

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PUHALTIMET JA LAITEKIRJASTON KEHITYS

TEKIJÄ Tommi Korhonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Tommi Korhonen	
Työn nimi Puhallimet ja laitekirjaston kehitys	
Päiväys 29.9.2022	Sivumäärä/Liitteet 30/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sumitomo SHI FW	
Tiivistelmä <p>Työn toimeksiantaja oli Sumitomo SHI FW. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää puhallin valintataulukko Sumitomo SHI FW:lle laitekirjaston kehittämisen ohella. Valintataulukossa määritetään puhallimet, virtausmäärät, puhallin tyypit ja lämpötilat. Valintataulukon teolla pyritään nopeuttamaan layout-suunnittelijan suunnitteluprosessia tarjousvaiheessa.</p> <p>Työtä lähdettiin pohjustamaan tutustumalla yrityksen suunnitteluohjeisiin ja dokumentointi työkaluun, josta sai tietoa nykyisistä ja menneistä projekteista. Tämä helpotti ymmärtämään miten puhallimet toimivat. Palaverien muodossa kartoitettiin minkälainen taulukon tulisi olla ja mitkä tiedot siihen ovat olennaisia. Valintataulukkoa tehtiin yhteistyössä laitevalmistajan kanssa.</p> <p>Työn tuloksesi saatiin puhallin valintataulukko, josta valinta tehdään puhallintyyppin ja virtausmäärän mukaan. Taulukosta tuli suunnitelmien mukainen ja tavoitteet saavutettiin. Taulukkoa voi tulevaisuudessa kehittää haluamallaan tavalla ja sitä voidaan käyttää mallina, jos halutaan tehdä vastaavia taulukoita muilta laitevalmistajilta. Kyseistä taulukkoa voidaan myös hyödyntää mallina silloin, jos halutaan tehdä muista laitteista vastaava taulukkoa.</p>	
Avainsanat	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author(s) Tommi Korhonen	
Title of Thesis Blowers and Development of the Device Library	
Date 29 September 2022	Pages/Appendices 30/1
Client Organisation /Partners Sumitomo SHI FW	
<p>Abstract</p> <p>The client of this thesis was Sumitomo SHI FW. The aim of this thesis was to develop a chart for Sumitomo SHI FW along with the development of the device library. The fan chart holds data of blowers, flow rate, fan type and temperatures. The reason for this work was to make the layout engineer's design process faster.</p> <p>First of all it was started by getting familiar with the company's engineering manuals and documentation tool. These hold the data of present and past projects. This knowledge helped to understand how the fans work. Meetings were held in order to find out what kind of chart would benefit the company the most and what is the ideal data that the chart should hold. The chart was made in cooperation with the equipment manufacturer.</p> <p>The result of the work was a fan chart, in which the selections are made based on the fan type or flow rate. Chart turned out as it was planned and also all the goals were reached. This chart can be developed in the future if needed or it can be utilized if the company decides to make same kind of chart with other manufacturers of different devices/ kind of equipment.</p>	
Keywords	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Lyhenteet ja määritelmät.....	6
2	SUMITOMO SHI FW ENERGIA OY	7
2.1	Historia	7
2.2	Visio.....	8
2.3	Ratkaisut ja palvelut.....	8
3	PUHALTIMET	10
3.1	Puhaltimien toiminta kattilassa.....	10
3.1.1	Primääri-ilmansyötöt	10
3.1.2	Sekundääri-ilmansyötöt.....	13
3.1.3	Savukaasupuhallin	13
3.1.4	Kiertokaasupuhallin.....	14
3.2	Keskipakopuhallin	14
3.2.1	Taaksepäin suunnatut kaarevat siivet.....	15
3.2.2	Taaksepäin suunnatut suorat siivet	16
3.2.3	Taaksepäin suunnatut aerodynaamisesti muotoillut siivet	17
3.2.4	Suorat säteiset siivet.....	17
3.2.5	Eteenpäin kaarevat siivet	18
3.3	Aksiaalipuhallin	19
3.4	Laakeri valinnat puhaltimiin	20
3.4.1	Liukulaakeri.....	21
3.4.2	Vierintälaakeri	21
3.4.3	Voitelun valinta.....	22
4	TARJOUSPYYNTÖ	23
4.1	Tarjouksien pyytäminen	23
4.2	Tarjouspyyntötilanteen kulku	23
5	PUHALTIMEN VALINTATYÖKALU.....	24
6	VALINTATAULUKON KÄYTTÖ JA HYÖDYT YRITYKSELLE	26
7	YHTEENVETO.....	27
	LÄHTEET	28
	LIITE 1: VALINTATAULUKKO PUHALTIMILLE	30

KUVALUETTELO

KUVA 1. SFW toiminta-alueen kartta (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon, 2.).....	7
KUVA 2. Esimerkki CFB kattilasta (Sumitomo SHI FW 2017, 17).	9
KUVA 3. Esimerkki BFB kattilasta (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon).	9
KUVA 4. Nuolen muotoinen suutin (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon, 5.)	11
KUVA 5. Vuosaari puhallin kytkentä (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon.)	12
KUVA 6. Progroup puhallin kytkentä (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon.)	13
KUVA 7. Keskipakopuhallin toiminta (Wikipedia 2011, CC-BY).	15
KUVA 8. Taaksepäin kaarevat siivet (Sumitomo SHI FW 2018, 17.)	16
KUVA 9. Taaksepäin suunnattu suorat siivet (Sumitomo SHI FW 2018, 17.)	16
KUVA 10. Aerodynaamisesti muotoillut siivet (Sumitomo SHI FW 2018, 17.)	17
KUVA 11. Säteiset siivet (Wikipedia 2007.).....	18
KUVA 12. Eteenpäin kaarevat siivet (Wikipedia 2007.)	18
KUVA 13. Sekundääri-ilma aksiaalipuhallin (Siitari 2015.)	19
KUVA 14. Savukaasu aksiaalipuhallin (Siitari 2015.)	20

1 JOHDANTO

Laitetietokartoitus tarjousvaiheessa vaatii suunnittelijalta paljon aikaa, koska olemassa olevien laite-tietojen määrä on niin suuri ja laitetoimittajia on paljon.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on luoda työkalu layoutsuunnittelijalle, jota hän voi hyödyntää tarjousvaiheessa 3D-mallin tilavarauksena. Työ suoritetaan yhteistyössä laite ja layoutinsinöörien kanssa Sumitomo SHI FW:n toimistolla Varkaudessa.

Työn tuloksena on valintataulukko, jossa on tarvittavia tietoja keskipakoispuhaltimista. Tarvittavat tiedot ovat puhaltimen tilavuusvirta, kokonaispaine ja lämpötila, jotka ovat suhteessa puhaltimen tehoon. Tavoitteena on myös, että taulukkoa voidaan hyödyntää myöhemmin ja sitä voitaisiin kehittää vielä pidemmälle, esimerkiksi lisätä tietoa muista laitteista mm. pumput ja moottorit.

Yritys on tällä hetkellä luomassa 3D mallikirjastoa uudelleen siirtyessään PDMS:stä Cadmaticiin. Laitteiden luettelointi auttaisi mallien järjestelmällisyyttä tulevaisuudessa.

Opinnäytetyössä perehdytään puhaltimiin ja kuinka niiden valintaa voitaisiin nopeuttaa tarjousvaiheessa.

1.1 Lyhenteet ja määritelmät

Työssä käytetyt lyhenteet:

FW = Foster Wheeler

SFW = Sumitomo SHI FW

SHI = Sumitomo Heavy Industries

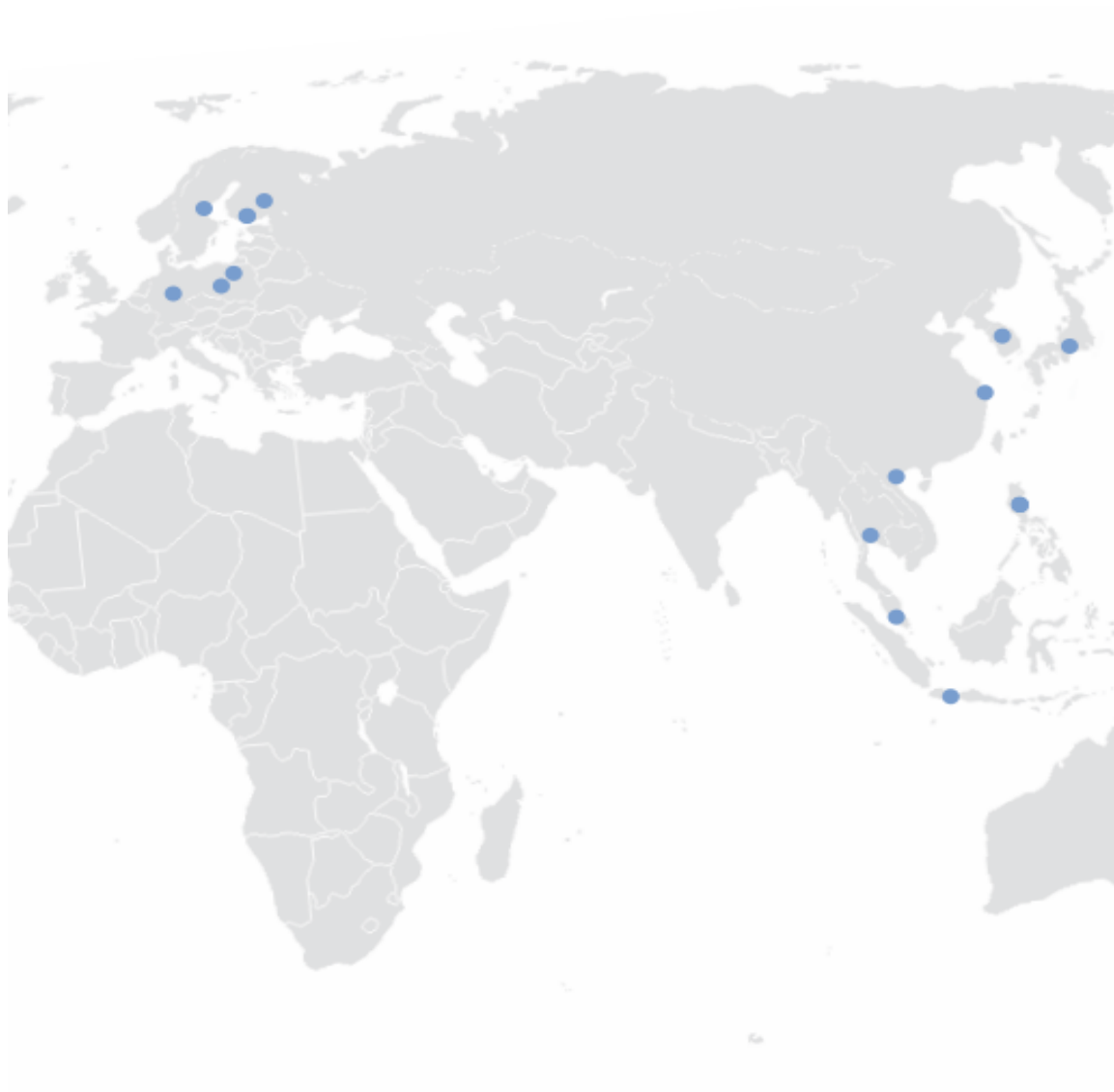
Fuusio = Kahden tai useamman osakeyhtiön yhdistyminen yhdeksi osakeyhtiöksi

CFB = Kiertoleijukattila (Circulating fluidized bed)

BFB = Kuplapetikattila (Bubbling fluidized bed)

2 SUMITOMO SHI FW ENERGIA OY

Sumitomo SHI FW Energia Oy operoi Suomessa, Espoossa ja Varkaudessa. Sumitomo SHI FW:llä on tytäryhtiöt Ruotsissa ja Saksassa. Suurin osa työntekijöistä työskentelee Varkaudessa tuotekehityksen ja projektien toteutuksen parissa. Yrityksen toiminta on lähtenyt käyntiin Japanissa ja toimintaa löytyy ympäri Aasiaa. SFW on osa Sumitomo Heavy Industriesin energia lohkoa. Kuvassa 1 esitetään SFW toiminta-alueita.



KUVA 1. SFW toiminta-alueen kartta (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon, 2.)

2.1 Historia

Sumitomo Heavy Industries toiminta alkoi vuonna 1888. Kaivostoiminnat olivat laajentuneet tarpeeksi, että voitiin aloittaa "myymäläkäytäntö" konsepti, jossa oli tapana korjata kaivoksilla käytettyjä laitteita ja työkaluja.

Foster Wheeler perustettiin vuonna 1927 kahden yhdysvaltalaisen yrityksen fuusioitumisesta: Power Specialty, joka korvasi Water Worksin, jonka Fosterin perhe perusti vuonna 1884 ja Wheeler Condenser & Engineering yrityksen, jonka juuret yltivät 1891 luvulle. FW aloitti teollisuuskattiloiden valmistuksen vuonna 1940.

Sumitomo Heavy Industries perustettiin 1969. Yritys yhdisti voimansa Uruga Heavy Industriesin kanssa, joka perustettiin ensimmäisenä nimellä Uruga Dock Co. Takeaki Enomoton tukemana. Nykyisin nimellä tunnettu SHI avasi kaksi suurta tehdasta, Oppama Shipyardin (nykyisin tunnetaan nimellä Yokosuka Works) ja Toyo Works (nykyisin Saijo Works). Näin SHI rakensi perustansa raskaan teollisuuden pariin.

2014 FW yhdistyi AMEC nimisen yrityksen kanssa ja näin syntyi Amec Foster Wheeler, joka käy kauppaa Lontoon ja New Yorkin pörssissä Öljylaitteiden ja palveluiden sektorilla.

Sumitomo SHI FW perustettiin. SHI osti Amec Foster Wheelerin leijupetikattilaliiketoiminnan ja näin syntyi tytäryhtiö Sumitomo SHI FW vuonna 2017. (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon.)

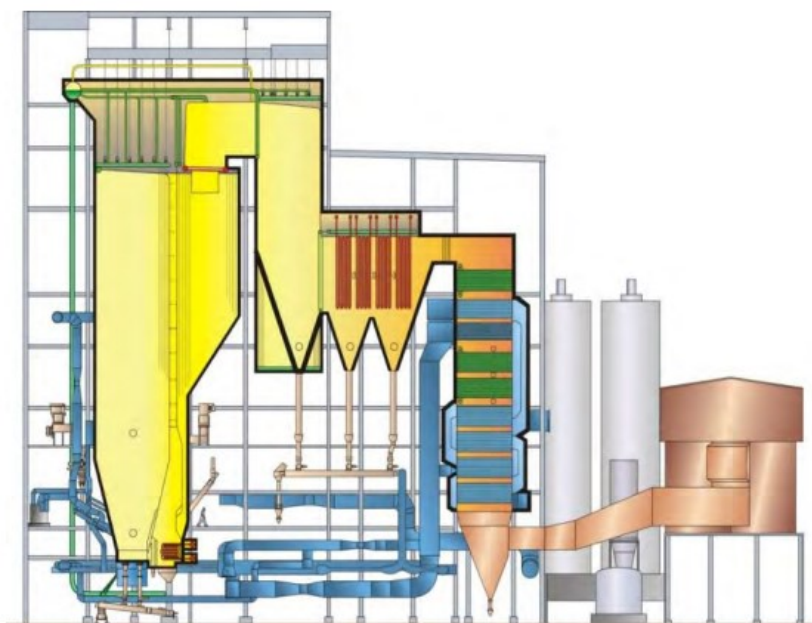
2.2 Visio

Sumitomon visiona on tarjota kestäviä energiaratkaisuja esimerkiksi energian irtauttaminen hiilestä, hajauttamisen ja energia-alan digitalisoinnin kautta. Yritys kattaa asiakkaiden voiman tuoton tarpeet hyödyntäen kiertoleijukattila teknologiaa, pitkäaikaisia energia varastointi mahdollisuuksia ja siihen liittyviä verkkopalveluita. (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon, 2.)

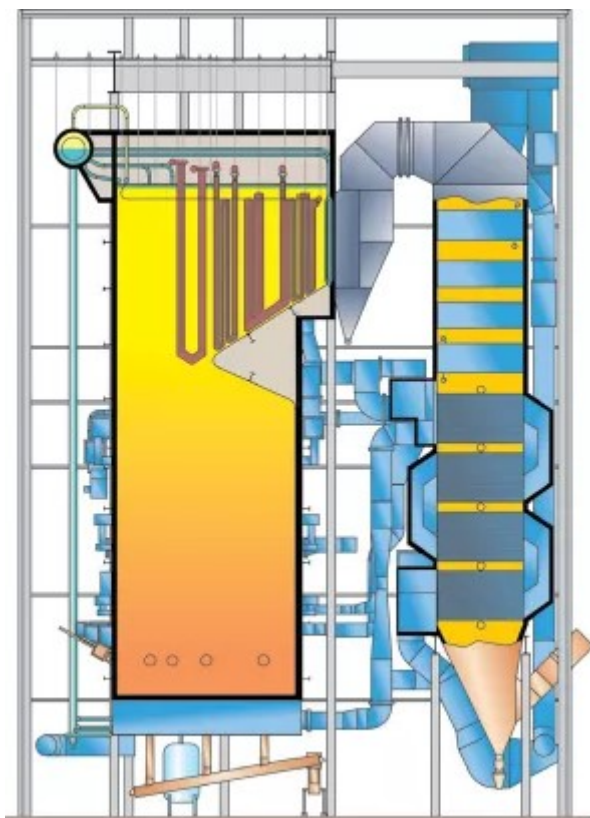
Tuote ja palveluvalikoimia kehitetään parantamalla talon sisäisiä työkaluja ja teknologioita. Myös kyseisiä asioita parannetaan uusilla yritys kumppanuuksilla. (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon, 2.)

