

Mikko Lång

ENERGIATEHOKAS PUHALLINMUUTOS

ENERGIATEHOKAS PUHALLINMUUTOS

Mikko Lång
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Energiatekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikka

Tekijä: Mikko Lång

Opinnäytetyön nimi: Energiatehokas puhallinmuutos

Työn ohjaaja: Timo Kiviahde ja Ilkka Alatalo

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017 Sivumäärä: 55

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä Excel-työkalu, joka helpottaisi ilmanvaihtopuhallinmuutosten tarjoustyötä, mahdollistaisi ilmanvaihtopuhaltimien vertailun ja laskisi ilmanvaihtopuhaltimien takaisinmaksuajan. Työ tehtiin kevään 2017 aikana, Caverion Suomi Oy:n Oulun toimipisteeseen.

Työssä perehdyttiin puhaltimiin, sähkömoottoreihin ja eri puhallinvalmistajien tekemiin puhallinvalintatyökaluihin. Työn alkuperäinen aihe muuttui huomattavasti työn edetessä. Tähän vaikutti työhön varattu aika, valmistajien tekemät työkalut ja osin henkilökunnan kiireisyys. Excelillä toteutetun työkalun osana otettiin käyttöön ZIEHL-ABEGGIN FANselect-puhallinvalintatyökalu. FANselect mahdollisti puhallinten valinnan ZIEHL-ABEGGIN tuotekatalogista, puhallinten vertailun sekä tarvittavien tietojen hyötykäytön Excel-työkalun puhallinten vertailussa.

Puhallinten energiatehokkuuden vertailu on usean muuttujan summa ja vaatii vertailijalta vankkaa tietotaitoa aiheesta. Yksiselitteistä vertailua on hankala toteuttaa, joten tuloksia tulee osata tulkita sen mukaan, minkä syyn pohjalta puhallinta ollaan hankkimassa ja mitkä kohdat halutaan priorisoida tärkeimmiksi. Sähkömoottoreita voi sen sijaan vertailla konkreettisemmin häviöiden, hyötysuhteen sekä käyntiajan suhteen. Täten Excel-työkalussa lähestyttiin puhallinten energiatehokkuuden vertailua, sähkömoottoreiden verkosta ottaman virran ja sen akselitehon kautta.

Asiasanat: ilmanvaihtopuhallin, saneeraus, energiatehokkuus, sähkömoottori

ALKULAUSE

Haluan kiittää työn ohjaajana toiminutta lehtori Timo Kiviahdetta opastuksesta työn aikana. Opinnäytetyön aiheesta kiitän Caverion Suomi Oy:n Markku Herteliä ja Ilkka Alataloa.

Oulussa 2.5.2017

Mikko Lång

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	1
SISÄLLYS	3
SANASTO	5
1 JOHDANTO	6
2 CAVERION SUOMI OY	7
3 ILMANVAIHTOPUHALTIMET	9
3.1 Puhallintyytit	9
3.2 Radiaalipuhallin	10
3.2.1 Kammiopuhallin	11
3.2.2 Kaavullinen radiaalipuhallin	11
3.3 Aksiaalipuhallin	12
3.4 Aksiaali- ja radiaalipuhallinten vertailu	13
3.5 Siipien muoto	18
3.5.1 Radiaalipuhallin, taaksepäin suunnatut	19
3.5.2 Radiaalipuhallin, eteenpäin kaartuvat ”siroccosiivet”	22
3.5.3 Radiaalipuhallin, suorat säteensuuntaiset siivet	23
3.6 Puhaltimen liittäminen kanavistoon	23
3.6.1 Liitântätapa B	24
3.6.2 Liitântätapa C	25
3.6.3 Liitântätapa D	26
3.7 Puhaltimen voimansiirtojärjestelmä	28
3.7.1 Suora käyttö	28
3.7.2 Hihnakäyttö	29
4 SÄHKÖMOOTTORIT	30
4.1 Hyötysuhde	30
4.2 Oikosulkumoottori	32
4.3 EC-moottorit	34
4.4 PM-moottorit	35
5 ILMAVAIHTOPUHALTIMEN SANEERAUS	36
5.1 Toimintapiste	37
5.1.1 Toimintapisteen määrittäminen dokumentaatiosta	38

5.1.2 Toimintapisteen määrittäminen kilpitiedoista	38
5.1.3 Toimintapisteen määrittäminen mittaamalla	39
6 ZIEHL-ABEGG	43
6.1 Yritys	43
6.2 FANselect-puhallintyökalu	43
6.3 FANselectin käyttö	44
7 TARJOUSTYÖHÖN RÄÄTÄLÖITY TYÖKALU	46
7.1 Tarve	46
7.2 Rakenne	46
7.2.1 Tarjouspyyntö	46
7.2.2 Puhallinvertailu	47
7.2.3 Asiakkaalle	50
8 POHDINTA	51
LÄHTEET	54

SANASTO

$\cos\varphi$	Vaihekulma [-]
I	Virta [A]
IE	International Efficiency
P	Teho [W]
P_A	Akseliteho [W]
P_{input}	Koneeseen tuleva teho [W]
P_L	Moottorin kuormalle antava teho [W]
P_{output}	Koneesta ulos tuleva teho [W]
P_{sys}	Moottorin ottama teho sähköverkosta [W]
p_d	Dynaaminen Paine [Pa]
p_s	Staattinen paine [Pa]
p_{tF}	Kokonaispaine [Pa]
q_v	Tilavuusvirtaus [m ³ /s]
U	Jännite [V]
v	Virtausnopeus [m/s]
η	Hyötysuhde [-]

1 JOHDANTO

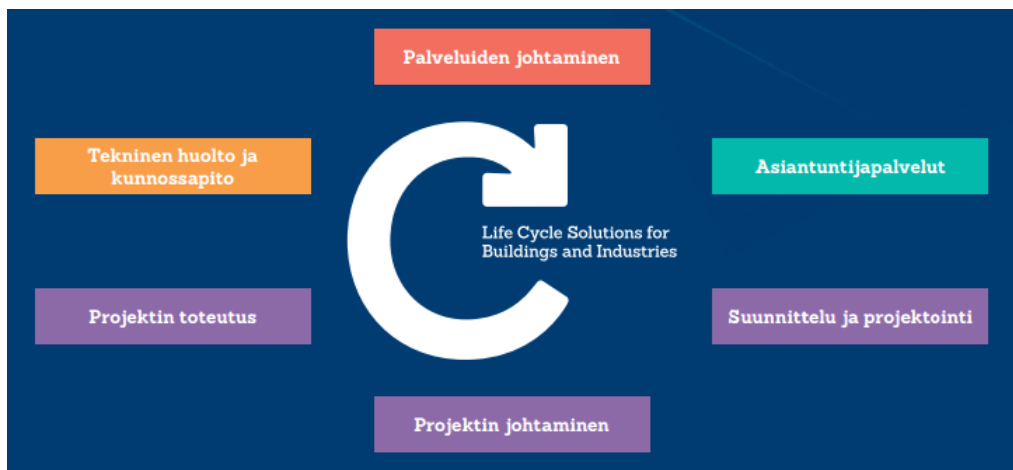
Opinnäytetyön aiheena on Caverion Suomi Oy:n tekemissä saneeraustöissä vaihdettavien ilmastovaihtopuhaltimien energiatehokkuuden vertailu tarjoustilanteessa. Työ tehtiin Caverion Suomi Oy:n toimeksiannosta. Työn alkuperäinen tavoite oli tehdä työkalu ja tietopankki energiatehokkaista puhallinvaihtoehdoista, joilla nykyiset kiinteistöjen ilmanvaihtopuhaltimet voidaan korvata. Työkalun oli tarkoitus ehdottaa korvaavaa puhallinta ja laskea säästö sekä investointi vaihtotyölle. Lopputuloksena työkalu tuottaa valmiin asiakkaalle annettavan esityksen. Työn aihe keskittyy kiinteistöjen puhallinmuutostyöhön, joten teoria käsittelee rakennusten ilmanvaihtopuhaltimien näkökulmasta.

Ennen 2000-lukua asennetut puhaltimet ovat pääosin hihnäkäyttöisiä ja toimivat vanhoilla oikosulkumoottoreilla. Tekniikka on edistynyt puhallinpyörissä, sähkömoottoreissa sekä niiden ohjauksessa niin paljon, että on kannattavaa investoida uusi energiatehokkaampi puhallin. Lisäksi hihnäkäyttöinen puhallin vaatii enemmän huoltotyötä kuin suoravetoinen malli sekä siitä syntyy hihnapölyä, mikä huonontaa ilmanlaatua.

Sähkön käytön osuus vie 60 % tyypillisen toimistorakennuksen energiankulutuksesta. Ilmanvaihtopuhaltimien osuus tästä voi olla jopa 30 %. Säästöpotentiaalia on siis huomattavasti.

2 CAVERION SUOMI OY

Caverion syntyi kesäkuussa 2013 kiinteistötekniikan ja teollisuuden palveluiden irtautuessa YIT-konsernista itsenäiseksi konsernikseen. Osana YIT:tä Caverionin historia ulottuu vuoteen 1912, jolloin ruotsalainen Allmänna Ingeniörsbyrån (AIB) perusti Helsinkiin sivutoimipisteen. Vuosien saatossa YIT kasvoi Suomen johtavaksi vesihuoltolaitosten, vedenhankintajärjestelmien ja vesijohtoputkien rakentajaksi. 1970-luvulla YIT alkoi tarjota myös kiinteistöjen huoltoa ja kunnossapitoa sekä hieman myöhemmin teollisuuden putkistojen kunnossapitoa. Tässä liiketoiminnassa ovat myös nykyisen Caverionin kiinteistötekniikan palvelujen ja teollisuuden palveluiden juuret. (1.)



KUVA 1. Caverion Suomi (1)

Caverion suunnittelee, toteuttaa, huoltaa ja ylläpitää käyttäjäystävällisiä ja energiatehokkaita teknisiä ratkaisuja kiinteistöille, teollisuudelle ja infrastruktuurille. Palveluita käytetään toimistoissa, asunnoissa, teollisuuslaitoksissa ja julkisissa rakennuksissa sekä infrastruktuurissa (kuva 1). Tavoitteena on varmistaa liiketoiminnan häiriöttömyys ja turvallisuus, terveelliset ja viihtyisät olosuhteet, kiinteistön optimaalinen toiminta ja kustannushallinta. Visiona on olla yksi alan johtavista toimijoista Euroopassa ja tarjota kiinteistöille ja teollisuudelle edistyneitä ja kestäviä elinkaariratkaisuja. Vahvuudet ovat teknologinen osaaminen ja laajat

palvelut, jotka kattavat kaikki tekniset osa-alueet kiinteistöjen ja teollisuuslaitosten koko elinkaaren ajan. Vuoden 2016 liikevaihto oli noin 2,4 miljardia euroa. Caverionilla on noin 17 000 työntekijää 12 toimintamaassa Pohjois-, Keski- ja Itä-Euroopassa. (1.)

3 ILMANVAIHTOPUHALTIMET

Puhaltimen voidaan sanoa olevan yksi keskeisimmistä osista ilmankäsittelyjärjestelmässä. Puhallin liikuttaa ilmaa ulkoa tai sisältä läpi kanaviston ja erilaisten ilmankäsittelyprosessien. (2, s. 147.)

Puhaltimen tärkeimmät osat ovat moottori ja siipipyörä. Moottorin pyöritäessä siipipyörää siivet tekevät työtä ilmaan niin, että ilman virtausnopeus ja paine kasvavat. Ilmavirran kanavistossa aiheuttama painehäviö vastaa aina puhaltimen kehittämää paineenkorotusta, eli puhallin asettuu aina automaattisesti tasapainotilaan kanaviston kanssa. Kanaviston kokonaispaine koostuu staattisesta sekä dynaamisesta paineesta. Dynaamisen paineen osuutta pyritään minimoimaan, koska siitä syntyy ääntä ja häviöitä. (3, s. 174.)

Puhaltimen ilmavirtaa voidaan säädellä muuttamalla puhaltimen pyörimisnopeutta. Tämä tapahtuu joko valitsemalla hihnakäytön välityssuhde sopivaksi tai säätämällä moottorin pyörimisnopeutta taajuusmuuttajalla. (3, s.174.)

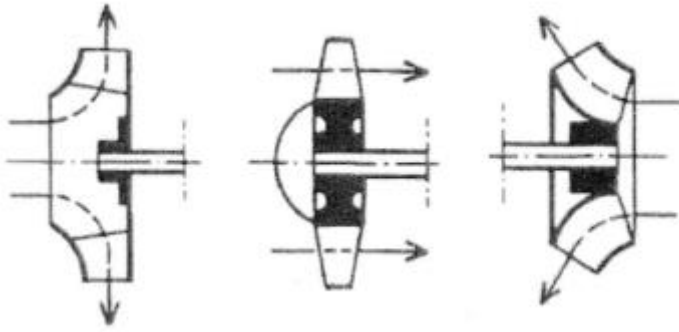
3.1 Puhallintyytit

Perinteisesti puhallintyytit voidaan jakaa kolmeen ryhmään

1. radiaalipuhaltimiin
2. aksiaalipuhaltimiin
3. puoliaksiaalipuhaltimiin.

