Metropolia

Jani Muhli

# Ilmanvaihtokoneen puhaltimen uusinta energiatehokkaasti

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
7.5.2012

Metropolia

**Tiivistelmä**

| | |
|---|---|
| Tekijä<br>Otsikko<br><br>Sivumäärä<br>Aika | Jani Muhli<br>ilmanvaihtokoneen puhaltimen uusinta energiatehokkaasti<br><br>34 sivua + 1 liitettä<br>7.5.2012 |
| Tutkinto | insinööri |
| Koulutusohjelma | talotekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | LVI-tuotantopainotteinen |
| Ohjaajat | lehtori Sakari Sainio<br>huoltopäällikkö Timo Sollo |


Insinöörityössä tavoitteena oli löytää uusi energiatehokas vaihtoehto vanhan ilmanvaihtokoneen alkuperäisen puhaltimen tilalle. Tarve puhaltimen uusinnalle syntyi, kun havaittiin puhaltimen elinkaaren olevan loppupuolella. Työn tavoitteena oli puhaltimen energiatehokkuuden ja säädettävyyden parantaminen. Lisäksi puhaltimien vertailussa otettiin huomioon asennuksen vaativuus, mikäli järjestelmää jouduttaisiin muuttamaan.

Ilmanvaihtokone, jonka puhallinta työ käsittelee, palvelee Hyvinkäällä Kone Oyj:n konttoritiloja viidessä eri kerroksessa. Ilmanvaihtokone on kaksinopeuskäyttöinen ja puhallin johtosiipisäädöllä varustettu. Nimellisilmavirta puhaltimelle on 21 $m^3/s$. Ilmanvaihtokone on lähes alkuperäiskuntoinen ja asennettu paikoilleen vuonna 1983. Työssä vertailtiin puhaltimen uusimista uudella vastaavanlaisella puhaltimella, kammiopuhaltimella ja kahdella pienemmällä kammiopuhaltimella.

Työssä mitattiin ilmanvaihtokoneen nykyisen puhaltimen painetuotto ja ilmamäärät selvityksen pohjaksi. Havaittiin, ettei nykyinen puhallin täytä nimellisilmavirtojensa vaatimuksia, ja että painetuottokin jää melko vaatimattomaksi. Työssä myös ilmeni, että puhaltimen moottori vaikuttaa olevan reilusti ylimitoitettu ja että puhaltimen vaihdolla voidaan päästä huomattavasti edullisempiin käyttökustannuksiin.

Insinöörityön myötä havaittiin, että erilaisella puhaltimella syntyy säästöä, mutta säästöt eivät välttämättä ole niin merkittäviä että kannattaisi investoida puhallintyypin vaihtamiseen. Kuitenkin havaittiin vanhan puhaltimen ja moottorin uusinnalla olevan selkeä vaikutus ilmanvaihtokoneen energiatalouteen. Taloudellisin esitellyistä vaihtoehdoista on 52 % tehokkaampi kuin nykyinen puhallin.



| | |
|---|---|
| Avainsanat | puhallin, energiatehokkuus, SFP-luku, kammiopuhallin, radiaalipuhallin. |

Metropolia

**Abstract**

| | |
|---|---|
| Author(s)<br>Title<br><br>Number of Pages<br>Date | Jani Muhli<br>energy-efficienct solution to replace an existing fan<br><br>34 pages + 1 appendices<br>7 May 2012 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Building Services Engineering |
| Specialisation option | HVAC Engineering, Production Orientation |
| Instructors | Senior Lecturer Sakari Sainio<br>Services Manager Timo Sollo |


The purpose of this final year project was to find the most energy–efficient solution to replace an existing fan. The fan of this project was in an office building located in Hyvinkää. The current consumption of the fan was measured and the various options were compared in order to find the best solution. The project aimed at both energy–efficiency and adjustability.

It was necessary to know the operating point of the old fan to determine the correct dimensioning of the new one. In order to define the operating point, the input power and discharge pressure had to be measured. The final year project was based on the comparison of chamber and radial fans.

The results of the measurements showed that the existing fan was highly overdimensioned. During the project it was noticed that the core problem was the electric motor of the fan. Fan efficiency, however was on a relatively good level. The comparison of the fan types showed that the radial fan had the highest efficiency on this project.

The project proved that changing the fan type can be a great way to save energy. The optimal fan has 52% better energy–efficiency than the current fan.



| | |
|---|---|
| Keywords | fan, energy–efficiency, SFP–value, chamber fan, radial fan |

## Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto 1

2 Lähtötilanteen selvittäminen 2

2.1 Lähtötiedot 2
2.1.1 Mittaussuunnitelma 2
2.1.2 Mittaukset 3

3 Puhaltimista 5

3.1 Erilaisia puhaltimia 5
3.2 Aksiaalipuhallin 6
3.3 Radiaalipuhallin 6
3.4 Kammiopuhallin 7

4 Valintaperusteet 8

4.1 Uusi vastaava puhallin 8
4.2 Vaihtoehtoinen ratkaisu 9
4.3 Muuta huomioitavaa 11

5 Kuljetus- ja laahausreitit 12

6 Puhallinvaihtoehtojen haarukointi 13

6.1 Yleistä 13
6.2 Kammiopuhallin 15
6.3 Kaksi kammiopuhallinta 16
6.4 Kaavullinen radiaalipuhallin 18

7 Puhaltimien säätö 19

8 Käyttökustannukset 19

8.1 Huolto 19
8.2 Kammiopuhaltimen kuluttama energia 20
8.3 Kaavullisen radiaalipuhaltimen kuluttama energia 20

8.4 Kahden puhaltimen kuluttama energia 20
8.5 Nykyisen puhaltimen kuluttama energia 21
8.6 Yhteenveto 22

9 Puhaltimien hinnat 22

9.1 Kammiopuhallin 22
9.2 Kaavullinen radiaalipuhallin (GXHB) 23
9.3 Kaavullinen radiaalipuhallin (GTHB) 23
9.4 Puhaltimen kahdentaminen 23

10 Elinkaarikustannuslaskenta 23

10.1 Nykyarvo kammiopuhaltimelle 26
10.2 Nykyarvo radiaalipuhaltimelle (GXHB) 27
10.3 Nykyarvo radiaalipuhaltimelle (GTHB) 27
10.4 Nykyarvo kahdelle puhaltimelle 28
10.5 Yhteenveto elinkaarikustannuslaskennasta 28

11 Puhaltimien sovittaminen 29

12 Yhteenveto 32

13 Pohdintaa 32

Lähteet 34

Liitteet

Liite 1. Mittaussuunnitelma

# 1 Johdanto

Tässä insinöörityössä tutkitaan vaihtoehtoja vanhan ilmanvaihtokoneen puhaltimen uusimiselle. Tarve puhaltimen uusinnalle syntyi, kun havaittiin nykyisen puhaltimen laakereiden alkavan olla elinkaarensa lopussa, eikä uudelleen laakerointi ole enää välttämättä mielekäs ratkaisu. Ilmanvaihtokone palvelee Hyvinkäällä Kone Oyj:n Heves–nimisen viisikerroksisen rakennuksen toimistotiloja. Kone Oyj myy ja kehittää Kone Industrialin valmistamia hissejä, rullaportaita ja ihmisten liikuttamiseen tarkoitettuja laitteita Hyvinkäällä. Rakennus on rakennettu useammassa osassa, pääosin vuosien 1945 ja 1983 välillä. Ilmanvaihtokone toimii kaikissa kerroksissa, muttei kuitenkaan kata koko rakennusta. Laitteet ovat asennettu vuonna 1983.

Kone Oyj omistaa useita kiinteistöjä hiiltamon teollisuusalueella Hyvinkäällä, ja näitä kiinteistöjä palvelee lukuisa määrä eri-ikäisiä ja eri-kuntoisia ilmanvaihtokoneita. Tämän työn avulla on tarkoitus saada lisätietoa ilmanvaihtokoneiden puhallinten uusintavaihtoehdoista. Hyvinkään rakennuksissa on monta saman tyyppistä ilmanvaihtokonetta, joista monet alkavat olla tiensä päässä. Työn tarkoituksena on tuottaa lisäarvoa huolto- ja ylläpitotoimintaan, kun puhaltimien uusintaan on olemassa luotettavaa tietoa energiatehokkaista ratkaisuista.

Työn tavoitteena on selvittää, mikä on toteuttamiskelpoinen ja energiataloudellisin ratkaisu puhaltimen uusimiseen Heves-rakennuksen pää-ilmanvaihtokoneeseen, TK319:seen. Erityishuomiota työssä kiinnitetään energiatalouteen ja hyötysuhteen parantamiseen. Nykyisellään ilmanvaihtokone toimii kaavullisen radiaalipuhaltimen avulla, puhaltimen nimellisilmavirta on 21 $m^3/s$ ja voimansiirto sähkömoottorilta on toteutettu kiilahihnoin. Ilmanvaihtokoneen säätöjärjestelmä pitää ennalta asetun paineen kanavistossa johtosiipisäädön avulla.

Kun huollon, korjausten ja laitteiden uusiminen on suoritettu huolellisesti, muodostuvat järjestelmien kokonaiskustannukset alhaisemmiksi. Tässä työssä käydään läpi vanhan ilmanvaihtokoneen puhaltimen saneerauksen eri vaiheet ja pohditaan asioita energiatehokkuuden, tulevaisuuden huollon ja myös vaihdon mutkattoman onnistumisen kannalta.

# 2 Lähtötilanteen selvittäminen

## 2.1 Lähtötiedot

Ennestään oli selvillä koneen ilmavirrat ja järjestelmän yleiskuntoa selvitettiin haastattelemalla IV-huoltomiehiä. Ilmankäsittelykoneen 319TK01 nimellisilmavirrat olivat 21 ja 10 $m^3/s$. Teknistä kuntoa huoltoasentajat luonnehtivat kohtuulliseksi, puhaltimen moottori on käämitetty aiemmin n. viisi vuotta sitten ja samalla oletettavasti laakeroitu. Lisäksi puhallin on laakeroitu aiemmin 1–2 kertaa, mutta tästä asentaja ei ollut varma. Tällä hetkellä puhallinosa vaatisi laakeroinnin, sillä laakerit ääntävät selvästi.

Verrokkina voidaan käyttää vastaavanlaista konetta 322TK01, laite on samanikäinen, ja edellinen puhallin oli kolme kertaa laakeroitu. Heinäkuussa 2011 puhallinosan laakeripukki petti, mistä seurasi koko puhaltimen tuhoutuminen. Vaikuttaa siltä, että kolmas laakerointi on merkki puhaltimen rakenteiden väsymisestä ja käyttöikä alkaa olla loppumassa.

Lähtötietojen selvittämiseksi tutkittiin koneen alkuperäisiä piirustuksia, selvitettiin tieto- ja laitteiden arvokilvistä ja perehdyttiin toimintaselostukseen. Tarkkojen lähtötietojen selvittämiseksi nähtiin tarpeelliseksi tehdä joitain mittauksia, jotta saadaan varmasti oikeat ja todenmukaiset arvot selville. Lähtötietojen selvittäminen suunnittelutietojen perusteella ei onnistunut, sillä järjestelmää on muutettu useasti eikä kanaviston todellisesta rakenteesta oltu täysin selvillä.

Vanha puhallin on Fläktwoodsin vuonna 1983 valmistama KDA-puhallin kokoa 11. Puhallin on suunniteltu toimimaan kaksinopeuksisella moottorilla kiilahihnojen välityksellä. Puhaltimen moottorin tehot ovat 15–42 kW ja pyörimisnopeus 1440 r/min. Moottoria syötetään 380 voltin jännitteellä kolmeen vaiheeseen, ja maksimi virranotto huipputeholla on 84 ampeeria.

### 2.1.1 Mittaussuunnitelma

Puhaltimen tarkan toimintapisteen määrittämiseksi laadittiin seuraavanlainen mittaussuunnitelma. Mittaukset ovat myös tarpeen puhaltimen energiankulutuksen selvittämiseksi. Mittaussuunnitelmassa esitettiin seuraavat asiat:

- puhaltimen painetuotto.
- ilmavirrat.
- sähkömoottorin kuluttama virta ja tarvittava teho.

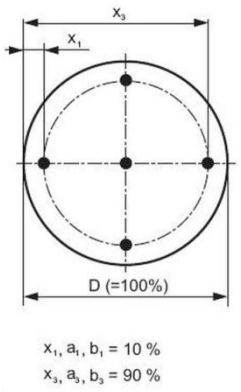
Lisäksi pidemmän aikavälin sähköenergian mittauksella selvitettiin puhaltimen kuormitusasteen muuttumista riippuen omatoimisista ilmamääräsäätimistä ja vastaavista muuttujista. Mittaussuunnitelma löytyy liitteestä 1.