2.3 Ratkaisut ja palvelut

SFW tarjoaa kattila- ja savukaasu puhdistuslaitosten suunnittelun, toimituksen ja asennuksen. Yritys hoitaa myös laitos huollot ja niiden modernisoinnin, ympäristö päivitykset, polttoaineen laajennukset ja muuntamiset. Yrityksen osaamiseen kuuluu leijukerrosteknologia ja erityisesti CFB kattilat. Yrityksen tuotteisiin kuuluu aikaisemmin mainittu CFB kattilat, BFB eli kuplapetikattilat, CFB – ja BFB- kaa-suttimet, savukaasujen puhdistuslaitteet ja metallurgian jätelämpökattilat. (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon.) Energian varastointi nestemäisen ilman varastoinnilla on yrityksen uusimpia tuotteita. Kuvassa 2 ja 3 esitetään esimerkki mallit aikaisemmin mainituista CFB ja BFB kattiloista.



KUVA 2. Esimerkki CFB kattilasta (Sumitomo SHI FW 2017, 17).



KUVA 3. Esimerkki BFB kattilasta (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon).

3 PUHALTIMET

Puhaltimet voidaan jakaa aksiaali ja keskipakopuhaltimiin. Kömin (2015, 20) mukaan aksiaalipuhaltimessa kaasu virtaa akselin suuntaisesti ja keskipakopuhaltimessa virtaussuunta on ensin akselin suuntainen, mutta kääntyy säteen suuntaiseksi, eli aksiaalipuhaltimet voivat liikuttaa ilmaa vain yhteen suuntaan, kun taas keskipakoispuhaltimet tarjoaa enemmän vaihtoehtoja ilman suuntaukseen. Aksiaalipuhaltimia käytetään käytännössä vain suurimmissa kattiloissa.

Puhaltimet syöttävät palamiseen tarvittavaa ilmaa ja säättävät kattilan vetoa. Savukaasujen takaisin kierrätykseen käytetään kiertokaasu puhaltimia.

Riippuen kattilan koosta ja tilavuusvirran tarpeen mukaan hankitaan erilaisia puhaltimia eri ominaisuuksilla, tämä ei ole aina helppoa sillä puhaltimia valitessa pitää ottaa huomioon monia asioita mm. lämpötilat, joissa puhallin voi toimia, tilavuusvirran määrä ja pitääkö mahdollisesti harkita aksiaali puhaltimia, jotka ovat voimakkaampia keskipakoispuhaltimiin verrattuina, mahdollinen korroosio puhaltimissa ja miten sitä voisi estää.

3.1 Puhaltimien toiminta kattilassa

Leijupetikattilat hyödyntää 2 erityyppistä ilmaa polttoaineen palamisen takaamiseksi. Palamisilma on luokiteltu primääri-ilmaan ja sekundääri ilmaan. Sekundääri-ilmaa syötetään ainakin kahteen eri tasoon palamisen vaihteistamiseksi. (Sumitomo SHI FW 2022, 7.)

Primääri ja sekundääri keskipakoispuhaltimissa yleensä käytetään taaksepäin suunnattuja kaarevia siipiä. Kaasumäärästä riippuen puhallin voi olla juoksupyörän molemmilta puolilta, tai vain toiselta puolelta vetäviä.

3.1.1 Primääri-ilmansyötöt

Primääri-ilmaa puhalletaan kattilaan pohjalla olevista suuttimista. Ajan mittaan suuttimien alla ovat pystyputket kuluvat ja vaativat vaihtoa. Primääri-ilman painetasot ovat 15-20 kPa paikkeilla. Kuvassa 4 esitetään kattilan pohjalla olevat suuttimet.



KUVA 4. Nuolen muotoinen suutin (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon, 5.)

Yleisesti helposti haihtuvat polttoaineet palavat kattilan yläosassa, näin ollen tarvitaan vähemmän primääri-ilmaa alemman pedin lämpötilan säätelyyn kuin vähän haihtuvien polttoaineiden tapauksissa. (Sumitomo SHI FW 2022, 7.)

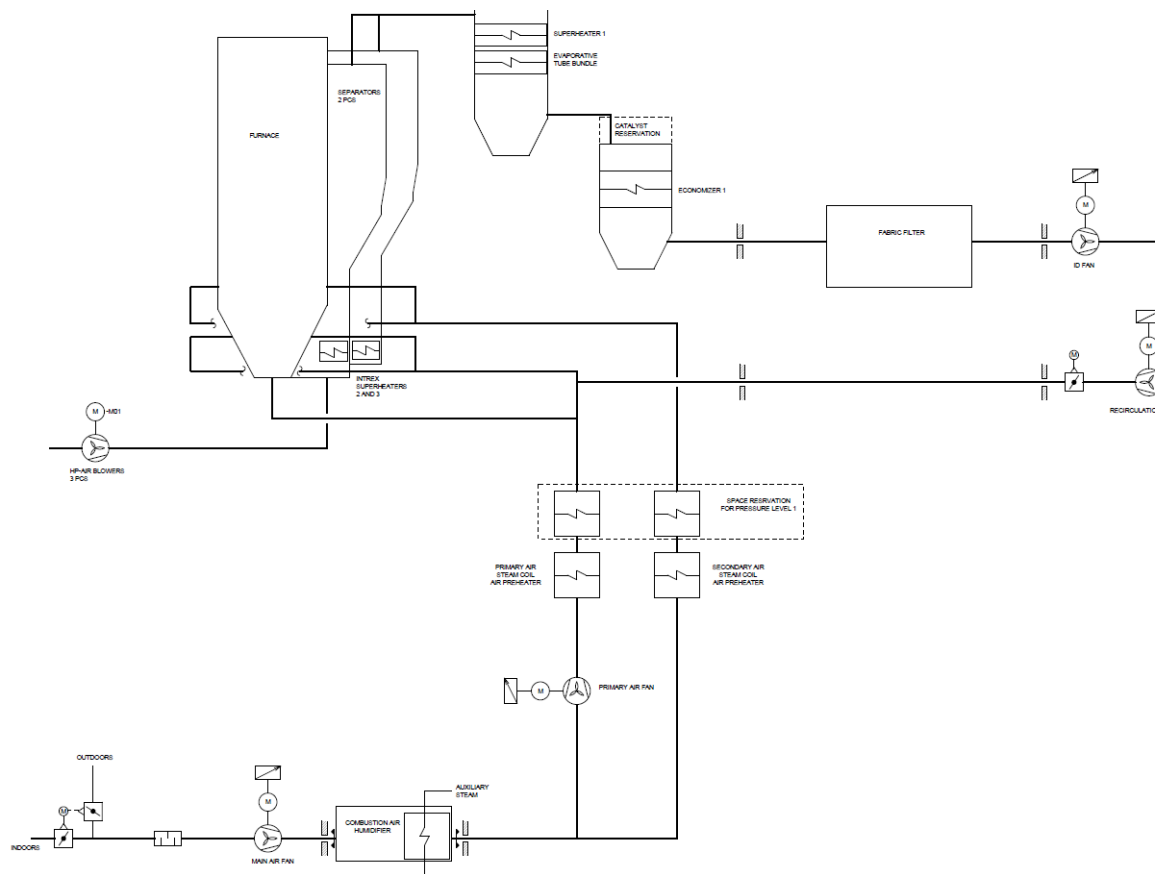
Kun poltetaan vähemmän haihtuvia polttoaineita, niin palaminen tapahtuu yleensä kattilan alaosassa. Joten, primääri-ilmaa tarvitaan tyypillisesti lisäämään kiintoaine kiertoa pedin jäähdyttämiseksi ja palamisen siirtämiseksi ylöspäin. Lämpötilan säätelyssä voidaan hyödyntää kiertokaasua, tästä tarkemmin kiertokaasu osiossa. (Sumitomo SHI FW 2022, 7.)

Alla olevissa kuvissa nähdään 2 erilaista puhallinkytkentää. Jos palamisilmoihin tarvitaan ilman kostutin, yleensä valitaan kuvan 5 tyylinen puhallin kytkentä.