Aksiaalipuhaltimessa ilma virtaa puhaltimen läpi siipipyörän akselin suuntaisesti (2, s. 148).

Puoliaksiaalipuhallin on näiden välimuoto, jossa ilma lähtee siipipyörästä vinosti askeliin nähden. Kuvassa 2 näkee visuaalisesti demonstroituna eri puhaltimien virtauksen kulkusuunnan.



KUVA 2. Radiaali-, aksiaali ja puoliaksaalipuhaltimen virtauksen kulkusuunta (2, s.148)

Kaikkia näitä kolmea puhallintyyppiä käytetään ilmavaihtolaitoksissa. Ilmankäsittelykoneissa selvästi yleisin on radiaalipuhallin, kaavulla tai ilman. Yksittäisinä puhaltimina käytetään eniten aksiaalipuhaltimia, joilla on pieni asennuksen tilantarve. Puoliaksaalipuhaltimia on käytössä vähiten. Jakoperuste on periaatteessa selkeä, mutta on myös puhaltimia, joissa esimerkiksi siipipyörä on radiaalinen ja ilmavirta suunnataan puhaltimelta eteenpäin puoliaksaalipuhaltimen tapaan. (2, s. 148.)

3.2 Radiaalipuhallin

Myös keskipakoispuhaltimiksi kutsuttuja radiaalipuhaltimia on käytetty aiemmin ilmankäsittelykoneissa hihnakäyttöisinä. Nykyisin radiaalipuhaltimia käytetään lähes yksinomaan suorakäyttöisinä kammiopuhaltimina. (3, s. 201.)

Radiaalipuhaltimessa ilma tulee puhaltimeen siipipyörän akselin suuntaisesti mutta lähtee puhaltimesta suuntaan, joka on akselia vastaan kohtisuora. Ilman imu- ja paineaukot ovat näin ollen toisiinsa nähden suorassa kulmassa. Kaavullisessa radiaalipuhaltimessa ilma lähtee yhteen suuntaan ja kammiopuhaltimesta joka puolelle. (2, s. 148.)

3.2.1 Kammiopuhallin

Kammiopuhallin on suorakäyttöinen, eli sen siipipyörä on asennettu suoraan moottorin akselille, eikä puhaltimella ole kaapua. Kammiopuhaltimessa on yleisimmin taaksepäin kaartuvat siivet. Kammiopuhaltimessa ei tapahdu staattisen paineen nousua, kuten kaavullisella ja tästä johtuen sen hyötysuhde on kaavullista alhaisempi. Kammiopuhaltimen pyörän rakenne muodostaa laajenevan diffuusorin, joka osaltaan pienentää tätä puutetta. Puhallinpyörästä ilma tulee suoraan puhaltimen sijaitsemaan kammioon. Kammiossa ilman nopeus pienenee, joten seuraava toiminto-osa voi sijaita hyvin lähellä puhallinta. (3, s.176.)

Kammiopuhallin on syrjäyttänyt kaavullisen radiaalipuhaltimen lähes kokonaan ilmankäsittelykoneissa. Kammiopuhaltimesta puuttuu huoltoa vaativa hihnäkäyttö, josta irtoaa ilmanlaatua huonontavaa kumipölyä. Avoimen rakenteen takia se on helpompi asentaa, huoltaa ja puhdistaa. Suorakäyttöinen kammiopuhallin on myös helpompi tasapainottaa värinättömäksi, koska puhallin, moottori ja sen asennusalusta tasapainotetaan yhtenä kokonaisuutena. (3, s.176.)

3.2.2 Kaavullinen radiaalipuhallin

Kaavullinen radiaalipuhallin oli käytännössä ainoa puhallintyyppi ilmakäsittelykoneissa, ennen kuin kammiopuhaltimet yleistyivät. Puhaltimen spiraalikaapu toimii optimaalisena diffuusorina muuntaen ilmavirran nopeuden energiaa staattiseksi paineeksi. Tästä johtuen puhaltimella saavutetaan korkeita hyötysuhteita. Kaavullisessa radiaalipuhaltimessa moottori on asetettu puhaltimen viereen, jotta tilantarve pituussuunnassa olisi mahdollisimman pieni. (3, s. 176.)

Puhallin sopii kaikkensuuruisille ilmavirroille. Kaavullinen radiaalipuhallin soveltuu kuitenkin erityisen hyvin suurille ilmavirroille, joissa sähkötehon tarpeella ja hyötysuhteella on suuri merkitys. (3, s. 177.)

Radiaalipuhaltimen yleisimmät siipityypit ovat

- taaksepäin suunnatut ja taaksepäin kaartuvat siivet
- taaksepäin suunnatut ja suorat siivet
- taaksepäin suunnatut ja eteenpäin kaartuvat siivet
- eteenpäin kaartuvat ”siroccosiivet”
- suorat säteensuuntaiset siivet

3.3 Aksiaalipuhallin

Aksiaalipuhallin koostuu sylinterimäisestä kaavusta ja siipipyörästä, joka on yleensä asennettu oikosulkumoottorin akselille, sekä moottorin kiinnityksistä. Siipipyörä koostuu navasta ja siipipyörän lavoista, jotka voivat olla kiinteät tai säädettävät. Siipipyörä saa ilman virtaamaan pyörivässä liikkeessä aksiaalisesti lieriön läpi. Potkurin navan kokoa ja lapojen lukumäärää vaihtelemalla saadaan optimoitua hyvä hyötysuhde ja matala äänitaso halutuille toiminta-alueille. (3, s. 197.)

Aksiaalipuhallin tuottaa kokoonsa ja painoonsa nähden suuren ilmavirran, mutta paineenkehitys voi rajoittaa käyttöä korkeapaineisissa laitoksissa. Aksiaalipuhaltimia on kuitenkin paljon eri kokoisia. Pienimmät varsinaiset aksiaalipuhaltimet ovat sisähalkaisijaltaan 0,315 m ja suurimmat yli 3 m. Aksiaalipuhallin on myös ainoa puhallintyyppi, jolla voidaan vaihtaa ilmavirran puhallussuunta vaihtamalla vain potkurin pyörimissuuntaa. (3, s. 198.)

Moniportaiset aksiaalipuhaltimet

Aksiaalipuhaltimien sarjakäyttö on tuotteistettu jo vuosikymmeniä sitten korkeamman paineenkehityksen saavuttamiseksi. Kahden puhaltimen sarjakäytössä eli 2-portaisessa puhaltimessa potkurit ovat yleensä erikätisiä eli pyörivät vastakkaisiin suuntiin. Näin saavutetaan noin 2,7-kertainen staattisen paineen korotus teoreettisen sarjakäytön verrattuna. Mikäli kuitenkin 2-portaisesta puhaltimesta (kuva 3) käytetään vain toista siipipyörää, niin toinen pyörii vapaasti il-mavirrassa ja saavutetaan noin 2/3 kokonaisilmavirrasta. (3, s. 198–199.)



KUVA 3. Kaksiportainen aksiaalipuhallin (4)

3.4 Aksiaali- ja radiaalipuhallinten vertailu

Puhallinten suorituskyvyn vertailu onnistuu dimensiottomien ominaislukujen φ , ψ ja λ avulla. Ominaisluvut ovat tiheydestä, pyörimisnopeudesta ja puhallinsuuruudesta riippumattomia. (5, s. 38.)

Ominaisluvut lasketaan puhaltimen mitoista ja suoritusarvoista kaavojen 1–3 mukaisesti ja ominaisuuksien välillä vallitsee kaavan 4 mukainen yhteys (5, s. 38).

Tilavuusvirtaluku:

$$\varphi = \frac{q_{v1}}{u \cdot A_s} = \frac{4}{\pi^2 \cdot n \cdot D^3} \cdot q_{v1}$$

KAAVA 1

missä,

q_v = tilavuusvirtaus [m³/s]

u = siipipyörän kehänopeus [m/s]

A_s = siipipyörän akselinsuuntainen projektiopinta-ala [m²]

n = pyörimisnopeus [1/s]

D = siipipyörän halkaisija siipien kohdalla [m]

Paineluku:

$$\psi = \frac{p_{tF}}{(\rho_1/2) \cdot u^2} = \frac{2}{\pi^2 \cdot n^2 \cdot D^2 \cdot \rho_1} \cdot p_{tF}$$

KAAVA 2

missä,

p_{tF} = kokonaispaine [Pa]

ρ = tiheys [kg/m³]

u = siipipyörän kehänopeus [m/s]

n = pyörimisnopeus [1/s]

D = siipipyörän halkaisija siipien kohdalla [m]

Teholuku:

$$\lambda = \frac{P_R}{u \cdot A_s \cdot \left(\frac{\rho_1}{2}\right) \cdot u^2} = \frac{8}{\pi^4 \cdot n^3 \cdot D^5 \cdot \rho_1} \cdot P_R$$

KAAVA 3

missä,

u = siipipyörän kehänopeus [m/s]

A_s = siipipyörän akselinsuuntainen projektiopinta-ala [m²]ρ = tiheys [kg/m³]

u = siipipyörän kehänopeus [m/s]

n = pyörimisnopeus [1/s]

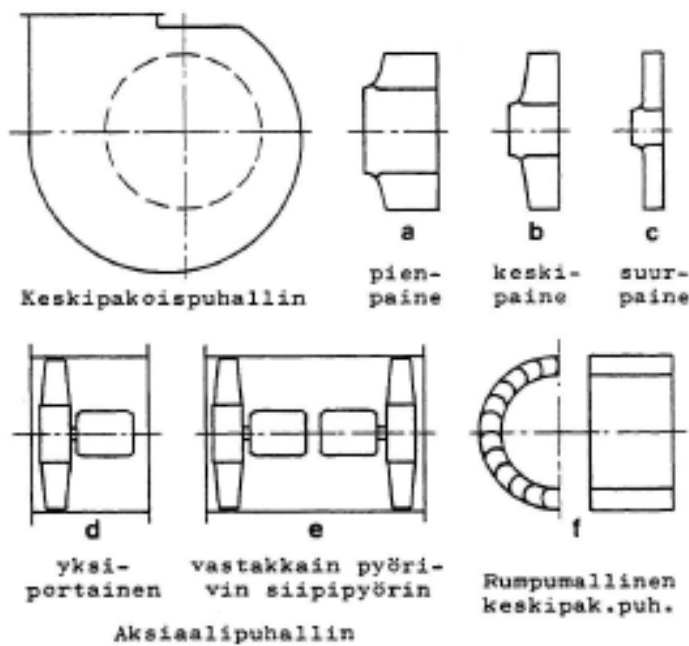
D = siipipyörän halkaisija siipien kohdalla [m]

Ominaisuuksien välinen yhteys:

$$\eta = \frac{\varphi \cdot \psi}{\lambda}$$

KAAVA 4

Ominaisluvuista piirretyt käyrät $\psi = f(\varphi)$ ja $\lambda = f(\varphi)$ ovat tietylle puhallintyypille kuuluvia ominaiskäyriä ja niistä voi laskea tietyn tiheyden, pyörimisnopeuden tai puhallinkoon ratkaisemalla yhtälöistä q_{V1} :n, p_{tF} :n tai P_R :n. Kuvassa 4 on esitelty tavallisimpia puhallin- ja siipipyörätyyppejä. Näiden suhteellisesta suorituskyvystä antaa käsityksen kuvan 5 diagrammit. Käyrät ovat valittuja tyyppiesimerkkejä, eri valmistajien saman tyyppisten tuotteiden välillä voi olla suuriakin eroja. Jokaiselle käyrälle on merkitty hyötysuhteen maksimiarvo ja arvioitu suuruus. (5, s. 38.)

