on, että poistoilmavirran paine on matalampi kuin tuloilmavirran paine. Alla olevan kuvan merkinnöin:

$$\begin{aligned} p_{\text{poisto}} &\leq p_{\text{tulo}} \\ p_{\text{poisto}} &= - [\Delta p_{\text{extETA}} + \Delta p_{\text{throttleETA}} + \Delta p_{\text{filterETA}}] \\ p_{\text{tulo}} &= - [\Delta p_{\text{extODA}} + \Delta p_{\text{intODA}}] \end{aligned}$$

Kun asetetaan $p_{\text{tulo}} = p_{\text{poisto}}$, saadaan

$$\Delta p_{\text{throttleETA}} = \Delta p_{\text{extODA}} + \Delta p_{\text{intODA}} - \Delta p_{\text{extETA}} - \Delta p_{\text{filterETA}}$$

$$\text{käytetään } \Delta p_{\text{ext,poisto}} = \Delta p_{\text{extETA}} + \Delta p_{\text{extEHA}}$$

$$\text{käytetään } \Delta p_{\text{ext,tulo}} = \Delta p_{\text{extODA}} + \Delta p_{\text{extSUP}}$$

jolloin

$$\Delta p_{\text{throttleETA}} = \Delta p_{\text{extODA}} + \Delta p_{\text{intODA}} - \Delta p_{\text{ext,poisto}} + \Delta p_{\text{extEHA}} - \Delta p_{\text{filterETA}}$$

Yllä olevassa kaavassa valmistaja määrittää Δp_{intODA} ja $\Delta p_{\text{filterETA}}$ -termit. Tuloilmavirran ulkoinen painehäviö Δp_{extODA} ja poistoilmavirran ulkoinen painehäviö Δp_{extSUP} saadaan mitoitusohjelmasta, mutta termejä Δp_{extODA} ja Δp_{extEHA} ei yleensä ole annettu. Suodattimen painehäviö $\Delta p_{\text{filterETA}}$ on puhtaalle suodattimelle.

Jotta voidaan laskea $\Delta p_{\text{throttleETA}}$, on tiedettävä kuitenkin Δp_{extODA} ja Δp_{extEHA} . Tämän vuoksi oletetaan:

jos $\Delta p_{\text{ext,tulo}} > 150 \text{ Pa}$, käytä $\Delta p_{\text{extODA}} = 50 \text{ Pa}$

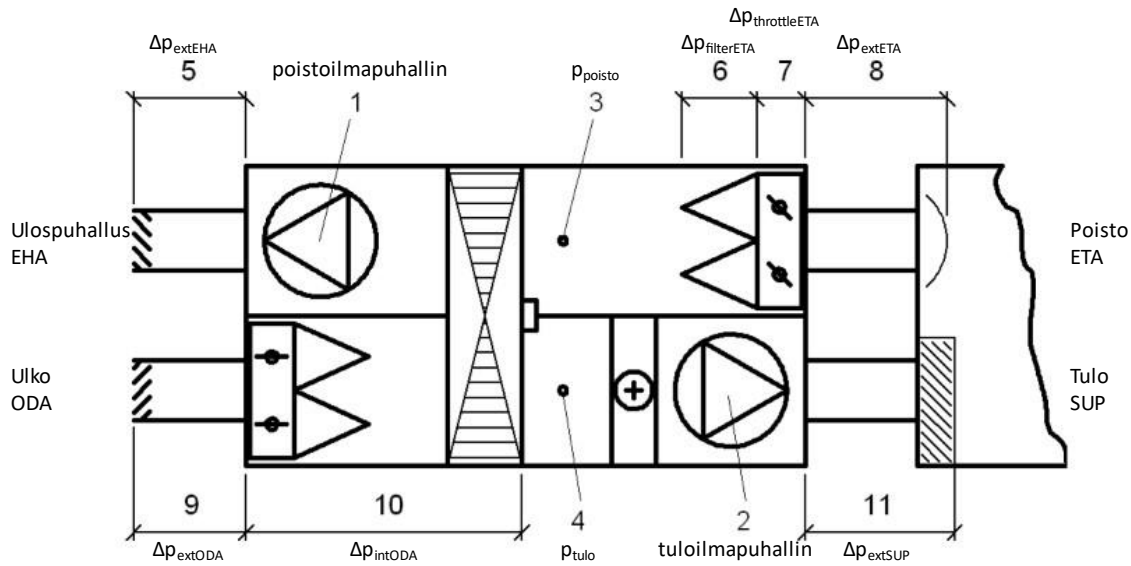
jos $\Delta p_{\text{ext,tulo}} \leq 150 \text{ Pa}$, käytä $\Delta p_{\text{extODA}} = \Delta p_{\text{ext,tulo}} / 3$

jos $\Delta p_{\text{ext,poisto}} > 150 \text{ Pa}$, käytä $\Delta p_{\text{extEHA}} = 50 \text{ Pa}$

jos $\Delta p_{\text{ext,poisto}} \leq 150 \text{ Pa}$, käytä $\Delta p_{\text{extEHA}} = \Delta p_{\text{ext,poisto}} / 3$

Pienen tarvittava lisäpaine-ero $\Delta p_{\text{throttleETA}}$ voidaan näiden oletusten jälkeen laskea edellä olevilla kaavoilla. Negatiivinen $\Delta p_{\text{throttleETA}}$ arvo tarkoittaa, että lisäpaine-eroa ei tarvita.

Huomautus: Lisäpainehäviön määrittäminen voidaan tehdä suunnitteluarvoilla tai mitatuilla arvoilla. Liitteen x kohdassa 5 esitetty virhetarkastelu voidaan tehdä, kun lisäpainehäviö on asetettu määrittämissuorituksen esittämään arvoon.



- | | |
|----|---|
| 1 | poistoilmapuhallin |
| 2 | tuloilmapuhallin |
| 3 | p_{poisto} staattinen paine poistoilmavirrassa ennen lämmöntalteenottoa |
| 4 | p_{tulo} staattinen paine tuloilmavirrassa lämmöntalteenoton jälkeen |
| 5 | Δp_{extEHA} staattinen painehäviö ulospuhalluskanavassa koneen ja ulkoilman välillä |
| 6 | $\Delta p_{filterETA}$ staattinen painehäviö poistoilmasuodattimessa |
| 7 | $\Delta p_{throttleETA}$ lisäpainehäviö poistoilmavirrassa |
| 8 | Δp_{extETA} staattinen painehäviö poistoilmakanavassa huoneen ja koneen välillä |
| 9 | Δp_{extODA} staattinen painehäviö ulkoilmakanavassa ulkoilman ja koneen välillä |
| 10 | Δp_{intODA} staattinen painehäviö koneen ulkoilmavirrassa ulkoilmakanavaliitynnästä lämmöntalteenottolaitteen jälkeiseen pisteeseen (4) |
| 11 | Δp_{extSUP} staattinen painehäviö tuloilmakanavassa koneen ja huoneen välillä |