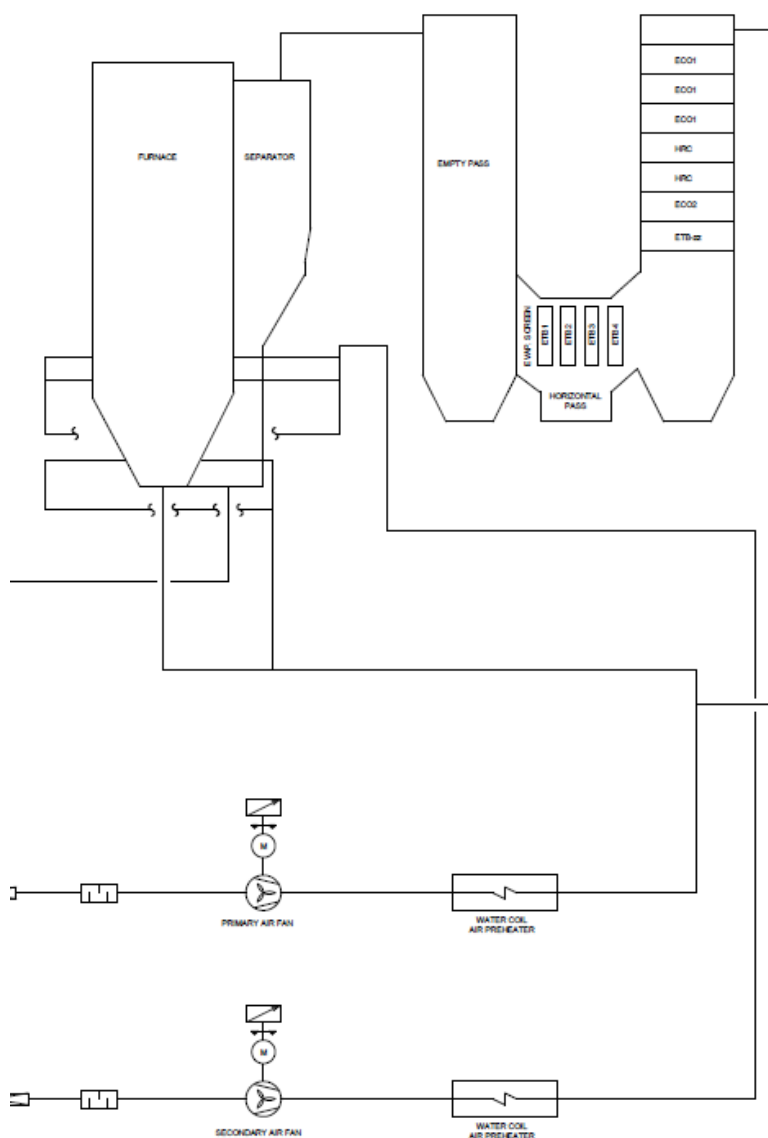
Palamisilman kostutuksessa on kyse siitä, että saadaan kattilaan enemmän kosteutta, jolloin savukaasujen kastepiste kohoaa vastaavasti. Tämän prosessin avulla palamisilmaan siirretty energia saadaan otettua talteen korkeammalla lämpötilatasolla. Lämmön talteenoton tehostamisella pystytään siis nostamaan järjestelmän hyötysuhdetta ja vähentämään polttoaineen kulutusta. (Anttila 2014, 14–15.)

Kuvan 5 puhallin kytkennässä ei ole erillään olevia primääri ja sekundääri kanavia, vaan koko palamisilma paine korotetaan ensin pääilmapuhaltimella sekundääri-ilman painetasoon, josta edelleen otetaan osa käytettäväksi primääri-ilmaksi, jonka paineenkorotus tehdään ns. buusteripuhaltimella. Edellä mainitun buusteripuhaltimen paineen korotus on 12kPa paikkeilla.

Kuvassa 6 on progroupp projektissa käytetty puhallin kytkentä. Tässä ei ole palamisilman kostutinta, joten primääri ja sekundääri ilmalle on erilliset puhaltimet. Tämä on perinteinen tapa puhallinkytkennälle.



KUVA 5. Vuosaari puhallin kytkentä (Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon.)



KUVA 6. Progroup puhallin kytkentä (Sumitomo SHI FW julkaisuaiika tuntematon.)

3.1.2 Sekundääri-ilmansyötöt

Sekundääri-ilma koostuu luonnollisesti muista ilmavirroista kuin primääri-ilma. Se myös sisältää ilmaa kalkkikiven ja polttoaineen syöttöön. Sekundääri-ilmaa syötetään useaan kohtaan kattilassa, mm. etu ja takaseinämät. Sekundääri-ilman painetasot ovat 11–13 kPa paikkeilla. (Sumitomo SHI FW 2022, 8.)

3.1.3 Savukaasupuhallin

Savukaasu puhaltimet ottavat savukaasua pois järjestelmästä ja aiheuttaa siten alipainetta järjestelmään. (Techflow julkaisuaiika tuntematon)

Kun savukaasujen ja ilman virtaukseen vaikuttaa asteittain ilmakehän paineen alapuolelle laskeva paine, sitä kutsutaan indusoiduksi vedoksi. (Primasonics julkaisuaika tuntematon) Kuumat savukaasut koneista/kattiloista poistetaan savukaasupuhaltimilla ja siirretään ulkoilmakehään. Tämä prosessi suoritetaan käyttämällä savupiippua, joka on erityisesti rakennettu kaasun poistoa varten. (Techflow julkaisuaika tuntematon.) Yksinkertaisesti savukaasupuhaltimien tehtävänä on tulipesässä syntyvien kaasujen poisto kattilasta. Savukaasujen tyypillinen paineenkorotus on 9-11 kPa paikkeilla.

3.1.4 Kiertokaasupuhallin

Pedin lämpötila pyritään pitämään 800-900 asteessa, jotta saavutetaan hyvä palaminen, mutta toisaalta vältetään tuhkan sulaminen. Pedin lämpötilaa voidaan alentaa johtamalla kiertokaasua pedin leijutusilman joukkoon. Kiertokaasu alentaa leijutuskaasun happipitoisuutta, jolloin palamisessa vapautuva lämpömäärä pienenee ja pedin lämpötila alenee. Osakuormien ollessa pienet ja kun käytetään kuivia polttoaineita, pedin lämpötilaan tarvitaan kiertokaasua. Kiertokaasu johdetaan savukaasupuhaltimen jälkeen erillistä kanavaa pitkin johtosiipisäätöiselle kiertokaasupolttimille, jolla sen paine nostetaan vastaamaan primääri-ilman painetta. Kiertokaasu sekoitetaan primääri-ilmaan ilman esilämmittimen jälkeisessä primääri-ilmanavassa. Eli yksinkertaistettuna kiertokaasuilla säädellään pedin lämpötilaa. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen 2013, 42-43.)

3.2 Keskikapopuhallin

Radiaali eli keskikapopuhaltimia nähdään yleisesti teollisuudessa. Ne sopivat korkean virtauksen ja matalan paineen yhdistelmään. Pienemmissä laitoksissa/kattiloissa yleensä käytetään kyseisiä puhaltimia, mutta jos tarvitaan suuria määriä tilavuusvirtaa, niin silloin kannattaa miettiä aksiaalipuhaltimen käyttöä. (SFWEPE EQE training 2018.)

Keskikapopuhallin liikuttaa ilmaa sisään puhaltimeen ja puskee sen 90 asteen kulmassa pois. Erilaisia malleja on olemassa ja puhaltimien suuttimia voi säätää eri suuntaan. Puhaltimen pääkomponentit ovat moottori ja juoksupyörä kotelon sisällä. (Proline range hoods 2020.) Juoksupyörän tarkoitus on saada aikaan pyörimisliike, joka muunnetaan paine-eroksi. Siipipyörä työntää ilmaa keskeltä ulospäin. Puhaltimessa on yleensä moottori, joka pyörittää juoksupyörää, joka vetää ilmaa keskeltä imuaukosta. (Beatson julkaisuaika tuntematon.)

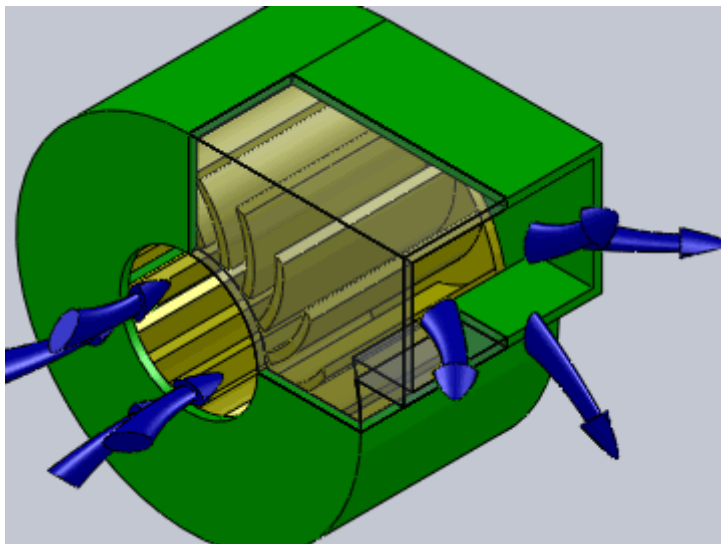
Hyödyt

- Ulostulon kulmaa voidaan säätää
- Hyvä paineenkorotuskyky

Haitat

- Korkea energian kulutus, kun käytetään paikoissa, joissa tuulenpaine on alhainen

Kuvassa 7 nähdään keskikapopuhaltimen perustoiminta



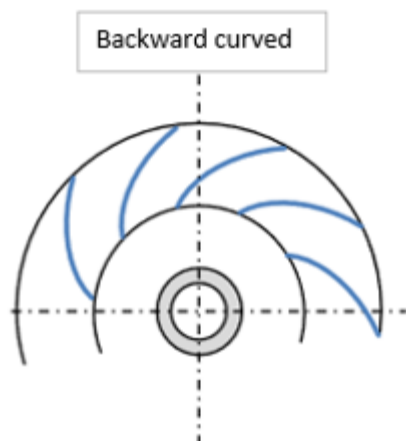
KUVA 7. Keskipakopuhallin toiminta (Wikipedia 2011, CC-BY).