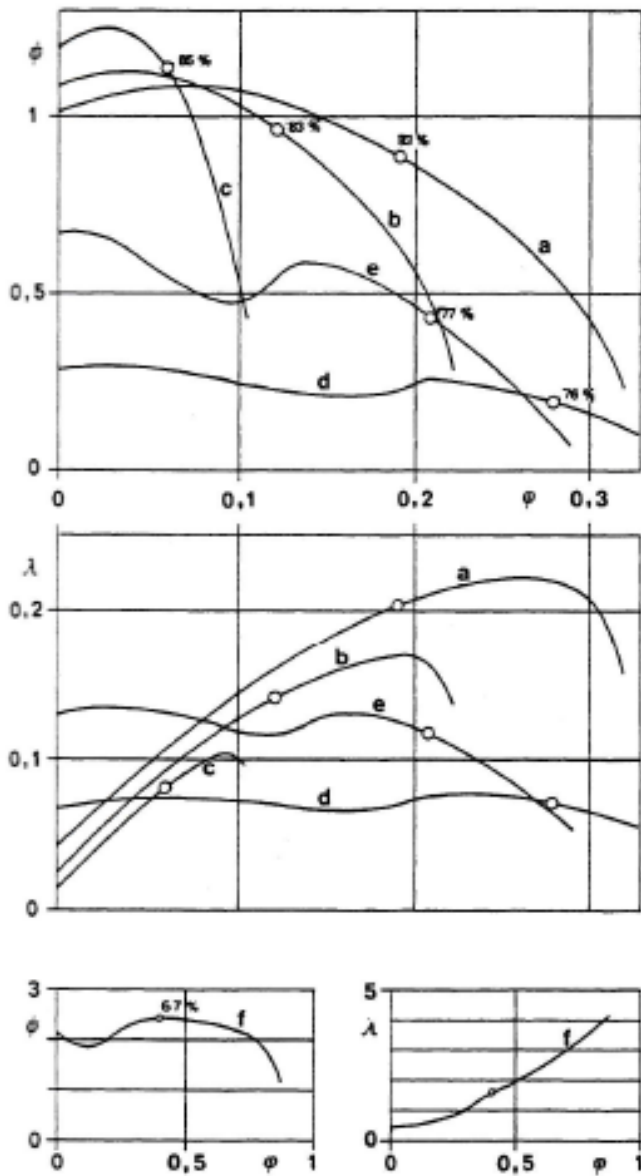


KUVA 4. Tavallisimpia puhallin- ja siipipyörätyyppejä. (5, s. 38.)

Suoritusarvoihin vaikuttavat suorituskyvyn lisäksi oleellisesti maksimikehänopeuksien suuret erot, suorituskykyeron lisäksi. Maksimikehänopeuksien erot johtuvat lähinnä siipipyörän rakenne-eroista. (Kuva 5.)

Tavanomaisia maksimikehänopeuksia ovat

- a: 60 - 70 m/s
- b: 90 - 110 m/s
- c: 110 - 130 m/s
- d: 70 - 90 m/s
- e: 70 - 90 m/s
- f: 25 - 30 m/s (5, s. 39).



KUVA 5. Ominaiskäyrien vertailua (5, s. 39)

3.5 Siipien muoto

Siiven muodosta johtuu pääasiallisesti mm. puhaltimen paineen ja äänen tuotto sekä hyötysuhde. Tyypillinen hyvin karkea käyttöalueen jako on, että radiaali-puhaltimia käytetään silloin, kun tarvitaan korkeaa paineen tuottoa, ja aksiaali-puhaltimia silloin, kun tarvitaan vähäistä paineen tuottoa ja paljon ilmavirtaa. Siipien muotoilulla pyritään saamaan puhaltimien toiminta-arvot huippuunsa optimialueella sen mukaan, halutaanko

- matala-, keski-, tai korkeapaine
- pieni tai suuri ilmavirta
- terävä tai laakea käyttöalue. (2, s. 148.) (Taulukko 1.)

TAULUKKO 1. Puhaltimien paineluokat. (5, s. 38.)

Paineluokka	PtF [Pa] $\rho = 1,20 \text{ kg/m}^3$	Tiheyden muuttumisen huomioonotto
Pienpaine	< 720	Ei tarpeen
Keskipaine	720 - 3600	Riippuu halutusta tarkkuudesta
Suurpaine	> 3600	Välttämätöntä

Siipipyörän siipien sisäreuna voi suuntautua säteeseen nähden taaksepäin tai suoraan. Siivet voivat kaartua eli olla taivutettuja virtaussuuntaan nähden eteenpäin tai taaksepäin, mutta siivet voivat olla myös suorat. (2, s. 148.)

Aksiaalipuhaltimen yleisimmin käytettyjä siipityyppejä ovat

1. virtausteknisesti muotoillut siivet
2. symmetriset siivet (2, s. 148).

3.5.1 Radiaalipuhallin, taaksepäin suunnatut

Taaksepäin suunnatut siivet voivat olla tasapaksuja, profiloituja tai aerodynaamisesti muotoiltuja. Tasapaksuilla siivillä voidaan painonsa vuoksi käsitellä kohdallaisesti epäpuhtauksia sisältävää ilmaa. Profiloituilla saavutetaan hieman parempi hyötysuhde. (2, s. 149.)

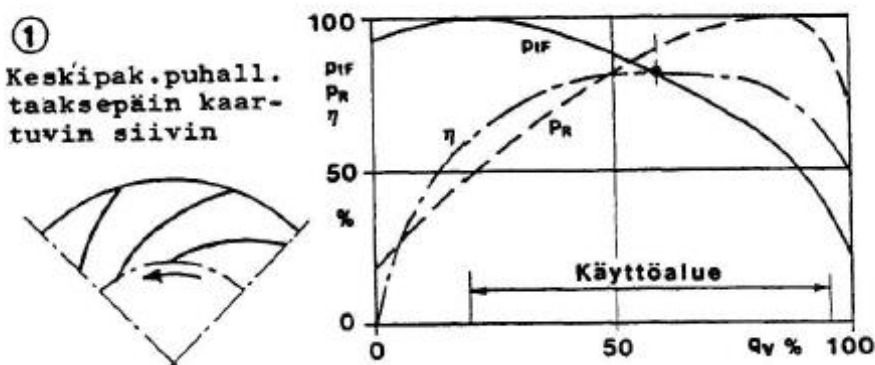
Taaksepäin kaartuvat siivet

Taaksepäin kaartuvalla siipipyörällä saavutetaan hyvä hyötysuhde ja staattinen paineen korotus. Aerodynaamisesti muotoilulla siivellä hyötysuhde on paras ja melun tuotto pienin. Tukeva rakenne sallii korkeat maksimipyörimisnopeudet, kapealla ja suhteessa halkaisijaltaan suurella pyörällä saadaan ilmavirtaan nähden suurin paineenkorotus. (Kuva 4.) (2, s. 149.)



KUVA 4. Taaksepäin suunnatut -, taaksepäin kaartuvat- ja taaksepäin kaartuvat airfoil-siivet (6)

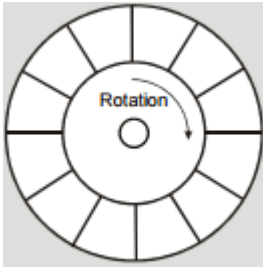
Kuvassa 5 on nähtävissä taaksepäin kaartuvien siipien suoritusarvokäyrä.



KUVA 5. Suoritusarvokäyrä taaksepäin kaartuville siiville (5, s. 39)

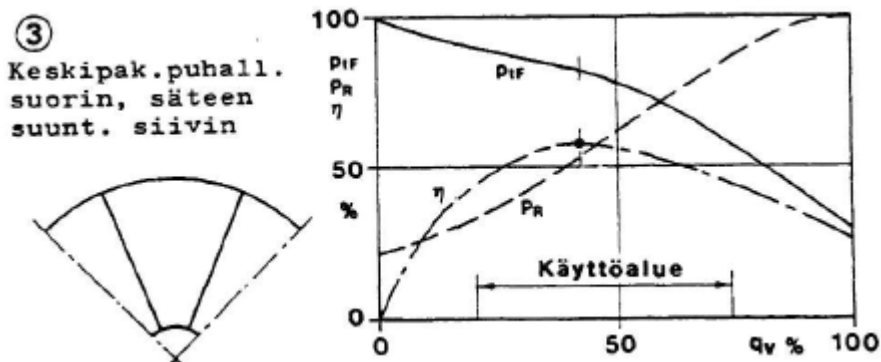
Suorat siivet

Siipipyörällä, jossa on suorat siivet, on taaksepäin kaartuvia siipiä huonompi hyötysuhde, mutta se sietää jonkin verran epäpuhtauksia sisältävää ilmaa (2, s.149) (kuva 6).



KUVA 6. Suorat siivet (6)

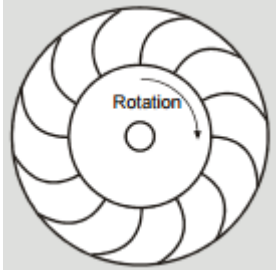
Kuvassa 7 on nähtävissä suorien säteen suuntaisten siipien suoritusarvokäyrä.



KUVA 7. Suoritusarvokäyrä suorille säteen suuntaisille siiville. (5, s. 39.)

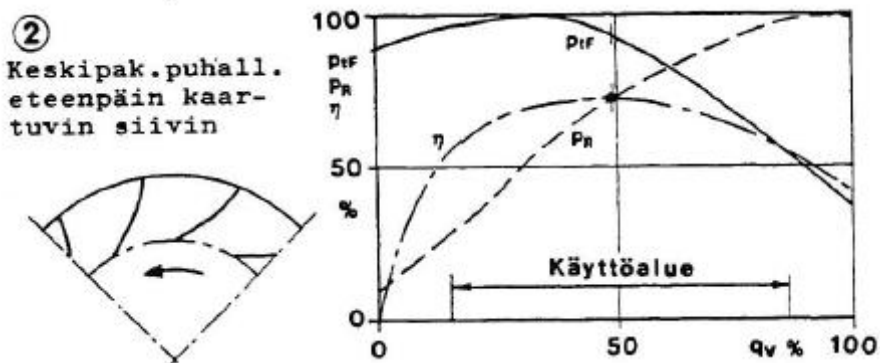
Eteenpäin kaartuvat siivet

Eteenpäin kaartuvilla siivillä on taaksepäin kaartuvia siipiä huonompi hyötysuhde ja suurempi melun tuotto. Siipityyppiä kutsutaan "itsepuhdistavaksi", koska se sietää epäpuhtauksia sisältävää ilmaa. (2, s. 149.) (Kuva 8.)



KUVA 8. Eteenpäin kaartuvat siivet (6)

Kuvassa 9 on nähtävissä eteenpäin kaartuvien siipien suoritusarvokäyrä.



KUVA 9. Suoritusarvokäyrä eteenpäin kaartuville siiville (5, s. 39)

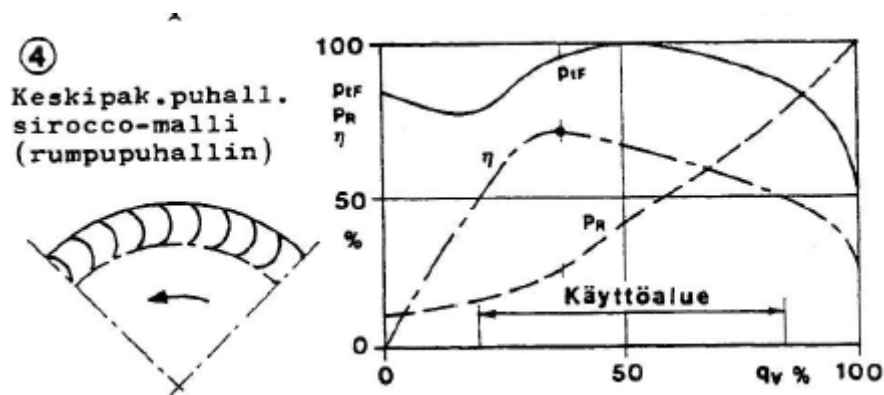
3.5.2 Radiaalipuhallin, eteenpäin kaartuvat ”siroccosiivet”

Siroccosiipistä puhallinta kutsutaan myös rumpupuhaltimeksi. Se on aina kaa-
vullinen. Tämän tyyppiset keskipakopuhaltimet on varustettu isolla ilmanottoau-
kolla suhteessa puhaltimen juoksupyörään, johon on kiinnitetty useita suhteelli-
sen leveitä, pieniä sekä matalia siipiä. Hyötysuhteeltaan se on selvästi huo-
nompi kuin taaksepäin kaartuvilla siivillä varustettu puhallin ja samalla sillä on
suurempi melun tuotto. (2, s. 149 -150.) (Kuva 10.)



KUVA 10. Siroccosiivet (2, s. 150)

Kuvassa 11 on nähtävissä sirocco-mallisen siipien suoritusarvokäyrä.



KUVA 11. Suoritusarvokäyrä sirocco-mallisille siiville. (5, s. 39.)

3.5.3 Radiaalipuhallin, suorat säteensuuntaiset siivet

Suorilla säteensuuntaisilla siivillä on huono hyötysuhde ja suurin äänen tuotto verrattuna muihin radiaalipuhaltimiin. Siipi on kuitenkin itsestään puhdistuva ja sopii materiaalin sekä runsaspölyisen ilman kuljetukseen puhaltimen läpi. (2, s. 150.)

3.6 Puhaltimen liittäminen kanavistoon

Puhallin voidaan liittää kanavistoon taulukon 2 tavoin.

