

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantoteknikka | LVI

2022

Niklas Norräng

VAV- JÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI RISTEILYALUKSELLA

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantoteknikka | LVI

2022 | 48 sivua

Niklas Norräng

VAV- järjestelmän optimointi risteilyaluksella

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, millä tavalla nykyinen ilmavirtajärjestelmä voidaan optimoida, ja miten optimoitu ilmavirtajärjestelmä poikkeaa nykyisin käytettävästä painesäädetyistä muuttuvailmavirtajärjestelmästä.

Optimoidulla ilmavirtajärjestelmällä tavoitellaan energiatehokkuutta risteilyaluksilla. Pohjana tässä opinnäytetyössä hyödynnetään olemassa olevaa tietoa ja materiaalia vuonna 2016 valmistuneesta matkustajaristeilijästä.

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan muuttuva- ja tarpeenmukaisen ilmavirtajärjestelmien ohjausta ja miten saadaan puhaltimen optimaalinen toimintapiste seuraamaan laitoskäyrää kuormituksen muuttuessa.

Opinnäytetyön laadinnassa käytetään jo valmiina olevia laivan puhaltimen mittaustuloksia. Lisäksi tehdään Excel-sovellusta hyödyntäen käsilaskenta älykkäälle tarpeenmukaiselle ilmavirtajärjestelmälle sekä tutkitaan painehäviöt teorian pohjalta ja pohditaan tulosta.

Asiasanat:

Muuttuvailmavirta, Tarpeenmukainen ilmavirta, Ilmanvaihto, LVI

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical and Production Engineering | HVAC

2022 | 48

Niklas Norräng

Optimization of the VAV- system on a cruise ship

The purpose of this thesis is to find out how the current airflow system can be optimized and how the optimized airflow system differs from the current used pressure-controlled variable airflow system.

The improved airflow system aims for energy efficiency on cruisers ships. Utilizing existing information and material from a previous cruise ship completed back in year 2016 is the basis of this thesis.

In this thesis we are comparing the control of variable airflow systems and how to get the optimal fan operating point to follow the plant curve when the load changes.

The thesis will be prepared using the already existing measurement results and a manual pressure drop calculation using Excel application are done for the ducting system for comparing the differences of the variable airflow systems on theoretical level. The investigation of pressure drops will be basis on theory and the result will be considered.

Keywords:

Ventilation, Variable Air Volume, Demand Controlled Ventilation, HVAC

Sisältö

1 Johdanto	7
2 Risteilyaluksessa käytetyt ilmastointijärjestelmät	8
2.1 Järjestelmien toimintatila ja -ympäristö	9
2.2 Vakioilmavirtajärjestelmä,	11
2.3 Muuttuvailmavirtajärjestelmä	12
2.4 Järjestelmän optimoinnin tavoitteet	12
3 Painehäviöiden muodostuminen ilmastointijärjestelmissä	13
3.1 Virtaustyypit ilmastointijärjestelmässä	13
3.2 Kitkahäviöt ilmastointijärjestelmässä	15
3.3 Kertavastushäviöt ilmastointijärjestelmässä	16
3.4 Puhaltimen toiminta laitoksessa	17
3.5 Laitoskäyrä	19
3.6 Puhallinlait	20
4 VAV-järjestelmän toiminta ja ohjaus	23
4.1 Ohjauksen parametrit	23
4.2 VAV-järjestelmän toimintaperiaatteet	25
4.3 VAV-järjestelmän ohjaus	26
4.4 VAV-järjestelmän kanavapaineen säätö	27
4.5 VAV-järjestelmän käyttökohteet ja käyttötapa risteilyaluksella	30
5 Puhaltimen toiminnan optimointi	31
5.1 DCV-järjestelmä	31
5.2 Puhaltimen ohjaus	33
5.3 Ääni	36
5.4 Säästöpotentiaali	42
6 Päätelmät	46
Lähteet	47

Liitteet

- Liite 1. Painehäviölaskenta taulukko haara 1
- Liite 2. Painehäviölaskenta taulukko haara 2
- Liite 3. Painehäviölaskenta taulukko haara 3
- Liite 4. Painehäviölaskenta taulukko haara 4
- Liite 5. Referenssitilan kanavareititys
- Liite 6. Puhaltimen mittaustulokset

Kuvat

- Kuva 1 (a) Laminaarinen ja (b) turbulenttinen virtaus. 15
- Kuva 2. Puhallinkäyrä, jossa mittauspöytäkirja tarkastettu 18
- Kuva 3 Laitoskäyrä. 19
- Kuva 4. Kanavapaineohjattu VAV-järjestelmä 29
- Kuva 5. Tilavuusvirtausmittauksille perustuva ohjausjärjestelmä 34
- Kuva 6. Laitoksen epäedullisin kanavahaara 35
- Kuva 7. Laitoksen toimintapiste puhallinohjauksella 36
- Kuva 8. Puhallinkäyrä, jossa toimintapisteet ja äänitiedot ovat merkattuina. 38
- Kuva 9. Kaistakohtaiset korjauskertoimet 39
- Kuva 10. Puhaltimen tuottaman melutason vertailu. 42
- Kuva 11. Toimintapisteiden erot eri ohjaustavoilla 44

Kaavat

- Kaava 1. Reynoldsin luku (Sandberg 2014, 89.) 14
- Kaava 2. Kitkavastutus (Sandberg osa 2 2014, 88.) 15
- Kaava 3. Kitkavastuskerroin (Sandberg osa 2 2014, 88.) 16
- Kaava 4. Kitkavastuskerroin likikaava (Sandberg osa 2 2014, 89.) 16

Kaava 5. Painehäviöt (Sandberg osa 2 2014, 93.)	17
Kaava 6. Laitoskäyrän k arvo (Sandberg osa 2 2014, 105.)	20
Kaava 7. Laitoskäyrän k arvo (Sandberg osa 2 2014, 105.)	20
Kaava 8. Puhallinlait (Sandberg osa 2 2014, 156.)	22
Kaava 9. (Sandberg osa 2 2014, 156.)	39
Kaava 10 Äänen tehontaso kaistakohtainen korjaus (Sandberg osa 2 2014, 56.)	40

Taulukot

Taulukko 1. Äänen tehotason laskelmat	40
Taulukko 2. Äänen tehotason laskelmien yhteenveto	41
Taulukko 3. Ohjaustapojen eroavaisuuksien vertailu ja tulokset	44

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää Meyer Turku Oy:lle vaihtoehtoinen energiatehokas ratkaisu ilmastointijärjestelmän ohjaukseen risteilyaluksilla. Meyer Turku on yksi Meyer-perheen omistamista telakoista, joka nykyään lasketaan yhdeksi Euroopan johtavista sekä huipputeknologisia ratkaisuja tarjoavaksi laivanrakennusyhtiöksi. Työssä perehdytään muuttuvailmavirtajärjestelmien käyttöperiaatteisiin.

Ilmastointi on yksi suurimmista energiakuluttajista risteilyaluksilla. Tästä syystä olen saanut tehtäväkseni vertailla vuonna 2016 Turussa rakennettua risteilyalusta, Mein Schiff 5. Risteilyalus on kokoluokaltaan 99 800 GT (GT = Gross Tonnage / Bruttovetoisuus), pituutta aluksella on 295 metriä ja leveyttä 36 metriä. Aluksen ilmastointijärjestelmien puhaltimien käyttämä sähköteho on yhteenlaskettuna 2MW:a.

Risteilyaluksessa on tiloja moneen eri käyttötarkoitukseen ja suunnittelussa on otettava huomioon tilojen mukaiset ilmanvaihtoratkaisut sekä viranomaisten säädökset. Kyseisessä risteilyaluksessa on 57 kappaletta ilmavaihtokojeita kokoluokassa 2600 m³/h – 21000 m³/h. Työni on rajattu yhteen ilmanvaihtokojeeseen, joka palvelee yhtä ravintolaa ja pientä kuntoilukeskusta.

2 Risteilyaluksessa käytetyt ilmastointijärjestelmät

Ilmanvaihdon tehtävänä on ylläpitää ilman laatua tuomalla sisätiloille puhdasta ilmaa ja poistaa ympäristöstä syntyneitä epäpuhtauksia. (Rismanchi ym. 2019, s.347.)

Ilmastointijärjestelmien ja ilmanvaihdon suunnittelussa laivanrakennuksessa on otettava huomioon laivakohtaiset ilmastointia koskevat määräykset, joita luokituslaitokset ja merenkulun viranomaiset valvovat ja laativat. Risteilyalusta valvovasta luokituslaitoksesta päättää laivan tilaaja. Määräykset sisältävät turvallisuuteen ja eritoten paloturvallisuuteen liittyviä määräyksiä, sillä paloturvallisuuden osaksi luetaan ilmastointi, johon liitetään useita määräyksiä. (Matilainen, 1998.)

Määräysten lisäksi ilmastointia suunnitellessa tulee ottaa huomioon järjestelmän turvallisuus, energiatehokkuus sekä asennus- ja huoltotoimenpiteet, ja ilmanvaihtojärjestelmän on oltava toimintavarma. Tällä tarkoitetaan, että lähtökohtana on aina suunnitella toimiva ilmanvaihtojärjestelmä olosuhteista riippumatta. Toimivalla ilmanvaihtojärjestelmällä voidaan taata, ettei liian suuria epäpuhtauspitoisuuksia pääse syntymään. Suunnittelijoilla ja suunnitteluun osallistuvilla tahoilla on useasti erilaisia näkemyksiä ilmastointia vastaavista kriteereistä ja niiden täyttymisestä. (Matilainen, 1998.)

Hallitsematon ilmanvaihtojärjestelmä tuottaa monesti vain harmia, kuten kanavamelun kohoamista ja liiallista tai liianvähäistä ilmanvaihtoa. Hallinnassa olevalla ilmanvaihtojärjestelmällä on suuri vaikutus sisäilman laatuun. Toimivalla sekä hallinnassa olevalla ilmanvaihtojärjestelmällä voidaan toteuttaa mahdollisimman energiatehokas ilmanvaihtojärjestelmä. Ilmastoinnin vähentäminen ei saa vaarantaa sisäilman laatua ja lämpömukavuutta, joilla on suora vaikutus ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin. (Rismanchi ym. 2019, s.347.)

2.1 Järjestelmien toimintatila ja -ympäristö

Muuttuva- ja vakioilmavirtaisillajärjestelmillä on useita käyttökohteita, jonka vuoksi muun muassa säätötarpeiden ohjausta tulee tarkastella eri tiloissa tapauskohtaisesti. Toimitilan tulisi olla rakennusmääräysten mukaan turvallinen, terveellinen ja viihtyisä, ja ilmanvaihdon taas energiatehokas, hiljainen ja huomaamaton. (Okochi ym., 2016. s784-817.)

Tässä työssä toimintaympäristönä palvelee risteilyalus. Risteilyaluksilla muuttuvien- ja vakioilmavirtojen tarve vaihtelee tilojen kuormituksen mukaan. Erityistä tarvetta muuttuvailmavirroille on tiloissa, joissa on vaihteleva henkilökuormitus ja tilan tyhjäkäynti. Vakioilmavirtajärjestelmää käytetään isoissa tiloissa, joissa lämpökuormitus ei ole toisistaan poikkeava.

Risteilyaluksella luokitellaan ilmastointijärjestelmät kahteen kategoriaan, korkea- ja matalapainejärjestelmään. Matalapainejärjestelmässä ilmaa liikutetaan kanavistossa nopeudella 6-10 m/s välillä ja korkeapainejärjestelmässä ilman maksiminopeus rajautuu 15 m/s. Matalapainejärjestelmän yleinen käyttöalue on hyttialueella ja korkeapainejärjestelmän käyttöalueina toimivat isot yleiset tilat.

Aluksella voidaan käyttää kahta eri ilmanpalvelujärjestelmää, yksi- tai monivyöhykekohtaista, jotka ovat määritelty tarkasti käyttötarkoituksen mukaan. Yksi- ja monivyöhykkeen suurin eroavaisuus toisistaan on kanaviston komponentit.

Yksivyöhykejärjestelmän ilmaskäsitelykoje palvelee kaikkia tiloja yhtenä vyöhykkeenä, mikä tarkoittaa, että ilmastointikojeessa on ainoastaan yksi lämmitys- sekä jäähdytyspatteri ilmalle. Tätä järjestelmää käytetään tiloissa, joissa ilma ei saa sekoittua ympäristössä oleviin tiloihin, kuten aluksen sairaala- ja pesulatiloihin.

Rakennuksissa ilmaskäsitelykojeiden sijoittelussa tulee huomioida mm. oviaukot, ikkunat ja tilan vetoisuus. Risteilyaluksissa ilmaskäsitelykojeet ovat sijoitettu ilmastointihuoneisiin eli AC-huoneisiin ja ilmastointi on liitetty

risteilyaluksen palovyöhykkeisiin ja ne palvelevat jokaista vyöhykettä toisistaan riippumattomilla järjestelmillä ja ilmankäsittelykojeilla. Tämä mahdollistaa sen, että tietyn vyöhykkeen tulipalossa muut käytössä olevat ilmankäsittelykojeet ovat toiminnassa.

Monivyöhykejärjestelmä on monimutkainen ilmanjakelurjestelmä, joka pystyy säätelemään tarkasti kunkin alueen lämpötilan muutoksia, kun tuloilmamäärä vaihtelee. Tässä järjestelmässä ilmaa syötetään joko kahdelle tai usealla vyöhykkeelle. Monivyöhykejärjestelmän ilmanstointikojeessa on tietynlaiset komponentit, kuten puhallin sekä lämmitys- ja jäähdytyspatteri. Kanavistossa on vyöhykekohtaiset säätöpellit ja tarvittaessa lämmityspatterit.

Monivyöhykejärjestelmää käytetään aluksen portaikossa, hyttalueilla ja yleisissä tiloissa.

Risteilyaluksilla yleisellä tilalla tarkoitetaan henkilöstön ja matkustajien yleisessä käytössä olevaa tilaa, joka kattaa kokoustilat, ravintolat, teatterit ja kasinot sekä suuret oleskelutilat.

Vertailukuvan saamiseksi, miten risteilyaluksen ilmastointilaitos poikkeaa maapuolelta, tarkastellaan maapuolen Rakentamismääräys D3 antamaa SFP raja-arvoa. SFP on englanninkielinen lyhenne sanoista Specific Fan Power eli puhaltimen ominaissähköteho ja laskennallisesti se ilmaistaan ilmanvaihtojärjestelmän kokopainehäviö jaettuna kokonaishyötysuhteella. SFP-luku rajoittuu $2 \text{ kW(m}^3/\text{s)}$, kun tarkastellaan koko rakennuksen ilmastointijärjestelmää, jossa on sekä tulo- että poistoilmapuhallin. (Pulliainen 2013, s.2.)

Meripuolella SFP luku on käytössä, mutta raja-arvoa ei ole virallisesti asetettu. Tarkastellessa yllämainittua vastaavaa ilmastointijärjestelmää, jossa on sekä tulo-, että poistoilmapuhallin, SFP-luku liikkuu $5 \text{ kW(m}^3/\text{s)}$ ja $6 \text{ kW(m}^3/\text{s)}$ välillä. Meripuolella korkea SFP-luku verrattuna maapuoleen tulee siitä, että laivassa ajetaan ilmastointijärjestelmään huomattavasti korkeammalla paineella. (Asiantuntija Heikkilä V., Meyer Turku, puhelinkeskustelu 04.05.2022.)

Muuttuvailmavirtajärjestelmän tämän hetkessä säätötavassa on energiasäästöpotentiaalia. Tämänhetkisen muuttuvailmavirtaisenjärjestelmän säätötavan lähtökohtana on ylläpitää puhaltimen ulostulokammiossa vakiopainetta. Tämä tarkoittaa, että joihinkin vyöhykehaaroihin ohjataan liikaa ilmaa, josta johtuen ilmavirtoja joudutaan kuristamaan eli tasapainottamaan järjestelmää säätöpelteillä. (Truninger 2013, s. 15-18.)

2.2 Vakioilmavirtajärjestelmä,

Vakioilmavirtajärjestelmä (CAV = Constant Air Volyme System) on järjestelmä, jossa huonetilan tuloilmavirta pysyy vakiona käyttöaikana kaikissa tiloissa, joita ilmanvaihtokoje palvelee. Huonetiloissa ei ole säätöantureita eikä itsestään säätyviä säätöpeltejä, vaan järjestelmässä käytetään kertasäätöpeltejä. Tarvittaessa ilmavirtaa voidaan säätää ilmanvaihtokojeen puhaltimen pyörimisnopeutta muuttamalla, kuten aikasäädöllä. (Gao ym. 2018, s.308-318.)

Vakioilmavirtajärjestelmä on ilmanvaihtojärjestelmänä edullinen ja edelleen laajalti käytössä. Yleensä järjestelmän käyttökohteina ovat samankaltaiset ja vierekkäin sijaitsevat tai pinta-alaltaan suuret tilat, joissa lämpökuormien välillä ei ole suurta poikkeamaa toisistaan käytön aikana. (Gao ym. 2018, s.308-318.)