On olemassa viisi erityyppistä keskipakopuhallinta, jotka vaihtelevat puhaltimen siipien tyypin ja muodon mukaan. Jokainen siipityyppi vaihtelee tehokkuuden suhteen, toisin sanottuna kuinka nopeasti puhallin siirtää ilmaa kanavan tai järjestelmän läpi, johon se on asennettuna, mutta tärkeintä on tietää se, että taaksepäin kaarevat siivet ovat tehokkaimpia, kun taas eteenpäin suunnatut kaarevat siivet ovat vähiten tehokkaampia. (Proline range hoods 2020.)

- Taaksepäin suunnatut kaarevat siivet
- Taaksepäin suunnatut suorat siivet
- Taaksepäin suunnatut aerodynaamisesti muotoillut siivet
- Suorat säteensuuntaiset siivet
- Eteenpäin suunnatut kaarevat siivet

3.2.1 Taaksepäin suunnatut kaarevat siivet

Taaksepäin suunnatut kaarevat siivet tarjoavat parhaimman hyötysuhteen levysiipipyörissä. Jos vaadittu toimintapiste putoaa alueelle, jossa järjestelmän keskipaineen alue verrattuna keskimääräiseen tilavuusvirtaan, tulisi harkita taaksepäin suunnattuja kaarevia siipiä. (Designspark 2017.) Käytetään esimerkiksi palamisilmapuhaltimissa. Taaksepäin kaarevat siivet toimivat parhaiten suurilla kierrosnopeuksilla. Kuvasta 8 voi nähdä osiittaa kyseisestä siipityypistä.



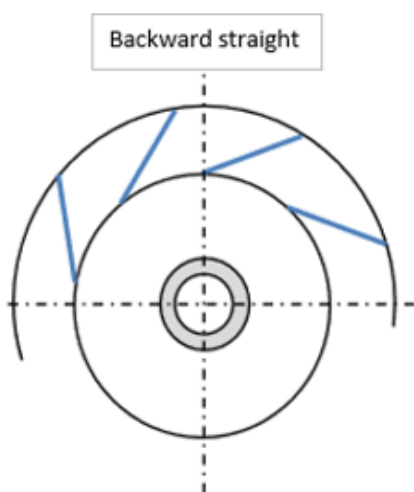
KUVA 8. Taaksepäin kaarevat siivet (Sumitomo SHI FW 2018, 17.)

Hyödyt

- Tarjoaa parhaimman hyötysuhteen levysiipipyörissä
- Pienimmät äänitasot
- Saatavilla useimmilta laitetoimittajilta

3.2.2 Taaksepäin suunnatut suorat siivet

Tämän malliset siivet ovat halvempia teettää kuin taaksepäin kaarevat siivet. Kemikaalit/pöly eivät kerrostu tämän mallisiin siipiin, joten nämä ovat hyvä valinta esim. lääketeollisuuteen. (IJIRSET 2017 2.) Hyötysuhde on huonompi kaareviin siipiin verrattuna. Taaksepäin suunnatut suorat siivet soveltuvat parhaiten korkeapaineisiin puhaltimiin. Kuvassa 9 esitetään taaksepäin suunnattuja suorita siipiä.



KUVA 9. Taaksepäin suunnattu suorat siivet (Sumitomo SHI FW 2018, 17.)

Hyödyt

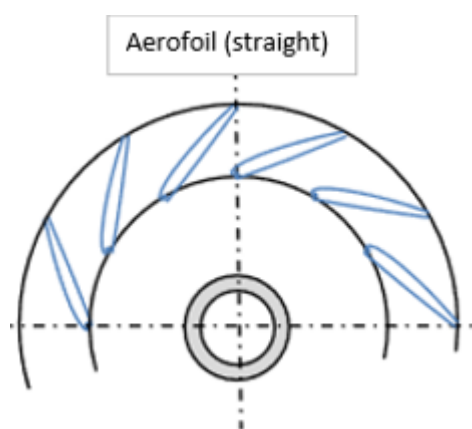
- Halpa

Haitat

- Heikompi rakenne, joka aiheuttaa vibraatioita
- Melutaso kova, koska ei leikkaa ilmaa niin hyvin kuin kaareva

3.2.3 Taaksepäin suunnatut aerodynaamisesti muotoillut siivet

Nämä siivet tuottavat korkeamman paineen ja ovat tehokkaimpia ainutlaatuisen siipiprofilinsa ansiosta. Niillä on suurin hyötysuhde kaikista keskipakopuhaltimista, mutta ei automaattisesti tarjoa korkeinta hyötysuhdetta. (Indrotech julkaisuaika tuntematon.) Esim. kaksinkertaisella sisääntulolla varustetulla levyterällä on etu verrattuna aerodynaamisiin siipiin joissakin tapauksissa. Kuvassa 10 esitetään aerodynaamisesti muotoiltuja siipiä.



KUVA 10. Aerodynaamisesti muotoillut siivet (Sumitomo SHI FW 2018, 17.)

Hyödyt

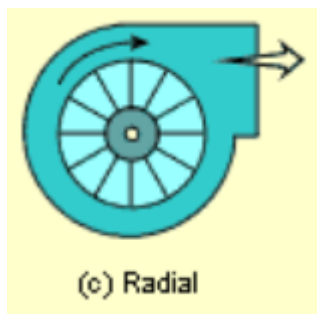
- Hyvä hyötysuhde
- Hiljainen äänentuotto

Haitat

- Kallis
- Taipuvainen sakkauksiin
- Ei saatavilla kaikilta laitetoimittajilta
- Ei ole ideaalinen paljon pölyä sisältäviin prosesseihin

3.2.4 Suorat säteiset siivet

Suorat säteiset siivet eli radiaali siivet omaavat vahvimman fyysisen mallin verrattuna muihin siipi tyyppeihin ja ovat useimmiten käytetty käsittelemään prosessimateriaaleja eli kiinteitä aineita. Ne pystyvät saavuttamaan ylimmän paineen käytännöllisesti katsoen kaikista puhallinjärjestelyistä. Kyseisellä siipi tyypillä on myös kyky puhdistaa itse itsensä. (IJIRSET 2017 3.) Kuva 11 esittää täysin suorita siipiä eli säteisiä siipiä.



KUVA 11. Säteiset siivet (Wikipedia 2007.)

Hyödyt

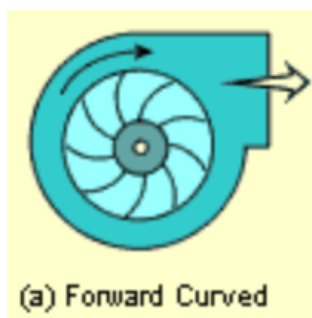
- Pystyy käsittelemään pölyisiä prosesseja
- Pystyy liikuttamaan suuria ilmamääriä
- Helppo huolto

Haitat

- Huonoin hyötysuhde verrattuna muihin siipityyppeihin
- Melutasot ovat isot
- Vaatii enemmän tilaa

3.2.5 Eteenpäin kaarevat siivet

Keskipakopuhallin, jossa on eteenpäin kaarevat siivet, ilma poistuu tangentiaalisesti puhaltimen kehältä. Eteenpäin kaareva siipipyörä vaatii kotelon, joka muuttaa siipipyörän siiven kärjestä lähtevän suuren nopeuden ilmaa pienemmän nopeuden staattiseksi voimaksi. Kun vaadittu toimintapiste puutoaa alueelle, jossa järjestelmän paineet ovat korkeammat verrattuna pienempään tilavuusvirtaan puhaltimen ominaispiirteissä, yhden tuloaukon eteenpäin kaarevilla siivillä varustettua keskipakopuhallinta olisi hyvä harkita. Hyötysuhde kyseisessä siipityypissä on huonompi kuin aerofoil tai liittana mallisissa tyypeissä. (Designspark 2018.) Kuvassa 12 esitetään eteenpäin kaarevia siipiä.



KUVA 12. Eteenpäin kaarevat siivet (Wikipedia 2007.)