TAULUKKO 2. Puhaltimen liittäminen kanaviin. (5, s. 35.)

Liitöntätapa	Imupuoli	Painepuoli
A	Vapaasti imevä	Vapaasti puhaltava
B	Vapaasti imevä	kanavaan liitetty
C	kanavaan liitetty	vapaasti puhaltava
D	kanavaan liitetty	kanavaan liitetty

Dynaamisella paineella tarkoitetaan painetta puhaltimen paineaukossa. Puhaltimen kokonaispaineella tarkoitetaan staattisen paineen ja dynaamisen paineen nousujen summaa. Staattinen paine on aina vastaavasti kokonaispaineen ja dynaamisen paineen erotus. (5, s. 35.)

Absoluuttista kokonaispainetta vähentää jokainen kerta- ja kitkavastus. Absoluuttinen staattinen paine vähenee samalla määrällä, mikäli nopeus on saman suuruinen ennen vastusta ja vastuksen jälkeen. (5, s. 36.)

Ulosvirtaushäviö on kanaviston viimeinen laskettava häviö. Se on hukkaan menevä dynaaminen paine kanaviston päatekohdassa (5, s. 36).

Puhaltimen kokonaisvastus kasvaa tai vähenee paine-eron Δp_a :n verran, riippuen siitä, onko loppukohdan ilmanpaine suurempi vai pienempi kuin alkukohdalla (5, s. 36).

3.6.1 Liitöntätapa B

Imuaukon ollessa varustettu kuvan 12 mukaisella imusuppilolla sisäänvirtaus-häviön välttämiseksi on voimassa: $p_{s1} = -p_{d1}$ ja $p_{t1} = 0$.

Puhaltimen kokonaispaine saadaan laskettua kaavalla 5 (5, s. 36).

$$p_{tF} = \Delta p_s + \Delta p_d = (p_{sa2} - p_{sa1}) + (p_{d2} - p_{d1}) = p_{s2} + p_{d2} \quad \text{KAAVA 5}$$

missä,

p_{tF} = puhaltimen kokonaispaine

Δp_s = absoluuttinen staattisen paineen nousu

Δp_d = absoluuttinen dynaamisen paineen nousu

p_{sa2} = absoluuttinen staattinen paine paineaukolla

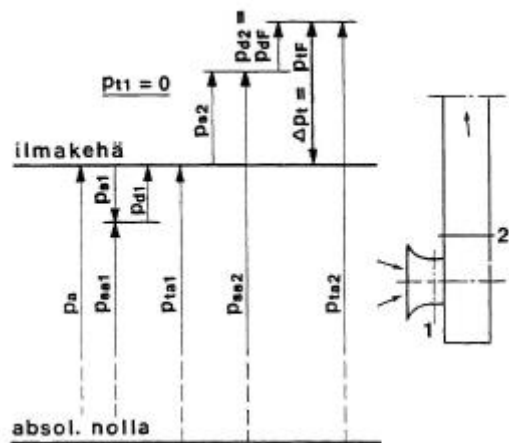
p_{sa1} = absoluuttinen staattinen paine imuaukolla

p_{d2} = absoluuttinen dynaaminen paine paineaukolla

p_{d1} = absoluuttinen dynaaminen paine imuaukolla

p_{s2} = staattinen paine (-ero ilmakehään nähden) paineaukolla

Puhaltimen kokonaispaine on siis yhtä suuri kuin painekanavan vastusten summa ulosvirtaushäviö mukaan laskettuna. Kanaviston lopussa staattinen paine on ympäristön kanssa sama ja kaasu virtaa ympäristöön määrättyllä nopeudella. Tällöin hukkaan menevä dynaaminen paine eli ulosvirtaushäviö on laskettava viimeisenä kertavastuksena kokonaispainehäviöön. (5, s. 36.)



KUVA 12. Liitöntätavan B painemuutokset. (5, s. 36.)

3.6.2 Liitöntätapa C

Vapaasti puhaltavalla puhaltimella absoluuttinen staattinen paine on paineaukolla sama kuin ilmakehän paine, tarkoittaen että $p_{s2} = 0$.

Puhaltimen kokonaispaine saadaan laskettua kaavan 6 mukaisesti (5, s. 36).

$$p_{tF} = \Delta p_s + \Delta p_d = (p_{sa2} - p_{sa1}) + (p_{d2} - p_{d1}) = -p_{s1} + p_{d2} - p_{d1} \quad \text{KAAVA 6}$$

missä,

p_{tF} = puhaltimen kokonaispaine

Δp_s = absoluuttinen staattisen paineen nousu

Δp_d = dynaamisen paineen nousu

p_{sa2} = absoluuttinen staattinen paine paineaukolla

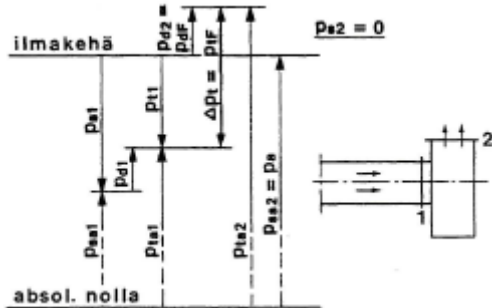
p_{sa1} = absoluuttinen staattinen paine imuaukolla

p_{d2} = dynaaminen paine paineaukolla

p_{d1} = dynaaminen paine imuaukolla

p_{s1} = staattinen paine (-ero ilmakehään nähden) imuaukolla

Puhaltimen staattinen paine on siis yhtä suuri kuin imukanavan vastusten summa. Dynaaminen paine on käytön kannalta välttämätön, mutta käyttäjä ei voi hyödyntää sitä. (5, s. 36.) (kuva 13)



KUVA 13. Liitäntätavan C painemuutokset. (5, s. 37.)

3.6.3 Liitäntätapa D

Kaasun absoluuttinen kokonaispaine imukanavan suulla on sama kuin ilmakehän paine. Imukanavan kerta- ja kitkavastukset aiheuttavat painehäviöitä, minkä seurauksena absoluuttinen kokonaispaine alentuu puhaltimen imuaukolle tultaessa arvoon p_{ta1}. Puhallin nostaa absoluuttisen kokonaispaineen ilmakehän painetta suuremmaksi arvoon p_{ta2}. Paineikanavan vastukset laskevat absoluuttisen kokonaispaineen takaisin ilmankehän paineen tasolle (kuva 14). (5, s. 21.)

Dynaaminen paine vaihtelee eri kohdissa kanavistoa virtausnopeudesta riippuen alla olevan kaavan 7 mukaisesti (5, s. 21).

$$p_s + \frac{\rho}{2} * v^2 = p_s + p_d = p_t = \text{vakio} \quad \text{KAAVA 7}$$

missä,

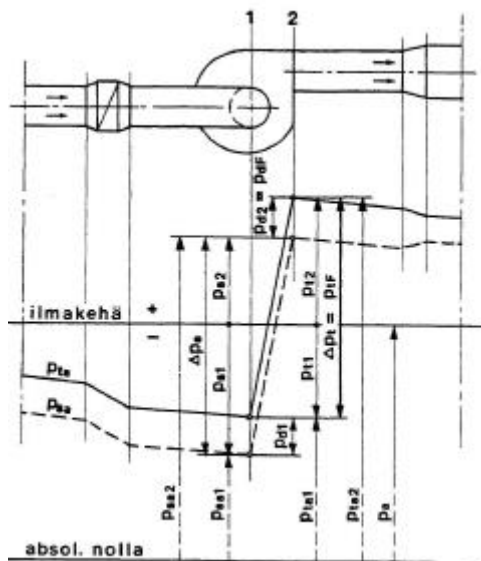
p_s = staattinen paine (-ero ilmakehään nähden)

ρ = ilman tiheys

v = virtausnopeus

p_d = dynaaminen paine paineaukolla

p_t = kokonaispaine (-ero ilmakehään nähden)



KUVA 14. Liitäntätavan D painemuutokset. (5, s. 35.)

3.7 Puhaltimen voimansiirtojärjestelmä

Puhaltimet voivat olla joko suoraikäyttöisiä tai ne voivat olla kytkettynä moottoriin voimansiirtojärjestelmän välityksellä (2, s. 151).

3.7.1 Suora käyttö

Suorassa käytössä siipipyörä on asennettu suoraan moottorin akselille, kuten kuvassa 15. Siipipyörä voi olla myös asennettuna moottorin pyörivään ulko-osaan käytettäessä ulkorootorimoottoria. Aksiaali- ja kammiopuhaltimilla suora käyttö on normaalijärjestely. Suorassa käytössä säästytään voimansiirron kitkähäviöiltä, hihnojen pölyltä ja voimansiirron huolloilta. (2, s. 151.)

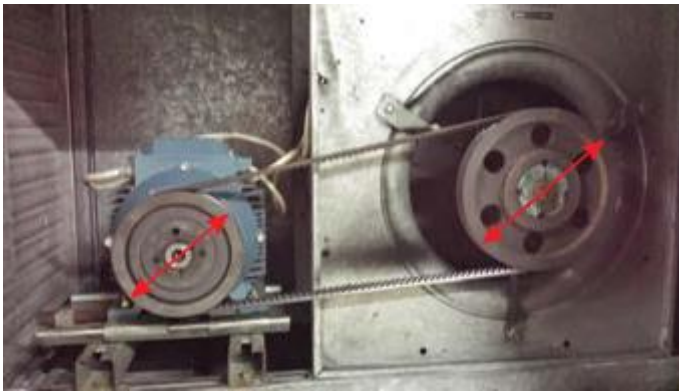
Suorassa käytössä puhaltimen pyörimisnopeus on sama kuin moottorin pyörimisnopeus. Useimmissa aksiaalipuhaltimissa on kuitenkin aseteltavat siipikulmat, mikä sallii toimintapisteen sovittamisen. Radiaalipuhaltimissa ei ole säädettäviä siipiä, joten toimintapiste pitää hakea moottorin pyörimisnopeutta säätämällä. (2, s. 151.)



KUVA 15. Suorakäyttöinen voimansiirtojärjestelmä (7)

3.7.2 Hihnakäyttö

Hihnakäyttö mahdollistaa sen, että puhaltimen pyörimisnopeus voidaan valita vapaasti, vaikka moottori pyörii 50 Hz:n synkroninopeudella. Hihnapyörien halkaisija muuttuu noin 6 % portain, joten sillä ei saavuteta kovin hienoportaista säätöä (3, s. 174). Hihnakäytössä moottorin voima pyörittää akselia, jonka päässä on hihnapyörä. Moottorin hihnapyörän ympäri kulkee hihna, joka kiertää puhaltimen siipipyörän kanssa samalle akselille kiinnitetyn hihnapyörän ympäri (2, s. 151). (Kuva 16.)



KUVA 16. Puhaltimen hihnakäyttöinen voimansiirtojärjestelmä. (8.)

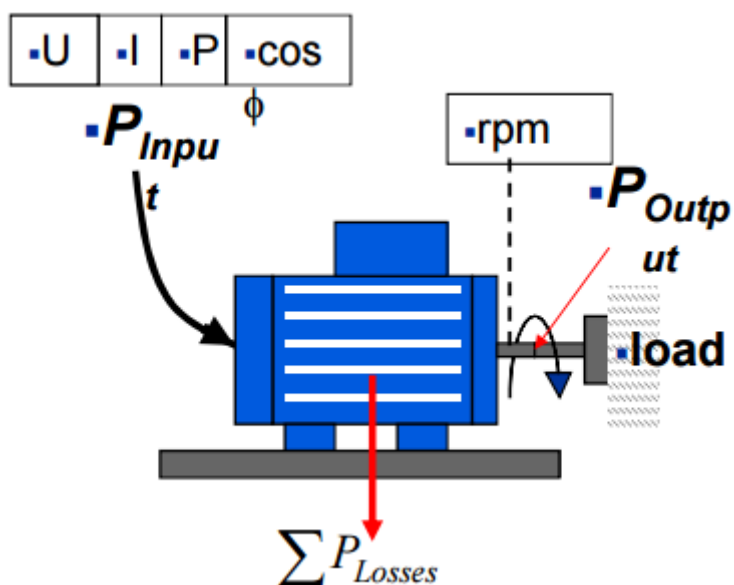
4 SÄHKÖMOOTTORIT

Puhallinmoottoreina käytetään pääsääntöisesti kolmea eri moottorityyppiä:

- AC-moottori eli oikosulkumoottori
- EC-moottori eli elektronisesti kommutoitu moottori
- PM-moottori eli kestopagneettimoottori (3, s. 174).

4.1 Hyötysuhde

Hyötysuhde määrittää, miten tehokkaasti moottori muuntaa sähköenergian mekaaniseksi työksi (Kuva 17). Korkea hyötysuhde tarkoittaa, että moottori muuttaa sähkötehoa mekaaniseksi tehoksi energiatehokkaasti.