### 2.1.2 Mittaukset

Mittaukset suoritettiin 29.2.2012 koneen normaalin käyttöajan puitteissa klo 10.00–15.00. Ulkoilman lämpötila oli mittausten aikana noin +4 °C. Mittauksia varten pyrittiin kiertoilma toiminto poistamaan käytöstä, mikä ei kuitenkaan onnistunut. Mittauksissa jouduttiin mittaamaan kiertoilma ja raitisilma erikseen. Kiertoilman tilavuusvirta mitattiin 1.000 mm:n ilmanvaihtokanavasta käyttäen pitot putkea. Raitisilman virtaus mitattiin raitisilmakammiosta koneen imuaukosta siipipyöränemometrillä (kuva 1.).

Kuva 1. Siipipyöräanemometri ja pitot-putki, [3; 4].

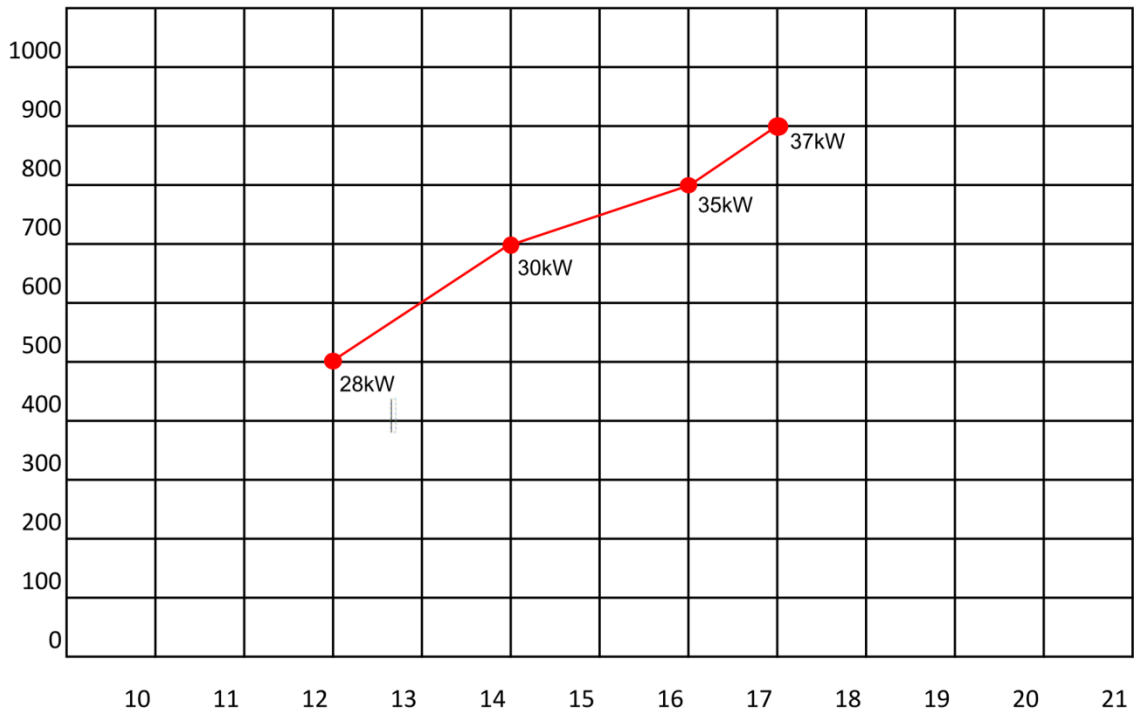
Mittareilla saatiin virtaavan ilman nopeus ja saatujen tuloksien perusteella laskettiin tilavuusvirta. Kiertoilmakanavassa käytettiin mittauksissa viiden pisteen menetelmää ja imuaukossa 12:ta mittauspistettä (kuva 2).




Kuva 2. Viiden pisteen menetelmä ja mittauspisteiden painotusarvot. [3]

Tehon mittaukseen käytettiin pihtivirtamittaria. Mittarilla mitattiin koneen sähköverkosta ottama virta, ennen loistehon kompensointipatteria ja kontaktoria. Saaduista arvoista ja puhaltimen moottorin arvokilven tiedoilla laskemalla saatiin puhaltimen verkosta ottama pätöteho.

Saaduista mittaustuloksista piirrettiin puhaltimen laitoskäyrä, jonka avulla uutta puhallinta voidaan lähteä etsimään. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 3.




Kuva 3. Mittausten perusteella laadittu puhallinkäyrä ja puhaltimen verkosta ottama teho.

Mittaustulosten perusteella saatiin selville, että puhaltimen toimintapiste asettuu 900 pascaliin suurimmalla ilmavirralla 17 $m^3/s$. Ilmavirran mittauksessa on epävarmuutta, johtuen mittaustavasta. Suurimman ilmavirran voidaan kuitenkin arvioida asettuvan alle tehon 20 $m^3/s$. Puhaltimen painetuoton mittaus on melko tarkka.

# 3 Puhaltimista

Puhallin on olennainen osa ilmankäsittelykonetta, jotta eri tavoin käsitelty ilma saataisiin haluttuun kohteeseen ja sieltä pois, ilmaan täytyy tehdä työtä. Tämä työ tehdään puhaltimella siipipyörän siipien liikkuessa, jolloin ilmanpaine kasvaa. Kanaviston ja kohteen välinen paine-ero kasvaa ja saa ilman liikkumaan haluttuun suuntaan. Ilmankäsittelykoneissa voiman lähteenä käytetään yleensä sähkömoottoria, joka voi olla kytketty eri tavoin puhaltimeen.

Puhaltimien paineenkorotuksessa tarkoitetaan kokonaispaineen nousua, joka muodostuu dynaamisesta ja staattisesta paineesta ilman kulkiessa siipipyörän lävitse. Ilman liikkumisen kanavistossa tulee tapahtua riittävän hitaasti, etteivät ääni ja edelleen painehäviö kasvaisi liian suureksi. Ilmanvaihtokanavistossa ei haluta liikuttaa ilmaa suuren dynaamisen paineen avulla, vaan lähinnä halutaan muodostaa staattista painetta. Ilmanvaihtopuhaltimet suunnitellaan siten, että kaikki dynaaminen paine pyritään muuttamaan staattiseksi paineeksi puhaltimen paineaukossa. [1, s. 85.]

## 3.1 Erilaisia puhaltimia

Ilmankäsittelykoneissa tavanomaisesti käytetään kahta erityyppistä puhallinta, radiaali- ja aksiaalipuhaltimia. Puhaltimien selkein ero on ilmavirran kulkusuunnassa. Aksiaalipuhaltimessa ilmavirta liikkuu puhaltimen akselin suuntaisesti, kun taas radiaalipuhaltimessa ilmavirta tulee puhaltimeen akselin suuntaisesti ja poistuu akselista kohtisuoraan poispäin.

Aksiaalipuhaltimessa ilmavirta poistuu siis aksiaalisesti puhaltimen akselin suuntaisesti ja radiaalipuhaltimessa radiaalisesti kohtisuorasti akselin vastaisesti. Seuraavaksi käydään lävitse muutamia puhallintyyppejä ja niiden ominaisuuksia.

## 3.2 Aksiaalipuhallin

Puhallintyyppinä aksiaalipuhallin sopii ratkaisuihin, joissa halutaan suuri ilmavirta mutta ei tarvita kovin paljoa painetta. Paineenkorotus on riippuvainen siipipyörän kärjen nopeudesta. Tällöin suuremmalla siipipyörällä ja kovemmalla pyörimisnopeudella saavutetaan suurempi paine. Toisin sanoen puhaltimella, jonka siipipyörän halkaisija on pieni, on hankala tuottaa suurta painetta.

Aksiaalipuhaltimien ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa navan halkaisijalla ja siipien lukumäärällä. Suurella navalla saavutetaan suuri paineenkorotus, mutta pieni ilmavirta. Pienellä navalla taas saadaan aikaiseksi suuri ilmavirta ja heikko paineenkorotus. Aksiaalipuhaltimen luonteen vuoksi ratkaisu ei ole kovin mielekäs pienissä ilmanvaihtokoneissa, sillä pieni halkaisija vaatii kovan pyörimisnopeuden, jolloin ääni muodostuu ongelmalliseksi [1, s. 85.] Kuvassa 4 on esimerkki aksiaalipuhaltimesta.

Kuva 4. Tyypillinen kanava-asenteinen aksiaalipuhallin.

## 3.3 Radiaalipuhallin

Tavanomaisissa ilmankäsittelykoneissa yleisin puhallinmalli on radiaalipuhallin. Radiaalipuhaltimen siipipyörän ympärillä on spiraalin muotoinen kaapu, jonka tehtävänä on muovata dynaamisesta paineesta käyttökelpoisempaa staattista painetta. Tyypillisesti radiaalipuhaltimet ovat kiilahihnakäyttöisiä, mutta käytössä on myös ratkaisuja, joissa moottori on kiinnitetty suoraa siipipyörän akselille. Puhallinta, jossa siipipyörällä ja moottorilla on sama akseli, eikä siinä ole välitystä, kutsutaan suoravetoiseksi.

Kuva 5. Fläktwoodsin valmistama radiaalipuhallin

Radiaalipuhaltimien, kuten kuvassa 5, siipipyörissä on olemassa erilaisia vaihtoehtoja, joita on kehitetty vastaamaan monenlaisiin käyttötarpeisiin. Siipien muodolla on merkittävä vaikutus puhaltimen painetuottoon ja ilmavirran muodostumiseen. Radiaalipuhallin eteenpäin kaartuvilla siivillä muodostaa siipipyörässä pääasiassa dynaamista painetta, joten kaavun spiraalia muistuttava muoto on hyvin tärkeä tällaisen puhaltimen toiminnalle. Puhallintyypin etuja ovat, että varsin pienellä koolla ja suhteellisen pienellä pyörimisnopeudella puhallin tuottaa korkean paineen ja suuren ilmavirran. Kuitenkin puhallintyypillä on heikko hyötysuhde ja melko korkea äänitaso. Taaksepäin kaartuvilla siivillä varustettu puhallin omaa korkean hyötysuhteen ja pienemmän ominaisäänitason. Taaksepäin kaartuvilla siivillä siipipyörän on pyörittävä lähes kaksinkertaisella nopeudella verrattuna eteenpäin kaartuviin siipiin, mikäli halutaan tuottaa sama ilmavirta ja paine [1, s. 86]. Kaavulla varustetut puhaltimet ovat yleensä hihnakäyttöisiä. Hihnakäytöllä voidaan säätää puhaltimen pyörimisnopeutta muuttamalla hihnapyörien välityssuhdetta.

## 3.4 Kammiopuhallin

Kammiopuhaltimien siipipyörät ovat taaksepäin kaartuvin siivin rakennettuja puhaltimia, joissa ei käytetä puhallinkaapua. Puhallintyypin toiminta ja suoritusarvot muistuttavat kaavullisen puhaltimen arvoja, poislukien kaavussa tapahtuva staattisen paineen nousu. Kammiopuhaltimien kiistaton etu on suoravetoisuus, huoltoa tarvitseva hihnakäyttö jää pois eikä aiheuta hihnapölyä kanavistoon. Kammiopuhaltimet käyvät hyvin värinättömästi, sillä kun siipipyörä on asennettu suoraan moottorin akselille, saadaan

puhallin tasapainotettua hyvin tarkasti. Kammiopuhallin ei tarvitse erillistä niin sanottua tyhjää osaa puhaltimen jälkeen, toisin kuin kaavullinen puhallin johtuen pienemmästä puhalluspoikkipinta-alastaan. Jos kammiopuhallinta halutaan säätää, tarvitaan taajuusmuuttaja säätämään moottorin suoritusarvoja. Kuvassa 6 on esimerkkinä Comefrin valmistama kammiopuhallin varustettuna imuaukon liitäntäkehyksellä.

Kuva 6. Comefrin valmistama kammiopuhallin [9].