3.3 Aksiaalipuhallin

Aksiaalipuhaltimen siivet on liitettyinä pyörivään napaan. Moottori pyörittää juoksupyörää, sitten ilmavirtaus puhaltuu aksiaali suuntaan, siipi työntää kaasua ja paine kasvaa ja aksiaalinen virtaus muodostuu, koska ilmavirtaussuunta kulkee samassa suunnassa pyörivien siipien kanssa. (JN FAN 2018.) Terien liikkeestä muodostuva imu luo liike-energian, joka auttaa prosessia. Tämä kineettinen energia poistaa osan siipien paineesta, tehden tuulettimen toiminnasta tehokkaamman. Paine järjestelmän sisällä tasaa itsensä, tarkoittaen, että ylipaine on aina yhtä suuri kuin alapaine. On olemassa menetelmä, jolla voit lisätä ylipainetta hieman ja se tapahtuu diffuusoriilla. (Ducting express julkaisuaika tuntematon). Diffuusori on tärkeä osa kompressorissa tai pumpussa. Sen tarkoituksena on vähentää juoksupyörässä poistuvan virtauksen nopeutta, mikä johtaa paineen nousuun. (Sciencedirect 2014.)

Aksiaalipuhaltimien Akilleen kantapää on se, että ne eivät pysty nostamaan painetta. Toisaalta ne ovat halpoja ja helppoja asentaa. Toinen haittapuoli teollisuuden aksiaalipuhaltimissa on, että ne voivat olla meluisia suuremmilla nopeuksilla. Tämä riippuu laitoksen tyypistä, jossa käytät niitä, koska meluisuusaste voi olla ongelma joissakin sovelluksissa ja toisissa se jätetään huomioimatta kokonaan.

Aksiaalipuhaltimen siipi toimii samalla periaatteella, kuin lentokoneen siipi synnyttää nostovoiman. Lentokoneen siipi on aerodynaamisesti muotoillun siiven mallinen, jolloin siipeä liikuttaessa eteenpäin ilma siirtyy siiven ylä- ja alapuolelle. (Designspark 2017.)

Ei ole tiettyä rajaa milloinka kannattaisi valita aksiaalipuhallin keskipakopuhaltimen sijaan, mutta aksiaalipuhallin toimii parhaiten, kun tarvitaan suhteellisen suurta tilavuusvirtaa suhteellisen alhaista järjestelmän painetta vastaan.

Alla olevista kuvista (13,14) nähdään Liaochenging voimalaitoksen aksiaalipuhaltimet. Kuvan 14 puhaltimen edustalla oleva koju on voitelukoneikon suojarakennus.



KUVA 13. Sekundääri-ilma aksiaalipuhallin (Siitari 2015.)



KUVA 14. Savukaasu aksiaalipuhallin (Siitari 2015.)

Hyödyt

- Suuret virtausnopeudet
- Aksiaalipuhaltimet omaavat yksinkertaisemman rakenteen, tämä helpottaa niiden huoltamista muihin teollisuus puhaltimiin verrattuna.

Haitat

- Melutaso iso suurilla nopeuksilla
- Huono paineenkorotuskyky

3.4 Laakeri valinnat puhaltimiin

Laakeri on kahden kappaleen välillä oleva osa, jolla pyritään vähentämään kappaleiden välistä kitkaa erottamalla kappaleet toisistaan. Laakeria suunniteltaessa kitka ja kuluminen on tärkeä pitää mielessä, näitä pystytään käytön aikana vähentämään öljyllä ja rasvalla. Hyvin huolletut laakerit toimivat pitkään ja niiden elinaika on pitkä.

Laakerointi koostuu muustakin kuin vain laakereista. Muut osat kuten akseli ja kotelo, ovat olennaisia osia laakeroinnissa. Voiteluaineiden ja tiivisteiden käyttöä ei voi aliarvioida. Kun halutaan täysi suorituskyky irti laakereista, vaaditaan asianmukaista voitelua ja riittävää suojaa korroosiolta ja estää vieraiden aineiden pääsy laakeriin. Laakereiden puhtaudella on suuri vaikutus niiden elinikään. Jokainen päätös vaikuttaa laakerin suorituskykyyn, luotettavuuteen ja taloudellisuuteen. (SKF General Catalogue 2003, 18.)

Laakerit ovat yleisesti jaettavissa vierintä ja liukulaakereihin. Puhaltimissa laakereiden käyttö riippuu puhaltimen koosta. Isommissa puhaltimissa suositellaan liukulaakeria, kun taas pienemmissä vierintälaakeria. Laakereitten valintaan vaikuttaa siipipyörän akselin paksuus ja kierrosluvut. Keskeinen kriteeri, joka vaikuttaa puhaltimen odotettuun käyttöikänsä, on se laakerin tyyppi jota mallissa käytetään. (Powersystemsdesign 2018.) Tämä varmistaa sen, että roottori voi pyöriä tasaisesti.

3.4.1 Liukulaakeri

Liukulaakerit jaotellaan yleensä metalli-, muovi- tai kuituvahvisteisiin laakereihin. Liukulaakerit tarjoavat useita etuja, kuten alhaisemmat kustannukset, huoltovapaus. Keskiakselin tappi pyörii holkin sisällä, jolloin öljy voitelee laakerin. (Powersystemsdesign 2018.)

Salkinojan opetusmateriaalin mukaan (Julkaisuaika tuntematon, 25.) liukulaakereiden rasvavoitelussa on hyvä ottaa huomioon, että voitelu-urien muodossa on tärkeää olla rasvaa syöttävä jouheareuna. Rasvavoitelu tavallisesti vain hitaasi pyöriville akseleille, joissa rasva pysyy voideltavalla alueella. Keskuvoitelujärjestelmät sallivat suurempia nopeuksia, mutta tällöin jälkivoitelun määrät ovat tarkkoja sillä liikaa rasva kuumentaa kohteen.

Hyödyt

- Soveltuvuus matalan tai korkean lämpötilan omaaviin tapauksiin
- Halvempi kuin vierintälaakeri
- Sietää värinää
- Pieni tilantarve
- Voiteluaine voidaan valita tapauskohtaisesti
- Rasvavoitelun rajat tulevat lämmön nousun myötä
- Sopii edestakaiselle ja aksiaalisellekin liikkeelle

Haitat

- Huono soveltuvuus korkeille liukunopeuksille
- Holkin ja keskiakselin tapin väli pitää olla mahdollisen pieni, jotta roottorin heiluminen pysyisi pienenä. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä tiukemmalla holkki on sitä enemmän kitkaa, tulee olemaan, kun käynnistetään moottori ja se on ajolla.

3.4.2 Vierintälaakeri

Vierintälaakerissa on tarkoitus torjua tiettyjä ongelmia, mitä ilmenee liukulaakeroiduissa puhaltimissa. Ne ovat vähemmän taipuvaisia kulumiselle ja voivat toimia missä tahansa suunnassa ja korkeammassa lämpötiloissa. Vierintälaakeroidut tuulettimet ovat kuitenkin monimutkaisempia rakenteeltaan ja kalliimpia kuin liukulaakeroidut mallit ja ne ovat myös vähemmän kestäviä. Tärähdykset ja iskut voivat vaikuttaa liukulaakerin toimintaan. Melutasot ovat suuremmat käytön aikana, joten tämä rajoittaa niiden käyttöä joissakin paikoissa. (CUI DEVICES julkaisuaika tuntematon.)

3.4.3 Voitelun valinta

Oikeanlaisen voitelun valinta on tärkeää, kun hankitaan laakereita. Väärä voitelu voi tuhota tai vahingoittaa laakereita. Ongelmia mitä vääränlainen voitelu voi tuoda esille on ylikuumentuminen ja liiallinen kuluminen. Nämä ongelmat voivat aiheuttaa huoltotoimenpiteitä, mutta ne voivat myös johdattaa huoltoseisokkeihin, jotka tuovat lisäkustannuksia. Näiltä voidaan välttyä, kun tarkistetaan huolellisesti, että käytetään oikeaa voidetta oikeilla määrillä, tämä voi kuulostaa ilmiselvältä asialta, mutta tulevaisuudessa säästyään isoimmilta ongelmilta. (SSB 2017.)