Vakioilmavirtajärjestelmää käytettäessä järjestelmä tulisi mitoittaa huonetilojen jäähdytystehotarpeiden mukaisesti. Tästä koituu rajoitteita järjestelmän toteuttamiselle, koska huonetilojen lämmitys toteutetaan radiaattoreilla (ulkoinen patteri) ja jäähdytys tapahtuu viileällä tuloilmalla. Järjestelmän toteutumiseksi on mahdollisuudet vain silloin, kun lämpötilaa ei tarvitse säätää tai vyöhykekohtaisia lämpötilan säätöjä voidaan tarkastella ulkoisista järjestelmistä. (Ripatti 2004, s. 48-49.)

2.3 Muuttuvilmavirtajärjestelmä

Muuttuvilmavirtajärjestelmä (VAV = Variable Air Volume System) on järjestelmä, jolla saadaan aikaiseksi korkeatasoinen tarpeenmukainen ilmavaihto. Tarpeenmukaisella ilmavaihdolla tarkoitetaan, että jokaiseen huonetilaan tai vyöhykkeelle toimitetaan haluttu ilmamäärä, jolla ylläpidetään huonetilalle vaadittuja edellytyksiä. Muuttuvilmavirtajärjestelmä koostuu huonelaitteiston, siirtolaitteiston ja keskuslaitteiston komponenteista. Järjestelmä voidaan toteuttaa joko huone- tai vyöhykekohtaisena, sillä tulo- ja poistoilmanvirtaus muuttuu tarpeenmukaisesti. Taatakseen toimivuus järjestelmässä tulee komponentille asetettujen vaatimusten täytyä. (Seppänen osa 1 2014, s. 134.) Lisää aiheesta kappaleessa 4.

2.4 Järjestelmän optimoinnin tavoitteet

Tavoitteena muuttuvilmavirtajärjestelmien säädöillä on parantaa nykyistä VAV-järjestelmää siirtämällä vakiopainetta kanavistoon ja sivuuttamalla kammiopainetta niin, että energiaa ei kuluisi hukkaan. Kanavapainetta ei myöskään saisi olla liikaa, sillä silloin siirretään äänimelut toiminta-alueelle sekä ajetaan ilmavirtoja edullisempia vyöhykesäätöpeltejä vasten. Lisää optimoinnin hyödyistä tulee esiin kappaleessa 5.

3 Painehäviöiden muodostuminen ilmastointijärjestelmissä

Tässä luvussa tarkastellaan virtausteknisiä perusteita ja siihen liittyviä kaavoja, joita on käytetty tämän työn tekemiseen.

Ilmastointijärjestelmäkojeen sähköpuhaltimen ottamalla sähköteholla on suora vaikutus ilmavirran määrään sekä painehäviöön. Jokainen komponentti ja kanaviston pituus sekä mutka, jossa ilmavirta kulkee, aiheuttaa painehäviöitä järjestelmässä. Järjestelmän painehäviöt koostuvat mm. seuraavista komponenteista: (Sandberg 2014, 89, 331-332.)

- ulkoilmasäleikkö
- suodatin
- kanavisto sekä tuloilma ja painepuoli
- ilmankäsittelykoje, jäähdytys- ja lämmityspatteri
- äänenvaimentimet
- päätelaitteet

Kanaviston kokonaisenergiähäviöt syntyvät monen eri tekijän summasta. Kanavan materiaalin pintakarheus vaikuttaa ilmavirran ja kanavaseinämän väliseen kitkaan. Kanavistossa syntyy kertavastuksia ja ilmapyörteitä, jotka aiheuttavat painehäviöitä. Ilmavirtauksen tyyppi vaikuttaa myös osaltaan syntyvään painehäviöön. (Sandberg 2014, 89, 331-332.)

3.1 Virtaustyytit ilmastointijärjestelmässä

Kanavistossa esiintyy erilaisia virtaustyyppiejä, jotka voidaan määrittää Reynoldsin lukua käyttäen. Virtaustyyppien fysikaalinen ominaisuus voidaan erottaa kahteen yleisimpään virtausmuotoon, jotka ovat laminaarinen ja turbulenttinen. Virtauksen muoto saadaan selville kertomalla virtaavan aineen virtausnopeus ja virtauskanavan hydraulinen halkaisija ja jakamalla tämä

kinemaattisella viskositeetilla, joka on esitetty kaavassa 1. (Sandberg 2014, 89, 331-332.)

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

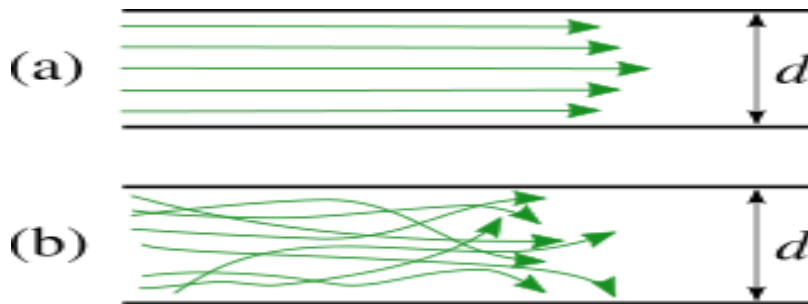
Re	Reynoldsin luku
v	Virtausnopeus, m/s
d	Virtauskanavan hydraulinen halkaisija, m
ν	Kinemaattinen viskositeetti, m ² /s

Kaava 1. Reynoldsin luku (Sandberg 2014, 89.)

Virtaus on laminaarinen Reynoldsin luvun jäädessä alle kriittisen rajan $Re = 2300$. Laminaarinen virtaus on pyörteetön, joten ainesosat eivät sekoitu keskenään vaan kulkevat pitkin virtaviivoja, jotka ovat putken pituusakselin suuntaisia (Kuva 1). Laminaarisessa virtausmuodossa kanavan pinnan karheus ei vaikuta kitkahäviöön. (Sandberg osa 2 2014, 89, 331-332.)

Virtaus muuttuu turbulenttiseksi Reynoldsin luvun ylittäessä kriittisen rajan $Re = 2300$. Turbulenttisessa virtauksessa ainesosat liikkuvat myös poikittain virtaussuuntaa nähden (Kuva 1), jolloin virtauksessa syntyy pyörteitä. Turbulenttisessa virtaustyyppissä kanavan seinämän karheus on jo merkittävä kitkapainehäviö. (Sandberg osa 2 2014, 89, 331-332.)

Täytyy kuitenkin muistaa, että virtauksen muuttuminen laminaarisesta turbulenttiseksi ei tapahdu heti Reynoldsin kriittisen luvun ylittyessä. $Re = 2300$ ja $Re = 4000$ välillä löytyy siirtymävyöhyke, tällä alueella virtaus on epämääräinen. (Sandberg osa 2 2014, 89, 331-332.)



Kuva 1 (a) Laminaarinen ja (b) turbulентtinen virtaus.

3.2 Kitkahäviöt ilmastointijärjestelmässä

Kitkahäviöt syntyvät kanaviston virtaavan aineen viskositeetistä eli kitkasta sekä virtaavan aineen ja kanavan sisäpuolisen seinämän välisestä kitkasta.

Kitkavastuskerroin on suoraan verrannollinen kanavan pituuteen, laminaarisessa virtauksessa virtausnopeuteen ja turbulenttisessa virtauksessa dynaamiseen paineeseen sekä ilmastointikanavan sisähalkaisijaan. Suoran ilmastointikanavan kitkavastusten aiheuttamat painehäviöt ilmaistaan kaavalla 2. (Sandberg osa 2 2014, 88,332.)

$$\Delta p_{\lambda} = \frac{\lambda L}{d} \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v^2$$

Δp_{λ} Kitkavastusten aiheuttama painehäviö, Pa

λ Kitkavastuskerroin

L Kanavan pituus, m

d Kanavan sisähalkaisija, m

ρ Virtaavan aineen tiheys, kg/m³

v Virtausnopeus, m/s

Kaava 2. Kitkavastus (Sandberg osa 2 2014, 88.)

Kitkavastuskerroin on riippuvainen kanavan sisäpinnan laadusta eli karheudesta ja epätasaisuudesta, virtaavasta aineesta sekä virtauksen luonteesta. Laminaarisessa virtauksessa kitkavastuskerroin on riippuvainen virtauksen Reynoldsin luvusta, koska kanavan sisäpinnan karheus ei vaikuta kitkakertoimeen. Tällöin kitkavastuskerroin ilmaistaan kaavalla 3. (Sandberg osa 2 2014, 88,332.)

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Kaava 3. Kitkavastuskerroin (Sandberg osa 2 2014, 88.)

Kitkavastuskertoimen määrittäminen turbulentsissa virtauksessa ei ole yhtä vaivatonta kuin laminaarisessa, vaan ne perustuvat tutkimuksellisiin tuloksiin ja teoreettisiin tarkasteluihin. Turbulentsissa virtauksessa kitkavastuskerroin pätee vain tietyllä Reynoldsin luvun alueella ja ovat riippuvaisia putken karheuksista. Ilmanvaihtokanavan virtaava ilma on yleensä aina turbulentsinen. (Sandberg osa 2 2014, 88-92.)

Saadakseen turbulentsille virtaukselle kitkavastuskerroin käytetään tässä työssä kitkavastuskertoimelle likikaavaa eli kaavaa 4.

$$\lambda = 0,0072 + 0,61/Re^{0,35}$$

Kaava 4. Kitkavastuskerroin likikaava (Sandberg osa 2 2014, 89.)

3.3 Kertavastushäviöt ilmastointijärjestelmässä

Ilmastointikanavoissa aiheutuu useimmiten ilmavirran muodonmuutos, joka aiheuttaa pyörteitä virtauksessa. Tätä kutsutaan kertavastukseksi. Kertavastuksen painehäviö on suoraan verrannollinen dynaamiseen paineeseen ja nopeuden neliöön, kun virtaus on turbulentsista. (Sandberg osa 2 2014, 93-98.)

Kertavastuksen aiheuttama painehäviö voidaan laskea kaavalla 5.

$$\Delta p_{\zeta} = \zeta \cdot 0.5 \cdot \rho v^2$$

Δp_{ζ} Kertavastuksen aiheuttama painehäviö, Pa

ζ Kertavastuskerroin

ρ Virtaavan aineen tiheys, kg/m³

v Virtausnopeus, m/s

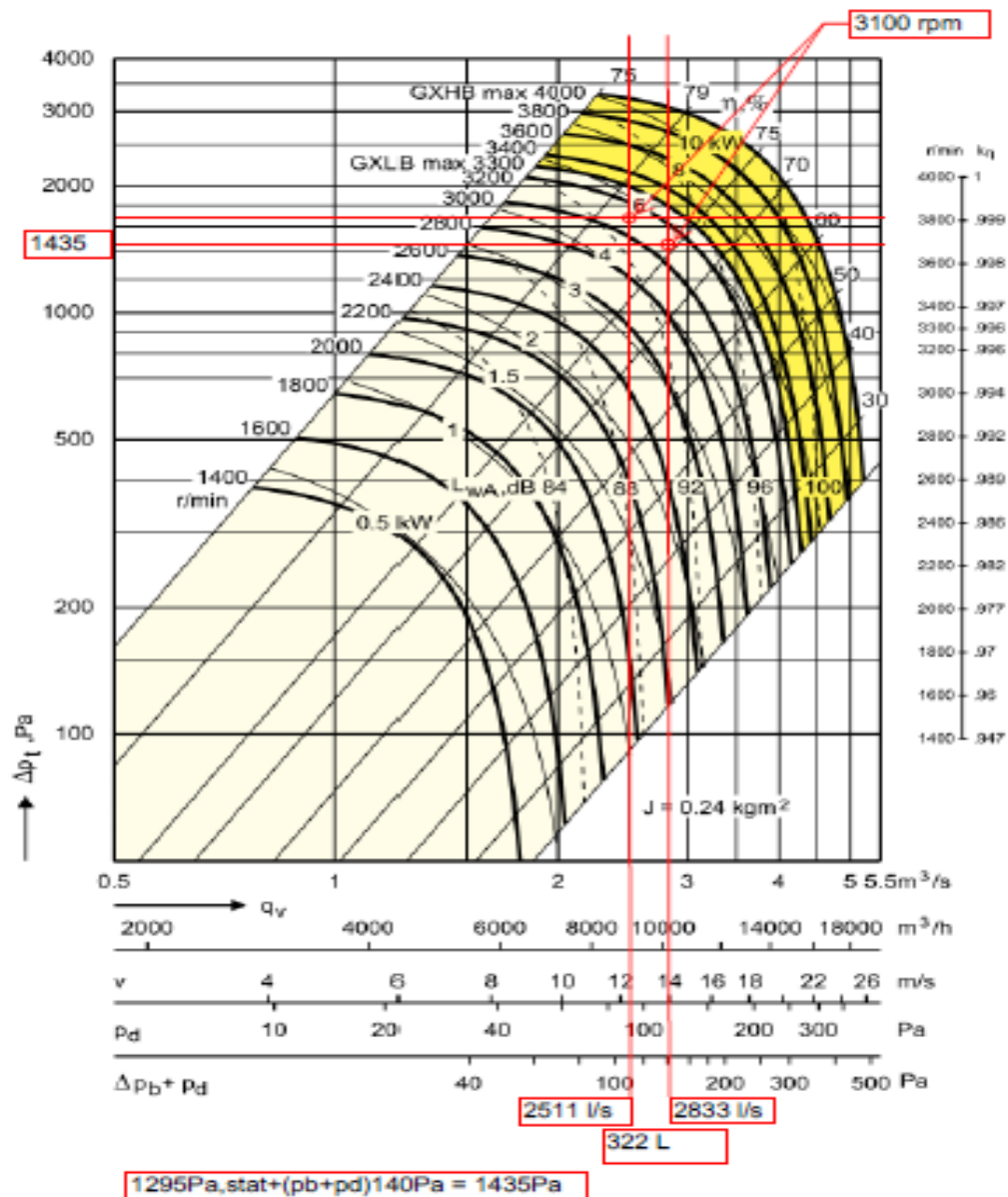
Kaava 5. Painehäviöt (Sandberg osa 2 2014, 93.)

3.4 Puhaltimen toiminta laitoksessa

Puhallin, kanavisto ja muut komponentit muodostavat laitoksen sekä omanlaisensa käyrät olleessaan kytkettyinä kanavistoon. Yleisimmin käyrät ilmaistaan paineen ja tilavuusvirran funktioina. (Axair Fans UK www-sivut 2022.)

Puhallinkäyrät ovat graafisia kaavioita, jotka osoittavat puhaltimen suorituskvyn normaalisti ilmamäärän ollessa vaakasuoralla X-akselilla ja paineen pystysuoralla Y-akselilla. Puhallinkäyrän saamiseksi puhallin sijoitetaan testilaitteistoon, jossa voidaan mitata ilmanpainetta ja tilavuutta. Painetta vaihdellaan nolapisteen välillä, kunnes puhallin tuottaa maksimitilavuutensa ja edetään portaittain siihen asti, kun puhallin ei liikuta ilmaa ja kehittää maksimipaineen. Jokaisella paineen korotuksella tilavuus merkitään muistiin ja toimintapisteet piirretään kaavioon, jotka yhdistetään parabelilla, josta muodostuu puhallinkäyrä. (Axair Fans Uk www-sivut 2022.) Kuvassa 2 puhallinkäyrä näyttää stättista painetta käyrästöllä.

Ilmastointikojeen mittauspöytäkirjasta luettuna ilmenee, että puhaltimen pyörimisnopeus on 3100 rpm ja staattinen paineenkorotus on 1295 Pa sekä ilmamäärä on 2511 l/s. Puhallinkäyrästöstä (kuva 2) tarkastettuna ilmamäärällä 2511 l/s saadaan aikaiseksi 110 Pa dynaamista painetta, joten kokonaispaineen korotukseen saada 1405 Pa. Näillä arvoilla 1405 Pa ja 2511 l/s, kun puhallinkäyrästö on tarkastettu, ei päästä mittauspöytäkirjan ilmoittamaan puhaltimen pyörimisnopeuteen.



Kuva 2. Puhallinkäyrä, jossa mittauspöytäkirja tarkastettu

Ilmamäärät ovat mitattu päätealueelta, joten voidaan olettaa syyksi mahdollista ilmanvuotoa kanavistossa tai mittauslaitteen epätarkkuutta ilmavirtojen mittaushetkellä tai mittausmenetelmässä.