# 4 Valintaperusteet

Uuden puhaltimen valitsemiseen on olemassa vaihtoehtoja. Ensimmäinen ja yksinkertaisin ratkaisu on lähettää samalle valmistajalle tarjouspyyntö uudesta vastaavasta puhaltimesta. Tällöin valmistaja toimittaa todennäköisimmin uuden kaavulla varustetun radiaalipuhaltimen hihnakäyttöä varten. Vanha sähkömoottori voidaan hyödyntää hihnakäyttöisessä ratkaisussa. Uuden puhaltimen valintaperusteita ovat muun muassa hinta, käyttöikä, huoltokustannukset, soveltuvuus ja energiatehokkuus. Lisäksi vanhaa ilmanvaihtokonetta saneerattaessa tulee ottaa huomioon puhaltimen koko, paino ja äänentuotto.

## 4.1 Uusi vastaava puhallin

Vaihdettaessa vanha puhallin uuteen suunnilleen vastaavanlaiseen kaavulliseen radiaalipuhaltimeen, jäävät muutostyöt melko pieniksi. Uusi puhallin tulee eroamaan vanhasta kuitenkin siten, että johtosiipisäätöisiä puhaltimia ei enää valmisteta, vaan vakiopai-

neen ylläpito kanavistossa joudutaan suunnittelemaan uudestaan. Yksinkertaisin ratkaisu ongelmaan on taajuusmuuttajan asentaminen moottorin virransyötön yhteyteen. Vanhan johtosiipisäädön 0–10 voltin ohjaus voitaneen hyödyntää lähes suoraan taajuusmuuttajakäytön yhteydessä.

Muutoksia tarvitaan myös puhaltimen paineaukon sovittamisessa vanhaan tuloilmakammioon. Liitoksessa käytetään yleensä pussikaulusta, joka estää värinän välittymisen kanavistoon ja antaa pelivaraa asennukseen. Pussikauluksessa on metallikehykset, ja näitä kehyksiä yhdistää elastisesta materiaalista valmistettu pussi, jolloin joustovaraa saadaan kauluksesta riippuen 100–400 mm.

## 4.2 Vaihtoehtoinen ratkaisu

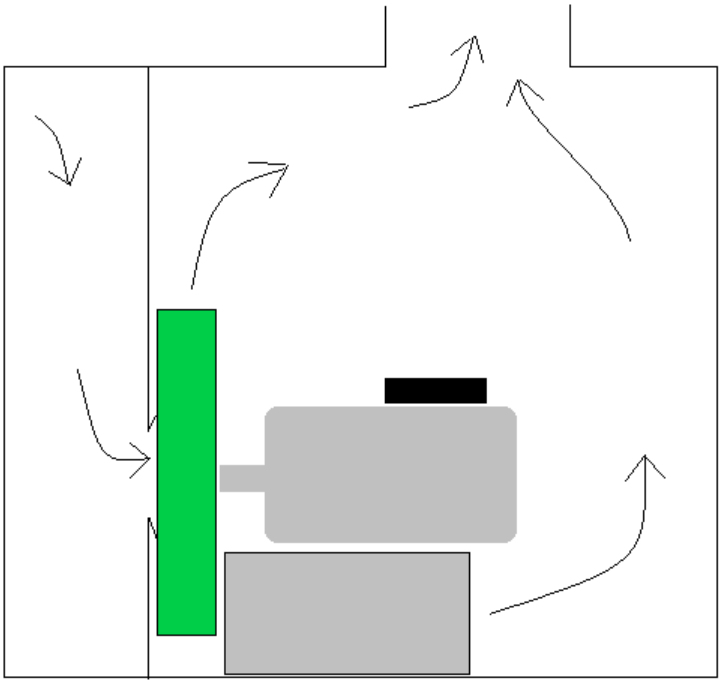
Uutta puhallinta voidaan lähteä etsimään myös energiatehokkuuden näkökulmasta. Vanha puhallin itsessään on kyllä varsin hyvä hyötysuhteeltaan, mutta pullonkaulan vihreimpään ratkaisuun muodostaa hihnakäyttö ja vanhanaikainen kaksinopeuksinen sähkömoottori. Pelkän puhaltimen hyötysuhde on 80–87 % tässä ilmanvaihtokoneessa käytetyillä paineilla ja ilmavirroilla. [2.] Puhallinten hyötysuhde voidaan määritellä suhdelukuna, joka koostuu ilmavirrasta kerrottuna kokonaispaineella ja tämä jaettuna puhaltimen akseliteholla [1, s. 92]. Sähkömoottorista saatiin arvokilven tiedot, kuten teho, jännite ja vaihesiirtokulma.

Mielekkäimpänä ratkaisuna energiatehokkuuden kannalta voitaneen pitää vanhan puhaltimen korvaamista kuvan 7 kaltaisella suoravetoisella kammiopuhaltimella. Vanhan puhaltimen moottoria ei voida hyödyntää valittaessa uudeksi puhaltimeksi suoravetoinen puhallin, koska siipipyörä on asennettu suoraan moottorin akselille.

Kuva 7. Fläktwoodsin valmistama centriflow plus-sarjan kammiopuhallin [3].

Kun vanhan puhaltimen toimintapiste on määritetty mitatun laitoskäyrän avulla, voidaan valmistajien mallistoista etsiä uutta vaihtoehtoa ja pyytää tarjouksia. Fläkwoods ilmoittaa suoravetoisten puhaltimiensa puhallinkäyrästöissä moottorin ja puhaltimen kokonaishyötysuhteen, mikä on oleellinen tieto uutta puhallinta valittaessa.

Kammiopuhaltimen asentaminen vanhan paikalle vaatii myös muutoksia ilmanvaihtokoneen rakenteeseen. Suurin yksittäinen muutos aiheutuu väliseinän rakentamisesta, jonka puhaltimen imuaukon muoto vaatii. Kuvassa 7 puhaltimen imuaukko on kartion muotoinen reikä etulevyn keskellä. Etulevyn ja siipipyörän väliin on rakennettava väliseinä koko puhallinkammion mitalle. Kuvan 8 havaintopiirroksesta ilmenee väliseinän paikka puhallinkammiossa. Väliseinä on piirretty vihreän siipipyörän eteen ja väliseinässä on reikä siipipyörän imuaukon kohdalla. Virtausnuolet havainnollistavat ilman liikkumista. Puhallin imee ilmaa siipipyörän keskeltä ja työntää sen pois kohtisuoraan akseliinsa nähden eli radiaalisesti. Kammiopuhallin tuottaa suuntaamattoman ilmavirran, jolloin se ei ole kovin herkkä liitäntähäviöille. Liitäntähäviöllä tarkoitetaan häviötä, joka syntyy puhaltimen ulospuhallusaukolla. Erityisen suuri häviö on, kun puhaltimen puhallinkammiosta lähtevä kanavan suunta on puhaltimen pyörimissuunnan vastainen [1, s. 92].



Kuva 8. Havaintopiirros puhallinkammioon rakennettavasta seinästä.

Väliseinä voidaan rakentaa melko yksinkertaisesti, mutta sen on oltava riittävän vahva kestääkseen puhaltimen synnyttämän alipaineen. Pieni liike on sallittu koneen käynnistysvaiheessa, koska puhallin itsessään on varustettu moottoriin tuetulla etulevyllä. Etulevyn on oltava erittäin tukeva, sillä jo 1–2 mm:n liike voi aiheuttaa sen, että imukartio ottaa kiinni siipipyörään. Väliseinää varten on rakennettava ensin tukeva runko, joka pellitetään umpinaiseksi käyttäen sinkittyä peltiä tai korroosionkestoltaan vastaavaa. Samantapainen väliseinä on rakennettu jo aiemmin koneen imukammioon, johon on asennettu esisuodattimia koneen suodatustehon parantamiseksi. Väliseinän runkona voidaan käyttää esimerkiksi U- tai neliöprofiilista terästä, josta rakennetaan aluksi pystytolpat kammion katon ja pohjan väliin. Runkotoppien määrä ja vahvuus riippuu pintamateriaalin vahvuudesta, kuitenkin 400 mm on riittävä väli käytettäessä 1,00–1,50 mm peltiä. Väliseinän rakentamisen arvioidaan maksavan noin 1.000 €.

Kammiopuhaltimet asennetaan pääsääntöisesti taajuusmuuttajakäyttöisiksi säädettävyyden takia. Luvun 4.2 lopussa on perusteltu, miten taajuusmuuttajakäyttö on yhdistettävissä nykyiseen järjestelmään. Sähköenergian säästöä arvioitaessa on otettava huomioon taajuusmuuttajakäytön häviö. Valitsemalla suoravetoinen puhallin jäävät vetohihnoista ja niiden vaihtamisesta aiheutuvat kustannukset pois.

## 4.3 Muuta huomioitavaa

Puhallinta uusittaessa tulee ilmavirtojen ja painetuoton lisäksi huomioida muun muassa äänitekniset seikat. Puhallin on yleensä merkittävin äänilähde ilmanvaihtokoneen muihin komponentteihin ja kanavistoon verrattuna [4, s. 46]. Nykyiseen kanavistoon on hankala lähteä tekemään suuria muutoksia, ja näin ollen kanaviston äänen eristävyyttä tuskin päästään parantamaan. Lähtökohtaisesti voidaan olettaa, ettei uusi puhallin saa olla vanhaa äänekkäämpi, jotta haitallisen melun kantautuminen tiloihin voidaan estää. Hihnakäytön jäädessä pois lieventyy puhaltimen tuottama melu hieman.

Puhaltimien äänitasot saadaan riittävän luotettavasti ilman työläitä mittauksia puhallinkäyrästöistä. Valmistajat merkitsevät yleensä puhallinkäyrästöihin puhaltimen kokonaisäänitehotasokäyrän. Näin yhdellä luvulla merkittynä käyrästö on selkeä lukea, ja eri toimintapisteille saadaan luotettava laboratorio-olosuhteissa mitattu äänitieto [4, s. 46]. Ominaisäänitaso kertoo myös puhaltimen laatutasosta, sillä huolellisesti rakennet-

tu ja tarkasti muotoiltu puhallin omaa korkean hyötysuhteen ja pienen ominaisäänentehotason. Ominaisäänentehotason voidaan olettaa olevan pienin, kun puhaltimen hyötysuhde on parhaimmillaan [4, s. 48].

Jos kuitenkin ilmenee tarvetta pienentää itse puhaltimesta aiheutuvaa melua, voidaan puhallinkammion seinät pinnoittaa ääntä absorboivalla materiaalilla. Materiaalissa eristyskykyyn vaikuttaa suuresti aineen tiheys, eli materiaalin tulee olla painavaa. Ratkaisulla on merkitystä etenkin puhaltimesta koneen vaipan läpi konehuoneeseen tulevaan meluun. Virheisiin on aina syytä varautua, sillä joissain kaavuttomissa radiaalipuhaltimissa aiheutuva pyörivä ilmavirta on aiheuttanut huomattavan äänitason kasvun vaipan läpi ilmanvaihtokonehuoneeseen [4, s. 51].

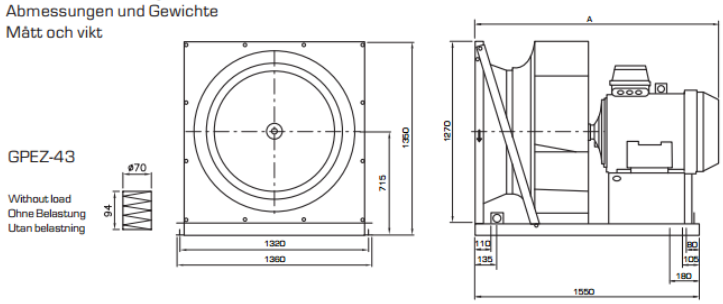
# 5 Kuljetus- ja laahausreitit

Näin suurta ja massiivista puhallinta uusittaessa on ensiarvoisen tärkeää ennen tilausta varmistaa, että uusi puhallin on mahdollista kuljettaa asennuspaikalle ongelmitta. Asiaa ei ole syytä väheksyä. Vuonna 1983, jolloin ilmanvaihtokone on asennettu paikoilleen, järjestelmän osat on todennäköisesti kuljetettu paikalle ja nostettu katon kautta sisälle. Oletettavasti kattoa ei tällöin tuolla kohdalla ole ollut, tai sitten siihen on vain tehty nostoaukko. Kuitenkaan pelkän puhaltimen uusinnan vuoksi ei kattoa kannata ryhtyä avaamaan, muutoin on vastassa kustannusten merkittävä nousu.