Rasvavoideltu laakerijärjestelmä soveltuu hyvin pienemmille puhaltimille, joissa on vierintälaakerit käytössä. Rasvavoitelua käytetään noin 90 %:ssa kaikista vierintälaakeroinneista. Toimii sekä liuku, että vierintälaakereissa. Tämän voitelun etuja on erittäin pieni tilan tarve (kuitenkin on järjestettävä helppo pääsy huoltoon), rasvan antama hyvä tiivistyksen tuki, pitkä käyttöikä ja huollon helppous. (FAG Sales Europe – Finland julkaisuaika tuntematon, 19.) Rasvavoitelua tulee käyttää vain kylmiä kaasuja tuottavissa puhaltimissa. (Engineer manuals 2022) Rasvavoittelulla saavutetaan myös pitempi alastulonjakso voitelun loputtua, kun rasvan käyttöikä ylittyy toimittaessa keskimääräisillä kierrostunnusluvuilla. Normaaleissa käynti ja ympäristöolosuhteissa (vakaa ympäristön lämpötila) on usein mahdollista saada elinikäinen kestovoitelu. Jos laakeriin kohdistuu kovia pyörintänopeuksia, suuria lämpötiloja ja kuormitusta, on valittava lasketuin määräajoin tapahtuva jälkivoitelu. Näissä tapauksissa rasvalle on tehdä tulo- ja poistokanavat sekä vanhalle rasvalle keräystila. Lyhyillä jälkivoitelu väleillä mahdollisesti myös harkittava rasvapumppua ja rasvamäärän säätäjää. (FAG Sales Europe – Finland julkaisuaika tuntematon, 19.)

Milloin voidaan käyttää?

- Kylmät puhaltimet
- Pienet puhaltimet
- Kierrosnopeudet ei ole liian suuret
- Vakaa ympäristön lämpötila

Öljyvoitelua käytetään, jos viereisissä koneenosissa on jo öljyvoitelu tai jos voiteluaineella on kuljettava pois lämpöä. Korkeiden pyörintä nopeuksien/korkeiden kuormitusten tai jos laakerointiin tulee ulkopuolista lämpöä, voi olla tarpeellista harkita lämmön poiskuljettamista. (FAG Sales Europe – Finland julkaisuaika tuntematon, 19.) Öljy voitelu on hyvä pienille ja keskikokoisille puhaltimille. Vaatii jäähdytyslevyn, jos kyseessä on kuumat ilmat. (Engineer manuals 2022.)

4 TARJOUSPYYNTÖ

4.1 Tarjouksien pyytäminen

Puhallinmallin valitseminen tapahtuu asiakkaan antamien asetusarvojen perusteella. Kyseisten arvojen perusteella suorituskyky insinöörit laskevat vaadittavat lähtötiedot ja kasaavat näistä datapaketin, jotka lähetetään eteenpäin laitetoimittajille. Lähtötietoja, joita tarvitaan, on paineen korotus, lämpötila ja tilavuusvirta.

4.2 Tarjouspyyntötilanteen kulku

Tarjouspyynnön lähdettyä laitetoimittajille, heille annetaan 2–3 vko aikaa, jolloin olisi hyvä lähettää tarjous. Laitetoimittajalle annettu aika yleensä riittää hyvin. Mahdollisia lisätietopyyntöjä toimittaja kyselee sähköpostin välityksellä. Laitetoimittajilta voidaan kysyä lisäkysymyksiä tarjousten saavuttua, jos heidän tarjouksensa ei vastaa odotuksia tai siitä puuttuu tarvittavaa dataa.

Tarjousten saavuttua laiteinsinööri rakentaa vertailutaulukon, jossa katsotaan kohtaako toimittajien tekniset datat vaadittujen spesifikaatioiden kanssa. Lisäksi vertailussa katsotaan puhaltimien hintaeroja, joihin on laskettu mukaan omakäyttöteho. Omakäyttöteholla voi olla suuri vaikutus valintaprosessissa.

5 PUHALTIMEN VALINTATYÖKALU

Työn toimeksiantaja on siirtymässä PDMS laitossuunnittelu ohjelmistosta Cadmatic ohjelmistoon. Tämän yhteydessä lähdimme kehittämään laitekirjastoa ja helpottamaan puhaltimien valintaa. Yrityksen pyynnöstä laadimme valintataulukon Excel-työkalulla, jolla voidaan helpottaa layout suunnittelijan työtaakkaa tarjousvaiheessa, kun valitaan puhallinta. Ennen työn alkua pidimme palaverin, jossa kävimme työn aihetta läpi ja miten lähtisimme rakentamaan taulukkoa, joka helpottaisi tarjousvaihetta ja sovimme työn pituudeksi 3kk. Valintataulukkoa rupesimme miettimään tarkemmin työosuuden alettua, toimeksiantajan kanssa palaverin muodossa. Alkuun tarkoituksena oli tutustua yrityksen käytössä olevaan M-Files nimiseen dokumenttienhallinta työkaluun, jossa oli paljon tietoa menneistä, tulevista ja tarjousprojekteista. Projektien tiedot olivat isona osana työtä.

Ensimmäisten viikkojen aikana pidimme palaverin koulun ja toimeksiantajan kanssa, jossa sovimme käytännön asioista ja opinnäytetyön aihetta tarkemmin. Kävimme toimeksiantajan kanssa läpi minkälaista dataa olisi hyvä kerätä puhaltimista ja päädyimme siihen, että olisi hyvä valita noin 7–10 projektista puhallin dataa, että saisimme mahdollisimman tarkan kuvan siitä, minkälaista kokoa käytämme projekteissa. Aineistoa kerättiin M-Filesta, josta sai tiedot käytetyistä puhaltimista, pienen opettelun ja opastuksen jälkeen. Puhallin aineistoa kerättiin menneistä ja tarjousvaiheessa olevista projekteista. Tietoa puhaltimista kerättiin myös palaverin merkeissä ja kysymällä kokeneemmilta insinööreiltä.

Taulukkoa lähdettiin rakentamaan, jaottelemalla jokaiset projektit omalle välilehdelle, jonne rakennettiin omat sarakkeet puhaltimien tiedoille. Jokaisen projektin puhaltimien tiedot kasattiin vielä yhteenveto sivulle, jossa eriteltiin primääri, sekundääri, boosteri, kierto ja savukaasu puhaltimet omille sarakkeilleen. Taulukon ensimmäisessä versiossa puhaltimille annettiin tilavuusvirta, säde ja ulostulo laipan syvyysmitta.

Sovimme palaverin puhallin laitetoimittajan kanssa, jotta saisimme helpotettua molempien osapuolien työosuutta tarjousvaiheessa. Palaverissa kävimme läpi mitä dataa olisi hyvä antaa molemmin puolin tarjousvaiheessa. Laitetoimittajan kanssa pääsimme yhteisymmärrykseen siitä, että olisi hyvä saada valmiita 3D malleja, joita voitaisiin hyödyntää. Seuraava versio taulukosta, tehtiin laitetoimittajan antamilla tiedoilla, joilla he voisivat antaa meille heidän valmiista pohjista omat muokatut mallit meille. Taulukon ensimmäisessä versiossa olin kerännyt tietoa niiden laitetoimittajien puhaltimista, jotka toimeksiantaja oli valinnut projektiin käytettäväksi. Tämä ei ollut tarpeellista seuraavaan versioon vaan halusimme kerätä puhallin tiedot lähtötiedoista, jotka kattilan laskentainsinöörit kasaavat, eikä niiden pitäisi olla toimittajasta riippuvaisia. Laskentatiedoista keräsimme palaverissa sovitut datat, jotka olivat tilavuusvirta, kokonaispaine ja sisääntulo lämpötila.

Kerättyämme tarvittavat tiedot, saimme laitetoimittajalta 3D-mallit ja puhallin diagrammit, jotka muotoiltiin vastaamaan antamiamme puhallin tietoja. Ennen mallien lähetystä pidimme palaverin, jossa mietimme lopullisen valintataulukon kehittämistä layout insinöörille. Kehitimme valintataulukon, jossa sarakkeina oli puhallin, tilavuusvirta, laitetoimittajan puhallintyyppi, käytetty paine ja lämpötila. Taulukon kehittämisen tarkoituksena oli, että layout insinööri voi helposti katsoa taulukosta

haluaman puhaltimen esim. primääri, primääri boosteri, sekundääri, savukaasu ja kiertokaasupuhaltimen.

6 VALINTATAULUKON KÄYTTÖ JA HYÖDYT YRITYKSELLE

Työn päämotiivi oli Cadmatic 3D mallinnusohjelmiston käyttöönotto, jonka yhteydessä laitekirjastoa alettiin kehittämään. Ohjelmisto, jota aikaisemmin ja osittain vieläkin käytetään, on PDMS. 3D-ohjelmistot käyttävät omaa tiedostomuotoaan, joka voi hankaloittaa erin tiedostojen käyttämistä eri ohjelmistossa. Cadmaticissa toimii parhaiten IFC-tiedostomuoto. Puhallinmallit, jotka saimme, olivat STP-tiedostomuodossa, mutta tämä ei haitannut, sillä STP-tiedostot käyvät hyvin myös Cadmaticissa.

Työn varsinaiset tuotokset koostuvat puhallin valintataulukosta ja laitetoimittajan toimittamista 3D malleista ja diagrammeista, jotka on linkitetty taulukkoon oikeilla nimityksillä. Tuotokset tehtiin työn toimeksiantajalle ja ne jäävät yrityksen sisäisiksi. Työn tuloksena tullutta taulukkoa yritys voi hyödyntää tarjousvaiheessa ja myös jatkaa sen kehittämistä pidemmälle, jos tarvetta sille on.