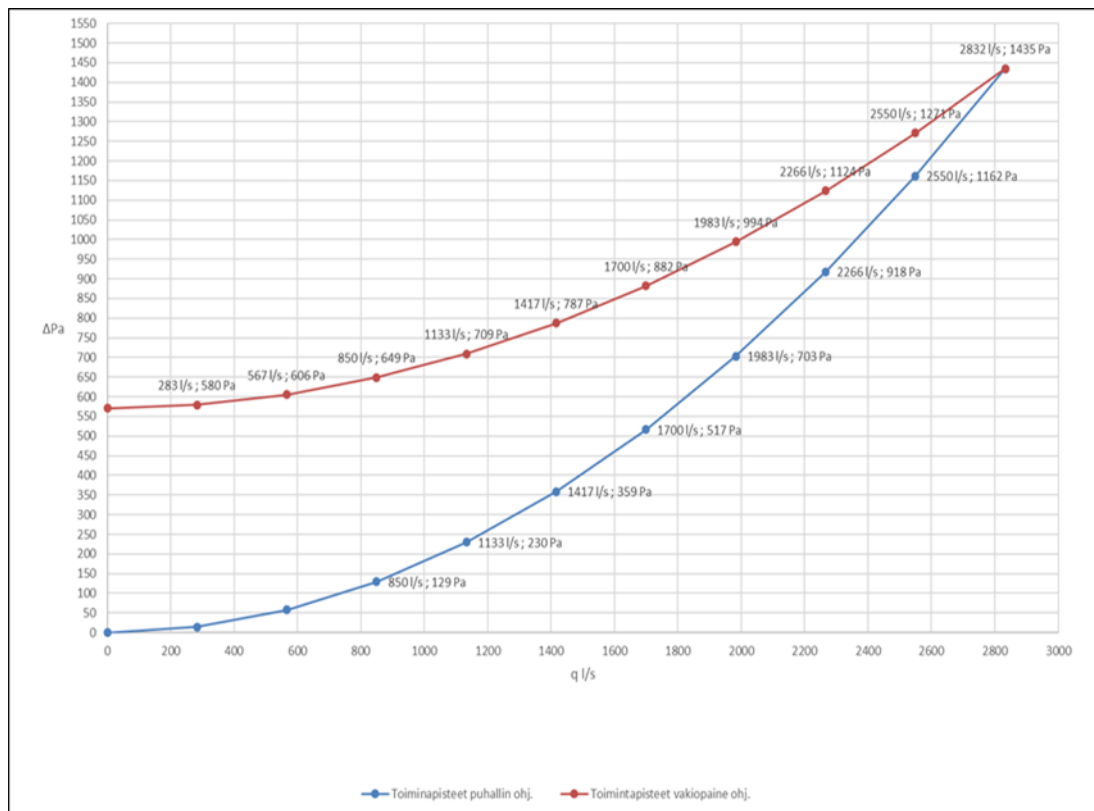
Varmuudella tiedetään, että puhaltimen pyörimisnopeus on 3100 rpm, ja staattinen paineenkorotus 1295 Pa ja kokonaispaineenkorotus noin 1400 Pa. Näillä arvoilla voidaan tarkastella puhallinkäyrästä, josta päädytään

puhaltimenpyörimisnopeudelle 3100 rpm, josta päädytään 2833 l/s ilmavirtaan sekä 1435 Pa kokonaispaineenkorotukseen. Näihin arvoihin tyydytään.

3.5 Laitoskäyrä

Laitoskäyrät näyttävät järjestelmän kokonaispainehäviön eri virtausnopeuksilla. Ne ovat paraabelin muotoisia graafisia käyriä, joilla tarkastellaan ilmastointilaitoksen käyttäytymistä. Laitoskäyrä saadaan joko mittaamalla asteittain ilmavirtoja tai laskennallisesti käyttämällä k-arvoa, sillä kitkapainehäviöt ovat virtausnopeuden neliöön verrannollisia. (Sandberg 2014, 105.)

Tässä työssä on laskutoimitukseen käytetty kaavoja 6 ja 7.



Kuva 3 Laitoskäyrä.

Kuvan 3 laitoskäyrällä havainnoidaan, miten nämä kaksi valittua ohjaustapaa toimivat. Sininen paraabeli esittää toimintapisteet puhallinohjaus periaatteella ja punainen paraabeli esittää toimintapisteet, kun käytössä on laitos, jossa ylläpidetään vakiopainetta. Saadaksean vertailukelpoinen laitoskäyrä on toimintapisteet tarkasteltu pienentämällä portaittain ilmavirtaa 10 % kerrallaan, kunnes ilmavirta on puolittunut. Laitoskäyrä voidaan laskea käyttäen k-arvoa, joka saadaan kaavalla 6 ja kaava 7 käytetään, kun laitoksessa ylläpidetään vakiopainetta.

$$k = \frac{\Delta p}{q^2}$$

Kaava 6. Laitoskäyrän k arvo (Sandberg osa 2 2014, 105.)

$$k = \frac{\Delta p}{q^2} + C$$

Kaava 7. Laitoskäyrän k arvo (Sandberg osa 2 2014, 105.)

3.6 Puhallinlait

Yhtenä keskeisenä tehtävänä ilmastointikojeen suunnittelussa on puhaltimen äänitason minimointi ja äänen siirtymisen estäminen tiloihin. Optimaalinen puhallin löydetään silloin, kun puhaltimen pyörimisnopeutta saadaan pudotettua, jolloin myös äänitekniset meluhaitat vähentyvät. Näin saadaan lisättyä kustannustehokkuutta äänenvaimennuksessa joko edullisemalla äänenvaimentimella tai parhaassa tapauksessa erillistä äänenvaimenninta ei tarvita ollenkaan. (Seppänen 2004, s. 200-201.)

Puhallin on keskeisin osa ilmankäsittelyjärjestelmää, tämä mahdollistaa ilman liikkumisen huoneissa ja kanavissa. Tärkeimmät osat puhaltimessa ovat moottori ja siipipyörä (puhallinpyörä). Siipipyörän läpi virtaavan ilman kokonaispaine kasvaa puhaltimella ja se koostuu dynaamisesta ja staattisesta

paineesta. Dynaaminen paine tuottaa ääntä ja häviötä, joten sen osuutta pyritään minimoimaan ennen staattiseksi paineeksi muuttumista. (Sandberg osa 1 2014, s. 174-175.)

Puhallintyyppin valinnan määrittelee käyttötarkoituksen ja asennusympäristön lisäksi lait, ohjeet ja määräykset. Oikeanlaisen puhaltimen valinnassa on tärkeää huomioida myös puhaltimen toimintapiste (ilmamäärä) ja painehäviö sekä valintaan saattaa vaikuttaa myös puhaltimen äänitaso ja energiakulutus. (Sandberg osa 1 2014, s. 174-175.)

Puhallinlait ovat muuntoyhtälöitä ja niitä voidaan käyttää uusien puhaltimien suoritusarvojen laskennassa. Puhallinlailla määritetään nopeus, puhaltimen halkaisija ja ilman tiheyden muutoksen vaikutukset järjestelmässä eli puhaltimen peruslakeja käytetään ilmaisemaan puhaltimen suorituskyvyn ja tehon suhdetta. Ilman kanavistossa tapahtuvia muutoksia ovat yhtälöt toimivia. Tämä tarkoittaa, että puhaltimen kuristustilan on oltava sama ennen ja jälkeen muutoksia. Sama koskee laitoksen kuristustilaa, jonka on suoritusarvoja muunnettaessa pysyttävä muuttumattomana. (Axair-fans UK www-sivut 2022.)

$$q' = \left(\frac{D'}{D}\right)^3 \left(\frac{n'}{n}\right) q$$

$$p' = \left(\frac{D'}{D}\right)^2 \left(\frac{n'}{n}\right)^2 \left(\frac{\rho'}{\rho}\right) p$$

$$P' = \left(\frac{D'}{D}\right)^5 \left(\frac{n'}{n}\right)^3 \left(\frac{\rho'}{\rho}\right) P$$

$$Lw' = Lw + 70 \log\left(\frac{D'}{D}\right) + 50 \log\left(\frac{n'}{n}\right) + 20 \log\left(\frac{\rho'}{\rho}\right)$$

Kaava 8. Puhallinlait (Sandberg osa 2 2014, 156.)

q = Ilmavirta

p = Kokonaispaine

P = Siipipyöräteho

n = Pyörimisnopeus

D = Siipipyörän halkaisia

ρ = Ilman tiheys

L_w = Äänen tehotaso

(Sandberg osa 2 2014, s.156)

Tiedossa olevalle arvolle ei ole käytetty tunnistetta, mutta muunneltu arvo on merkitty heittomerkillä ($'$). Koska puhaltimen koko ja ilmantiheys pysyvät samana voidaan tässä työssä kaavasta jättää huomiomatta siipipyörän halkaisija sekä ilman tiheys. (Sandberg osa 2 2014, s.156.)

4 VAV-järjestelmän toiminta ja ohjaus

Tässä kappaleessa esitellään muuttuvailmavirtajärjestelmä, joka täyttää EN 15232 A-luokan standardit ja käsitellään tarkemmin järjestelmän ohjausta ja toimintaa risteilyaluksilla. VAV-järjestelmän tarkoituksena on käsitellä tai vaihtaa toimitilan tai huoneen ilmaa tarvittava määrä parametrien mukaan. Tilat, joissa kuormittuvuudella on vaihtuvuutta, on säästöpotentiaali hyvin suuri muuttuvailmavirtajärjestelmää käyttäessä. (Truninger 2013, 15-18.)

Ilmanvaihdon kannalta risteilyalusten tiloihin on tärkeää toimittaa raitista ilmaa oikeanlainen määrä. Vaadittu ilmamäärä toimitetaan tilaan tarkoilla virtaussäätimillä, ja tämä tekniikka tunnetaan nimellä vaihteleva ilmamäärä eli VAV. Tämä tekniikka mittaa tilan olosuhteet ja laskee tosiasiallisesti tarvittavan energiamäärän. (Truninger 2013, s. 15-18.)

Ensisijaisena tehtävänä on varmistaa ilman virtaus ja täten luoda hapekas ympäristö. Muuttuvailmavirtajärjestelmä lisää merkittävästi energiatehokkuutta aluksilla, joissa tilojen käyttö- ja läsnäolopotentiaalit muuttuvat vuorokauden aikojen mukaan. (Okochi ym., 2016. s784-817.)

Järjestelmällä on todennäköisesti edellytystä saavuttaa energiatavoite olemassa olevissa risteilyaluksissa. Todellisen energian käytön arviointi kuitenkin osoittaa, että tätä potentiaalia käytetään liian harvoin ja järjestelmän on oltava luotettavampi kuroakseen eroa teoreettisen ja todellisen energiatehokkuuden välillä. (Truninger 2013, 15-18.)

4.1 Ohjauksen parametrit

Muuttuvailmavirtajärjestelmän ohjaus on moninainen, jonka vuoksi se sopii tiloihin, joissa on runsasta vaihtelua kuormituksessa eri käyttötilanteiden yhteydessä. Säättöä ohjaavana toimilaitteena voidaan käyttää muun muassa hiilidioksidipitoisuutta, lämpötilaa, kosteuspitoisuutta, tilaa käyttävän läsnäoloa

tai yhdistelmää edellä mainituista parametreista. (Seppänen osa 1 2014, 134-136.)

Kun ohjaustapana käytetään läsnäoloa ilmanvaihto ohjautuu henkilötunnistimella enimmäis- ja vähimmäisilmavirtojen välillä, jolloin on käytössä joko enimmäis- tai vähimmäisilmamäärä riippuen siitä, onko tunnistin rekisteröinyt liikettä vai ei. Tämä perustuu siihen, että järjestelmä ei tunnista henkilömääriä. Näin ollen energiasäästöpotentiali perustuu tilan tyhjäkäyttöön, sillä tilassa ei ole liikettä. (LVI 30-40008 1991.)

Ilmanvaihdon ohjaustapana voidaan käyttää myös lämpötilaa, jolloin ilmavirta huoneessa säätyy enimmäis- ja vähimmäisarvojen välillä portaattomasti sen hetkisen lämpötilan mukaan. Tilassa vallitsevaa lämpötilaa mitataan järjestelmälle kehitetyn anturin avulla, joka tuo tiedon lämpölukemista ilmavirran säätimelle. Ohjaustavan vahvuutena on järjestelmän kyky säätää portaattomasti ilmamäärää kuormituksen muuttuessa, joka taas vähentää tarpeetonta ilmanvaihtoa ja täten turhaa energian käyttöä. (LVI 30-40008 1991.)

Yhtenä ohjaustavan parametrina käytetään hiilidioksidipitoisuutta (CO₂), joka soveltuu tiloihin, joissa henkilökuormituksessa on runsasta vaihtelua. Kuormituksen kasvaessa myös hiilidioksidipitoisuus kasvaa. Tilan hiilidioksidipitoisuuteen saadaan kuormituksen vaihtuessa luotua haluttu sisäilma, kun ilmamäärää säädetään portaattomasti enimmäis- ja vähimmäisilmavirtojen välillä. Tapa on energiatehokas. Hiilidioksidipitoisuuden mittaaminen tapahtuu suoraan ilmanvaihtokanavan poistoilmasta tai huonetilasta, jossa anturi asennetaan paikkaan, jossa häiriötekijät (ikkuna- ja oviaukot, päätelaitteet ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmalle, suora uloshengitysilma) ovat minimoitu. (Vaisala 2010.)

4.2 VAV-järjestelmän toimintaperiaatteet

VAV-järjestelmät ovat yksinkertaisen määritelmän mukaan ilmastointijärjestelmiä, jotka ovat suunniteltu siten, että tilan tulo- ja poistoilmavirtaa voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Yleensä järjestelmä toteutetaan omalla ilmavirran säätömahdollisuudella tilakohtaisesti, mutta voidaan toteuttaa myös vyöhykekohtaisesti tilakohtaisen säädön lisäksi. Tällöin koko vyöhykkeen ilmavirtoja muutetaan samalla säädöllä. Järjestelmän palvellessa vain yhtä tilaa, esim. risteilyaluksen ravintojat ja yleiset tilat, voi VAV-järjestelmässä ilmavirran säätö olla myös konekohtainen. (Okochi ym., 2016. s784-817.)

VAV-järjestelmissä on yleensä useita muuttujia, kuten puhaltimen nopeus, vyöhykkeen tilan lämpötila ja tuloilman virtausnopeus, joita voidaan ohjata toiminnan aikana saavuttaakseen toivotut järjestelmäolosuhteet. Ilmanvaihdon ollessa tarveohjattua, saadaan säästettyä puhaltimen kuluttamaa sähköenergiaa sekä jäähdyttämiseen tai lämmittämiseen tarvittavaa energiaa ilmanvaihdossa ja parannettua sisäilmaston olosuhteita. (Okochi ym., 2016. s784-817.)

VAV-järjestelmät vaihtelevat tuloilman tilavuutta vakiolämpötilassa, jotta se täyttäisi ilmastoinnin muuttuvan lämpökuorman aiheuttaman kysynnän tilaa ja toimivat mekaanisten peltien avaus- ja sulkemisperiaatteilla tai säätämällä ilmavirtausta puhallinkojeen kautta. (Okochi ym., 2016. s784-817.)

Yksinkertaisesti VAV-ohjausjärjestelmässä on neljä peruselementtiä, jotka ovat anturi, ohjain, ohjattava laite ja energian lähde. VAV-järjestelmän komponentit, jotka ovat useimmiten hallinnassa, ovat ilmänkäsittelykoje, keskusyksikkö ja jäähdytyskoje. (Okochi ym., 2016. s784-817.)

Esimerkiksi, jos tietty tila vaatii enemmän jäähdytystä, tilan säätöpelti avautuu suuremmaksi lisäten kylmän ilman sisään virtausta siihen asti, että vaadittu lämpötila on saavutettu. Säätöpellin avaamisen aikana syöttökanavassa tapahtuu paineen laskua, joka ilmoittaa puhaltimelle ilmamäärän lisäämisestä.

Toisaalta, jos tilassa on liian viileää ja vaaditaan lämpötilan nousua säätöpellit suljetaan vähitellen pienentäen kylmän ilman sisäänvirtauksen määrää. (Okochi ym., 2016. s784-817.)

Signaali määrittää ilman massavirtausnopeuden pellin läpi. Joissakin pelleissä ilmavirran virtausnopeus pellin läpi riippuu pellin virtauskertoimesta, paine-erosta ja pellin asennosta. Seurauksena säätöpeltien säädöillä on ilmavirtauksen väheneminen, joka taas minimoi tarvittavan puhaltimen tehoa ja säästää täten energiaa. (Okochi ym., 2016. s784-817.)

Pidemmällä tähtäimellä useimmat VAV-järjestelmät käyttävät paluuilmaa energiatehovaatimusten alentamiseksi ja energiakulutus pienenee, kun ulkolämpötila on korkeampi kuin poistoilman lämpötila. (Okochi ym., 2016. s784-817.)