Fläktwoods tarjoaa asiakkailleen puhaltimista erittäin tarkat mittapiirustukset, jolloin jo puhallinmitoituksessa voidaan helposti ottaa huomioon laahausreittien riittävyys. Kun mittapiirustuksia tutkittiin, huomattiin Fläktwoodsin kammiopuhallinsarjan puhaltimen GPEB-125 kuljettamisen olevan hyvin tarkoilla. Kuitenkin on todennäköistä, että puhaltimen moottori, siipipyörä ja runko joudutaan irrottamaan toisistaan. Puhallin ja moottori yhdessä painavat 299 kg. Puhallin varmasti mahdutaan kuljettamaan olemassa olevista reiteistä osina. Puhallinkoon 125 on esitetty kuvassa 9.

**Technical Data – GPEB-1-125**

Dimensions and weights
Abmessungen und Gewichte
Mått och vikt




GPEB-1-125: 299 kg

| IEC | A | GPEZ-43 Front Vorne Framför | GPEZ-43 Back Hintern Bakom |
|---|---|---|---|
| 180 | 1415 | SD7 | SD7 |
| 200 | 1485 | SD7 | SD7 |
| 225 | 1550 | SD7 | 2 x SD7 |
| 250 | 1560 | SD7 | 2 x SD7 |

Kuva 9. Fläktwoodsin GPEB-125-kammiopuhaltimen mittapiirros.

Puhaltimesta on tarpeen irrottaa siipipyörä ja moottori jalustasta, jotta etulevy saadaan mahtumaan oviaukosta 4. kerroksessa. Tämä ei kuitenkaan ole ongelma, sillä koko laite on tehty helposti purettavaksi ja kokoonpanossa on käytetty pultti-liitoksia, hitsausta ja vastaavia liitoksia on vähän.

Vastaavanlainen kaavullinen radiaalipuhallin on hankalampi purkaa, sillä koko kaapu joudutaan purkamaan osiin, jotta siipipyörä saataisiin pois kaavun sisältä. Kun siipipyörä joudutaan irrottamaan akseliltaan, saattaa uudelleen kokoamisen jälkeen esiintyä tarvetta tasapainottaa puhallin uudelleen. Nykyistä olemassa olevaa puhallinta vastaavan, GTLB-080 puhaltimen leveys paineaukkoon katsottaessa on 1.527 mm, ja sellaisenaan tämä puhallin ei mahdu kuljetusreitillä ovista. Kapein ovi kuljetus reitillä on 1.300 mm.

# 6 Puhallinvaihtoehtojen haarukointi

## 6.1 Yleistä

Puhaltimen valinnassa on myös huomattava, että mittauksissa konetta käytettiin huomattavasti normaalia käyttötilannetta suuremmalla johtosiipien asennolla. Käytännössä

haastattelujen perusteella normaalin käyttöajan ilmavirta on noin 14 $m^3/s$ ja puhaltimen paineenkorotus 700 Pa. Tätä havaintoa tukee myös konehuoneen tuloilmakammion painemittari, johon on merkitty tussilla viiva merkiksi painetasolle, jonka huoltomies on tarkastanut aina konehuoneessa käydessään. Huoltomiehen käyttämä painemittari ei kerro oikeastaan mitään ilmanvaihtokoneen toiminnasta, mutta käyttäytyy kuitenkin lineaarisesti ilmavirtaan suhteutettuna. Tämä kävi ilmi, kun ilmavirran ja paineen mittauksia tehtiin ja samalla tarkkailtiin tätä painemittaria.

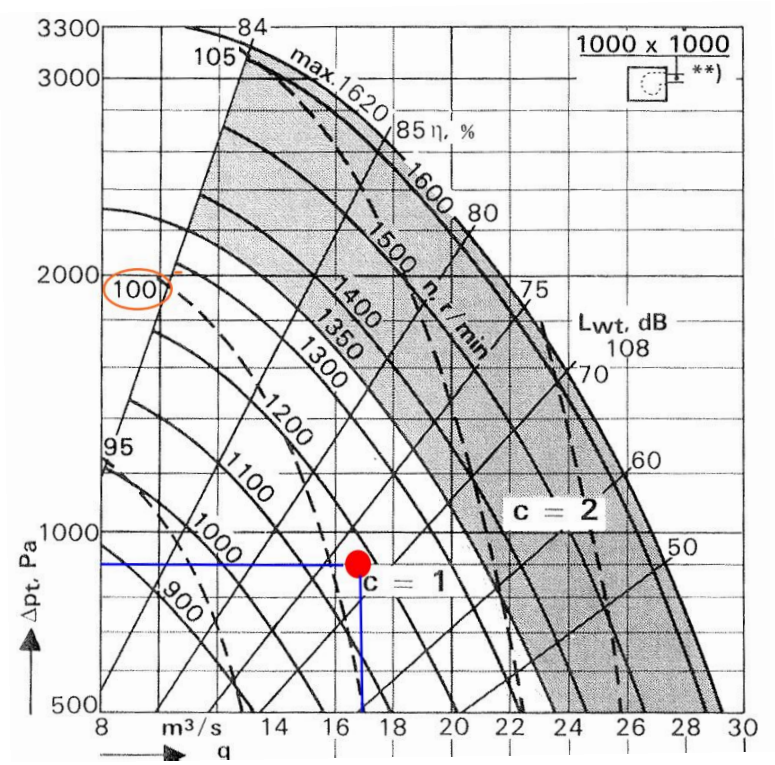
Kuva 10. Tuloilmakone 319 tuloilmakammion painemittari konehuoneessa.

Kuvassa 10 näkyy tussiviiva, joka on piirretty noin 225 pascalin paineen kohdalle. Mittaustulosten perusteella tämä tarkoittaisi ilmavirtaa 12–13 $m^3/s$. Näiden havaintojen perusteella voidaan sanoa ainakin talviajan ilmavirtojen olevan maksimitoimintapistettä huomattavasti pienempiä; kuitenkaan tämä ei tarkoita, että puhallin voitaisiin mitoittaa näin pienellä ilmavirralla.

22.3.2012 tehtiin koeluontoinen painetason nosto. Oikean toimintapisteen varmentamiseksi koneen paineasetus muutettiin nykyisestä 18 hieman ylemmäs asentoon 22. Tämä tarkoittaa toimintapisteessä suunnilleen 750 Pa painetuottoa ja 15,2 $m^3/s$. Ei kulunut pitkään, kun tilojen käyttäjiltä alkoi tulla palautetta liian kovasta puhalluksesta ja vedon tunteesta. Oletettavasti näin kovaa tehoa ei voida käyttää kesälläkään, sillä ko-

neessa on jäähdytyspatteri ja puhallettaessa alilämpöistä ilmaa sekin koetaan helposti epämiellyttävä vetona.

Uuden puhaltimen suurinta sallittua äänen tuottoa tutkittiin vanhan puhaltimen käyrästön perusteella. Kuvaan 11 on merkitty vanhan puhaltimen toimintapiste mitatuilla ilmavirroilla.

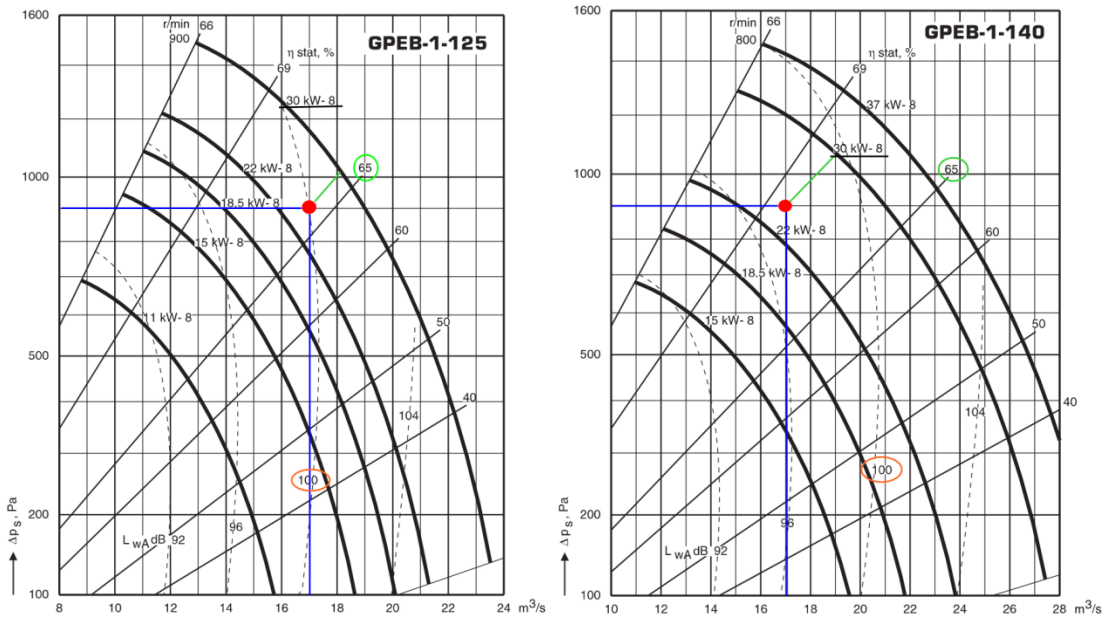



Kuva 11. Vanhan KD11-puhaltimen ominaiskäyrä ja siihen merkitty toimintapiste.

Kuvasta 11 nähdään oranssilla ympyröidyn äänitason ylittävän toimintapisteessä 100 dB. Kun pidetään huolta, että uusi valittu puhallin jää alle arvon 100 dB, voidaan olettaa ettei äänitaso kasva.

## 6.2 Kammiopuhallin

Uutta puhallinta lähdettiin etsimään Fläktwoodsin GPEB-1–sarjasta. Puhaltimen toimintapisteeksi luvussa 2 määritettiin 900 Pa ja 17 $m^3/s$. Etsimällä toimintapiste puhallinkäyrästöiltä havaittiin puhallinkokojen 125 ja 140 soveltuvan korvaavaksi puhaltimeksi.




Kuva 12. Toimintapiste esitettynä puhallinkokojen 125 ja 140 käyrästöillä.

Kuvaan 12 on merkitty punaisella pallolla toimintapiste, johon korvaavan puhaltimen tulee kyetä. Kumpikin puhallinkoko vaikuttaa sopivalta ratkaisulta, kuitenkin valinnassa kannattaa huomioida muutama muukin seikka. Kummankin puhaltimen moottorikoko on sama 30 kW, joten tämä ei käytännössä vaikuta puhaltimen valintaan. Puhaltimen hyötysuhde, joka on ympyröity vihreällä, on myös puhaltimilla sama. Sen sijaan äänitasossa on selkeä ero suuremman puhaltimen hyväksi. Käyrästöön on oranssilla ympyröity 100 dB:n viiva, jolle pienemmän puhaltimen toimintapiste osuu suoraan. Lineaarisesti interpoloimalla voidaan sanoa, että suuremman puhaltimen melu vaaditussa toimintapisteessä on noin 97–98 dB, tällöin äänitasossa suurempi puhallin saavuttaa 2–3 dB matalamman äänitason. Ero puhaltimien äänitasossa on huomattava, ja lisäksi suuremmalla puhaltimella voidaan saavuttaa vielä mitattua toimintapistettä suurempi teho. Tästä on hyötyä, jos mittauksissa on virhettä, jotta varmasti saavutettaisiin haluttu toimintapiste. Toisin sanoen puhaltimessa on resursseja suurempaankin ilmavirtaan.

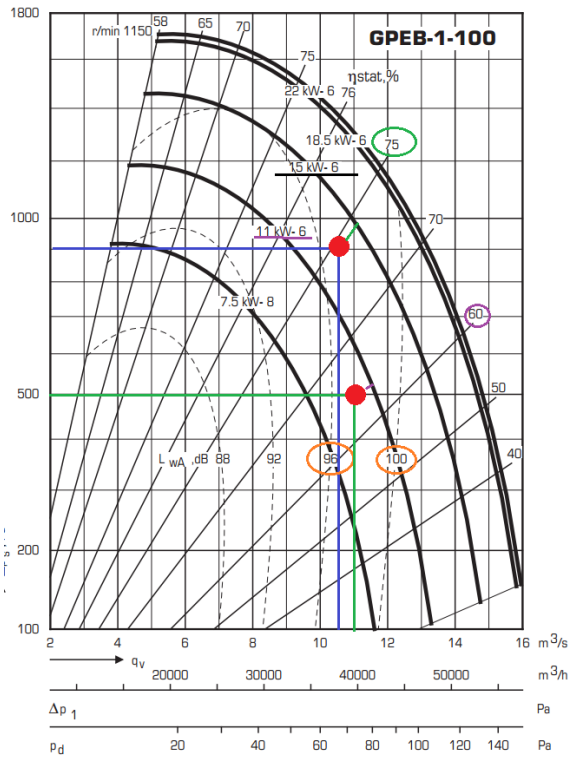
## 6.3 Kaksi kammiopuhallinta

Kahden puhaltimen mahdollisuutta lähdettiin tutkimaan tavoitteena hyötysuhteen parantaminen ja mahdollinen osakäyttö. Toisin sanoen, jos puhaltimen todellinen toimintapiste onkin vain noin puolet nimellisilmavirroista, on syytä tutkia, voidaanko puhalti-

mien kahdentamisella saavuttaa tilanne, jossa ajetaan vain toista puhallinta. Tilanne mahdollistaa toisen puhaltimen lepäämisen varakoneena tai vuorottelukäytön.