KUVA 17. Moottorin hyötysuhteen määrittäminen. (9.)

Moottorin hyötysuhde määritellään kaavan 8 mukaisesti (9).

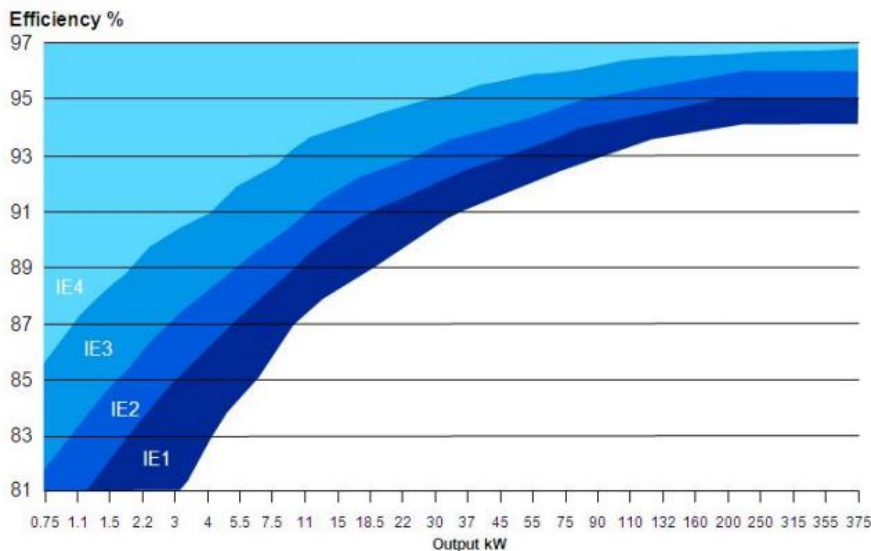
$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}}$$

KAAVA 8.

IE-Hyötysuhdeluokat

Kansainvälinen sähkötekniikan komissio IEC on julkaissut energiatehokkuusstandardin IEC 60034-30:2008, jossa määritetään ja yhtenäistetään maailmanlaajuisesti matalajännitteisten (<600 V) 0,75 -375 kilowatin kolmivaihemootoreiden hyötysuhdeluokat. Hyötysuhdeluokat huonommasta parempaan ovat IE1, IE2, IE3 ja IE4 (kuva 18). (3.)

1.1.2017 on tullut voimaan ekologista suunnittelua edistävä direktiivi 2005/32/EC, jonka mukaan kaikki 0,75 -375 kilowatin teholuokassa olevien moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE2 tai IE3, ja ne on asennettava taajuusmuuttajakäyttöisinä. (10.)



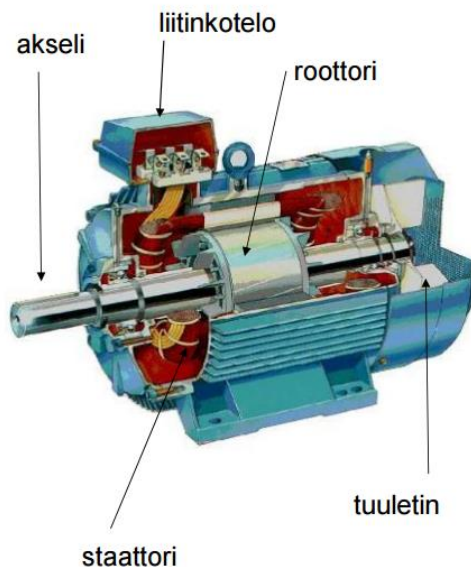
KUVA 18. IE-hyötysuhdeluokat (9)

4.2 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottori eli AC-moottori on hyvin yleisesti käytetty sähkömoottorityyppi, ja sitä voidaan käyttää taajuusmuuntajan kanssa tai suoralla syötöllä ilman taajuusmuuntajaa (11).

3-vaihe oikosulkumoottori on ns. perinteinen IEC-moottorirunkoinen sähkömoottori, joka kytketään 3 * 400 V:n verkkoon joko suoraan tai taajuusmuuttajan kautta. Moottorin pyörimisnopeuksia 50 Hz:n verkossa ovat esimerkiksi 750, 1000, 1500 ja 3000 rpm. Jos halutaan käyttää muita nopeuksia, pitää käyttää soveltuvaa pyörimisnopeussäätöä. Oikosulkumoottorin hyötysuhde on suhteellisen korkea, paitsi pienillä moottoritehoilla. (3, s.174)

Mekaaniselta rakenteeltaan sähkömoottori on varsin yksinkertainen sisältäen pyörivän roottorin akseleineen, staattorin käämityksineen, laakeroinnin, rungon ja tarvittavat liitännät (kuva 19) (11).



KUVA 19. Oikosulku eli AC-moottori (9)

Sähköisesti oikosulkumoottorin toiminta perustuu magneettikentän ja siinä olevan virrallisen johtimen välisiin vuorovaikutuksiin. Staattoriin sijoitettujen kuparikäämitysten ja verkkotaajuudella vaihtelevan vaihtovirran avulla voidaan induktiolain mukaisesti indusoida virta roottoriin. Roottori on valmistettu ohuista

sähkölevyistä siten, että levyihin on meistettäessä jätetty reiät roottorisauvoja varten. Roottorisauvat on valettu sulasta alumiinista ja suljettu molemmista päistä oikosulkurenkailla. Näin roottorivirtapiiriin muodostuu induktiolain mukainen virta, joka puolestaan aiheuttaa magneettikentässä ollessaan voimavaikutuksen ja tempaa roottorin akseleineen pyörimään staattorin magneettikentän mukana. (11.)

Moottorin napapariluku ja siihen syötettävän vaihtosähkön taajuuden mukaan saadaan moottorin pyörintänopeus. Lisäämällä napapareja saadaan hitaampi moottori. 2-napaisen oikosulkumoottorin optimaalisin tahtinopeus 50 Hz:n taajuutta käyttäen olisi 3000 kierrosta minuutissa. 4-napaisen moottorin optimitahtinopeus olisi samalla taajuudella 1500 kierrosta minuutissa ja taas 8-napaisella 750 kierrosta. Jättämän vuoksi todellinen kierrosnopeus jää aina alle teoreettisen kierrosnopeuden. Kuormituksesta riippuen pienten ja keskisuurten jättämät ovat 5-15%:n luokkaa ja suurten 0,8 -2%:a. (12.)

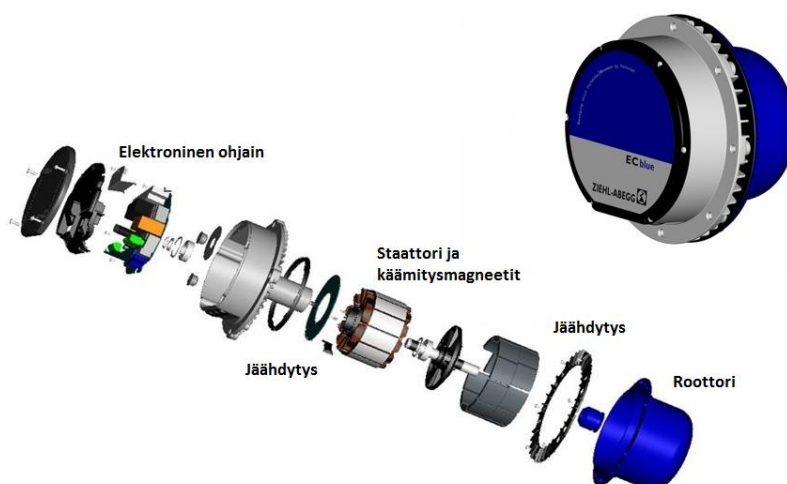
4.3 EC-moottorit

EC-moottori on elektronisesti kommutoitu harjaton tasavirtamoottori, joka on varustettu kestopagneetilla. Kommutoinnilla tarkoitetaan, että virran suuntaa staattorissa suhteessa roottoriin ohjataan Hall-antureilla. Elektronisessa kommutoinnissa moottorin pyörimisnopeuksia voidaan säädellä hyvin tehokkaasti. Moottorin pyörimisnopeus riippuu siitä, kuinka nopeasti moottorin magneettikenttä vaihtelee. (3, s. 175.)

EC-moottoreilla on parempi hyötysuhde kuin oikosulkumoottoreilla ja siten vastaavasti pienempi lämpötilan nousu. EC-moottoreilla on laaja pyörimisnopeusalue, missä hyötysuhde pysyy korkealla, ja siksi ne sopivat suoraan käyttöön puhallimiin. EC-moottori vaatii aina pyörimisnopeuden säätöyksikön, eikä sitä voi kytkeä suoraan sähköverkkoon. Säätöyksikkö on useimmiten integroitu moottoriin. (3, s. 175.)

EC-moottori soveltuu parhaiten pienille moottoritehoille, joilla myös hyötysuhteen parannus on suurin. Tyypillisiä käyttökohteita ovat asuntoilmanvaihtolaitteet.

Moottorin mekaaninen rakenne on useimmiten sellainen, että pyörivä osa on moottorin ulkokuori, ei keskellä oleva roottori kuten perinteisessä moottorissa (kuva 20). Tämä rajoittaa käyttökelpoisen maksimitehon puhallinkäytössä noin 5 kW:iin. (3, s. 175.)



KUVA 20. EC-moottorin rakenne (13)

4.4 PM-moottorit

Permanent magnet motor eli PM-moottori on nimensä mukaisesti kestopagneeteilla varustettu moottori. Moottorin mekaaninen rakenne sopii hyvin puhallinkäyttöön ja onkin samanlainen kuin 3-vaiheoikosulkumoottoreissa (Kuva 21). (3, s. 175.)



KUVA 21. PM-puhallin (14)

PM-moottorin hyötysuhde on huomattavasti korkeampi kuin oikosulkumoottoreilla. Ero on suurin pienillä moottoritehoilla ja tasoittuu noin 11 kW:n tehoilla. PM-moottori vaatii aina pyörimisnopeussäätimen, eikä sitä voi käyttää suoraan sähköverkkoon kytkettynä. Säätimenä käytetään taajuusmuuttajaa, jonka täytyy olla erityisesti PM-moottorikäyttöön suunniteltu ja sen parametroidin on oltava moottorivalmistajan ohjeiden mukainen. (3, s. 175.)

5 ILMAVAIHTOPUHALTIMEN SANEERAUS

Vanhoissa ilmapuhaltajajärjestelmissä on usein ongelmia sekä puhaltimien energiankulutuksessa että äänitasossa. Myös huollontarve lisääntyy. Jos ilmapuhaltajakone on muilta osin kunnossa, on puhaltimen vaihto oikea ratkaisu. Puhaltimen nykyaikaistaminen siirtää parhaimmillaan koko koneen uusimistarvetta 10 - 15 vuodella. (8.) Kuvassa 22 on nähtävissä hihnavetoisen puhaltimen ja EC-puhaltimen kokoeron.



KUVA 22. Vasemmalla vanhanmallinen hihnavetoinen puhallin ja oikealla uusi energiatehokas suoravetoinen EC-puhallin (15)

Puhallinvaihdon perusteena on yleensä jokin alla olevista syistä:

1. Halutaan säästää sähköenergiaa.
2. Halutaan vähentää huoltotarvetta.
3. Halutaan korvata vanha, kulunut tai rikkiäinen puhallin.
4. Halutaan vähentää äänihaittoja.
5. Ilmavaihto halutaan muuttaa tarpeenmukaiseksi (Lämpö- ja sähköenergian säästö).
6. Halutaan lisätä ilmavirtaa.

Peruste ohjaa vaihtotyön kulkua. Yleensä kuitenkin vaihtotyön yhteydessä saadaan miltei jokaiseen kohtaan parannuksia, oli perusteena sitten mikä tahansa ylläolevista syistä. (8.)

Mikäli ilmavirta on riittävä ja se täyttää määräystason, uuden puhaltimen vaihtotyö koostuu seuraavista vaiheista

1. Määritetään nykyisen puhaltimen toimintapiste
2. Valitaan uusi puhallin
3. Varmistetaan että puhallinkammiossa on riittävästi tilaa uudelle puhaltimelle
4. Varmistetaan haalaus
5. Puhaltimen asentaminen kammioon.

Nykyaikaiset puhaltimet tarjoavat mahdollisuuden ilmavirran portaattomaan säätöön, joka on yksittäisistä energiansäästötoimenpiteistä kannattavin. Ilmavirran säädön mahdollisuutta tulisi myös hyödyntää. Tästä johtuen edellä mainittujen työvaiheiden lisäksi tulee varmistaa ilmakäsittelyjärjestelmän muiden komponenttien toiminta, jos puhaltimen vaihtotyötä ohjaa ilmavaihdon muutos tarpeenmukaiseksi tai jos halutaan lisätä ilmavirtaa. (8.)