4.3 VAV-järjestelmän ohjaus

VAV-järjestelmän ohjausstrategiat ovat järjestelmän optimaalisen ohjauksen saavuttamiseksi käytettyjä lähestymistapoja. Nämä lähestymistavat ovat luokiteltu kahteen luokkaan: paineriippuvaisiin ja paineesta riippumattomiin ohjausstrategioihin. Paineriippuvainen ohjaus käyttää anturia, joka on asennettu ilmastoituun vyöhykkeeseen ohjatakseen suoraan pellinasentoa. Vyöhykkeen anturi korjaa jatkuvasti pellin asentoa, mutta sen vaste voi olla hitaanlainen, mikä johtaa epäedullisiin lämpötilan vaihteluihin vyöhykkeen sisällä.

Paineriippuvainen virtaussäädin jättää huomioimatta kanaviston paineenvaihtelut ja toimii tällöin minkä tahansa kuristulaitteen tavoin. (Okochi ym., 2016. s784-817.)

Säätöpellin päätehtävä on ohjata ilmavirtaa kanavissa VAV-järjestelmässä. Se suorittaa virtausnopeudensäädön vaihtelemalla ilmavirtauksen vastusta syöttökanavassa, joka johtaa tiettyyn ilmastoituun tilaan. Säätöpellin kaltevuus (asento) määrää todellisen saavutettavan ilmamäärän vyöhykkeellä, joka on riippuvainen kanavan staattisesta paineesta pääteyksikön tuloaukossa.

säätöpellin asento ei kuitenkaan ole suoraan hallinnassa, mutta sen seurauksesta ilma virtaa pääteyksiön läpi. (Okochi ym., 2016. s784-81.7)

Vakioilmavirtajärjestelmään verratessa muuttuvailmavirtajärjestelmän puhaltimen kapasiteetiltä vaaditaan vähemmän. VAV-järjestelmissä käytetään vain tarvittavaa ilmamäärää. Puhaltimet ovat joustavampia vaihtelevien kuormien suhteen sekä sisätiloissa että ympäristössä, ja pääkanavien koko on pienempi, sillä maksimi jäähdytys- ja lämmityskuormituksella ei ole samanaikaista kysyntää kaikissa tiloissa. (Okochi ym., 2016. s784-817.)

4.4 VAV-järjestelmän kanavapaineen säätö

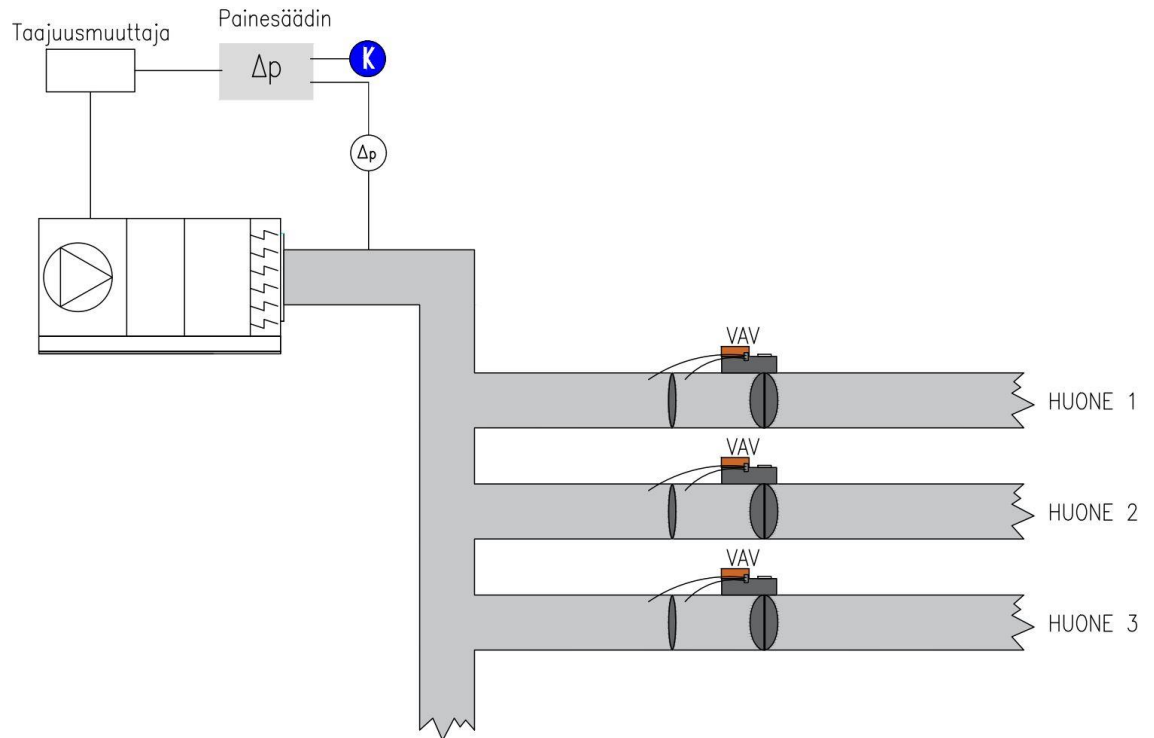
Periaatteena säädölle on, että staattinen paine pyritään pitämään kanavistossa mahdollisimman matalana, jolloin sähköenergian säästäminen mahdollistuu. Säätölaitteiston ohjaus toteutetaan painesäätimellä, jonka avulla ylläpidetään kanavassa pysyvää staattista painetta suhteessa aluksessa vallitsevaan paineeseen. (Seppänen 2004, 63-64.)

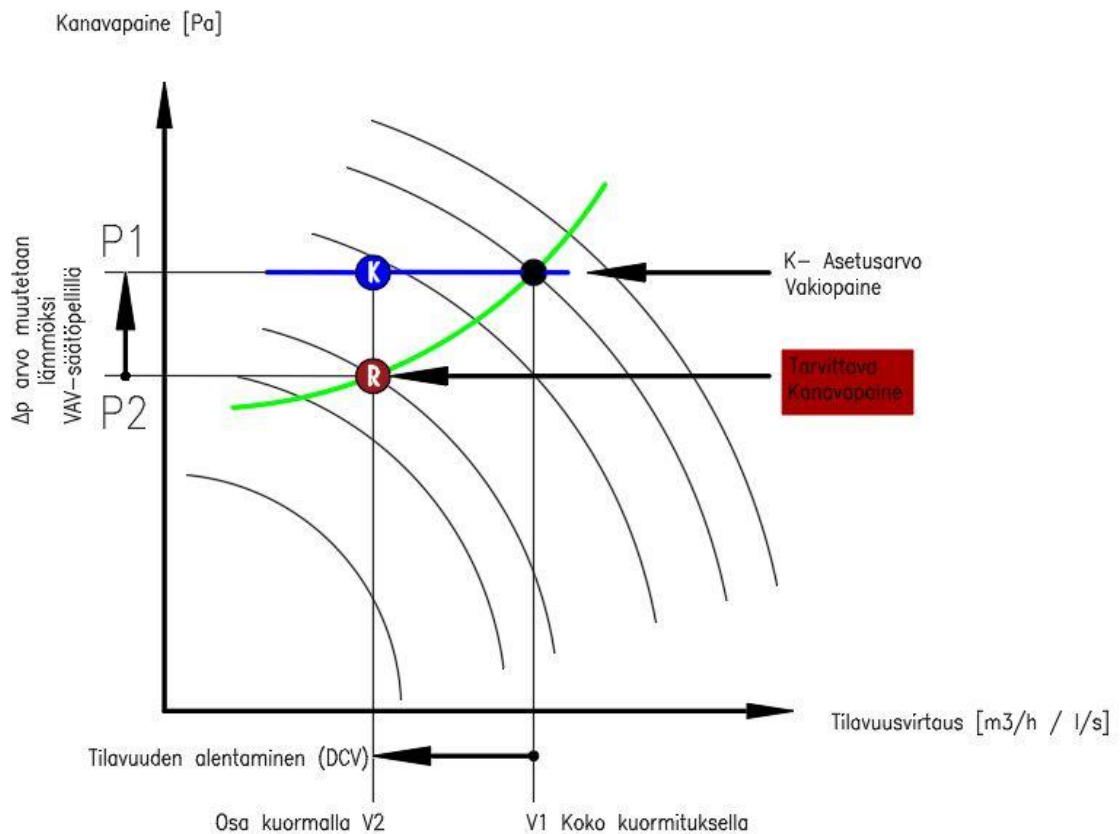
Järjestelmä on mitoitettava ilmanvaihtojärjestelmän vaatimusten mukaisesti ja asetettava sopiva asetusarvo, jotta puhaltimen tehoa voidaan mukauttaa ilmanvaihtojärjestelmään. Tämä on perinteisten kanavapainehjausjärjestelmien heikko kohta ja paineen takaisinkytkennän vahvuus puhallinoptimointijärjestelmässä. (Truninger 2013, s.15-18.)

Kanaviston ja risteilyaluksen välistä sisäilman paine-eroa pidetään vakiona puhaltimen pyörimisnopeuden säädöllä ja taajuusmuuttajan avulla (Seppänen 2004, 63-64).

Asetusarvo K (kuva 4), joka vastaa kanavapainetta P1 painetta ja joka tarvitaan suurimman ilmamäärän V1 siirtämiseksi ilmakehän järjestelmän läpi. Todellinen paine mitataan ilmakehän, mieluiten kanavan epäedullisimmasta kohdasta. Kysymyksen kuuluessa, missä sijaitsee epäedullisin kohta vaihtelevassa ilmanvaihtojärjestelmässä, vastataan sen liikkuvan kanavajärjestelmän ympäri ilmanvaihtojärjestelmän nykyisen kuormituksen jakautumisen mukaan. Joten on mahdollista, että paineanturi on sijoitettu väärin; se asennetaan yleensä

välittömästi puhaltimen alavirtaan. (Truning 2013, 15-18.) Kuvassa 4 kanavapaineohjattu VAV-järjestelmä.





Kuva 4. Kanavapainehjattu VAV-järjestelmä

Paineesta riippumattomia virtauksen säätimiä käytettäessä anturi sijoitetaan syväälle haarakanavaan, jossa staattinen paine on matalimmillaan verrattuna puhaltimen jälkeiseen paineeseen. Oikeanlainen sijoitus painesäätimelle ei kuitenkaan ole vyöhykepelin takana. Virtaussäätimet huomioivat kanaviston painevaihtelut ilmavirran jatkuvalla mittamisella ja täten mahdollistaa ilmavirran pysymisen asetellun mukaisena. (Sandberg 2014, s. 133-136.)

Puhallinta ohjattaessa vain yhdestä pisteestä on mahdollista kuormitustilanteesta riippuen, että staattinen paine on liian matala yhdessä tai useammassa haarakanavassa. Tästä syystä on välttämätöntä suurissa laitoksissa, joissa on useampi pääkanava, asentaa kanavistoon myös useampi painesäädin. Säätimien asettelussa tulee ottaa huomioon säätimien sijainti; yksi lähelle puhallinta ja seuraavat syväälle haarakanavaan. Näin varmistetaan

puhaltimen verkoston paineenohjaus ja haarakanavan oikea paineentaso. (Sandberg 2014, s.133-136.)

4.5 VAV -järjestelmän käyttökohteet ja käyttötapa risteilyaluksella

Järjestelmää käytetään tyypillisesti risteilyalusten yleisissä tiloissa, joissa lämpökuormitus ja ilmavirtaus vaihtelevat käyttöajan kuluessa. VAV -järjestelmässä ilmankäsittelykoje ohjaa säätöpeltejä lähettämällä signaalin ilmavirran ohjaamiseksi, joka perustuu CO₂-pitoisuuksiin ja käyttölämpötilaan. Kyseiset parametrit ovat manuaalisesti asetettuja asetusarvoja, jotka säätelevät VAV-järjestelmän käyttöä. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

Tämä mahdollistaa ilmanvaihdon ohjaamisen sen mukaan, milloin yksittäiset huoneet ovat käytössä, mutta ei sen mukaan, kuinka paljon ne ovat kuormitettuna käyttöaikoina. Käyttötapojen ja tilan kuormituksen muuttuessa käyttöasetuksia voidaan päivittää manuaalisesti. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

Näissä tiloissa ajastin ja käyttöasetukset ohjaavat perusilmanvaihtoa, kytkin tai liiketunnistin tehostaa yksittäisten tilojen ilmanvaihtoa ja säädin ylläpitää jatkuvaa painetta kanavajärjestelmässä varmistaen oikean ilmavirran jakautumisen. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

Hyötynä VAV-järjestelmälle voidaan mainita tilojen ilmanvaihto käyttötarpeen mukaan ja VAV mahdollistaa kaksivaiheisen ilmavirran ohjauksen jokaisella vyöhykkeellä. Haittana taas mainittakoon, että sama ilmavirta liikkuu tilassa henkilömäärästä huolimatta. VAV -järjestelmän investointikustannukset ovat DCV -järjestelmää edullisempia. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

5 Puhaltimen toiminnan optimointi

Risteilyaluksille soveltuvan järjestelmän ja puhaltimen valinta edellyttää ilmavirtausten ja muiden keskeisten parametrien perustason ymmärrystä. Järjestelmillä on yksilölliset painevaatimukset ja puhaltimien on tuotettava oikeanlainen ilmapaine ja ilmanvaihtomäärä. Puhaltimen on kyettävä tuottamaan riittävä paine, jotta vaadittu ilmamäärä pystytään pakottamaan järjestelmän läpi ja samalla saadaan aikaiseksi tarvittava jäähdytys. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

Yksi toimenpide järjestelmien energiatehokkuuden parantamiseksi on tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän (DCV) käyttöönotto, joka säätelee automaattisesti ilmavirtauksia suhteessa vaihtovirtaan, jolle on tunnusomaista esim. tilan käyttöaste tai hiilidioksidipitoisuuksien keskittäminen. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

5.1 DCV -järjestelmä

Järjestelmää voidaan käyttää VAV -järjestelmän mukaan risteilyaluksen yleisissä tiloissa, joissa on määräaikainen käyttö, suurta vaihtelua tiloja käyttävien ihmisten määrässä sekä suurta vaihtelua lämpökuormissa. Sen lisäksi, että jokaisen huoneen ilmanvaihtoa voidaan ohjata sen mukaan, milloin niitä käytetään, ilmavirtausta voidaan säätää myös kuormituksen mukaan CO₂- ja lämpötilamittausten avulla. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

DCV on vaihtoehto vyöykekohtaiselle sekä tarpeenmukaiselle ohjautuvalle energiatulolle. Operoidakseen muuttuvaa ilmavirtajärjestelmää energiatehokkaasti, on myös puhallin integroitava DCV -järjestelmään. Täydellinen integroitu järjestelmäratkaisu tähän on joko ilmavirtauksen palaute tai painepalaute eli feedback. Tämä toimii huonetasolta ilmantulolle tarpeenmukaisella ohjausperiaattella, ei maksimi käyttömitoituseriaattella. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

Järjestelmällä on VAV -järjestelmää parempi mahdollisuus räätälöityyn mukavuuteen erilaisista tarpeista riippuen sekä paremmat mahdollisuudet energiansäästöön, mikä on etu risteilyaluksissa, joissa ilmanvaihdon ja ilmastoinnin energiankulutus on suuri. Risteilyalusten tiloissa ajastin ja käyttöasetukset ohjaavat perusilmanvaihtoa, CO₂- ja lämpötila-anturit lisäävät asteittain ilmanvaihtoa yksittäisissä huoneissa kuormituksen kasvaessa ja säädin ylläpitää vakiopainetta kanavissa, jotta ilmavirtaus jakautuu oikein. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

Tarpeenmukaisia ilmanvaihtojärjestelmiä VAV - ja DCV -järjestelmiä ei pidä sekoittaa toisiinsa, vaikka käsitteet liittyvät toisiinsa, ne eivät ole saman vertaisia. DCV koostuu ilmanvaihdon automaattisesta säätämisestä läsnäolon mukaan, kun taas VAV -järjestelmä mahdollistaa säädettävän ilmavirran, mutta ohjaus voidaan tehdä manuaalisesti. Kuitenkin kaikki ilmavirtausta optimoivat päivitykset johtavat myös lämmityksen ja jäähdytyksen säästöihin. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

VAV - ja DCV -järjestelmät täyttävät pohjimmiltaan saman tarkoituksen. Järjestelmät mukauttavat ilmanvaihtoa ja ilmastointia tilojen vaihtelevien toimintojen mukaan. Yleisesti ottaen edistyneemmällä (DCV) järjestelmällä on mahdollista saavuttaa suurempi energiansäästö ja parempi sisäilman laatu. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

DCV poikkeaa VAV -järjestelmästä siinä, että järjestelmä säätää ilmavirtoja ja lämpötilaa tilojen tarpeiden ja läsnäolotilan mukaan, esim. erilaisilla käyttövaatimuksilla, josta koituu huomattava energiasäästö. Tämän voisi luokitella DCV -järjestelmän hyödyksi. Toiminnassa itsessään ei juuri ole mainittavia haittoja, haitat perustuvat lähinnä kustannuksiin, sillä DCV:n asennuskustannukset ovat korkeat. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