Puhaltimen kahdentamista lähdettiin tutkimaan yhtenä mahdollisena vaihtoehtona, tavoitteena hyötysuhteen ja edelleen energiatehokkuuden parantaminen. Puhaltimien kahdentaminen teettää lisätyötä asennusvaiheessa, mutta 30 vuoden elinkaaren suurimmat kustannukset eivät synny järjestelmän rakentamisesta, vaan energiakustannuksista. Lisäksi jo aiemmin mainittiin puhaltimien mahdollisesta vuorottelukäytöstä, joka takaisi suuren toimintavarmuuden.

Kahden puhaltimen yhteiskäytössä on huomioitava muutamia puhallinteknisiä seikkoja. Käytettäessä kahta saman tehoista puhallinta, puhaltimien painetuotto pysyy ennallaan, mutta ilmavirta kaksinkertaistuu. Lisäksi on syytä huomioida mahdollinen takaisin virtaus, joka syntyy toisen puhaltimen ollessa pysähdyksissä ja toisen toimiessa. Puhaltimien rinnakkaiskäytöstä johtuvia ongelmia on hyvin hankala ennustaa. [1, s. 91.] Mikäli yhden puhaltimen tuotto kerrallaan riittää, voidaan puhaltimet varustaa sulkupellein ja näin estää takaisinvirtaus viereisen puhaltimen läpi.

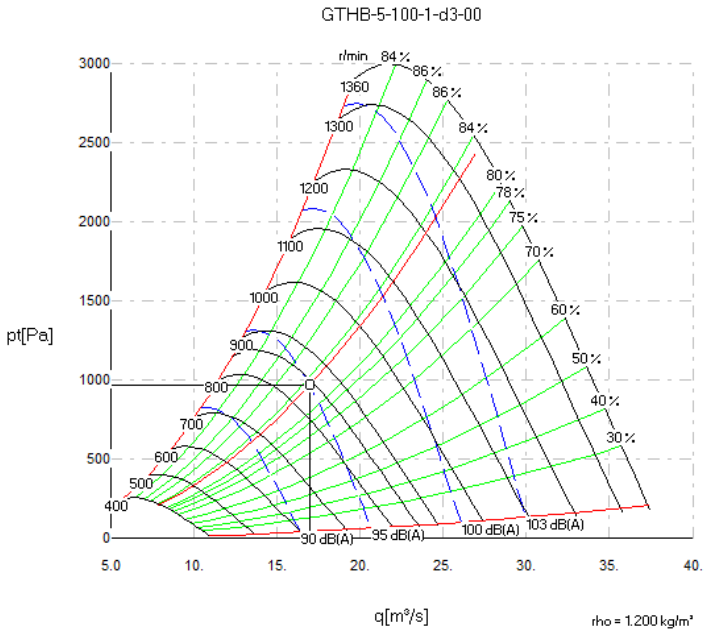



Kuva 13. Puhallinkoko 100 ja kaksi eri toimintapistettä.

Fläkwoodsin suoravetoisten kammiopuhaltimien sarjasta lähinnä puolitettua toimintapistettä on puhallinkoko 100. Kuvasta 13 nähdään, että puhaltimen hyötysuhde on selvästi parempi, kuin yhden suuremman puhaltimen. Hyötysuhde toimintapisteellä 10,5 $m^3/s$ ja 900 Pa asettuu 75 % tasolle. Tällä puhallinkoolla vaadittu moottorin koko olisi noin 15 kW. Käyrästöön on lisätty myös toimintapiste 11 $m^3/s$ ja 500 Pa vertailun vuoksi.

## 6.4 Kaavullinen radiaalipuhallin

Fläktwoodsin edustaja tarjosi nykyisen puhaltimen tilalle kaavullista radiaalipuhallinta GXHB. Tällä puhaltimella jäädään heikkoon hyötysuhteeseen. Valintaa perusteltiin Fläktwoodsin korvaavuustaulukoilla. Fläktwoodsin Centriware ohjelmalla etsittiin korkeamman hyötysuhteen omaavaa puhallinta ja päädyttiin GTHB-5-puhaltimeen. Kuvasta 14 nähdään puhallinkoko 100 hyötysuhteen olevan peräti 83,1 % toimintapisteessä 17 $m^3/s$ ja 900 Pa. Äänitaso puhaltimella jää alle 95 dB:n.




Kuva 14. GTHB-100 puhaltimen toimintapiste.

# 7 Puhaltimien säätö

Kuten jo aiemmin luvussa 4 mainittiin, on uuden puhaltimen ohjauksessa järkevää siirtyä taajuusmuuttajakäyttöön, sillä johtosiipisäätöisiä puhaltimia ei enää valmisteta. Uudet puhaltimet säädetään puhaltimen moottorin syöttötaajuutta muuttamalla. Taajuusmuuttajan valinnassa tarvittavia tietoja ovat muun muassa jännite, tarvittava teho ja kotelointiluokitus. Taajuusmuuttajan valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat moottorin teho, syöttöjännite ja kotelointiluokitus. Syöttöjännite kaikille tässä käsitellyille puhaltimille on 380 volttia ja kotelointiluokitus IP21. ABB Oy:llä on omat laitteensa pumppu- ja puhallinsovelluksiin; tätä taulukkoa käytettiin valinnassa.

Taajuusmuuttajan asennuksessa huomioon otettavia seikkoja ovat puolinopeuden ja täysnopeuden kontaktorien ja syöttöjen vaatimat muutokset. Lisäksi puhaltimen kierrosnopeuden säätö vaatii ohjauksen 0–10 volttia. Tähän voidaan käyttää vanhaa siipisäädön ohjausta, tosin pieniä ohjelmistomuutoksia saatetaan tarvita. Tärkeää on myös huomata, että taajuusmuuttajan ja puhallinmoottorin välisen kaapelin tulee olla EMC-suojattua (electromagnetic compatibility). Jos suojaus laiminlyödään, saattaa laite aiheuttaa muihin sähkölaitteisiin häiriöitä tai vaurioittaa puhaltimen ja moottorin laakereita. Puhutaan käsitteestä *laakerivirta*, joka syntyy, kun moottorin ja staattorin välille aiheutuu jännite-ero ja sähkövirta kulkee laakereiden kautta. Ilmiö aiheuttaa laakereiden vierintäpinnoilla kipinöintiä ja näin muodostuu epätasaisuuksia, jotka vaurioittavat laakeria. [5, s. 21]

# 8 Käyttökustannukset

## 8.1 Huolto

Kumpikin puhallinvaihtoehto käyttää vuosittain sähköä käyttöaikaan rinnastettavan määrän. Huoltoa suoravetoinen puhallin ei juuri tarvitse, laakerit voidaan rasvata. Hihnavetoisella puhaltimella rasvataan samat kohteet, lisäksi 1–2 vuoden välein vaihdetaan hihnat ja noin viiden vuoden välein hihnapyörät. Hihnat tähän koneeseen maksavat 132 € kokonaisuudessaan ja hihnapyörät lukitsimineen 350 €. Hihnojen vaihdosta aiheutuva kustannus vuosittain on 40 € ja hihnapyörien vaihdosta 100 €.

## 8.2 Kammiopuhaltimen kuluttama energia

Puhaltimien energiankulutuksen laskennassa käytetään todellisen toimintapisteen sähköverkosta ottamaa tehoa, vaikka puhallin onkin mitoitettu suuremmalle ilmavirralle. Todellisena toimintapisteenä käytetään 15 $m^3/s$ ja 700 Pa. Verkosta otettuun tehon määrittämiseen käytettiin apuna Fläktwoodsin Centriware-ohjelmistoa. Valitun GPEB-125 kammiopuhaltimen verkosta ottama teho todellisessa toimintapisteessä on 20,7 kW (57,0 A). Puhaltimen toiminta aika on arkisin 12 h päivässä ja viikonloppuisin 6 h päivässä, jolloin vuoden käyttötunnit ovat 3744 h.

Kammiopuhaltimen vuosittain kuluttama energia on siis
20,7 kW x 3 744 h = 77,5 MWh

## 8.3 Kaavullisen radiaalipuhaltimen kuluttama energia

Energiankulutuksen määrittely tehtiin samalla tavalla kuin luvun 8.2. Fläktwoodsin puhallinmyynnin ehdottaman GXHB-080-puhaltimen verkosta ottama teho on 22,3 kW (55,0 A).

GXHB-radiaalipuhaltimen vuosittain kuluttama energia 22,3 kW x 3 744 h = 83,5 MWh

Vertailuun mukaan otetun GTHB-puhaltimen verkosta ottaman teho on 15,7 kW (35,0 A).

GTHB-radiaalipuhaltimen vuosittain kuluttama energia 15,7 kW x 3 744h = 58,8 MWh

## 8.4 Kahden puhaltimen kuluttama energia

Mahdollisuutta kahden puhaltimen rinnakkaiseen käyttöön tutkittiin tavoitteena hyötysuhteen parantaminen. Fläkwoodsin Centriwave-ohjelmaa apuna käyttäen mallinnettiin eri tilanteita, jotta saatiin puhaltimen verkosta ottama teho laskentaa varten. Tilanteet olivat seuraavanlaisia:

1. 2 x 7,5 $m^3/s$ ja 700 Pa (=15 $m^3/s$ ja 700Pa) P = 17 kW

2. 2 x 11 $m^3/s$ ja 900 Pa (22 $m^3/s$ ja 900 pa) P = 31 kW

3. 1 x 11 $m^3/s$ ja 500 Pa, P = 10 kW

Kaikissa mallinnetuissa tilanteissa puhallinkoko on 100 ja moottorina 15 kW. Tilanteessa 1 toimintapiste puhaltimilla on sama kuin edellisissä laskuissa, joten tätä tehoa voidaan käyttää verrokkina laskuissa. Muut tehot ajettiin ohjelmasta, jotta voidaan vertailla puhaltimien joustavuutta eri toimintapisteissä.

Tilanteessa 1 puhaltimen vuosittain kuluttama energia on siis
17 kW x 3744 h = 63,6 MWh

Tuloksesta voidaan havaita, että kahdella puhaltimella päästään parempaan hyötysuhteeseen (76,2 %) kuin vastaavassa tilanteessa yhdellä puhaltimella. Tilanteessa 2 havainnollistetaan puhaltimen toimintaa nimellisilmavirroilla, joihin yksittäinen puhallin ei edes yllä. Nimellisilmavirralla päästään hyötysuhteeseen 74 %. Tilanne 3 kuvaa tehoa, jolla puhallinta on talvena 2012 käytetty, toimintapisteeseen päästäisiin yhden puhaltimen avulla toisen levätessä. Hyötysuhde tilanteessa 3 on 65,3 %.

Lyhyenä yhteenvetona voidaan todeta kahdella puhaltimella päästävän joustavampaan ratkaisuun kuin yhdellä puhaltimella. Kuitenkin kahden puhaltimen asentaminen voi osoittautua työläämmäksi, ainakin automatiikan osalta. Kahdelle puhaltimelle joudutaan asettelemaan huomattavasti enemmän erilaisia parametreja automatiikkaan kuin yhden puhaltimen ohjauksessa. Joustavan säädön mahdollistaa laaja tietokonepohjainen automaatiojärjestelmä kohteessa. Kun varmistetaan, että lähimmässä valvontaalakeskuksessa on vapaita ohjelmointipisteitä, ei kaapelointeja tarvita paljoa. Puhaltimien energian kulutukset vuodessa on esitetty taulukossa 1.

## 8.5 Nykyisen puhaltimen kuluttama energia

Nykyisen puhaltimen kuluttama energia voidaan laskea vertailuarvoksi uusille puhaltimille. Suoritettujen mittausten perusteella nykyinen puhallin ottaa verkosta tehoa luvun 8.2 toimintapisteessä 30 kW.