5.1 Toimintapiste

Uuden puhaltimen määrittämisen ja valinnan lähtökohtana on toimintapisteen määrittäminen. Kaikki puhaltimet päätyvät kaikissa järjestelmissä määrättyyn toimipisteeseen määrättyllä pyörimisnopeudella. Toimintapisteen määrittävät paineenkorotus Δp sekä ilmavirtaus q_v . (8.)

Nykyisen toimintapisteen määrittämiseen voidaan käyttää dokumentaatiota, kilpitietoja, ilmavirran ja paineenkorotuksen mittausta, puhaltimen sähkötehoa tai kokemusperäistä taulukkomitoitusta. (8.)

Seuraavia tapoja voidaan käyttää hyödyksi toimintapisteen määrittämisessä.

5.1.1 Toimintapisteen määrittäminen dokumentaatiosta

Vaihtoehtoista helpoin ja paras tapa toimintapisteen määrittämiseen on tiedon hakeminen vanhoista dokumentaatioista (kuva 23). Piirustuksiin merkityt ilmavirrat ovat todennäköisesti riittävät, koska ne perustuvat rakentamisen aikaisiin rakennusmääräyksiin. (8.)

RIVI	TUNNUS	KOJETYYPI	VAIKUTUSALUE TAI KÄYTTÖTARKOITUS	SIIJOITUSPAIKKA	TEHO kW		JÄNN. V	PUHALLIN m ³ /s PUMPPU dm ³ /s ; kPa	OHJAUS-PAIKKA	OHJASTAVAT JA LUKITUKSET
					*P1	*P2				
1	TK06 TF01	TULOILMAPUHALLIN	TEKST. - JA TEKNISENTYÖN TILA	IV-KONEHUONE	3,00		400	1,50	RK,AK	HS, AK (AIKAOHJ., PO)
2	TK06 SC01	TAAJUUDENMUUTTAJA	TK06 TF01:N TEHONSAÄTÖ	IV-KONEHUONE	3,00		400			
3	TK06 PF30	POISTOILMAPUHALLIN	TEKST. - JA TEKNISENTYÖN TILA	IV-KONEHUONE	2,50		400	1,20	RK,AK	HS,AK
4	TK06 SC30	TAAJUUDEN MUUTTAJA	TK06 PF30:N TEHONSAÄTÖ	IV-KONEHUONE	2,50		400			
5	TK06 PU40	LÄMPOHOITOPUMPPU	TULOILMAN LÄMMITYS	IV-KONEHUONE	0,25		400	1,40/30	RK	HS
6										
7	PK04 PF30	POISTOILMAPUHALLIN	KUUMAK 237/AHJON POISTOP.	VESIKATTO	0,17		230		RK, AK	HS, AK (PO)
8	PK05 PF30	POISTOILMAPUHALLIN	PINTAK 236/MAALAUSK. POISTOP.	VESIKATTO	0,37		400		RK, AK	HS, AK (PO)
9	PK06 PF30	POISTOILMAPUHALLIN	PINTAK 236/MAALIK. POISTOP.	VESIKATTO	0,25		400		RK, AK	HS, AK (PO)
10	PK07 PF30	POISTOILMAPUHALLIN	TYÖSALI 240/UOTOS POISTOP.	VESIKATTO	0,25		400		RK, AK	HS, AK (PO)

KUVA 23. Esimerkki kojeluettelosta (16)

5.1.2 Toimintapisteen määrittäminen kilpitiedoista

Urakoitsijat asentavat lähes poikkeuksetta ilmanvaihtokoneen kylkeen laitekilven, josta käy ilmi ilmavirta. Kilpitietojen yleisimpänä ongelmana kuitenkin on se, että niihin ei ole merkitty riittävästi tietoa toimintapisteen määrittämiseen (Kuva 24). (8.)



KUVA 24. Puhaltimen laitekilpi, josta käy ilmi ilmavirta ja paineenkorotus ja akseliteho. (8.)

5.1.3 Toimintapisteen määrittäminen mittaamalla

Ilmavirran määrittäminen

Mittaamalla ei välttämättä päädytä alkuperäiseen ilmavirtaan, koska järjestelmä on saattanut rappeutua vuosien aikana. Ilmavirran ja paineenkorotuksen mittauksien jälkeen täytyy arvioida ilmavirran oikeellisuus ja riittävyys. Ilmastointikanavassa kulkeva ilmavirta voidaan laskea virtausnopeuden ja kanavakoon perusteella kaavalla 9. (8.)

$$q = A \times v$$

KAAVA 9.

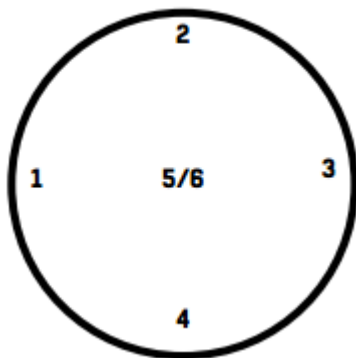
missä,

$$q = \text{ilmavirtaus} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$A = \text{pinta-ala} [m^2]$$

$$v = \text{virtausnopeus} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Virtausnopeus on suurempi kanavan keskellä kuin reunoilla. Tämän takia virtausnopeus mitataan viidestä eri pisteestä ja ilmavirran laskemiseen käytetään mitattujen nopeuksien keskiarvoa. Tätä menetelmää kutsutaan ns. viispistemittaukseksi. Reunoissa olevien mittauspisteiden etäisyys kanavaseinästä on noin 10 % kanavan halkaisijasta. Alla on kuva viispistemittauksen mittauspisteistä (kuva 25). (8.)



KUVA 25. viispistemittauksen mittauspisteet (8)

Pyöreän kanavan pinta-ala lasketaan halkaisijan avulla, kaavan 10 tavoin. (8.)

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

KAAVA 10.

missä,

A = pinta-ala [m²]

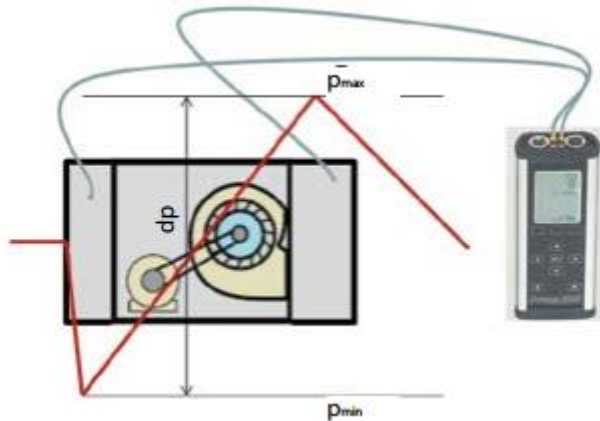
D = halkaisija [m]

Paineen mittaus

Paineen mittaukseen tarvitaan paine-eromittari (kuva 26). Ilmavirran suunnassa ennen puhallinta vallitsee aina alipaine ja puhaltimen jälkeen ylipaine. Koko järjestelmän suurin alipaine sijaitsee juuri ennen puhallinta ja suurin ylipaine heti puhaltimen jälkeen. Puhaltimen paineenkorotus voidaan laskea kaavalla 11. (8.)

$$\Delta p = p_{max} - p_{min}$$

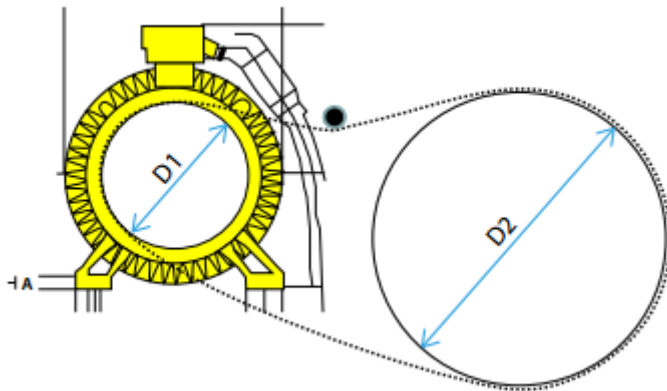
KAAVA 11.



KUVA 26. paineen mittaus paine-eromittarilla. (8.)

Puhallinpyörät

Puhallinpyöriä voidaan käyttää yhtenä toimipisteen mitoittamismenetelmänä, koska miltei kaikki saneerattavat puhaltimet ovat hinnakäyttöisiä. Kun halutaan selvittää hinnakäyttöisen puhaltimen pyörimisnopeus, on selvitettävä moottorin pyörimisnopeus, moottorin ja puhaltimen akseleilla olevien hihnapyörien halkaisijat. Hihnapyörien pyörimisnopeus on suoraan verrannollinen halkaisijoiden suhteeseen. Kuvan 27 halkaisijoiden suhde on siis D_1/D_2 . (8.)



KUVA 27. Välityspyörien suhde (8)

Puhaltimen pyörimisnopeus määritellään kaavalla 12. (8.)

$$n_{\text{puhallin}} = n_r \times \frac{D_1}{D_2}$$

KAAVA 12.

missä,

n_{puhallin} = puhaltimen pyörimisnopeus

n_r = sähkömoottorin akselin pyörimisnopeus [1/s]

D_1 = halkaisija [m]

D_2 = halkaisija [m]

Puhaltimen toimintapiste saadaan puhallinkäyrästä, kun tiedetään puhaltimen tuotekoodi, puhaltimen pyörimisnopeus ja ilmavirta (8).

Puhaltimen sähköteho

Puhaltimen toimintapiste voidaan mitoittaa puhallinmoottorin verkosta ottaman tehon mukaan. Vaiheet mitataan yksitellen pihtimittarilla sähkökeskuksesta, koska puhaltimen tulee käydä normaalitilanteessa (Kuva 28). (8.)



KUVA 28. Puhallinmoottorille menevän sähkövirran mittaus pihtimittarilla. (8.)

Sähkömoottorin teho lasketaan kaavalla 13 (8).

$$P_{moottori} = \sqrt{3} \times U \times I_{m.k.} \times \cos \varphi$$

KAAVA 13.

missä,

$P_{moottori}$ = teho [W]

U = jännite [V]

$I_{m.k.}$ = virran mitattu keskiarvo [A]

$\cos \varphi$ = moottorin kilvestä saatu vaihekulma

6 ZIEHL-ABEGG

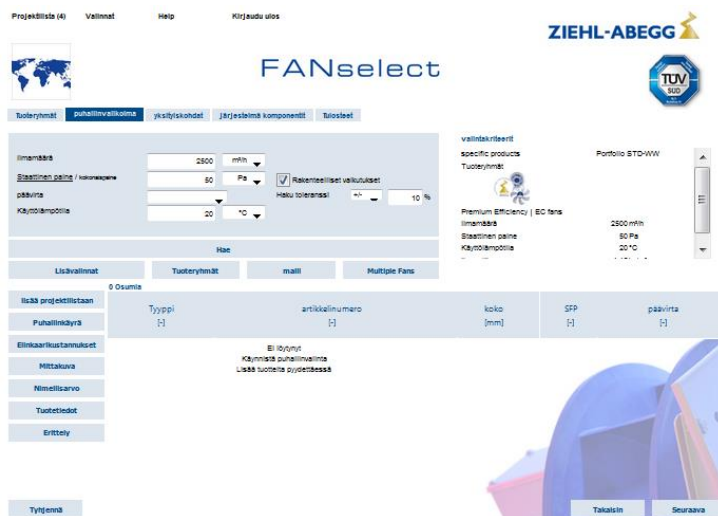
6.1 Yritys

ZIEHL-ABEGG on vuonna 1910 perustettu saksalainen yritys, jonka toimialue on ilmanvaihtojärjestelmät sekä niihin liittyvä säätö-, käyttö- sekä automaatiotekniikka. ZIEHL-ABEGG työllistää globaalisti yli 3 500 työntekijää. Työntekijät jakautuvat 16 tuotantolaitoksen, 27 yrityksen ja 97 myyntipisteen kesken. ZIEHL-ABEGGIN tuotteita myydään vuosittain keskimäärin 30 000 kappaletta yli 100 eri maassa. (17.)

6.2 FANselect-puhallintyökalu

ZIEHL-ABEGG, kuten monet muutkin puhallinvalmistajat, on tehnyt työkalun, jolla käyttäjän on helppo vertailla puhaltimia ja valita omiin kriteereihin soveltuva puhallin valmistajan tuotekatalogista. FANselectistä löytyvät puhallinten suorituskäyrät perustuvat heidän InVent Technology Centerin laboratoriossa saatuihin tuloksiin. (18.)

FANselectin käyttö edellyttää tunnusten luomisen sivuille. Tunnusten luomisen jälkeen FANselectiä voi käyttää online-versiona suoraan selaimella tai koneelle ladattavana offline-versiona. Kuvassa 29 on FANselectin online-version etusivu. (19.)