Useimpia mekaanisia ilmanvaihtojärjestelmiä voidaan parantaa toimimaan DCV -järjestelmällä. Se vaatisi kuitenkin useita lisäyksiä järjestelmään toimiakseen asianmukaisesti. Ensinnäkin järjestelmä tarvitsee keinon itse ilmavirran säätelyyn. Tämä voidaan saavuttaa puhaltimilla, joissa on säädettävä

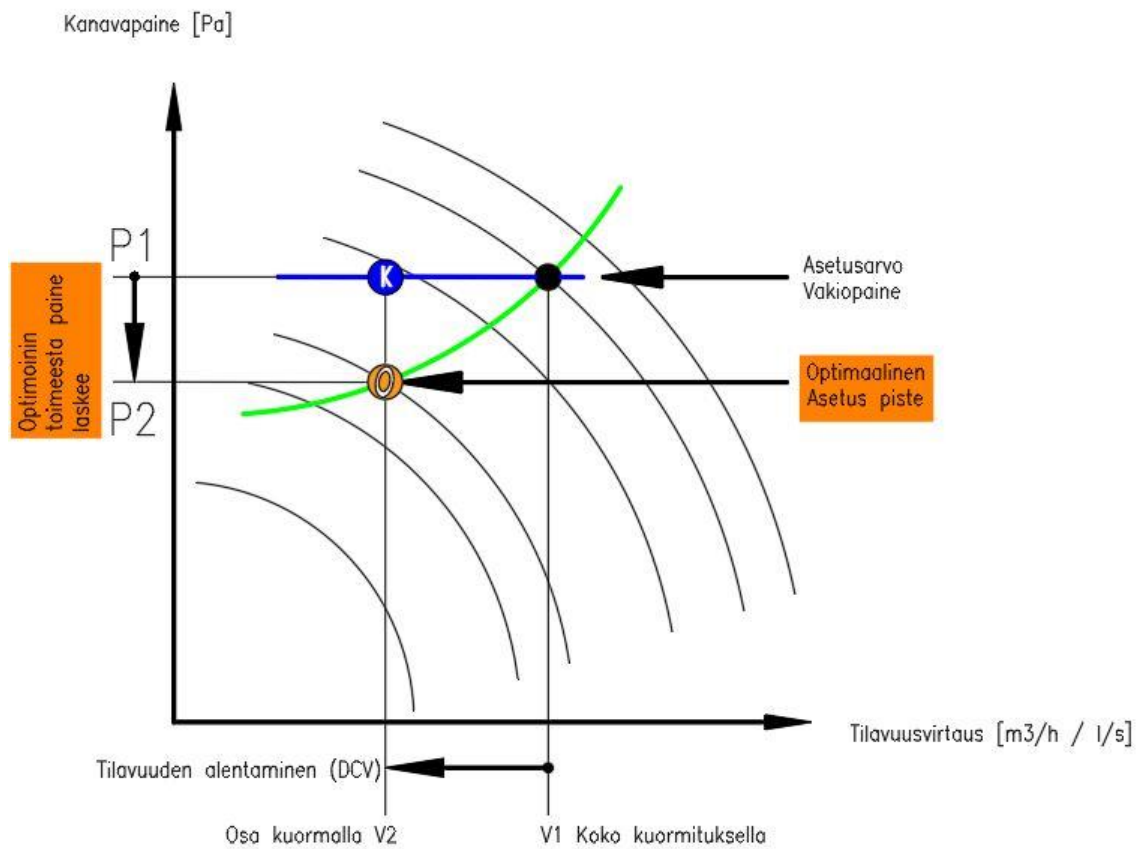
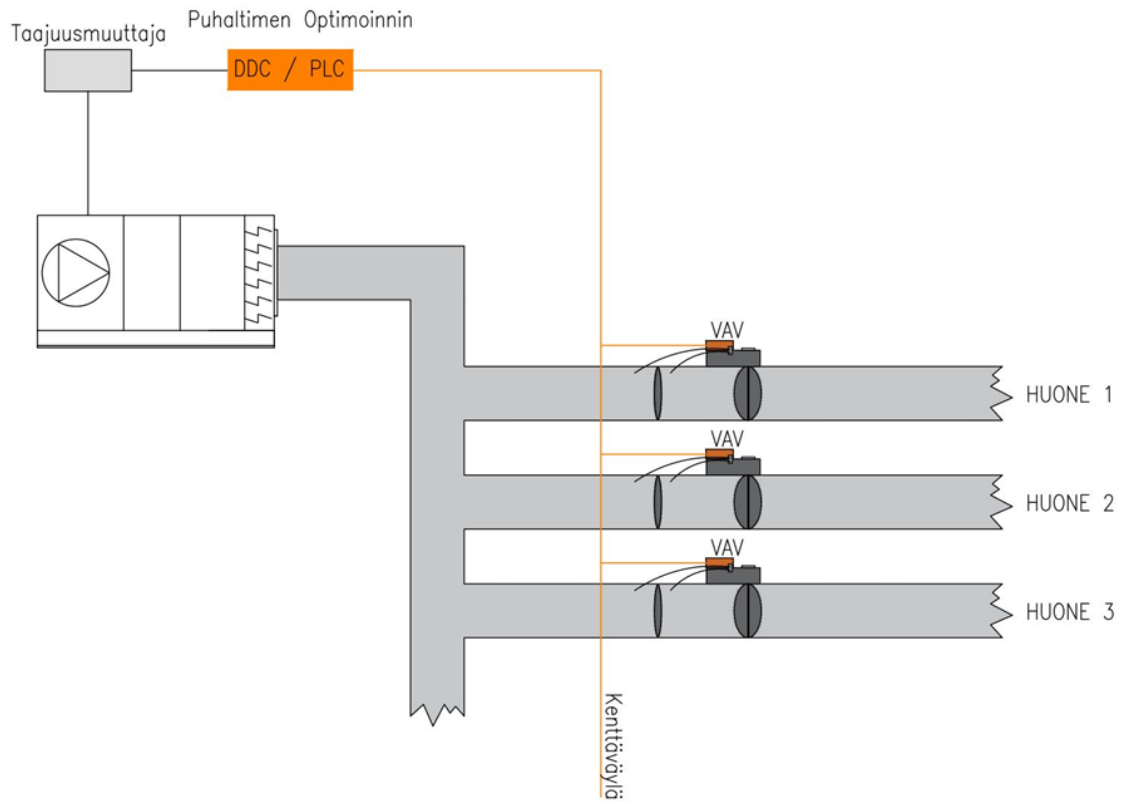
puhallinteho, ja mekaanisilla säätöpelleillä. Toiseksi järjestelmä tarvitsee jonkinlaista syötettä varatusta tilasta. Tämä voidaan saavuttaa käyttämällä tietyn tyyppistä anturia, yhdistelmää tai aikaa ajoitettujen tehtävien hallinnassa. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

5.2 Puhaltimen ohjaus

Kuvassa 5 on käytössä tilavuusvirtausmittauksille perustuva ohjausjärjestelmä. VAV -säätimien säätöpeltien asennot määräytyvät huoneen käyttöasteen tai lämpökuorman mukaisesti. Tieto kerätään kenttäväylän kautta, jota käytetään laukaisimena energiatehokkaaseen puhaltimeen. Säätöpellin todellinen asento arvioidaan puhaltimen optimointitoiminnon kautta laskemalla puhaltimelle optimaalinen asetusaste O, kunnes suurin osa VAV-säätöpelleistä on optimaalisella toiminta-alueella. (Truninger 2013, 15-18.)

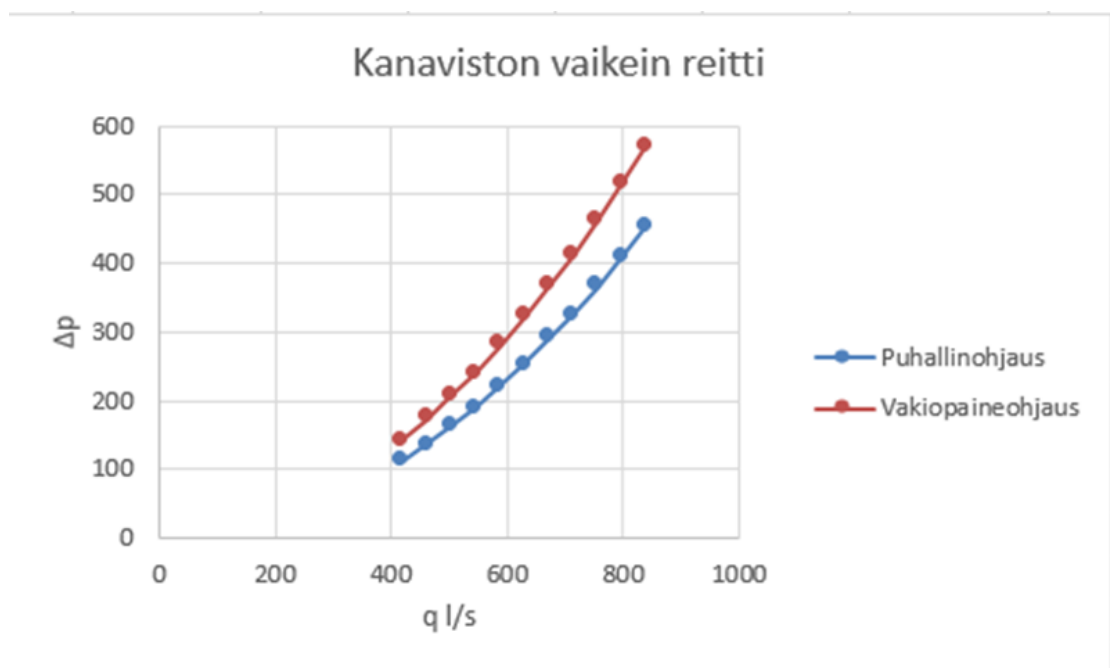
Järjestelmää operoidaan DDC:n (Display Data Channel) avulla sekä optimaalisella säätöpellin asennolla huoneanturin sen hetkellä komennolla. Tavoitteena on jatkuvasti pitää paine-eroa VAV -säätöpellin säätöpellin ylitse mahdollisimman alhaisena ja siten alentaa käyttökustannuksia pienentämällä puhaltimen tehoa. (Truninger 2013, 15-18.)

Tarkennettuna jokainen VAV -säätimen säätöpellin asento luetaan DDC:ssä, joka välitetään kenttäväylän kautta puhaltimelle. Näitä arvoja käytetään puhaltimen säädön muuntajana. Tämä ohjaustapa alentaa vaadittavaa ilmavirtausta. (Truninger 2013, 15-18.)



Kuva 5. Tilavuusvirtausmittauksille perustuva ohjausjärjestelmä

Kuva 6 havainnoi, miten puhallinohjaus ja vakiopaineohjaus erottuvat toisistaan. Pystysuoralla Y-akselilla näkyy paineen korotuksen tarve ja vaakasuoralla X-akselilla näkyy ilmamäärät. Huonetilan kuormituksen ollessa maksimaalisessa käyttötilassa tarvitaan ilmavirtaa 839 l/s, silloin painehäviö kanavistossa kasvaa vakiopaineohjauksessa 570 Pa:iin. Verrattaessa puhallinohjaukseen kanavahaarassa on paineenkorotus tuolloin 451 Pa. Painehäviölaskelmat löytyvät liitteestä 1.

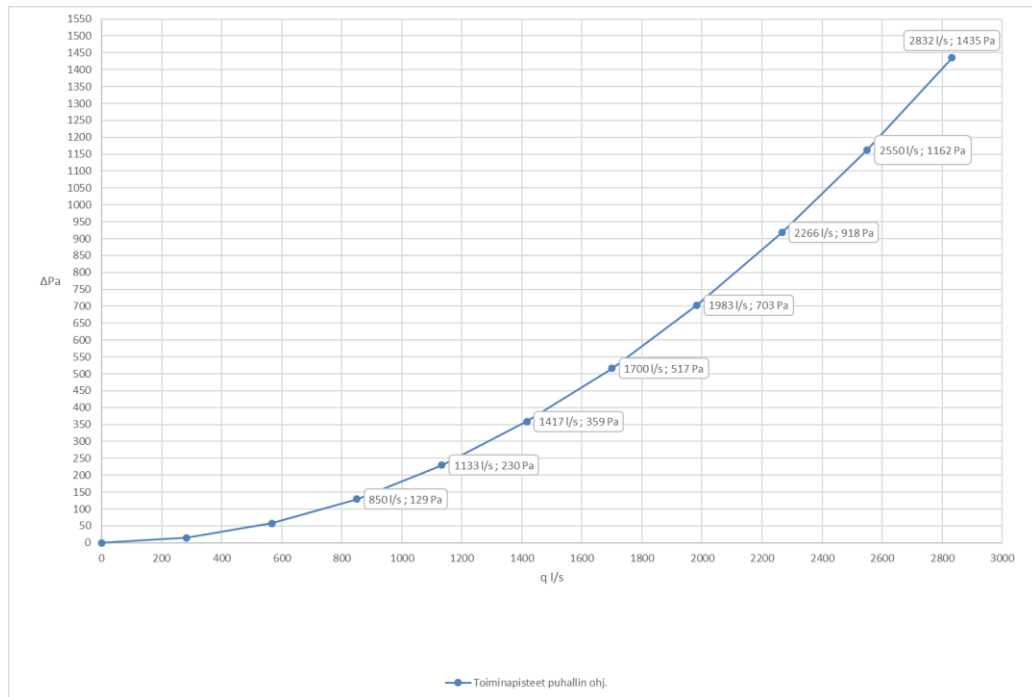


Kuva 6. Laitoksen epäedullisin kanavahaara

Tarpeenmukaisen ilmamäärän saavutettua asetuspisteensä VAV -säätimien säätöpellit asettuvat kohdilleen, jolloin myös toimipiste asettuu optimaaliselle kohdalle laituskäyrästä.

Optimaalinen toimipiste saadaan, kun käytössä on ilmamäärämittaukselle perustuva VAV -säädin. Jokaisesta VAV -säätimestä lasketaan arvot yhteen,

jolloin saadaan sen hetkinen tarpeenmukainen ilmamäärä. Kuvassa 7 näytetään laitoksen toimintapisteet, kun käytössä on puhallinohjausjärjestelmä.



Kuva 7. Laitoksen toimintapiste puhallinohjauksella

5.3 Ääni

Ilmastointikojeen laitteista, kuten puhaltimista, jäähdytyslaitteistoista ja kanavien varusteista syntyy melua, jotka voidaan määrittellä ei toivotuiksi ääniksi.

Risteilyaluksilla tasainen jatkuva ilmastointikoneen melu voidaan kokea häiritseväksi, joten äänen vaimentaminen on ehdottoman tärkeää. Ilmavirrat tulisi säätää tarvittavalle puhallinnopeudelle, sillä tarpeettoman korkealla puhallinnopeudella ja säätöpelleillä kuristetuilla ilmavirroilla nostetaan turhaan äänitasoa ilmanvaihtojärjestelmässä ja lisätään energiakulutusta puhaltimissa. (Sandberg 2014, s. 68.)