Puhaltimen valintataulukosta on tehty helpoksi. Taulukkoon on merkattu tilavuusvirta alue (range), joka määrittää mikä puhallin tulee taulukosta ottaa. Kun tiedetään minkä tilavuusvirran puhallin halutaan, niin taulukko näyttää laitetoimittajan puhallin tyyppin, joka on yhdistetty oikealla nimityksellä laitetoimittajan antamiin 3D-malleihin ja diagrammeihin. 3D mallit ovat muokattavissa ja lähtökanaavan suuntaa pystytään kääntämään haluttuun kulmaan, myös puhaltimen kätsisyyttä voidaan muuttaa.

Valintataulukon ja laitekirjaston kehitys auttaa yritystä pitämään mallit ja laitteen tiedot paremmin järjestyksessä. Taulukon avulla mallintaja voi helposti etsiä tarvitsemansa laitteet.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä saatiin selkeä kuva puhaltimista, niiden toiminnasta ja tarjousvaiheesta. Työn tavoitteena oli kehittää puhallin valintataulukko laitekirjaston kehityksen ohella. Asetetut tavoitteet saavutettiin ilman kummempia vastoinkäymisiä. Edellä mainittu taulukko on simppelempi ja sitä on helppo hyödyntää tarjousvaiheessa. Sitä myös pystytään käyttämään pohjana, jos halutaan tehdä muista laitteista vastaavaa kokoelmaa. Työn aikataulussa ei tullut kiireitä.

Valintataulukosta puhaltimen valinta on helppoa, kun tarvittavat tiedot ovat puhallin tyyppi ja tilavuusvirran määrä. Puhaltimen laitetyyppi nähdään taulukosta selkeästi, jonka nimen avulla voidaan löytää siihen kuuluva laitemalli.

Opinnäytetyö vahvisti entistä osaamista voimalaitospuolelta, aikaisempi kokemus koostui voimalaitosoperoinnista ja huoltotöistä. Työ antoi uutta näkökulmaa etenkin kiertopetikattilan toimintaan, joka oli ennestään tuttu. Aikaisempi tuntemus puhaltimien toiminnasta oli suppea.

LÄHTEET

Anttila, Eero 2014. Palamisilman kostutus ja savukaasujärjestelmä kpa kattilalaitoksessa. Opinnäytetyö. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, energiatekniikan suuntautumisvaihtoehto. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyön asettelumalli (theseus.fi). Viitattu 22.6.2022

Beatson Fans & Motors. Centrifugal impellers. Verkkojulkaisu. Centrifugal Fan Impellers - Specialist Industrial Fan Experts (beatson.co.uk). Viitattu 6.6.2022

CUI DEVICES. Fan Bearing types – Weighing the Pros and Cons. Verkkojulkaisu. Fan Bearing Types – Weighing the Pros and Cons | CUI Devices. Viitattu 8.6.2022

Designspark 2017. Fan Types – Why Choose a Backward Curved Centrifugal fan. Verkkojulkaisu. Päivitetty 11.12.2017 Fan Types – Why Choose a Backward Curved Centrifugal fan? (rs-online.com). Viitattu 10.5.2022

Designspark 2018. Fan types – Why choose a forward curved centrifugal fan. Verkkojulkaisu. Fan Types - Why choose a forward curved centrifugal fan (rs-online.com). Viitattu 20.5.2022

Designspark 2017. Fan types – Why choose an Axial fan. Verkkojulkaisu. Fan Types - Why choose an Axial fan (rs-online.com). Viitattu 20.5.2022

Ducting express julkaisuaika tuntematon. Difference Between Axial and Centrifugal Fans. Verkkojulkaisu. Difference Between Axial and Centrifugal Fans | Ducting Express (ducting-express.co.uk). Viitattu 23.5.2022

FAG Sales Europe – Finland julkaisuaika tuntematon. Vierintälaakereiden voitelu. Verkkojulkaisu. Vierintälaakereiden voitelu (schaeffler.com). Viitattu 27.5.2022

Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen 2013. Voimalaitostekniikka. 2. tarkistettu painos. Tampere: Juvenes Print.

Indrotech julkaisuaika tuntematon. Backward inclined airfoil. Verkkojulkaisu. Backward Inclined Airfoil industrial fans - Indrotech Melbourne. Viitattu 11.5.2022

International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 2017. Comparative analysis between backward inclined and backward curved blades of centrifugal fan. Verkkojulkaisu. 11_Comparative.PDF (ijirset.com) Viitattu 12.5.2022

Kömi, Tuomas 2015. Biopolttoainekattilan palamisilman mittaus. Energiatekniikan koulutusohjelma, Tekniikan ja liikenteen ala. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Komi_Tuomas.pdf (theseus.fi)

Proline range hoods 2020. What is a centrifugal fan? Verkkojulkaisu. What is a Centrifugal Fan? - Complete Guide (prolinerangehoods.com)

Powersystemsdesign 2018. Choosing a Fan Design That Minimizes Trade-Offs. Verkkojulkaisu. Choosing a Fan Design That Minimizes Trade-Offs (powersystemsdesign.com). Viitattu 2.6.2022

Primasonics julkaisuaika tuntematon. ID Fans. Verkkojulkaisu. ID Fans - Primasonics International Ltd. Viitattu 16.5.2022

Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon. Factsheet Company. Verkkojulkaisu. Factsheet_Company.pdf (shi-fw.com) Viitattu 27.4.2022

Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon. Our History. Verkkojulkaisu. Our History - Sumitomo SHI FW (shi-fw.com). Viitattu 28.4.2022

Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon. SHI toiminta-alueen kartta. Verkkojulkaisu. Factsheet_Company.pdf (shi-fw.com). Viitattu 28.4.2022

Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon. Nuolen muotoinen suutin. Verkkojulkaisu. Our-Services-Sumitomo-SHI-FW-0917.pdf. Viitattu 3.5.2022

Sumitomo SHI FW 2022. Engineering Manual. Verkkojulkaisu. Yrityksen sisäinen aineisto, ei saatavissa.

SFWEPEQE training 2018. Fans. Opetusmateriaali. Yrityksen sisäinen aineisto ei saatavilla.

Sumitomo SHI FW 2018. Taaksepäin kaarevat siivet. Verkkojulkaisu. Yrityksen sisäinen aineisto ei saatavilla

Scencedirect 2014. Diffusers. Verkkojulkaisu. Diffusers - an overview | ScienceDirect Topics. Viitattu 23.5.2022

Siitari Marko 2015. Sekundääri aksiaalipuhallin. Luento. Yrityksen sisäinen aineisto ei saatavilla. 1.6.2022

Siitari Marko 2015. Savukaasu aksiaalipuhallin. Luento. Yrityksen sisäinen aineisto ei saatavilla. 1.6.2022

SKF General Catalogue 2003. Principle of bearing selection and application. Verkkojulkaisu. SKF General Catalogue 2003 (.pdf 8.13mb) - Waikato Bearings (yumpu.com). Viitattu 24.5.2022

Sumitomo SHI FW 2017. CFB Technology for Biomass and Waste Fuels. Verkkojulkaisu. PowerPoint Presentation (shi-fw.com). Viitattu 24.5.2022

Sumitomo SHI FW julkaisuaika tuntematon. Bubbling fluidized-bed (BFB) steam generators. Verkkojulkaisu. BFB Boiler | Steam Generator | Sumitomo SHI FW (shi-fw.com). Viitattu 24.5.2022

SSB 2017. Using the wrong lubrication could destroy your bearings. Verkkojulkaisu. Warning: Using the Wrong Lubrication Could Destroy Your Bearings (slimsectionbearings.com). Viitattu 27.5.2022

Salkinoja, Heikki julkaisuaika tuntematon. Rasvavoitelu. Opetusmateriaali. Liukulaakereiden rasvavoitelu. Savonia-ammattikorkeakoulu.

Techflow julkaisuaika tuntematon. All you want to know about fd fans and id fans. Verkkojulkaisu. All You Want to Know About FD Fans and ID Fans (techflow.net). Viitattu 16.5.2022

Wikipedia 2011. Centrifugal fan. Verkkojulkaisu. File:Centrifugal fan.gif - Wikimedia Commons. Viitattu 9.5.2022

Wuxi JN Fan Co 2018. Keskipakoispuhallin vs. Aksiaalipuhallin vs. Sekoitettu Virtauspuhallin. Verkkojulkaisu. Keskipakoispuhallin vs aksiaalipuhallin vs sekoitettu virtauspuhallin - Näyttely - Wuxi JN Fan Co., Ltd. Viitattu 13.5.2022

Wikipedia 2007. Säteiset siivet. Verkkojulkaisu. File:CentrifugalFanBlades.png - Wikimedia Commons. Viitattu 13.5.2022

LIITE 1: VALINTATAULUKKO PUHALTIMILLE