Nykyisen puhaltimen vuosittain kuluttama energia 30,0 kW x 3744 h = 112,3 MWh

### 8.6 Yhteenveto

Taulukkoon 1 on koottu eri puhallinvaihtoehtojen energiankulutukset. Taulukosta voidaan havaita GTHB-radiaalipuhaltimen olevan taloudellisin vaihtoehto.

Taulukko 1. Eri puhaltimien energiankulutus vuodessa.

| *Puhallintyyppi* | *Energiankulutus MWh/a* |
|---|---|
| Kammiopuhallin | 77,5 |
| Kaavullinen radiaalipuhallin (GXHB) | 83,5 |
| Kaavullinen radiaalipuhallin (GTHB) | 58,8 |
| Kaksi kammiopuhallinta | 63,6 |
| Nykyinen puhallin | 112,3 |

## 9 Puhaltimien hinnat

### 9.1 Kammiopuhallin

Fläkwoods Oy:n puhallinasiantuntija suositteli tähän kohteeseen GPEB-125-kammiopuhallinta varustettuna 30 kW:n moottorilla. Kuvassa 8 on esitetty 125 ja 140 puhallinkokojen käyrästöt toimintapisteineen. Suuremmalla puhaltimella päästään hieman edullisempaan äänentuottoon, mutta hinnoiltaan puhaltimet eivät suuresti eroa. Tähän kohteeseen sopiva GPEB-125-kammiopuhallin maksaisi 7 900,00 €, ja hinta sisältää moottorin. Kammiopuhaltimen aiheuttamat lisäkustannukset asennuksessa muodostuvat väliseinästä, joka maksaa noin 1000 €, ja tavanomaisesta asennuksesta poikkeavia kuluja voidaan laskea syntyvän 500 €. Investointikustannus on siis kokonaisuudessaan 10 500 €. Huoltokustannuksia ei varsinaisesti synny, sillä laakereiden rasvaus voidaan hoitaa tarvittassa muun koneen vuosihuollon yhteydessä. Kummassakin muutostyössä tarvitaan samanlainen muutos säätöjärjestelmiin, joten sitä ei oteta laskelmissa huomioon.

### 9.2 Kaavullinen radiaalipuhallin (GXHB)

Sama asiantuntija tarjosi vanhan puhaltimen uusimiseksi GXHB-080-puhallinta, johon ei sisälly uutta moottoria. Uuden puhaltimen hinta on 4 900 €. Nykyisen moottorin elinikää on vaikea arvioida, kuitenkin moottorin voidaan sanoa olevan ylimitoitettu ja taajuusmuuttajakäyttöön sopivuutta hankala arvioida. Jotta vertailu uuteen puhaltimeen olisi tasapuolinen, täytyy laskelmissa ottaa huomioon myös uuden moottorin hankkiminen. Uuden moottorin hinta on 2 700 €, ja lisäksi tarvitaan myös tässä vaihtoehdossa taajuusmuuttaja 1 100 €. Kaavullisen radiaalipuhaltimen uusimisen kustannuksiksi voidaan siis arvioida yhteensä 8 700 €.

### 9.3 Kaavullinen radiaalipuhallin (GTHB)

Edellisessä kappaleessa käsiteltiin puhallinmyyjän tarjoama vaihtoehto kaavulliseksi radiaalipuhaltimeksi. GTHB–puhallin on vertailluista puhaltimista kallein, hinta puhaltimelle on 11 100 €. Tämä puhallin on varustettu 30 kW:n moottorilla ja taajuusmuuttaja on siten sama kuin luvun 9.1 ratkaisussa ja maksaa siis 1 100 €. Tavanomaisesta asennuksesta poikkeavia kuluja voidaan laskea syntyvän 500 €. Kokonainvestointikustannus on siis GTHB-puhaltimelle yhteensä 12 700 €.

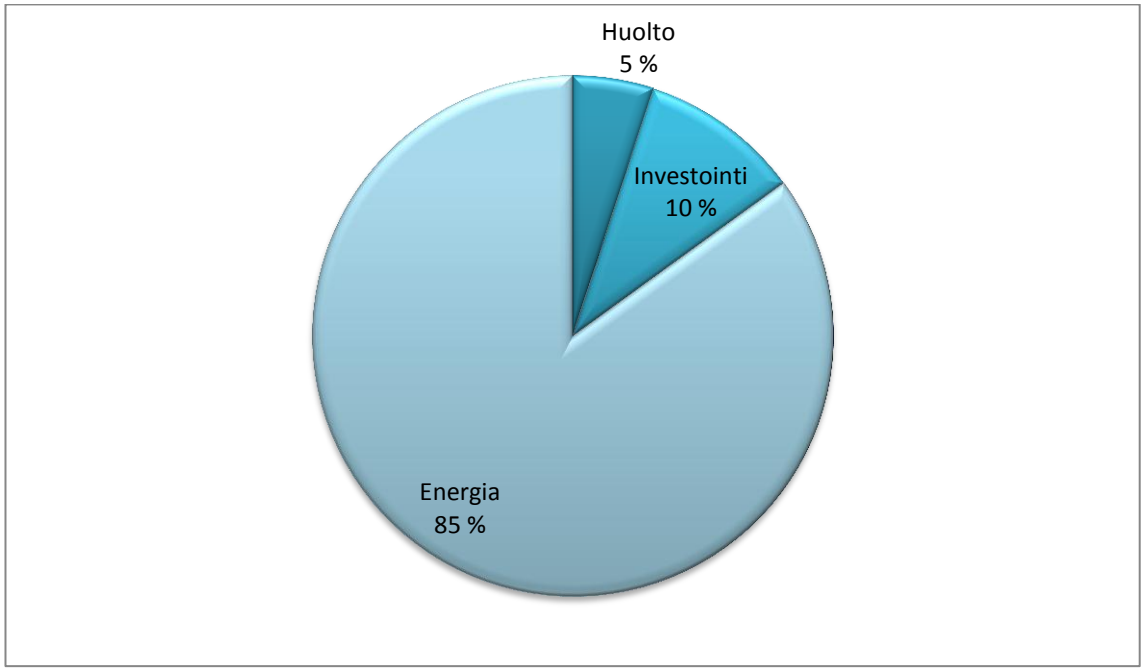
### 9.4 Puhaltimen kahdentaminen

Kaksi GPEB-100 puhallinta maksaa yhteensä 7 800 € ja kaksi taajuusmuuttajaa 1 600 €. Väliseinän rakentaminen kahdelle puhaltimelle arvioidaan maksavan 1 500 € ja muita asennuskustannuksia syntyvän 1 300 €. Automaatioasennukset ovat kahdelle puhaltimelle kalliit, sillä rinnankäyttö vaatii monimutkaisemman ohjelman kuin yksi puhallin. Automaatioasennuksiin on syytä varata noin 3000 €.

## 10 Elinkaarikustannuslaskenta

Hankittaessa ja saneerattaessa vanhoja järjestelmiä on syytä huomioida laitteen tai järjestelmän koko elinkaaren kustannukset. Ostoenergiaa käyttävän laitteen kulutus vaikuttaa elinkaaren kustannuksiin hyvin nopeasti investointikustannuksia enemmän. Ominaiskulutuksen lisäksi tulee huomioida järjestelmän huollon ja ylläpidon vaatimat

kustannukset. Puhaltimissa tämä tarkoittaa monesti hihnojen ja hihnapyörien vaihtoa, voitelua ja laakerien vaihtoa.




Kuva 15. Ilmankäsittelyn elinkaarikustannukset [6, s. 4].

Fläkwoodsin mukaan energiakustannukset näyttelevät puhaltimen eliniän aikana 85 % kokonaiskustannuksista. Kuvan 15 diagrammi havainnollistaa kustannusten jakautumista, diagrammista voidaan nähdä, että investointikustannukset ovat vain noin 10 % kokonaiskustannuksista elinkaaren aikana.

Puhaltimien energiatehokkuutta voidaan arvioida puhaltimen ominaissähkötehon avulla. Ominaissähkötehosta käytetään nimitystä SFP-luku (Specific Fan Power) ja sillä kuvataan puhaltimen tai ilmanvaihtojärjestelmän sähkötehokkuutta. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 antaa vaatimuksia puhaltimien ja ilmanvaihtojärjestelmän sähkötehokkuudelle. Tällä hetkellä voimassaolevan rakentamismääräyskokoelman osan D2 (2010) mukaan puhaltimen SFP-luku tulee olla alle 2,5 kW/($m^3$/s). Puhaltimen uusinnassa kannattaa asettaa tavoitteeksi SFP-luvun alentaminen. SFP-luku on yksinkertainen työkalu vertailtaessa eri valmistajien puhaltimia ja eri puhallin ja moottorikombinaatioita. SPF-luvun laskenta yksittäiselle ilmanvaihtokoneelle tapahtuu seuraavasti;

$$SFP = \frac{P\ tulo + P\ poisto}{q\ max}$$

jossa

SPF on ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho
$P_{tulo}$ on tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW
$P_{poisto}$ on poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW
$q_{max}$ on koneen ilmavirroista suurempi (tulo tai poisto) $m^3/s$

Yksittäiselle puhaltimelle voidaan myös laskea SFP-luku seuraavasti;

$$SFP = \frac{Ppuhallin}{q}$$

jossa

SFP on puhaltimen ominaissähköteho
$P_{puhallin}$ on puhaltimen ottama sähköteho, kW
q on puhaltimen ilmavirta.

Tärkeää on kuitenkin huomata, ettei yksittäiselle puhaltimelle laskettu SFP-luku voi olla 2,5 kW/($m^3$/s), sillä kyseessä on tulo-poistoilma kone. SFP-luku voidaan laskea yhdelle puhaltimelle tässä tapauksessa kun vertaillaan vaihtoehtoja puhallinuusinnalle. Jotta päästäisiin tulo-poistoilmajärjestelmässä yhteensä SFP-lukuun 2,5 kW/($m^3$/s), tulee yksittäisen puhaltimen SFP-luvun olla alle 1,25 kW/($m^3$/s). Näin vanhassa järjestelmässä rakentamismääräyskokoelman vaatimaan arvoon 2,5 kW/($m^3$/s) voi olla vaikeaa päästä pelkällä puhaltimen uusimisella, mutta mitä alemmas päästään, sen enemmän energiaa säästyy. [7, s. 9-10]

Nykyisen puhaltimen SFP-luku on toimintapisteessä 15 $m^3$/s ja 700 Pa seuraava;

$$SFP = \frac{32\ kW}{15\ m3/s} => 2{,}1$$

Tarkasteltujen puhaltimien SFP-luvut olivat taulukon 2 mukaisia.

Taulukko 2. Puhallinvaihtoehtojen SFP-luvut ja verkosta ottama sähköteho.

| *Puhallin* | *Verkosta ottama teho kW* | *SFP-luku* |
|---|---|---|
| Kaavullinen radiaalipuhallin (GXHB) | 22,3 | 1,5 |
| Kaavullinen radiaalipuhallin (GTHB) | 15,7 | 1,0 |
| Kammiopuhallin | 20,7 | 1,4 |
| Kaksi kammiopuhallinta | 17,0 | 1,1 |
| Nykyinen puhallin | 32,0 | 2,1 |

LCC-laskelmat (life cost cycle) tarkastelevat laitteen tai järjestelmän koko elinkaarta, valmistuksesta käytöstä poistamiseen. Laskennan etuna on vaihtoehtojen yhdenmukainen vertailu edullisimman vaihtoehdon löytämiseksi, LCC-laskennat suoritetaan nykyarvomenetelmän kaavalla.

Energiakustannusten nykyarvo = $Q * q * \frac{1}{(i-p)} * \frac{[1+(i-p)]^n - 1}{[1+(i-p)]^n}$

Jossa Q on vuotuinen energiankulutus MWh/a
q on nykyinen energian hinta €/MWh
p on odotettavissa oleva energian hinnan vuotuinen nousu % / 100
i on reaali korkokanta % / 100
n on laskentajakson pituus

Laskennan suorittaminen edellyttää muutamia lähtöarvoja, puhaltimen elinkaarilaskennassa odotettavissa oleva elinkaari määritetään 30 vuoteen ja laskentakorkona käytetään 3 %:a. Energian hintana käytetään sähkösopimuksen mukaista hintaa 30 €/MWh. Jäännösarvoa laitteilla ei oleteta olevan 30 vuoden kuluttua.