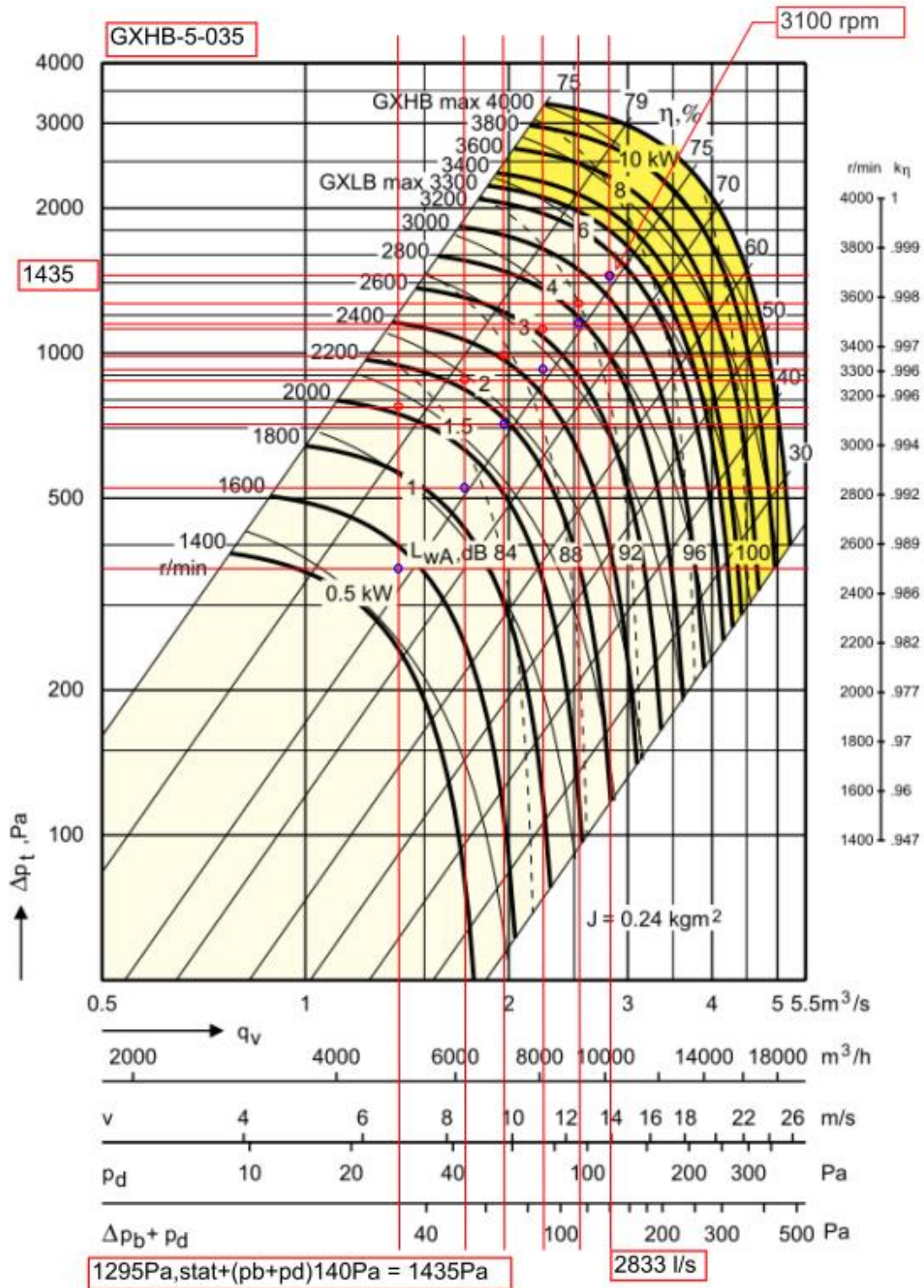
Ilmastointikojeessa on monia eri äänen tuottajia eli äänilähteitä, joita pitkin ääni siirtyy. Yksi mainittava komponentti on ilmastointikojeen puhallin, jonka tuottama ääni välittyy ilmastointikojeesta tiloihin kanavistoa pitkin. Puhaltimen ääneen vaikuttaa puhaltimen synnyttämä paine-ero, jonka vuoksi

ilmastointikanavistossa olisi edullisinta käyttää pieniä paineita. Tämä lisäisi energiatehokkuutta ja tasaisi ääniteknikkaa. (Seppänen 2004, s. 197.)

Tässä kappaleessa käydään läpi melutason vaikutus, kun tarkastelussa on kaksi VAV -järjestelmää eri ohjausperiaatteella: vakiopainetta kammiossa ja puhallinkäyrällä ohjautuva.

Kuvassa 8 havainnoidaan puhallinkäyrästä kyseisten ohjausjärjestelmien toimintapisteet. Punaiset pilkut esittävät referenssilaitteen toimintapisteet, joissa on vakiopaineella ohjautuva VAV -järjestelmä ja siniset pilkut esittävät puhaltimella ohjautuvaa VAV -järjestelmää. Edellä mainitut toimintapisteet voidaan nähdä piirrettynä käyrästä, lisäksi käyrästä on merkitty puhaltimen teho, äänitaso ja hyötysuhde.

Kyseessä on radiaalipuhallin, joten puhallinkäyrät ovat piirretty eri pyörimisnopeuksille. Radiaalipuhallin on kolmesta puhallintyyppistä yleisin ilmastointikojeessa. Ilma kulkee puhaltimeen siipipyörän akselin mukaisesti, mutta puhaltimesta ilma lähtee akselia kohtisuorassa olevaan suuntaan. (Sandberg 2014, s.148.)



Kuva 8. Puhallinkäyrä, jossa toimintapistet ja äänitiedot ovat merkattuina.

Acoustic Data

The total A-weighted sound power level to the outlet duct, L_{WA} , can be read from the fan diagram. Use the following formula to determine the sound power level in different octave bands:

$$L_{w_{okt}} = L_{WA} + K_{ok}$$

where K_{ok} can be read from the table below:

Sound path	Speed range r/min	Correction K_{ok} , dB								$L_{Wt} - L_{WA}$
		Octave band, mid-frequency, Hz								
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
To the outlet duct	0 – 1928	-4	0	5	-5	-6	-8	-15	-21	7.3
	1929 – 3857	-9	-3	-6	-3	-6	-5	-12	-19	3.1
	3858 – 4000	-11	-6	-3	-8	-4	-5	-11	-15	2.6
To the surroundings from a free-inlet fan	0 – 1928	-5	1	3	0	-3	-7	-10	-21	5.1
	1929 – 3857	-12	-6	-5	-1	-5	-7	-12	-21	2.6
	3858 – 4000	-14	-10	-8	-6	-1	-5	-8	-16	0.8

Fläkt Woods Oy

FIFLO 4437 GB 03.02

40

Specifications are subject to alteration without notice

Kuva 9. Kaistakohtaiset korjauskertoimet

Laskettuna äänentehona käytettiin kaistakohtaista korjauskerrointa (Kuva 8), joka on Fläkt Woodsin puhallinkuvastosta poimittu ja täsmää työssä käytettävään puhaltimeen. Taulokossa 1 on esitetty äänitason laskenta. Puhallinkäyrästä (Kuva 7) saaduilla mitoitusarvoilla 3100 rpm ja 1435 Pa saadaan äänen tehotaso $L_{WA} = 94$ dB. Seuraavan toimipisteen äänen tehotaso L_{WA} voidaan laskea kaavalla 9.

$$Lw' = Lw + 50 \log \left(\frac{n'}{n} \right)$$

Kaava 9. (Sandberg osa 2 2014, 156.)

Laadittaessa kaistakohtainen korjaus lasketaan muutokset yhteen kaavalla 10. Tällä tavoin saadaan lopullinen äänen tehotaso, josta L_{WA1} on ensimmäisen kaistan korjattu ääniteho ja L_{WA2} on toisen kaistan korjattu ääniteho ja niin edelleen. Kaistakohtainen korjaus sekä yhteenlasku on suoritettu taulukossa 1, josta saadaan tehotason summa.

$$10 * (\log_{10} 10^{\frac{LwA1}{10}} + \log_{10} 10^{\frac{LwA2}{10}} + \dots)$$

Kaava 10 Äänen tehontaso kaistakohtainen korjaus (Sandberg osa 2 2014, 56.)

Taulukko 1. Äänen tehotason laskelmat

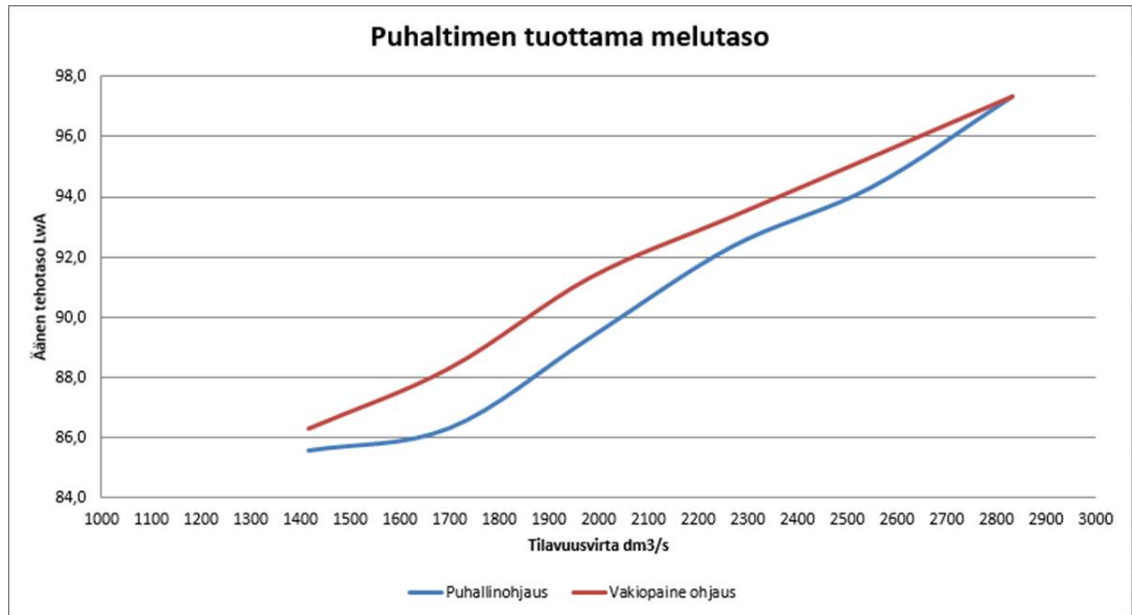
Puhallinohjaus										
100% l/s										
Kaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summa	Lisätiedot
Puhallin	94	94	94	94	94	94	94	94		Tekniset tiedot / valmistaja
Korjaus kaistoittain	-9	-3	-6	-3	-6	-5	-12	-19		
Kaistoittain	85	91	88	91	88	89	82	75	97,3	Tehotaso Lwa
90% l/s										
Kaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summa	Lisätiedot
Puhallin	91	91	91	91	91	91	91	91		Tekniset tiedot / valmistaja
Korjaus kaistoittain	-9	-3	-6	-3	-6	-5	-12	-19		
Kaistoittain	82	88	85	88	85	86	79	72	94,3	Tehotaso Lwa
80% l/s										
Kaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summa	Lisätiedot
Puhallin	89	89	89	89	89	89	89	89		Tekniset tiedot / valmistaja
Korjaus kaistoittain	-9	-3	-6	-3	-6	-5	-12	-19		
Kaistoittain	80	86	83	86	83	84	77	70	92,3	Tehotaso Lwa
70% l/s										
Kaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summa	Lisätiedot
Puhallin	86	86	86	86	86	86	86	86		Tekniset tiedot / valmistaja
Korjaus kaistoittain	-9	-3	-6	-3	-6	-5	-12	-19		
Kaistoittain	77	83	80	83	80	81	74	67	89,3	Tehotaso Lwa
60% l/s										
Kaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summa	Lisätiedot
Puhallin	83	83	83	83	83	83	83	83		Tekniset tiedot / valmistaja
Korjaus kaistoittain	-9	-3	-6	-3	-6	-5	-12	-19		
Kaistoittain	74	80	77	80	77	78	71	64	86,3	Tehotaso Lwa
50% l/s										
Kaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summa	Lisätiedot
Puhallin	78	78	78	78	78	78	78	78		Tekniset tiedot / valmistaja
Korjaus kaistoittain	-4	0	5	-5	-6	-8	-15	-21		
Kaistoittain	74	78	83	73	72	70	63	57	85,6	Tehotaso Lwa

Vakiopaineohjaus										
100% l/s										
Kaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summa	Lisätiedot
Puhallin	94	94	94	94	94	94	94	94		Tekniset tiedot / valmistaja
Korjaus kaistoittain	-9	-3	-6	-3	-6	-5	-12	-19		
Kaistoittain	85	91	88	91	88	89	82	75	97,3	Tehotaso Lwa
90% l/s										
Kaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summa	Lisätiedot
Puhallin	92	92	92	92	92	92	92	92		Tekniset tiedot / valmistaja
Korjaus kaistoittain	-9	-3	-6	-3	-6	-5	-12	-19		
Kaistoittain	83	89	86	89	86	87	80	73	95,3	Tehotaso Lwa
80% l/s										
Kaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summa	Lisätiedot
Puhallin	90	90	90	90	90	90	90	90		Tekniset tiedot / valmistaja
Korjaus kaistoittain	-9	-3	-6	-3	-6	-5	-12	-19		
Kaistoittain	81	87	84	87	84	85	78	71	93,3	Tehotaso Lwa
70% l/s										
Kaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summa	Lisätiedot
Puhallin	88	88	88	88	88	88	88	88		Tekniset tiedot / valmistaja
Korjaus kaistoittain	-9	-3	-6	-3	-6	-5	-12	-19		
Kaistoittain	79	85	82	85	82	83	76	69	91,3	Tehotaso Lwa
60% l/s										
Kaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summa	Lisätiedot
Puhallin	85	85	85	85	85	85	85	85		Tekniset tiedot / valmistaja
Korjaus kaistoittain	-9	-3	-6	-3	-6	-5	-12	-19		
Kaistoittain	76	82	79	82	79	80	73	66	88,3	Tehotaso Lwa
50% l/s										
Kaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summa	Lisätiedot
Puhallin	83	83	83	83	83	83	83	83		Tekniset tiedot / valmistaja
Korjaus kaistoittain	-9	-3	-6	-3	-6	-5	-12	-19		
Kaistoittain	74	80	77	80	77	78	71	64	86,3	Tehotaso Lwa

Taulukko 2 on yhteenveto taulukosta 1, jossa nähdään kahden valitun ilmamäärän ohjausmenetelmän äänitehojen erot. Kuva 10 perustuu taulukon 2 äänitehoon suhteessa ilmamäärään.

Taulukko 2. Äänen tehotason laskelmien yhteenveto

Puhallinohjaus					Vakiopaineohjaus				
rpm	q l/s	Δp	L_{WA}	P (kW)	rpm	q l/s	Δp	L_{WA}	P (kW)
3100	2833	1435	97,3	5,5	3100	2833	1435	97,3	5,5
2750	2550	1162	94,3	3,8	2810	2550	1270	95,3	4,1
2400	2266	918	92,3	3,0	2650	2266	1125	93,3	3,4
2190	1983	703	89,3	2,3	2425	1983	994	91,3	2,6
1900	1700	517	86,3	1,7	2200	1700	850	88,3	2,0
1580	1417	359	85,6	1,2	2030	1417	787	86,3	1,5



Kuva 10. Puhaltimen tuottaman melutason vertailu.

Tulokset on tarkastettu ja kirjattu laitevalmistajan antaman tiedon perusteella (taulukko 1 ja kuva 9). Laskelmien pohjalta voidaan todeta, että puhaltimen tehotaso eroaa huomattavasti ohjausjärjestelmään verrattuna. Sininen käyrä kuvaa puhallin ohjausmenetelmää ja punainen käyrä taas kuvaa menetelmää, jonka ohjaus perustuu vakiopaineeseen.

5.4 Säästöpotentiaali

Ilmanvaihdon tavoitteena on tarjota hyvä ja laadukas sisäilma sekä lisätä ilmanvaihdon tehokkuutta. Aiemmat ilmanvaihtojärjestelmät ovat keskittyneet ensisijaisesti energiasäästöihin. Nykyisten järjestelmien tavoitteena on tarjota energiatehokkuuden lisäksi laadukas sisäilma ja tehokas ilmanvaihto. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

Ilmanvaihdon standardit ja sisäilman laatu kannustavat risteilyalusten valmistajia ja suunnittelijoita käyttämään tarpeenmukaanohjattua ilmanvaihtoa (DCV -järjestelmä), erityisesti aluksen tiloissa, joissa on vaihteleva käyttöaste päivän aikana tai päivästä toiseen. Yleensä risteilyalukset eivät vaadi maksimaalista määrää raitista ilmaa koko päivän ajan, vain tiettyinä työaikoina.

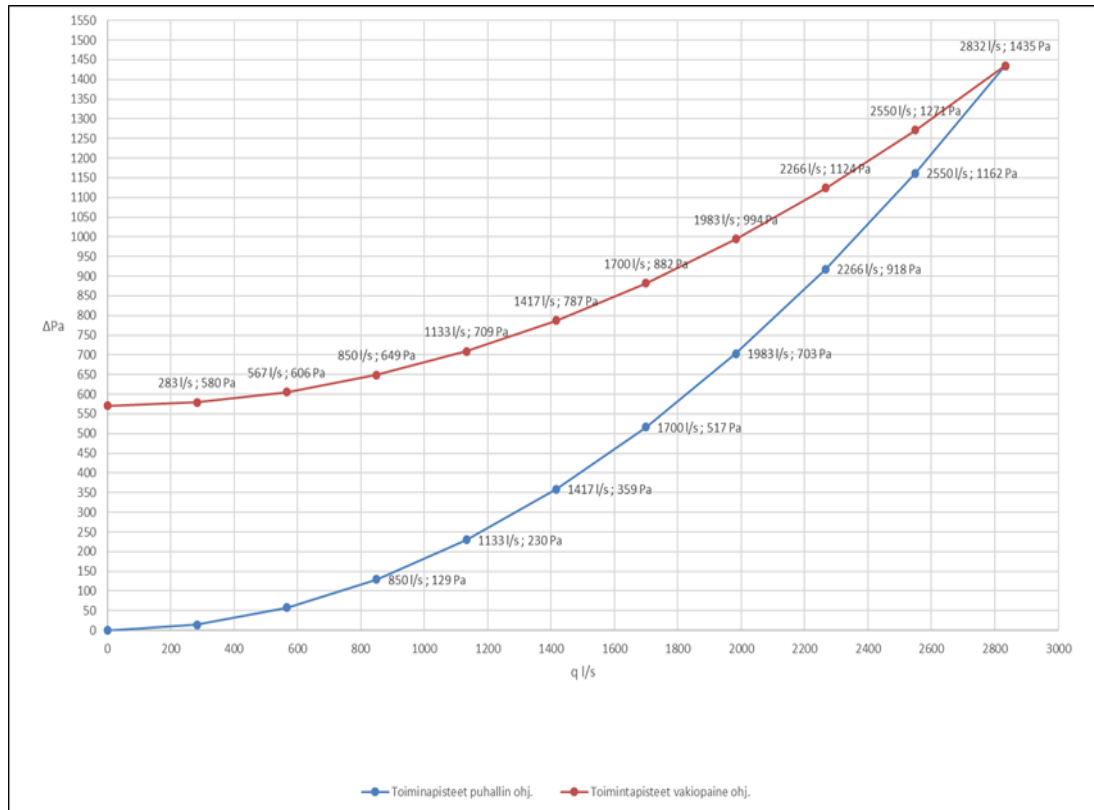
Muuttuvilmavirta voidaan ottaa käyttöön reaaliaikaisesti antureiden lukemien tai niihin perustuvan automaattisen ohjauksen ennalta määrättyjen asetusarvojen avulla. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

Anturit mallintavat risteilyalusten lämmitys-, jäähdytys-, valaistus-, ja ilmanvaihtoprosesseja ja simuloivat käyttökapasiteettia näiden mukaan. CO₂-anturit tulisi sijoittaa huoneisiin tai huoneiden paluuilmanakanaviin, mutta yleensä ne asennetaan paluuilmanakanavaan kustannusten vuoksi. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

Tutkimukset osoittavat, että DCV -järjestelmän puhaltimilla voidaan säästää jopa 40% energian käytössä ja erityisesti tiloissa, joissa henkilökapasiteetti tai käyttöaste on vaihtelevaa, voi säästöä olla jopa 50%. (Merema ym. 2018, s. 349-360.) DCV -järjestelmän käytöllä on siis tärkeä rooli risteilyalusten energiakulutuksen vähentymisellä.