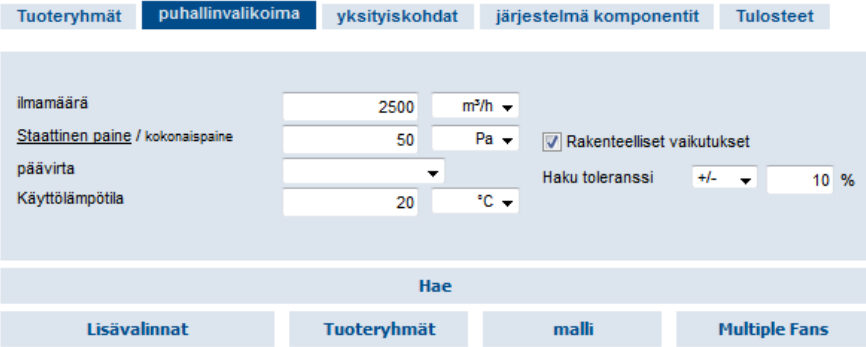


KUVA 29. FANselect -työkalun etusivu (19)

6.3 FANselectin käyttö

FANselectin käyttöön on tehty selkeät ohjeet, joiden avulla työkalun käyttö on helppoa. Kuten aikaisemmin mainittiin, puhaltimen määrittäminen alkaa toimintapisteen määrittämisellä. FANselectiin täytyy syöttää hakukriteereiksi minimissään ilmamäärä, staattinen- tai kokonaispaine ja käyttölämpötila (kuva 30). Hakua voi rajoittaa useilla eri lisäkriteereillä ja näitä ovat muun muassa

- päävirta
- puhaltimen koko
- suojausluokka
- ErP-hyväksyntä
- SFP-luku
- ohjaustapa
- moottoritekniikka
- moottorin varmuuskerroin tai ilman varmuuskerrointa.



The screenshot shows the FANselect search interface. At the top, there are tabs for 'Tuoteryhmät', 'puhallinvalikoima', 'yksityiskohdat', 'järjestelmä komponentit', and 'Tulosteet'. The 'puhallinvalikoima' tab is selected. Below the tabs, there are input fields for search criteria: 'ilmamäärä' (2500 m³/h), 'Staattinen paine / kokonaispaine' (50 Pa), 'päävirta' (dropdown), and 'Käyttölämpötila' (20 °C). There are also checkboxes for 'Rakenteelliset vaikutukset' and 'Haku toleranssi' (10 %). A 'Hae' button is located below the input fields. At the bottom, there are buttons for 'Lisävalinnat', 'Tuoteryhmät', 'malli', and 'Multiple Fans'.

KUVA 30. FANselect hakukriteerit (19)

Tuoteryhmät on jaoteltu malleittain ja käyttökohteiden mukaan. Näillä voi rajoittaa hakua haluamansa kategorian mukaan. Mallista voi määrittellä muun muassa ilmansuunnan ja puhaltimen asennusasennon.

Haun suorittamisen jälkeen työkalu tarjoaa käyttäjälle listan eri puhaltimista sekä siipipyöristä, jotka täyttävät syötetyt hakukriteerit. Taulukon tuloksia voi järjestellä sarakkeissa suuremmasta pienempään ja toisinpäin, mikä mahdollistaa hyvän suoritusarvojen vertailun (kuva 17).

99 Osumia

lisää projektistaan	Tyyppi [-]	artikkelinumero [-]	P _{2F}	P _F	SFP [-]	P _{SFP} [Ws/m ³]	P _{Sys} W	η _{F,sys} [%]	P ₁ W	η _F [%]	P _L W	P _{L,max} [W]	η _{F,L} [%]	n [L/min]	L _{w(A),5} [dB]	L _{w(A),6} [dB]	f _{DP} [Hz]	U _{DP} [V]	I _{DP} [A]
Elinkaarikustannukset	RH80C.1R/SM25	112272VAR	573	635	0	-	-	-	-	-	4636	4799	79.5	1012	83	90	50	400	15.6
Mittakuva	ER80C-6DN.H7.1R	130546/O201	573	635	3	969	5619	65.6	5450	67.6	4636	4799	79.5	1012	83	90	52	400	10.4
Nimellisarvo	GR80C-6DN.H5.1R	113818/U01	573	635	3	969	5619	65.6	5450	67.6	4636	4799	79.5	1012	83	90	53	400	10.4
Tuotetiedot	GR80C-6DN.H5.1R	113818/O01	573	635	3	969	5619	65.6	5450	67.6	4636	4799	79.5	1012	83	90	53	400	10.4
Erittely	ER80C-6DY.H7.1R*	130546/EX01	573	635	3	954	5532	66.6	5366	68.7	4636	4799	79.5	1012	83	90	52	400	-
	ER80C-6DN.H7.1R*	130546/O101	573	635	3	953	5525	66.7	5359	68.7	4636	4799	79.5	1012	83	90	52	400	-
	ER80C-6HN.H7.1R*	130546/OA41	573	635	3	932	5406	68.1	5244	70.3	4636	4799	79.5	1012	83	90	50	-	-

KUVA 31. FANselect haun tulokset (19)

Taulukosta voi valita yhden tai useamman tuotteen, joiden puhallinkäyriä voi vertailla diagrammien muodossa. Työkalu mahdollistaa myös uuden puhaltimen elinkaarikustannuksien laskennan.



KUVA 32. FANselect puhallinkäyrät (19)

Valittu tuote voidaan varustella lisäkomponenteilla omalta välilehdeltä. Lopuksi valitusta tuotteesta voi lähettää suoran tarjouspyynnön puhallinvalmistajalle tai valita haluamansa tiedot ja tulostaa tai tallentaa ne.

7 TARJOUSTYÖHÖN RÄÄTÄLÖITY TYÖKALU

7.1 Tarve

Puhallinmuutoksien tarjouslaskenta oli jaettu yrityksen sisällä useammalle henkilölle, minkä seurauksena myyntityö takerteli. Aihe oli yritykselle hieman vieras, joten myyntityötä ei tehty aktiivisesti. Yritys tarvitsi selkeämmän toimintamallin ja myyntityötä helpottavan työkalun.

7.2 Rakenne

Excel-työkalu rakentui kolmesta eri välilehdestä:

- tarjouspyyntö
- puhallinvertailu
- asiakkaalle.

7.2.1 Tarjouspyyntö

Tarjouspyyntö-välilehti pyrittiin esittämään siten, että työkalua käyttävä henkilö ei tarvitse syvällistä tietämystä aiheesta. Tarjouspyyntö rakentui valmistajien käsikirjojen mukaan, missä kerrottiin, mitä tietoa uuden puhaltimen valinnassa tarvitaan. Tarvittavaa tietoa karsittiin kuitenkin siten, että tarjouspyynnössä ei otettu huomioon teollisuudessa käytettäviä puhaltimia. Oletuksena oli, että puhaltimen läpi kulkeva kaasu on ilma, joka ei pidä sisällään merkittäviä epäpuhauksia. Tarjouspyyntö koostui 6 kohdasta, joihin vastaamalla tilauksesta olisi tarvittavat tiedot puhallinmuutostyöhön sekä uuden puhaltimen valintaan FANselectistä. Kohdat olivat

- puhaltimen vaihdon syy
- ilmamäärän riittävyys
- toimintapisteen määrittäminen
- mittatiedot
- tietojen syöttäminen FANselectiin
- yhteenveto.

Välilehdessä oli toimintapisteen laskemista helpottavia laskureita, mikäli kaikkea tarvittavaa tietoa ei ole saatavilla ja joudutaan tekemään mittauksia, kuten kohdassa 5.1.3.

7.2.2 Puhallinvertailu

Puhallinvertailussa puhallinten energiankulutuksen laskentaa lähestyttiin sähkömoottorien häviöiden näkökulmasta. Tämä siksi, että yhdeksi työkalun osaksi otettiin käyttöön FANselect, joka mahdollisti puhaltimien vertailun hyvin kattavasti muilta osin.

Välilehdessä oli taulukko, jossa oli mahdollista vertailla neljää eri puhallinmoottoria: nykyistä ja kolmea uutta moottoria. Taulukkoon syötettiin FANselectistä valittujen moottorien sähköverkosta ottama teho sekä akseliteho. Tehojen lisäksi laskuriin syötettiin hankintahinta, mahdolliset muut kustannukset, käyntiaika ja energian hinta. Syötettyjen tietojen avulla laskuri antoi moottorille hyötysuhteen, laski vuosittaiset energia- ja taloudelliset häviöt, energian säästön verrattuna nykyiseen moottoriin, hiilidioksidisäästöt ja erikseen laskettuna puhaltimelle sekä koko sijoitukselle takaisinmaksuajan.

Puhallinmuutoksesta aiheutuvat asennus- ja huoltokustannukset oli tarkoitus ottaa tarkemmin huomioon, mutta työn aikataulun ja huoltohenkilökunnan kiireisyyden takia niitä jouduttiin yksinkertaistamaan. Työkalussa on kohdat, mihin on mahdollista lisätä asennus- ja huoltokustannukset euromääräisesti.

Moottorin hyötysuhde laskettiin kaavalla 8. Käyntiajassa ei otettu huomioon puhaltimen käytön ohjausta. Käyntiaika jaoteltiin sen mukaan, kuinka monta tuntia moottori oli käynnissä vuorokaudessa ja kuinka monta vuorokautta viikossa. Laskuri laski sen jälkeen vuosittaisen käyntiajan.

Vuosittaiset häviöt laskettiin kaavalla 14.

$$\text{Vuosittaiset energiahäviöt}[kWh] = \left((P_{\text{sys}}[kW] - P_L[kW]) * t_{\text{vuosittainen käyntiaika}}[h] \right)$$

KAAVA 14.

Vuosittaiset taloudelliset häviöt laskettiin kaavalla 15.

$$\text{Vuosittaiset taloudelliset häviöt} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] = \text{Vuosittaiset energiahäviöt} [\text{kWh}] * \text{energian hinta} [\text{€}] \quad \text{KAAVA 15.}$$

Energiansäästö verrattuna nykyiseen moottoriin laskettiin kaavalla 16.

$$\text{Energian säästö} [\text{kWh}] = \text{Nykyisen moottorin energiahäviöt} [\text{kWh}] - \text{Uuden moottorin energiahäviöt} [\text{kWh}] \quad \text{KAAVA 16.}$$

Hiilidioksidisäästöt laskettiin kaavalla 17, johon käytettävä sähkötuotannon päästökerroin saatiin energiaviraston -sivuilta.

$$\text{CO}_2 - \text{säästöt} = \text{Energian säästö} [\text{kWh}] * 182 \text{ g CO}_2 - \text{ekv./kWh} \quad \text{KAAVA 17.}$$

Moottorin takaisinmaksuaika laskettiin kaavalla 18 ja koko sijoituksen takaisinmaksuaika kaavalla 19.

$$\text{Takaisinmaksuaika}_{\text{Moottori}} = \frac{\text{Hankintahinta} [\text{€}]}{\text{Häviöt}_{\text{nykyinen}} [\text{€}] - \text{Häviöt}_{\text{Uusi}} [\text{€}]} \quad \text{KAAVA 18.}$$

$\text{Takaisinmaksuaika}_{\text{koko sijoitus}}$

$$= \frac{\text{Hankintahinta} [\text{€}] + \text{Haalaus kustannukset} [\text{€}] + \text{Asennuskustannukset} [\text{€}] + \text{Muutostyöt} [\text{€}]}{\text{Häviöt}_{\text{nykyinen}} [\text{€}] - \text{Häviöt}_{\text{Uusi}} [\text{€}]}$$

KAAVA 19.

Laskurin alapuolella oli taulukko, jossa vertailtiin uusia moottoreita keskenään.