## 10.1 Nykyarvo kammiopuhaltimelle

Aiemmin luvuissa 8, 9 ja luku 10:sä määritettiin lähtöarvoja laskennalle. Kammiopuhaltimen ei lasketa tarvitsevan erillistä vuosittaista huoltoa.

$$EN1 = 77{,}5\frac{MWh}{a} * 30\frac{€}{MWh} * \frac{1}{0{,}03 - 0{,}04} * \frac{[1 + (0{,}03 - 0{,}04)]^{30} - 1}{[1 + (0{,}03 - 0{,}04)]\text{^}30} \approx 81\,300\ €$$

## 10.2 Nykyarvo radiaalipuhaltimelle (GXHB)

Radiaalipuhaltimen nykyarvo lasketaan muuten samoin, mutta vuotuisiin käyttökustannuksiin on lisättävä hihnan ja hihnapyörien vaihdot.

$$EN2 = (172\ € + 83{,}5\frac{MWh}{a} * 30\frac{€}{MWh}) * \frac{1}{0{,}03 - 0{,}04} * \frac{[1 + (0{,}03 - 0{,}04)]^{30} - 1}{[1 + (0{,}03 - 0{,}04)]\text{^}30}$$
$$\approx 94\,200\ €$$

Huoltokustannusten nykyarvo on

$$Hihnapyörät = \left[1 + \frac{1}{(1 + 0{,}03)^5} + \frac{1}{(1 + 0{,}03)^{10}} + \frac{1}{(1 + 0{,}03)^{15}} + \frac{1}{(1 + 0{,}03)^{20}} + \frac{1}{(1 + 0{,}03)^{25}} + \frac{1}{(1 + 0{,}03)^{30}}\right] * (350€ + 100€) \approx 2\,100\ €$$

Kokonaiskustannus GXHB-puhaltimelle on siten

$$94\,200\ € + 2\,100\ € = 96\,300€$$

## 10.3 Nykyarvo radiaalipuhaltimelle (GTHB)

GTHB –puhaltimen energiakustannukset lasketaan samoin kuin luvussa 10.2.

$$EN3 = \left(172\ € + 58{,}8\frac{MWh}{a} * 30\frac{€}{MWh}\right) * \frac{1}{0{,}03 - 0{,}04} * \frac{[1 + (0{,}03 - 0{,}04)]^{30} - 1}{[1 + (0{,}03 - 0{,}04)]^{30}}$$
$$\approx 68\,100\ €$$

Huoltokustannusten nykyarvo luvun 10.2 mukaan on

$$Hihnapyörät = \left[1 + \frac{1}{(1 + 0{,}03)^5} + \frac{1}{(1 + 0{,}03)^{10}} + \frac{1}{(1 + 0{,}03)^{15}} + \frac{1}{(1 + 0{,}03)^{20}} + \frac{1}{(1 + 0{,}03)^{25}} + \frac{1}{(1 + 0{,}03)^{30}}\right] * (350€ + 100€) \approx 2\,100\ €$$

Kokonaiskustannus GTHB-puhaltimelle on siten

68 100 € + 2 100 € = 70 200 €

## 10.4 Nykyarvo kahdelle puhaltimelle

Elinkaarikustannusten nykyarvo kahdelle puhaltimelle lasketaan samoin kuin luvussa 10.1. Vuosittaisia muista ratkaisuista poikkeavia huoltokustannuksia ei lasketa syntyvän.

$$EN4 = 63{,}6\frac{MWh}{a} * 30\frac{€}{MWh} * \frac{1}{0{,}03 - 0{,}04} * \frac{[1 + (0{,}03 - 0{,}04)]^{30} - 1}{[1 + (0{,}03 - 0{,}04)]\text{^}30} \approx 67\ 100\ €$$

## 10.5 Yhteenveto elinkaarikustannuslaskennasta

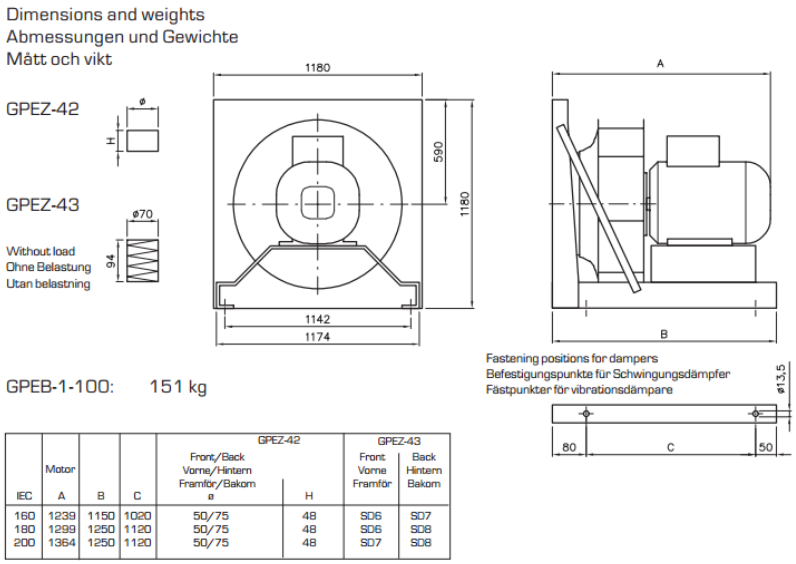
Kun laitteiston koko elinkaarta tarkasteltiin 30 vuoden ajanjaksolta, tultiin lopputulokseen, jossa ilmenee kammiopuhaltimen olevan edullisempi ratkaisu. Investointikustannus kammiopuhaltimelle on 1 800 € suurempi kuin kaavullisella radiaalipuhaltimella, mutta elinkaaritarkastelu osoitti, että laitteiston elinkaaren aikana kammiopuhallin on 15 000 € edullisempi vaihtoehto. Näin ollen säästöä syntyy elinkaaren aikana investointikustannukset vähennettynä 13 200 €. Taulukkoon 3 on koottu yhteenveto eri puhallintyyppien kustannuksista. Vertailun vuoksi taulukkoon on myös laskettu nykyisen puhaltimen energiankulutuksella 30 vuoden energiakustannusten nykyarvo.

Taulukko 3. Eri puhallintyyppien kustannukset.

| *Puhallintyyppi* | *Elinkaari kustannusten nykyarvo* | *Investointikustannus* | *Todellinen kustannus 30 vuoden elinkaaren aikana* |
|---|---|---|---|
| Kammiopuhallin | 81 300 € | 10 500 € | 91 800 € |
| Radiaalipuhallin (vastaava kuin nykyinen) | 96 300 € | 8 700 € | 105 000 € |
| Radiaalipuhallin (GTHB) | 70 200 € | 12 700 € | 82 900 € |
| Kaksi kammiopuhallinta | 67 100 € | 15 200 € | 82 300 € |
| Nykyinen puhallin | 118 600 € | - | - |

## 11 Puhaltimien sovittaminen

Puhaltimien asennuksessa tulee huomioida valmistajien vaatimukset suojaetäisyyksistä. Uusi vastaava radiaalipuhallin sopinee paikalleen sellaisenaan eikä vaadi suojaetäisyyksien tarkastelua. Kammiopuhaltimilla on tiettyjä vaatimuksia puhallinpyörän etäisyydestä edeltävästä koneenosasta ja etäisyydestä puhallinkammion seinään. Kahden kammiopuhaltimen ratkaisussa joudutaan lisäksi rakentamaan väliseinä puhaltimien välille. Puhallinvalmistaja Fläktwoodsilta kerrotaan, että heidän puhaltimissaan on käytettävä suojaetäisyytenä puhallinkammion seiniin siipipyörän puolikkaan mittaa [8]. Kuvasta 16 nähdään GPEB-100 puhaltimen mitat.




| IEC | Motor A | B | C | GPEZ-42 Front/Back Vorne/Hintern Framför/Bakom ø | GPEZ-42 H | GPEZ-43 Front Vorne Framför | GPEZ-43 Back Hintern Bakom |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160 | 1239 | 1150 | 1020 | 50/75 | 48 | SD6 | SD7 |
| 180 | 1299 | 1250 | 1120 | 50/75 | 48 | SD6 | SD8 |
| 200 | 1364 | 1250 | 1120 | 50/75 | 48 | SD7 | SD8 |

Kuva 16. Fläktwoodsin GPEB-100-puhaltimen mitat.

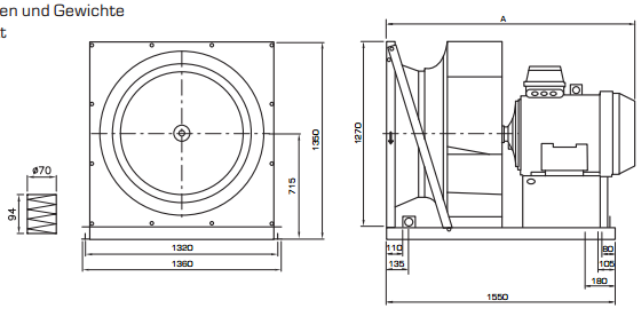
Mittapiirustuksesta ei käy ilmi puhallinpyörän halkaisija, mutta Fläktwoodsilta saatiin tieto, että puhallinpyörän halkaisija on 900 mm [8.]. Puhallin vaatii siis suojaetäisyyttä puolet puhallinpyörän halkaisijasta, tässä tapauksessa 450 mm.

## Technical Data – GPEB-1-125

Dimensions and weights
Abmessungen und Gewichte
Mått och vikt

GPEZ-43

Without load
Ohne Belastung
Utan belastning



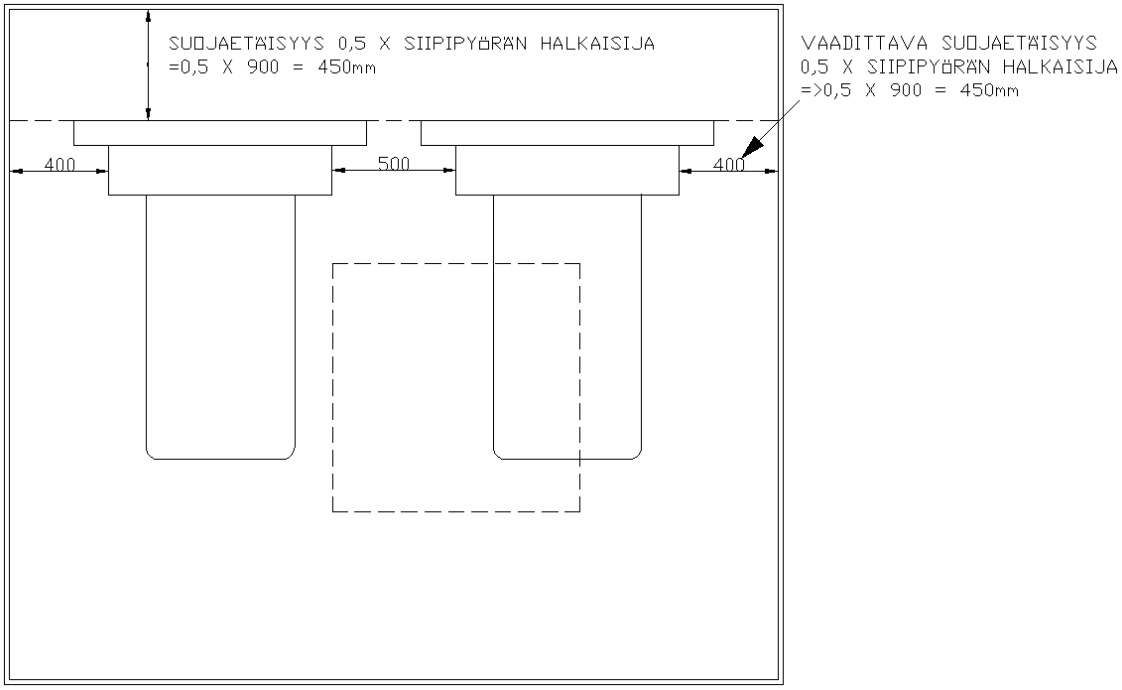

GPEB-1-125: 299 kg

| IEC | A | GPEZ-43 Front Vorne Framför | GPEZ-43 Back Hintern Bakom |
|---|---|---|---|
| 180 | 1415 | SD7 | SD7 |
| 200 | 1485 | SD7 | SD7 |
| 225 | 1550 | SD7 | 2 x SD7 |
| 250 | 1560 | SD7 | 2 x SD7 |