Mittaustulokset osoittavat, että kaikissa tapaustutkimuksissa DCV -järjestelmä pystyi toimittamaan ja ylläpitämään hyvää sisäilman laatua jopa alhaisilla ilmavirroilla. VAV -säätöpellit tai poistoilmapuhaltimet reagoivat hyvin ennalta määritettyihin hiilidioksidipitoisuuksiin ja lämpötilan asetusarvoihin. Jopa alhaisilla ilmavirtausnopeuksilla havaittiin, että ilmanvaihdon tehokkuuteen se ei vaikuttanut. Tämä osoittaa, että kysyntä on hallinnassa. Ilmanvaihto jakaa ilman tehokkaasti myös alhaisimmilla ilmavirroilla. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)

Tämä tarkoittaa, että DCV -järjestelmällä on korkea energiansäästöpotentiaali tiloihin, joiden käyttöaste vaihtelee ihmismäärän, tilan koon ja ajan mukaan, kuten risteilyaluksen ravintoloissa ja teattereissa. (Merema ym. 2018, s. 349-360.)



Kuva 11. Toimintapisteiden erot eri ohjaustavoilla

Taulukko 3. Ohjaustapojen eroavaisuuksien vertailu ja tulokset

Puhallinohjaus					Vakiopaineohjaus					Ohjaustapojen erot		
rpm	q l/s	Δp	L _{WA}	P (kW)	rpm	q l/s	Δp	L _{WA}	P (kW)	Δp	L _{WA}	P (kW)
3100	2833	1435	97	5,5	3100	2833	1435	97	5,5	0	0,0	0,0
2750	2550	1162	94	3,8	2810	2550	1270	95	4,1	108	1,0	0,3
2400	2266	918	92	3,0	2650	2266	1125	93	3,4	207	1,0	0,4
2190	1983	703	89	2,3	2425	1983	994	91	2,6	291	2,0	0,3
1900	1700	517	86	1,7	2200	1700	850	88	2,0	333	2,0	0,3
1580	1417	359	86	1,2	2030	1417	787	86	1,5	428	0,7	0,4

Taulukko 3 perustuu puhallinlakien hyödyntämiseen. Puhallinlailla saadaan selville uudet pyörimisnopeudet siipipyörälle, siipipyöränteho, paineenkorotus sekä äänentehot, kun vaadittava ilmavirta vaihtuu laitoksessa. Samaisesta taulukosta voidaan lukea myös puhaltimen tuottama ilmamäärä eri siipipyörän

kierrosnopeuksilla sekä voidaan verrata puhallin- ja vakiopaineohjatun järjestelmän tapaa tuottaa painekorotusta, siipipyörän tehoa ja äänitehoa.

6 Päätelmät

Opinnäytteen alkuvaiheiden haasteiden jälkeen onnistuin lopulta rajaamaan aiheen vastaamaan toimeksiantoa sekä tuomaan hyvin esiin tarvittavat tiedot teoriapohjan tueksi. Näin sain aikaiseksi vertailukelpoisia tuloksia.

Opinnäytteen päätuotoksena syntyi kuva 11 ja taulokko 3, jotka osoittavat laskennallisesti teorian tukemana energian säästöpotentiaalit puhaltimen sähkötehosta. Säättöä voidaan saavuttaa etenkin silloin, kun laitoksen ilmamääräntuotto on alle 2000 l/s, jolloin paineenkorotusta saadaan pudotettua jopa 50%.

Teoreettisina lähteinä opinnäytetyössä on käytetty ilmastonin pioneeriopuksia ja teoreettisia tutkimuksia. Tutkimukset vahvistivat lopulta päätelmiäni ja lopputuloksia, kuten muun muassa sitä, että ilmastointikanavistossa on edullisinta käyttää matalia paineita. Risteilyaluksilla on tiloja, joissa voidaan käyttää järjestelmiä matalilla paineilla, mutta tekniikalle varatun tilanpuutteen vuoksi käytössä on myös korkeapaineisia järjestelmiä. Näihin tiloihin ei kyseisiä järjestelmiä pystytä toteuttamaan.

Itselleni heräsi myös ajatus VAV -säätimien asetusarvojen asettelujen pitkistä viivästyksistä eli huojunnasta, joka vaikuttaa säätöpeltien asentojen epävakautteen, koska säädin hakee jatkuvasti uusia asetusarvoja huonetilan kuormituksen muuttuessa.

Jos tämä siirtymä puhallisohajusjärjestelmään toteutuu, olisi hienoa olla näköalapaikalla mukana toteuttamassa projektia risteilyaluksella.

Lähteet

- Axair Fans UK www-sivut. Viitattu 12.11.2021. Saatavilla verkossa:
<https://www.axair-fans.co.uk/all-technical-information/read-fan-curves/>
- Gao, J. Xu, X., Li, X., Zhang, J., Zhang, Y., Wei, G. (2018). Model-based space temperature cascade control for constant air volume air-conditioning system. *Building and Environment*, 145(), 308–318. doi:10.1016/j.buildenv.2018.09.034
- Karanko, P. 2015. Ilmamääräkäyräohjatun VAV-säätöpeltejä sisältävän ilmastointikojeen säädettävyys. Turun ammattikorkeakoulun opinnäytetyö. Viitattu 15.7.2021. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015061013109>
- LVI 30-40008. 1991. Muuttuvailmavirtaiset ilmastointijärjestelmät. Rakennuskirja Oy
- Matilainen, M. 1998. Sisäilmasto merellä. Diplomityö. Energiatekniikan osasto. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.
- Meyer Turku Oy www-sivut. 2021. Viitattu 15.7.2021. www.meyerturku.fi
- Mysen, M., Schild, P.G. Requirements for well functioning Demand Controlled Ventilation. the *Rehva European HCVA Journal*, Volume 48, Issue 5, October 2011. Pages 14-18. <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/requirements-for-well-functioning-demand-controlled-ventilation>
- Okochi, G. S., & Yao, Y. 2016. A review of recent developments and technological advancements of variable-air-volume (VAV) air-conditioning systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 784–817. doi:10.1016/j.rser.2015.12.328
- Ripatti, H. 2004. Ilmastointijärjestelmät. Teoksessa Seppänen O. (toim.) *Ilmastoinnin suunnittelu*. Helsinki: Suomen LVI-liitto.
- Rismanchi, B., Mahecha Zambrano, J., Saxby, B., Tuck, R., Stenning, M. Control Strategies in Multi-Zone Air Conditioning Systems. 2019. *Energis* Vol.12(3), pages 347. DOI. 10.3390/en12030347.
- Sandberg, Esa. Osa 1. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. *Talotekniikka-Julkaisut Oy*. 2014.

Sandberg, Esa. Osa 2. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Talotekniikka- Julkaisut Oy. 2014.

Sisäilmayhdistys ry. 2022. Viitattu 16.2.2022. Saatavilla verkossa:
<http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>.

Truninger, K. VAV system with genuinely demand-controlled fans Rehva journal, Volume 50, Issue 4, August 2013, Pages 15-18.
<https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/vav-system-with-genuinely-demand-controlled-fans>.

Vaisala Oy. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon optimointi alkaa mittausteknologiasta. 2010. Sovelluskuvaus.

Pulliainen, M. 2013. LVI 30-10529. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Liite 2/6

Haara 2

No.	Kanavisto osa Kanavan mitat Pyo, d (mm) suorak. (mm)	A/ netikulma m ²	m ² pyöreä	lkm kpl	Q m ³ /s 100 %	l (m)	v m/s	P _{kan} Pa	P _{le}	ζ	λ	R Pa/m	Δp _τ Pa	Δp _λ Pa	erikois osat Δp _P	Δp Pa	Huom.	Kanavan mitat / mm sivu 1 sivu 2	Pyöreä kanava d / mm	d _h / m Σaxb + b	
Haara		0.1		1	0.839		8.39	42.235	164429	0.2			22			22		400	250	0.3077	
Käyrä 90		0.1		1	0.839		8.39	42.235	164429	0.4			17			17		400	250	0.3077	
Käyrä 90		0.1		1	0.839		8.39	42.235	164429	1.5			63			63		400	250	0.3077	
Kanava 400*250		0.1		1	0.839	2	8.39	42.235	164429	0.7	0.0163	0.6891		4.4788		4.4788		400	250	0.3077	
YÄY		0.1		1	0.839		8.39	42.235	164429	0.4			30			30		400	250	0.3077	
1 Käyrä 90		0.1		1	0.839		8.39	42.235	164429	0.4			17			17		400	250	0.3077	
2 Kanava 400*250		0.1		1	0.839	1.2	8.39	42.235	164429	0.7	0.0163	0.6891		2.6873		2.6873		400	250	0.3077	
FD		0.1		1	0.839		8.39	42.235	164429	0.7			30			30		400	250	0.3077	
3 Käyrä 90		0.1		1	0.839		8.39	42.235	164429	0.4			17			17		400	250	0.3077	
4 Kanava 400*250		0.1		1	0.839	6	8.39	42.235	164429	0.7	0.0163	0.6891		13.436		13.436		400	250	0.3077	
5 Käyrä 45		0.1		2	0.839		8.39	42.235	164429	0.14			5.9129			5.9129		400	250	0.3077	
6 Haara		0.1		1	0.839		8.39	42.235	164429	0.7			29.5647			29.5647		250	400	0.3077	
7 Kanava 200			0.03	1	0.2	0.3	6.3662	24.317	81098		0.0189	4		6.80878		6.80878				200	0.2
8 Käyrä 45 D200			0.03	2	0.2		6.3662	24.317	81098		0.0189	4		2.7536		2.7536				200	0.2
9 Kanava D200			0.03	1	0.2	1.2	6.3662	24.317	81098		0.0189	4		18.2378		18.2378				200	0.2
10 Äänenvaimennin 200-600			0.03	1	0.2		6.3662	24.317	81098	0.75										200	0.2
11 Kanava D200			0.03	1	0.2	1	6.3662	24.317	81098		0.0189	4		2.2947		2.2947				200	0.2
12 Haara		0.1		1	0.642		6.42	24.73	128921	0.8			19.7839			19.7839		250	400	0.3077	
13 Käyrä 90 D200			0.03	1	0.229		7.2893	31.88	92857	0.3			9.56409			9.5641				200	0.2
14 Kanava EK d 020			0.03	1	0.229	4.1	7.2893	31.88	92857		0.0183	3.2		11.981		11.981				200	0.2
15 Äänenvaimennin 200-600			0.03	1	0.229		7.2893	31.88	92857	0.75			23.3102			23.31				200	0.2
16 Käyrä 90 D200			0.03	1	0.229		7.2893	31.88	92857	0.4			12.7521			12.752				200	0.2
17 Kanava PK d 025			0.03	1	0.229	0.5	7.2893	31.88	92857		0.0183	3.2		1.4611		1.4611				200	0.2
18 Käyrä 45 D200			0.03	1	0.229		7.2893	31.88	92857	0.14			4.46324			4.4632				200	0.2
19 Kanava EK d 020			0.03	1	0.229	0.65	7.2893	31.88	92857		0.0183	3.2		1.8995		1.8995				200	0.2
20 Käyrä 45 D200			0.03	1	0.229		7.2893	31.88	92857	0.14			4.46324			4.4632				200	0.2
21 Kanava EK d 020			0.03	1	0.229	3	7.2893	31.88	92857		0.0183	3.2		8.7667		8.7667				200	0.2
22 Käyrä 45 D200			0.03	1	0.229		7.2893	31.88	92857	0.14			4.46324			4.4632				200	0.2
23 Haara		0.1		1	0.41		4.1	10.066	80353	1.5			11.5983			11.5983		250	400	0.3077	
24 Kanava PK 012			0.01	1	0.05	0.3	6.3662	24.317	40549		0.0221	5.5		1.6106		1.6106				100	0.1
25 Käyrä 45 PK 010 Z			0.01	2	0.05		6.3662	24.317	40549	0.6			29.1805			29.181				100	0.1
26 Käyrä 90 PK 012			0.01	1	0.05		6.3662	24.317	40549	0.5			12.1585			12.159				100	0.1
27 Kanava PK 012			0.01	1	0.05	1.13	6.3662	24.317	40549		0.0221	5.5		6.0666		6.0666				100	0.1
28 Käyrä 90 PK 012			0.01	1	0.05		6.3662	24.317	40549	0.5			12.1585			12.159				100	0.1
29 Kanava PK 012			0.01	1	0.05	0.65	6.3662	24.317	40549		0.0221	5.5		4.5634		4.5634				100	0.1
30 Käyrä 45 d100 Z			0.01	2	0.05		6.3662	24.317	40549	0.25			12.1585			12.159				100	0.1
31 Kanava PK 012			0.01	1	0.05	3.85	6.3662	24.317	40549		0.0221	5.5		52.881		52.881				100	0.1
32 Käyrä 45 d100			0.01	1	0.05		6.3662	24.317	40549	0.25			6.07927			6.0793				100	0.1
33 Käyrä 90 d100			0.01	1	0.05		6.3662	24.317	40549	0.5			12.1585			12.159				100	0.1
34 Kanava PK 012			0.01	1	0.05	1	6.3662	24.317	40549		0.0221	5.5		5.3687		5.3687				100	0.1
35 Haara			0.01	1	0.05		6.3662	24.317	40549	1			24.3171			24.317				100	0.1
36 Käyrä 90 d80			0.01	1	0.025		4.9736	14.842	25343	0.5			7.42099			7.421				80	0.08
37 Kanava PK 010			0.01	1	0.025	0.3	4.9736	14.842	25343		0.0247	5		1.3768		1.3768		199.1		80	0.08
38 Kanava PK 010			0.01	1	0.025	2	4.9736	14.842	25343		0.0247	5		9.179		9.179				80	0.08
39 Käyrä 30 d80			0.01	1	0.025		4.9736	14.842	25343	0.23			3.41365			3.4137				80	0.08
40 Kanava PK 010			0.01	1	0.025	0.5	4.9736	14.842	25343		0.0247	5		2.2947		2.2947				80	0.08
41 Käyrä 30 d80			0.01	1	0.025		4.9736	14.842	25343	0.23			3.41365			3.4137				80	0.08
42 Kanava PK 010			0.01	1	0.025	0.75	4.9736	14.842	25343		0.0247	5		3.4421		3.4421				80	0.08
43 Käyrä 30 d80			0.01	1	0.025		4.9736	14.842	25343	0.5			7.42099			7.421				80	0.08
44 Kanava PK 010			0.01	1	0.025	0.3	4.9736	14.842	25343		0.0247	5		1.3768		1.3768				80	0.08
45 Haara		0.1		1	0.36		3.6	7.776	70554	1			7.776			7.776		250	400	0.3077	
46 Käyrä 90 D200			0.03	1	0.16		5.093	15.563	64878	0.4			6.22517			6.2252				200	0.2
47 Kanava EK d 020			0.03	1	0.16	0.8	5.093	15.563	64878	0.5	0.0198	3.2		1.2339		1.2339				200	0.2
48 Käyrä 90 D200 Z			0.03	1	0.16		5.093	15.563	64878	1.4			23			23				200	0.2
49 Äänenvaimennin 200-600			0.03	1	0.16		5.093	15.563	64878	0.71			11.0497			11.05				200	0.2
50 T-Kappalle d 200			0.03	1	0.16		5.093	15.563	64878	1.5			23			23				200	0.2
51 Kanava EK d 016			0.02	1	0.08	0.3	3.9789	9.4989	40549		0.0221	3		0.3932		0.3932				160	0.16
52 Käyrä 90 D160 Z			0.02	2	0.08		3.9789	9.4989	40549	1.5			14			14				160	0.16
53 Kanava EK d 016			0.02	1	0.08	0.3	3.9789	9.4989	40549		0.0221	3		0.3932		0.3932				160	0.16
54 Käyrä 30 d160 Z			0.02	2	0.08		3.9789	9.4989	40549	0.2			1.89977			1.8998				160	0.16
55 Kanava EK d 016			0.02	1	0.08	1.24	3.9789	9.4989	40549		0.0221	3		1.6253		1.6253				160	0.16
56 Haara							2.4	39196		3			7.2			7.2		250	400	0.3077	
57 Kanava EK d 020			0.03	1	0.2	1.3	6.3662	24.317	81098		0.0189	3.2		2.9831		2.9831				200	0.2
58 Käyrä 90 D200			0.03	1	0.2	1.3	6.3662	24.317	81098	0.4			9.72683			9.7268				200	0.2
59 Kanava EK d 020			0.03	1	0.2	1.3	6.3662	24.317	81098		0.0189	3.2		2.9831		2.9831				200	0.2
60 Äänenvaimennin 200-600			0.03	1	0.2		6.3662	24.317	81098	0.71			17.2651			17.265				200	0.2
61 Kanava EK d 020			0.03	1	0.2	5	6.3662	24.317	81098		0.0189	3.2		11.473		11.473				200	0.2
					0.839											461					