Viimeisenä kohtana syötettiin moottorin käyttöikä. Laskuri antoi moottorin koko käyttöiän kuluttaman energian määrän ja suhteutti sitä investointikustannukseen. Laskennan tarkoituksena oli suhteuttaa investointikustannuksen kokoa, puhaltimen elinkaaren aikaisiin kustannuksiin. Laskut suoritettiin kaavoilla 20 - 22.

$$\text{Moottorin käyttöikä}[h] = \text{Moottorin käyttöikä}[a] * \text{vuosi}[h] \quad \text{KAAVA 20.}$$

$$\text{Moottorin käyttöiän aika kulutettu energia}[MWh] = \text{Käyttöikä}[h] * \frac{P_{\text{sys}}[W]}{1000000[w]} \quad \text{KAAVA 21.}$$

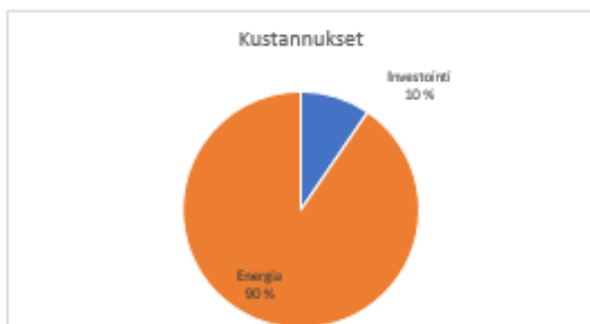
$$\text{Kulutettu energia}[\text{€}] = \text{Energian hinta}[\text{€}] * \text{kulutettu energia}[MWh] \quad \text{KAAVA 15.}$$

$$\text{Investoinnin suhteuttaminen käyttökustannuksiin}[\%] = \frac{\text{Moottorin hankintahinta}[\text{€}]}{\text{Käyttöiän aika kulutettu energia}[\text{€}]} \quad \text{KAAVA 22.}$$

7.2.3 Asiakkaalle

Asiakkaalle-välilehti oli sitä varten, jos mahdollinen asiakas halusi itselleen tuloksia vertailusta. Välilehdessä oli taulukko, jonka ensimmäiseen sarakkeeseen vanhan moottorin laskennan tulokset siirtyivät suoraan vertailu-välilehdeksi. Toisen sarakkeen ensimmäisellä rivillä on alasvetovalikko, josta käyttäjä voi valita vertailu-välilehden moottoreista haluamansa, ja sen moottorin laskennan tulokset siirtyivät sarakkeeseen. Taulukon alapuolella oli ympyrädiagrammi, joka havainnollisti energiakustannuksia ja investointikustannuksia (Kuva 33).

	<i>Nykyinen moottori</i>	<i>Uusi moottori</i>	
Hyötysuhdeluokka	-	Ambiue IE3	
Moottorin ottama teho sähköverkosta	7500	5406	W
Moottorin hyötysuhde	0,6181	85,76 %	%
Moottorin kuormalle antava teho	4636	4636	W
Hankintahinta	-	3 000	l
Maalaus kustannukset	-	0	l
Asennuskustannukset	-	0	l
Kammion muutostyöt	-	0	l
Käyntiaika	8760	8760,0	tuntia/vuosi
Käyntiaika päivässä	24	24	tuntia
Käyntiaika viikossa	7	7	päivää
Häviöt	25088,64	6745,20	kWh/vuosi
Energian hinta	0,11	0,09	l/kWh
Häviöt	2753,750	607,07	l/vuosi
Energiansäästö verrattuna nykyiseen	-	18343,44	kWh
CO ₂ -säästöt	-	3338,51	kg/vuosi
Puhaltimen takaisinmaksuaika	-	5,5	Vuotta
Koko sijoituksen takaisinmaksuaika	-	5,5	Vuotta
Käyttöikä	-	20	Vuotta
Käyttöikä/tuntia	-	175200	Tuntia
Kulutettu energia	-	947,1312	MWh
Energiakustannukset	-	85241,808	l
Investoinnin kustannukset / Energiakustannukset	-	10,6 %	



KUVA 33. Excel-työkalun asiakas -välilehti

8 POHDINTA

Työn tavoitteena oli helpottaa tarjoustyöskentelyä luomalla Excel-työkalu, jolla voitaisiin vertailla puhaltimia ja niiden takaisinmaksuaikaa. Lopputuloksena työkalu esittää asiakkaalle esityksen laskennasta.

Työkalu muuttui työn edetessä hyvin paljon. Aluksi työkalun oli tarkoitus pitää sisällään kirjaston eri valmistajien puhaltimista, niiden vertailun ja tarjoustyötä helpottavan laskurin. Totesimme ohjaavan opettajan kanssa, että se on liian laaja opinnäytetyöhön käytettävissä olevan aikamäärän puitteisiin. Lisäksi Exceliin tehty kirjasto olisi todella työläs päivittää ja ylläpitää. Ideana eri valmistajien tuotekatalogeista koottu tietopankki on hyvä, mutta se kannattaisi toteuttaa erillisellä sille koodatulla ohjelmistolla ja mieluiten toteuttaa verkkoselaimella. Se keventäisi huomattavasti käyttäjän työmäärää ja helpottaisi käyttöä. Käyttäjä saisi keskittyä vain ja ainoastaan ohjelmiston käyttämiseen.

Tiedon etsinnän yhteydessä kävi ilmi, että miltei jokaisella puhallinvalmistajalla oli heidän itse räätälöimiä työkaluja, joilla käyttäjä voi mitoittaa puhaltimia itse. Tämä muutti Excel-työkalua jälleen entisestään. Yhdeksi Excel-työkalun osaksi otettiin ZIEHL-ABEGGIN FANselect-ohjelma, jolla pystyi vertailemaan puhaltimia todella kattavasti, ja se piti sisällään jo miltei kaiken, mitä alkuperäisessä Excel-työkalussa piti olla. Lisäksi FANselect on puhallinvalmistajan ylläpitämä, eli työkalusta ei koidu mitään ylimääräistä työtä sen käyttäjälle. Puhallinmoottorien yksityiskohtaisen energiankulutuksen vertailun tein Excel-työkaluun.

Työn tavoite täytettiin koulun puolesta, mutta yrityksessä todettiin laskurin olevan liian monimutkainen huoltohenkilökunnan käytettäväksi. Tämä johtui lähinnä siitä, että huoltopäällikkö ei kerennyt antamaan mielipiteitä työkalusta. Osin työkalua aiottiin kuitenkin käyttää tulevaisuudessa hyödyksi.

Liittypä työtä helpottava työkalu mihin tahansa, sen tekemisen lähtökohta on, että se muokkautuu käyttäjien palautteiden mukaan heidän näköisekseen työkaluksi. Työkalu ei palvele ketään, mikäli käyttäjiltä ei saa riittävästi mielipiteitä työkalun toimivuudesta ja siihen tarvittavista ominaisuuksista.

Puhallinten saneeraustyöstä oli saatavilla todella niukasti tietoa, mikä yllätti suuresti. Voisi olettaa, että mitä enemmän valmistajat jakavat tietoa mahdollisista käyttökohteista sekä saneerausmahdollisuuksista, sitä enemmän se kasvattaisi tuotteiden menekkiä. Käytettävää tietoa aiheeseen liittyen oli hyvin vähän, eikä aihetta ollut käyty kursseillamme kovinkaan syvällisesti. Kirjallisuutta löytyi muutamia kappaleita, jotka olivat ajankohtaisia ja joita pystyi käyttämään luotettavana lähteenä. Puhallinvalmistajien edustajat olivat myös avuliaita ja heiltä sai ongelmakohtaisissa tiedossa tietoa. Aihe oli kuitenkin mielenkiintoinen ja mieluisa, koska rakennusten energiatehokkuus ja sen kehittäminen kiinnostavat paljon.

Kuten aikaisemmin todettu, puhaltimien energiankulutuksen vertailu on laaja käsite, mitä ei tarkennettu kuin että työkalun täytyisi vertailla kolmea eri moottorivaihtoehtoa. Puhallin on järjestelmänä yksinkertainen mutta pilkottuna osiin, siinä on useita eri tekijöitä mitkä kaikki vaikuttavat kokonaisuuteen. Puhaltimen uudistamisella saavutetaan jo taloudellista sekä ekologista hyötyä, mutta jos siihen lisätään puhaltimen tarpeenmukainen ohjaus, voidaan päästä huomattaviin säästöihin. Saneerauskohteissa puhaltimen vaihtotyötä ohjaava syy on yksi merkittävimmästä tekijästä koko energiatehokkaassa puhallinmuutoksessa. Tarkasteltaessa esimerkiksi tilannetta, jossa vaihtotyötä ohjaa meluhaittojen minimoiminen, mutta samalla pyritään parantamaan järjestelmän energiatehokkuutta. Esimerkissä ajaututaan tilanteeseen, jossa puhaltimien energiankulutus on toissijainen kriteeri ja vertailua tulee kyetä tekemään suoraan suoritusarvoista tai -käyristä.

Kaikki huomioiden puhallinten vertailun ja niiden valinnan tulisi tehdä henkilö, jolla on vahva kokemus aiheesta. Kuten eräs opettaja totesikin, insinöörin ei tule katsoa tuloksia vain absoluuttisena totuutena, vaan tulosta tulee osata tulkita ja puntaroida, mitä tulos tarkoittaa. Sama pätee puhaltimien valinnassa.

Vanhojen puhaltimen muutostyö energiatehokkaammaksi on kannattava investointi ja osin direktiivien myötä myös pakollista. Puhaltimet ovat yksi keskeisimpiä osia ilmanvaihtojärjestelmää ja pelkästään puhaltimen uusimisella voi mahdollisesti säästää koko järjestelmän uusimistarvetta kymmenillä vuosilla. Puhaltimen uusimisessa täytyy muistaa kuinka pieni suurikin kertainvestointikustan-

nus on suhteutettuna laitteen käyttö- ja huoltokustannuksiin. Taloudellisten etujen lisäksi puhallinten uusiminen on myös ekologinen ratkaisu. Puhaltimen päivittäminen tehokkaampaan ja paremmin ohjattuun saattaa pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä huomattavasti.

LÄHTEET

1. Caverion lyhyesti. 2017. Caverion Suomi Oy. Saatavissa:
<http://www.caverion.fi/tietoa-caverionista/caverion-lyhyesti>. Luettu 14.3.2017
2. Sandberg, Esa 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus, osa 2. Tampere: Tammerprint.
3. Sanberg, Esa 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, osa 1. Tampere: Tammerprint
4. JM Aerofoil kaksiportainen. 2017. Fläkt Woods Oy. Saatavissa:
<http://www.flaktwoods.fi/products/air-movement-/ventilation-fans/axial-fans/jm-aerofoil-2-stage>. Luettu 12.4.2017
5. Puhallintekninen käsikirja. 2006. Fläkt Woods Oy.
6. Fans and blowers guide. 2008. BCHydro. Saatavissa:
https://www.bchydro.com/content/dam/hydro/medialib/internet/documents/ps_business/pdf/fans_blowers_guide.pdf. Luettu 11.4.2017.
7. Zabludefin-puhallin. 2017. ZIEHL-ABEGG tuotekuvasto. Saatavissa:
<http://www.ziehl-abegg.com/fi/en/product-range/ventilation-systems/centrifugal-fans/zabludefin/>. Luettu 11.4.2017
8. Puhaltimen vaihto. 2015. Fläkt Woods Oy. Saatavissa:
<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=70072eb6-48a7-4534-a1e1-9db6709cb22b>. Luettu 15.3.2017
9. ABB:n pienjännitemoottorit. 2014. ABB Oy. Saatavissa:
http://cna.mamk.fi/Public/FJAK/YAMK/Sahkokaytto/Materiaalit/ABBn%20moottorikoulutusmateriaali_10%202014.pdf. Luettu 16.3.2017
10. Energiatohokkaat sähkömoottorit. Motiva. Saatavissa:
http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/380/Energiatohokkaat_sahkomoottorit.pdf. Luettu 18.4.2017

11. Sähkömoottorin hyötysuhteella on väliä. 2009. ABB Oy. Saatavissa: <http://www.abb.fi/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx>
. Luettu 15.3.2017
12. Muuntajat ja sähkölaitteet. Metropolia AMK kurssimateriaali, Sundgren. Saatavissa: <http://users.metropolia.fi/~k0200665/koulu/sundgren.pdf> Luettu 16.3.2017
13. EC-moottorin rakenne. 2017. Mastervent Oy. Saatavissa: <http://www.mastervent.fi/fi/Ajankohtaista.html>. Luettu 18.4.2017
14. PM-puhallin ja integroitu taajuusmuuttaja. 2017. Fläkt Woods Oy. Saatavissa: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=c05de6d5-8f94-4d35-a36a-4d64a509b56a>. Luettu 12.4.2017
15. Energiaa säästävät EC-saneerauspuhaltimet. 2016. Bistrotec. Saatavissa: http://www.bistrotec.fi/files/pdf-tiedostot/puhallinmoottorit/AHU-saneeraus%20esite_bistrotec.pdf. Luettu 18.4.2017
16. Vesalan koulu hakelämpökeskus – kojeluettelo. 2009. Tilastokeskus ouka. Saatavissa: http://tilakeskus.ouka.fi/assets/site/files/ohjeet/vesalan_koulu_hakelampokeskus/6760_kojeluettelo_lvi502.pdf. Luettu 6.4.2017
17. Organisation. 2017. ZIEHL-ABEGG SE. Saatavissa: <http://www.ziehl-abegg.com/de/en/organisation/press/>. Luettu 18.4.2017
18. Fansselect – info. 2017. ZIEHL-ABEGG SE. Saatavissa: <http://www.ziehl-abegg.com/de/en/support/software/fansselect/>. Luettu 18.4.2017
19. FANselect. 2017. ZIEHL-ABEGG SE. Saatavissa: <http://www.fansselect.net/>
Luettu 18.4.2017