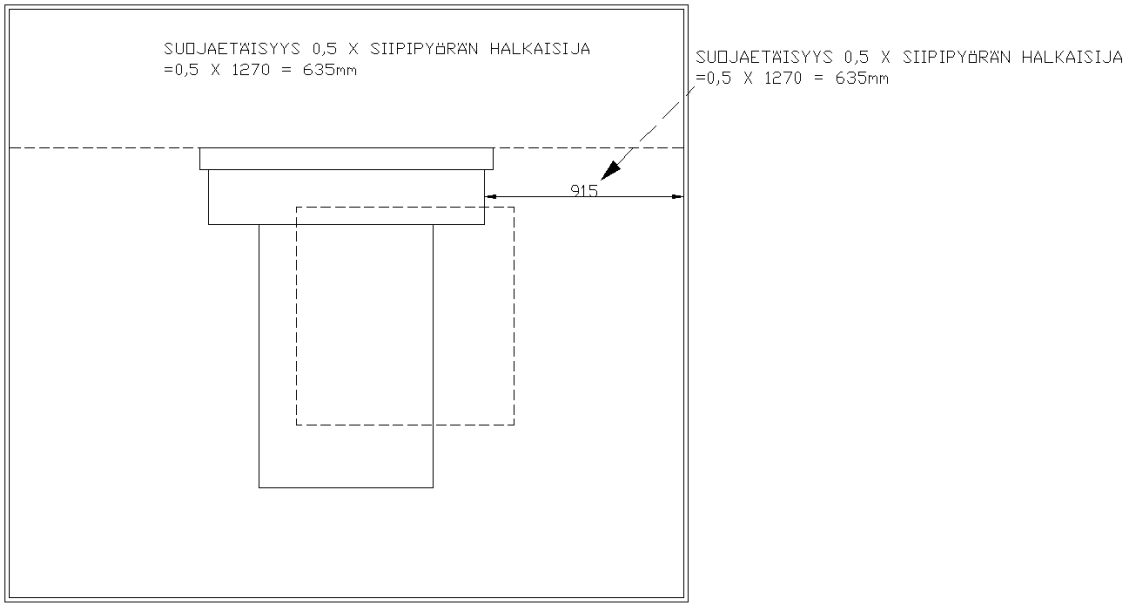
Kuva 17. Fläktwoodsin GPEB-125-puhaltimen mitat.

Kuvan 17 mukaan puhallinkoon 125 puhallinpyörän halkaisija on 1 270 mm, ja siten puhallin vaatii suojaetäisyyttä kammion seiniin 635 mm.

Puhaltimien asettumista puhallinkammioon tutkittiin piirtämällä autocad ohjelmalla laitteet oikeassa mittasuhteessa. Piirroksesta saadaan selville, jääkö suojaetäisyyttä tarpeeksi, ja rinnan käytössä, mahtuvatko puhaltimet vierekkäin puhallinkammioon. Kuvassa 18 on esitetty kaksi GPEB-100-puhallinta mittakaavassa puhallinkammiossa, ja kuvassa 19 vastaavasti yksi GPEB-125-puhallin. Kuvissa on esitetty puhaltimien vaatimat suojaetäisyydet puhallinkammion seinään ja edeltävään koneenosaan. Kuvien keskiosaan katkoviivalla on piirretty puhallinkammion ulospuhallusaukko.




Kuva 18. Mittakaavaan piirrettynä kaksi GPEB-100-puhallinta, puhallinkammioon sijoitettuna.




Kuva 19. Mittakaavaan piirrettynä yksi GPEB-125-puhallin, puhallinkammioon sijoitettuna.

Kuvasta 18 nähdään suojaetäisyyden puhallinkammioon jäävän liian pieneksi. Vaikka puhaltimia siirrettäisiin lähemmäksi toisiaan, niin että reunoille jäisi 450 mm varaa, ei puhaltimien väliin jää riittävää etäisyyttä. Mikäli nykyinen puhallin halutaan korvata

kahdella kammiopuhaltimella, on valittava pienemmät puhaltimet tai etsittävä korvaava pienempi vaihtoehto GPEB-100-puhaltimelle.

Kuvasta 19 voidaan havaita puhaltimen vaatiman suojaetäisyyden riittävän hyvin GPEB-125-puhaltimelle. Välimatkaa siipipyörän reunasta jää 915 mm vaaditun suojaetäisyyden ollessa 635 mm. Puhaltimen korkeudesta ei tule ongelmaa, sillä puhallinkammio on 2 500 mm korkea. Koon 125-puhallin vaatii korkeussuunnassa tilaa 1 350 mm, ja tähän lisätään vielä puhaltimen jalka, joka on korkeudeltaan 500 mm. Koko puhaltimen korkeudeksi saadaan siis 1850 mm.

## 12 Yhteenveto

Laajan vertailun jälkeen saatiin selville, ettei puhallintyyppiä vaihtamalla päästä juurikaan parempaan hyötysuhteeseen. Kammiopuhaltimet eivät osoittautuneet vertailuissa erityisen energiataloudellisiksi. Selkeästi parhaimmalla hyötysuhteella toimii kaavullinen radiaalipuhallin, kunhan puhallinpyörä on oikeanlainen kohteeseen. Insinöörityön aikana ymmärrettiin, ettei valmistajan tarjoama ratkaisu ole välttämättä edullisin puhaltimen elinkaaren kustannuksia verrattaessa. Taulukosta 3 voidaan nähdä, ettei GTHB–radiaalipuhaltimen ja kahden kammiopuhaltimen todellisissa kustannuksissa 30 vuoden elinkaaren aikana ole suuria eroja, vaikka GTHB-puhaltimen hyötysuhde on parempi. Kuitenkin havaittiin kahden kammiopuhaltimen asentaminen puhallinkammioon mahdottomaksi, joten ratkaisu ei ole toteutuskelpoinen. Lisäksi kahden erillisen puhaltimen asentaminen on paljon vaativampi ratkaisu, mikä tekee kaavullisesta puhaltimesta mielekkäämmän ratkaisun.

Insinöörityössä selvitettiin, ettei puhaltimen energiatehokkuus ole suoraan riippuvainen puhallin tyypistä, vaan puhaltimen mitoitus on mietittävä jokaiseen kohteeseen erikseen. Saatiin myös todistettua, etteivät kammiopuhaltimet ole suoraan paras ratkaisu jokaiseen kohteeseen.

## 13 Pohdintaa

Insinöörityössä saavutettiin haluttu tavoite ja saatiin selville, miten Kone Oyj:n tiloihin vaikuttavan 319TK01-ilmankäsittelykoneen puhallin saadaan uusittua edullisesti ja

energiatehokkaasti. Haluttu lopputulos saavutettiin ja päädyttiin kaavullisen puhaltimen valintaan, vaikka tämä valinta tuleekin asennusvaiheessa kalliimmaksi kuin nykyisen vastaavanlaisen puhaltimen hankinta. Vaadittavat mittaukset ja taustatyö eivät olleet turhia.

Olisi mielenkiintoista tehdä tutkimusta siitä, miten paljon Suomessa voitaisiin säästää energiaa jo pelkästään tämän insinöörityön kaltaisissa saneerauksissa. Energiaa voitaisiin säästää huomattavasti lisää tässäkin kohteessa, jos uskallusta riittää valitsemaan alkuperäisestä poikkeava puhallin tai moottori. Tämä vaatisi vielä hieman lisää seurantaa koneen todellisista ilmavirroista ja käyttöpaineista. Kuitenkin itselleni oli yllätys, miten paljon ylimitoitettu todellisuudessa puhaltimen moottori oli. Nykyinen moottori käyttää yhtä paljon sähköä kuin uuden puhaltimen moottori on nimellisteholtaan.

Mielenkiintoista on nähdä, miten puhallinuusinta vaikuttaa koneen toimintaan ja ominaisuuksiin, jos muutostyö päädytään suorittamaan. Jotain tilanteessa on kohta tehtävä, vähintäänkin laakerointityö, jos esitellyt vaihtoehdot eivät ole taloudellisesti mahdollisia.

Yllättävää myös oli, miten passiivista puhallinmyyjien toiminta oli tehdessäni tätä työtä. Lähettämääni sähköpostiin, jossa pyydettiin tarkempaa informaatiota kokemuksista vastaavista saneerauksista, joissa vanha puhallin on uusittu taajuusmuuttajakäyttöiseksi kammiopuhaltimeksi, ei kumpikaan kahdesta suuresta puhallinvalmistajasta vastannut. Samoin olin hieman pettynyt saamiini tarjouksiin, pyysin huomioimaan suuren hyötysuhteen ja äänentuoton puhaltimen mitoituksessa, mutta näihin ei oikeastaan paljonkaan kiinnitetty huomiota. Jäin itse ehdottomasti suuremman puhallinkoon kannalle kuin puhallinmyyjä tarjosi.

Kuitenkin loppuun todettakoon työn olleen minulle erittäin opettavainen, vielä kun olisi löytynyt todellisia asiantuntijoita puhallintekniikasta, työstä olisi varmasti jäänyt vielä enemmän käteen. Olen varma, että vastaavanlaisia töitä minulle tulee vielä runsaasti eteen, ja nyt tiedän, miten valitaan energiatehokkain ratkaisu.

## Lähteet


1. Fläktwoods Oy. 2010. Tekninen käsikirja, ilmankäsittelykoneet.

2. Parkkinen Tapani. 2012. Lemminkäinen Talotekniikka Oy, projektipäällikkö. Keskustelut 20.2-20.3.2012

3. Monipistemenetelmä. 2012. Verkkodokumentti <http://ilmastointitekniikka.wikispaces.com/Monipistemenetelma luettu 29.2.2012>

4. Kuvalähde Onninen Oy verkkokauppa 2012. Verkkodokumentti <http://onninen.procus.fi/documents/tn800/12582/4/0/PITOT.jpg>. Luettu 20.3.2012

5. Hyvärinen, Juhani. 2006. Sairaalatekniikan päivät Jyväskylässä 7–8.2.2006 luentoaineisto. Verkkodokumentti < http://www.flaktwoods.com/dfe8d0d8-9af5-4ec6-8dca-95e79283eb4a.%2015.12.2010>. Luettu 4.3.2012

6. Tuhansissa ilmanvaihdon konehuoneissa jyllää ahne sähkösyöppö. 2011. Fläktwoods. Verkkodokumentti <http://stage.fwg.fwgfi.bluerange.se/efd77035-9a91-4b0c-bac2-af258e1b7109> 2011. Luettu 20.3.2012

7. LVI-talotekniikkateollisuus ry, SFP-opas. 2009. Verkkodokumentti. <teknologiateollisuus.fi/file/5965/sfpopas3_060709.pdf.html>. Luettu 28.3.2012

8. Puhelinkeskustelut Fläktwoodsin puhallinmyynnin kanssa 28.3-2.4.2012.

9. Taniplan Oy:n markkinointimateriaali 2012. Verkkodokumentti <http://www.taniplan.fi/userData/taniplan-ky/radiaalipuhaltimet-pdf/Comefri-vaihtopuhaltimet-2010.pdf>

Mittaussuunnitelma

# Mittaussuunnitelma

## Ilmanvaihtokoneen energiankulutuksen, tehontarpeen ja paineenkorotuksen mittaamiseksi.

| Puhaltimen moottorin tiedot: | Puhaltimen tiedot: |
|---|---|
| 3x400v | 21-10 m3/s |
| 83-15 kW | Pa |
| hihnakäyttö | hihnakäyttö |

## Puhaltimen moottorin tehontarve ja energiankulutus mitataan seuraavasti:

Verkkoanalysaattoria käyttäen mitataan kaikkien kolmen vaiheen kuormitusta, virtapiikit, energian määrä. Mittaus tehdään ryhmä-keskuksesta laitteen syöttöjohdoista heti kontaktorin jälkeen. Myös loistehon määrää arvioidaan.

## Puhaltimen paineenkorotus mitataan seuraavasti:

Paine-ero mittaria käyttäen mitataan paineenkorotus puhaltimen yli.

## Mittausten edellyttämät olosuhteet:

Puhallin toimii normaalisti tavanomaisen käyttöaikansa piirissä, sekä tavanomaisissa olosuhteissa vuodenaikaan nähden.

## Mittaustulokset:

| Puhallinmoottori: | | Puhallin: | |
|---|---|---|---|
| Suurin teho_ | 37,0 kW | saatu paine ero. | 870,0 Pa |
| Virrankulutus_ | 55,5 A | | |
| Loisteho_ | Patteri rikki, tulosta ei saatu | | |