Runkokanavan vaatima paine	222 Pa
haaran vaatima paine	60 Pa
haaran vaatima paine	94 Pa
haaran vaatima paine	230 Pa
haaran vaatima paine	92 Pa
haaran vaatima paine	52 Pa
Koko kanavalinja vaatima paineen kototus	451 Pa
Tarvittava ilmamäärä	839 l/s

Liite 3/6

Haara 3

No.	Kanavisto osa Kanavan mitat P _{y0} , d (mm) suorak. (mm)	A/ nelikulma m ²	m ³ pyöreä	lkm kpl	Q m ³ /s	l (m)	v m/s	ρ _{dyn} Pa	Re	ζ	λ	R Pa/m	Δp ζ Pa	Δp λ Pa	erikois osat Δp Pa	Δp Pa	Huom.	Kanavan mitan / mm sivu1	sivu2	Pyöreäk anava d / mm	dh / m $\frac{2ab}{a+b}$
1	Käyrä 90 d 200 Z		0,03141593	2	0,229		7,2893	31,8803		1,5			47,8205			47,8205			200	0,2	
2	Kanava PK 025		0,03141593	1	0,229	0,88	7,2893	31,8803	92857,28		0,01833		2,57157			2,57157			200	0,2	
3	Käyrä 90 d 200 Z		0,03141593	2	0,229		7,2893	31,8803		1,5			47,8205	0		47,8205			200	0,2	
4	Kanava PK 025		0,03141593	1	0,229	2,5	7,2893	31,8803	92857,28		0,01833		7,30559			7,30559			200	0,2	
5	T-haara 200/100				0,229								25			25				0	
6	Käyrä 90 d 100		0,00785398	1	0,02		2,54648	3,89073					4			4			100	0,1	
7	Kanava PK 012		0,00785398	1	0,02	3,5	2,54648	3,89073	16219,61		0,0277		3,77246			3,77246			100	0,1	
8	Käyrä 45 d 100		0,00785398	1	0,02		2,54648	3,89073					1			1			100	0,1	
9	Kanava PK 012		0,00785398	1	0,02	0,5	2,54648	3,89073	16219,61		0,0277		0,53892			0,53892			100	0,1	
10	Käyrä 45 d 100		0,00785398	1	0,02		2,54648	3,89073					1			1			100	0,1	
11	Kanava PK 012		0,00785398	1	0,02	0,6	2,54648	3,89073	16219,61		0,0277		0,64671			0,64671			100	0,1	
12	Käyrä 90 d 100		0,00785398	1	0,02		2,54648	3,89073					4			4			100	0,1	
13	Kanava PK 012		0,00785398	1	0,02	0,4	2,54648	3,89073	16219,61		0,0277		0,43114			0,43114			100	0,1	
14	Käyrä 90 d 100		0,00785398	1	0,02		2,54648	3,89073					4			4			100	0,1	
15	Kanava PK 012		0,00785398	1	0,02	1,5	2,54648	3,89073	16219,61		0,0277		1,61677			1,61677			100	0,1	
16	Käyrä 90 d 100		0,00785398	1	0,02		2,54648	3,89073					4			4			100	0,1	
17	Kanava PK 012		0,00785398	1	0,02	2,8	2,54648	3,89073	16219,61		0,0277		3,01797			3,01797			100	0,1	
18	Käyrä 90 d 100		0,00785398	1	0,02		2,54648	3,89073					4			4			100	0,1	
19	Kanava PK 012		0,00785398	1	0,02	0,2	2,54648	3,89073	16219,61		0,0277		0,21557			0,21557			100	0,1	
20	Käyrä 90 d 100		0,00785398	1	0,02		2,54648	3,89073					4			4			100	0,1	
21	Kanava PK 012		0,00785398	1	0,02	1,6	2,54648	3,89073	16219,61		0,0277		1,72455			1,72455			100	0,1	
22	T-haara 200/80				0,107								22			22				0	
24	Kanava PK 010		0,01130973	1	0,107	0,8	9,46088	53,7049	0				10			10			120	0,12	
25	Käyrä 90 d 80		0,01130973	1	0,107		9,46088	53,7049					10			10			120	0,12	
26	Kanava PK 010		0,01130973	1	0,107	1,7	9,46088	53,7049	72312,44		0,01935		14,7225			14,7225			120	0,12	
27	Käyrä 90 d 80		0,01130973	1	0,107		9,46088	53,7049					10			10			120	0,12	
28	Kanava PK 010		0,01130973	1	0,107	2	9,46088	53,7049	72312,44		0,01935		17,3206			17,3206			120	0,12	
29	Käyrä 90 d 80		0,01130973	1	0,107		9,46088	53,7049					10			10			120	0,12	
30	Kanava PK 010		0,01130973	1	0,107	1,15	9,46088	53,7049	72312,44		0,01935		9,95932			9,95932			120	0,12	
31	Käyrä 45 d 80		0,01130973	1	0,107		9,46088	53,7049					3,5			3,5			120	0,12	
32	Kanava PK 010		0,01130973	1	0,107	1,15	9,46088	53,7049	72312,44		0,01935		9,95932			9,95932			120	0,12	
33	Käyrä 45 d 80		0,01130973	1	0,107		9,46088	53,7049					3,5			3,5			120	0,12	
34	Kanava PK 010		0,01130973	1	0,107	1,3	9,46088	53,7049	72312,44		0,01935		11,2584			11,2584			120	0,12	
35	Käyrä 90 d 80		0,01130973	1	0,107		9,46088	53,7049					10			10			120	0,12	
36	Kanava PK 010		0,01130973	1	0,107	1,2	9,46088	53,7049	72312,44		0,01935		10,3923			10,3923			120	0,12	
22	Käyrä 90 d 200		0,01130973	1	0,209		18,4797	204,899					7			7			120	0,12	
37	Kanava PK 025		0,03141593	1	0,179	0,82	5,69775	19,4786	72312,44		0,01935		1,5454			1,5454			200	0,2	
38	Käyrä 45 d 200		0,03141593	1	0,179		5,69775	19,4786					3,2			3,2			200	0,2	
39	Käyrä 90 d 200		0,03141593	1	0,179		5,69775	19,4786					5,5			5,5			200	0,2	
	VAV		0,03141593	1	0,179		5,69775	19,4786	72312,44				25			25			200	0,2	
41	Aänenvai. 200-600		0,03141593	1	0,179		5,69775	19,4786					15			15			200	0,2	
42	Käyrä 45 d 200		0,03141593	1	0,179		5,69775	19,4786					3,2			3,2			200	0,2	
42	Käyrä 45 d 200		0,03141593	1	0,179		5,69775	19,4786					3,2			3,2			200	0,2	
5	T-haara 200/160				0,229								25			25				0	
					834															232	

Runkokanavan vaatima paine	131 Pa
haaran vaatima paine	38 Pa
haaran vaatima paine	105 Pa
haaran vaatima paine	29 Pa
Koko kanavalinja vaatima paineen kototus	235 Pa
Tarvittava ilmamäärä	229 l/s

Liite 4/6

Haara 4

No.	Kanavisto osa Kanavan mitat P ₀ , d (mm) suorak. (mm)	A/ nelikulma m ²	m ² pyöreä	lkm kpl	% Q m ³ /s	Q m ³ /s	l (m)	v m/s	P ₀ Pa	Re	ζ	λ	R Pa/m	ΔP _ζ Pa	ΔP _λ Pa	erikois osat ΔP Pa	ΔP Pa	Huom.	Kanavan mitat / mm sivu 1 sivu 2	Pyöreä kanava d / mm	dh / m 2axb a+b	m ² / h	m ³ / s
1	Käyrä 90	0,4025		1	0,678	0,678		1,6845	1,7025	57580	0,2			0,3405			0,3405		350	1150		0,5367	
2	Y haara	0,4025		1	0,678	0,678		1,6845	1,7025	57580	0,5			0,8512			0,8512		350	1150		0,5367	
3	Käyrä 90	0,1		1	0,678	0,678		6,78	27,581	132876	0,4			11,032			11,032		400	250		0,3077	
4	Kanava 400*250	0,1		1	0,678	0,678	2,1	6,78	27,581	132876	0,07	0,017			3,2039		3,2039		400	250		0,3077	
5	VAV	0,1		1	0,678	0,678		6,78	27,581	132876	0,7			19,307			19,307		400	250		0,3077	
6	FD	0,1		1	0,678	0,678		6,78	27,581	132876	0,7			19,307			19,307		400	250		0,3077	
7	Kanava 450*200	0,09		1	0,678	0,678	2,4	7,5333	34,051	132876		0,017			5,0228		5,0228		450	200		0,2769	
8	Käyrä 45 450*200	0,09		1	0,678	0,678		7,5333	34,051	132876	0,1			3,4051			3,4051		450	200		0,2769	
9	Kanava 450*200	0,09		1	0,678	0,678	1,1	7,5333	34,051	132876		0,017			2,3021		2,3021		450	200		0,2769	
10	Käyrä 45 450*200	0,09		1	0,678	0,678		7,5333	34,051	132876	0,1			3,4051			3,4051		450	200		0,2769	
11	Kanava 450*200	0,09		1	0,678	0,678	3	7,5333	34,051	132876		0,017			6,2785		6,2785		450	200		0,2769	
12	Käyrä 45 450*200	0,09		1	0,678	0,678		7,5333	34,051	132876	0,1			3,4051			3,4051		450	200		0,2769	
13	Kanava 450*200	0,09		1	0,678	0,678	0,6	7,5333	34,051	132876		0,017			1,2557		1,2557		450	200		0,2769	
14	Käyrä 45 450*200	0,09		1	0,678	0,678		7,5333	34,051	132876	0,1			3,4051			3,4051		450	200		0,2769	
15	Kanava 450*200	0,09		1	0,678	0,678	2	7,5333	34,051	132876		0,017			4,1857		4,1857		450	200		0,2769	
16	Suu 450*200(360*250)	0,09	0	1	0,678	0,678		7,5333	34,051		0,25			8,5127			8,5127		450	200		0,2769	
17	Haara 360*250	0,09		1	0,678	0,678		7,5333	34,051					17			17		360	250		0,2951	
18	Kanava EK 020		0,0314	1	0,1695	0,1695	0,6	5,3954	17,466	68731		0,0196		3	1,0254		3		200			0,2	
19	Käyrä 90 d200 Z		0,0314	2	0,1695	0,1695		5,3954	17,466		1,5			26,199			26,199		200			0,2	
20	Käyrä 90 d200 Z		0,0314	2	0,1695	0,1695		5,3954	17,466		1,5			26,199			26,199		200			0,2	
21	Aänenvaimennin 200-600		0,0314	1	0,1695	0,1695		5,3954	17,466					14			14		200			0,2	
22	Haara 360*250	0,09		1	0,1695	0,1695		1,8833	2,1282					14			14		360	250		0,2951	
23	Kanava EK 020		0,0314	1	0,1695	0,1695	0,5	5,3954	17,466	68731		0,0196			0,8545		0,8545		200			0,2	
24	Käyrä 90 d200 Z		0,0314	2	0,1695	0,1695		5,3954	17,466		1,5			26,199			26,199		200			0,2	
25	Kanava EK 020		0,0314	1	0,1695	0,1695	0,38	5,3954	17,466	68731		0,0196			0,6494		0,6494		200			0,2	
26	Aänenvaimennin 200-600		0,0314	1	0,1695	0,1695		5,3954	17,466					14			14		200			0,2	
27	Kanava EK 020		0,0314	1	0,1695	0,1695	0,28	5,3954	17,466	68731		0,0196			0,4785		0,4785		200			0,2	
28	Käyrä 45 d200		0,0314	1	0,1695	0,1695		5,3954	17,466					2			2		200			0,2	
29	Käyrä 90 d200		0,0314	1	0,1695	0,1695		5,3954	17,466					5,5			5,5		200			0,2	
30	Kanava EK 020		0,0314	1	0,1695	0,1695	0,79	5,3954	17,466	68731		0,0196			1,3501		1,3501		200			0,2	
31	Käyrä 90 d200		0,0314	1	0,1695	0,1695		5,3954	17,466					5,5			5,5		200			0,2	
32	Kanava EK 020		0,0314	1	0,1695	0,1695	2,2	5,3954	17,466	68731		0,0196			3,7597		3,7597		200			0,2	
33	Haara 360*250	0,09		1	0,1695	0,1695		1,8833	2,1282					8			8		360	250		0,2951	
34	Kanava EK 020		0,0314	1	0,1695	0,1695	1,65	5,3954	17,466	68731		0,0196			2,8197		2,8197		200			0,2	
35	Kanava EK 020		0,0314	1	0,1695	0,1695		5,3954	17,466					14			14		200			0,2	
36	Aänenvaimennin 200-600		0,0314	1	0,1695	0,1695	0,3	5,3954	17,466	68731		0,0196			0,5127		0,5127		200			0,2	
37	Haara 360*250	0,09		1	0,1695	0,1695		1,8833	2,1282					5			5		360	250		0,2951	
38	Kanava EK 020		0,0314	1	0,1695	0,1695	0,3	5,3954	17,466	68731		0,0196			0,5127		0,5127		200			0,2	
39	Aänenvaimennin 200-600		0,0314	1	0,1695	0,1695		5,3954	17,466					14			14		200			0,2	

Runkokanavan vaatima paine	95 Pa
haaran vaatima paine	86 Pa
haaran vaatima paine	74 Pa
haaran vaatima paine	25 Pa
haaran vaatima paine	20 Pa
Koko kanavalinja vaatima paineen kototus	182 Pa
Tarvittava ilmamäärä	678 l/s

Liite 6/6



KOJA MARINE

HVAC/Fan - unit test sheet				SHIP NB-1389																																	
AC	724			Date	07.04.2016																																
				Issuer:																																	
Area served: Fischaus Dk12; Aerobics Dk14																																					
MOTOR		kW	Amp	rpm	f (Hz)																																
Type	Nonimal	8,5	9	3530	3~60																																
132S	Measured/FRO		6,2	3100	52																																
Fan, spec:	Rpm																																				
Type	Max	4000																																			
GXHB-5-035	Actual	3100																																			
Fan, Air Data:	Flow l/s			Static pressure, developed Measured, Pa																																	
	Design	2476																																			
	Actual	2511		1295																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Section</th> <th colspan="2">Static pressure, Pa</th> <th rowspan="2">Pressure</th> <th rowspan="2">Remarks</th> </tr> <tr> <th>BEFORE</th> <th>AFTER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Filter</td> <td>165</td> <td>190</td> <td>25</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Regoterm</td> <td>190</td> <td>475</td> <td>285</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fan</td> <td>475</td> <td>820</td> <td>1295</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cooling Coil</td> <td>820</td> <td>590</td> <td>230</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>570</td> <td>250</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Section	Static pressure, Pa		Pressure	Remarks	BEFORE	AFTER	Filter	165	190	25		Regoterm	190	475	285		Fan	475	820	1295		Cooling Coil	820	590	230				570	250	
Section	Static pressure, Pa		Pressure	Remarks																																	
	BEFORE	AFTER																																			
Filter	165	190	25																																		
Regoterm	190	475	285																																		
Fan	475	820	1295																																		
Cooling Coil	820	590	230																																		
		570	250																																		
NOTE: Kammio paine																																					