

Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka

Laiva- ja venetekniikka

2015

Petri Karanko

ILMAMÄÄRÄKÄYRÄOHJATUN VAV-SÄÄTÖPELTEJÄ SISÄLTÄVÄN ILMASTOINTIKOJEEN SÄÄDETTÄVYYS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Laiva- ja venetekniikka

2015 | 29

Lauri Kosomaa

Petri Karanko

ILMAMÄÄRÄKÄYRÄOHJATUN VAV-SÄÄTÖPELTEJÄ SISÄLTÄVÄN ILMASTOINTIKOJEEN SÄÄDETTÄVYYS

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Royal Caribbean Cruises Ltd. -laivanvarustamolle ilmamääräkäyräohjatun VAV-säätöpeltejä sisältävän ilmastointikojeen säädettävyys.

Yleisemmin käytettävä paine-ohjattu VAV on todettu aikaisemmissa projekteissa tarkaksi ja toimivaksi säätöpelliksi. VAV-säätöpellin tarkoitus järjestelmässä on säästää energiaa. Yksinkertaisemman ratkaisun tullessa käyttöön on selvää, että sen toimivuus halutaan selvittää. Työn tavoitteen saavuttamiseksi laivasta säädetään yleisen alueen ilmastointikoje.

Työssä esitellään seikat, jotka vaikuttavat VAV:n säädettävyteen sekä säädön tarkkuuteen. Näitä seikkoja ovat mm. VAV:n asennus ja sijainti, ilmastointikanaviston rakenne sekä VAV:n käyrästä. Säätötyön ja automaation tarkkuus todettiin virallisessa nelikantamyynntilaisuudessa, johon osallistuivat Royal Caribbean Cruises Ltd, Meyer Turku, Wilhelmssen Technical Solution ja MRS-TIIMI OY.

ASIASANAT:

Ilmamääräkäyräohjattu VAV-säätöpelti, ilmastointikoje, säädettävyys

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Naval Architecture

2015 | 29

Lauri Kosomaa

Petri Karanko

ADJUSTABILITY OF AN AIR HANDLING UNIT EQUIPPED WITH AIRFLOW CURVE CONTROLLED VAV DAMPERS

This thesis was commissioned by Royal Caribbean Cruises Ltd. The aim was to clarify adjustability of air handling unit, which has airflow curve controlled VAV dampers.

The more commonly used pressure controlled VAV damper has shown to be accurate and reliable on former projects. The purpose of the VAV damper is to save energy. The airflow controlled VAV-damper is a simpler solution, so it was obvious that its function was wanted to be tested. To achieve credible function of VAV dampers one air handling unit, that serves public space, had to be adjusted.

The factors that have an influence on the adjustability and accuracy of an airflow curve controlled VAV damper are also presented. These factors are, among others, the installation and location of the VAV damper, the structure of ducting and the VAV damper curve. The accuracy of adjusted air volumes and automation were verified by Royal Caribbean Cruises Ltd, Meyer Turku, Wilhelmssen Technical Solution and MRS-TIIMI OY in an official four-party hand over event.

KEYWORDS:

Airflow controlled VAV damper, Air handling unit, adjustability

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 VAV-MOOTTORISÄÄTÖPELTI	7
2.1 Käyttökohde	7
2.2 VAV-säätöpellin osat	8
2.3 Käyttötarkoitus	9
3 VAV-MOOTTORISÄÄTÖPELLIN ASENNUS	12
3.1 Asennus huollettavuuden kannalta	12
3.2 Asennus säätötarkkuuden kannalta	13
4 VAV-MOOTTORISÄÄTÖPELLIN SÄÄTÖ JA SÄÄDETTÄVYYS	15
4.1 Ilmamäärien säätö	15
4.2 Suhteellinen säätö	19
4.3 Ilmamäärien säädettävyys	21
5 PÄÄTELMÄT	27
LÄHTEET	29

KUVAT

Kuva 1. Yleisen alueen ilmastointikojeen prosessivirtauskaavio (D.384.5610.504.703 ver. B 2015).	7
Kuva 2. VAV-säätöpelti ja sähköyksikkö suorakaidekanavassa.	8
Kuva 3. VAV-säätöpelti spirokanavassa.	9
Kuva 4. Tuloilman määrä suhteessa alueen CO ₂ -pitoisuuteen (WTS 2015).	10
Kuva 5. Tuloilman määrä suhteessa lämpötilaan (WTS 2015).	11
Kuva 6. VAV-säätöpellin ja laipion väli on noin 15 cm.	12
Kuva 7. VAV-säätöpellin ympärillä paljon työskentelytilaa.	13
Kuva 8. VAV-säätöpelti.	14
Kuva 9. Ilmastointikojeiden eri osista mitatut paineet.	17
Kuva 10. Ilmamäärien säätöpöytäkirja.	17
Kuva 11. VAV-säätöpelti pöytäkirja.	18
Kuva 12. Tuloilmakoje, josta lähtee yksi päärunkokanava ja kolme haarakanavaa (Pietiko 2015).	19
Kuva 13. Ilmastointikonehuone josta lähtee yksi poistoilma runkokanava (D.384.5610.501.714 ver. C 2015).	22
Kuva 14. Alueella haarautuvat poistoilmakanavat (D.384.5610.501.712 ver. E 2015).	23

Kuva 15. Tuloilma VAV-3-käyrä (MS3 HVAC automation system 2015).	26
Kuva 16. Poistoilma VAV-3-käyrä (MS3 HVAC automation system 2015).	26

KÄYTETYT LYHENTEET

AFCU	Area fancoil unit eli aluejäähdytinsikkö
ECR	Engine Control Room eli konevalvomo
FDS	Functional Description eli toimintaselostus
HAS	HVAC automation system eli automaatiojärjestelmä
HVAC	Heating Ventilation AirCondition eli lämmitys, tuuletus, ilmastointi
PPM	Parts per million
RCCL	Royal Caribbean Cruises Ltd. -laivanvarustamo
VAV-säätöpelti	Variable Air Volyme eli vaihteleva ilmamäärä
WTS	Wilhelmssen Technical Solution laitetoimittaja

1 JOHDANTO

Royal Caribbean Cruises Ltd. - sekä TUI Cruises - laivanvarustamot toimivat tilaajan asemassa uudislaivarakentamisessa. Opinnäytetyössä perehdytään Meyer Turku -telakalla valmistuviin risteilijöihin ja tarkemmin ilmastointiin liittyviin seikkoihin. RCCL-laivanvarustamo haluaa selvittää ilmamääräkäyräohjatun VAV-säätöpeltejä käsittävän ilmastointikoneen säädettävyyden. VAV-säätöpeltejä käytetään ilmastointikoneissa energiansäästötavoitteiden saavuttamiseksi. Yleensä VAV-säätöpellit on varustettu paineohjauksella, jolloin paine pysyy asetusarvossaan pellin ja päätelaitteen välissä.

Opinnäytetyön tavoite on selvittää kuinka tarkasti ilmamääräkäyräohjattu VAV-pelti pitää asetetun ilmamäärän ja tilan painesuhteen. Opinnäytetyö ei ota kantaa energiankulutukseen tai taloudellisuuteen eikä tee vertailevaa tutkimusta paineohjattuun VAV-säätöpeltiin.

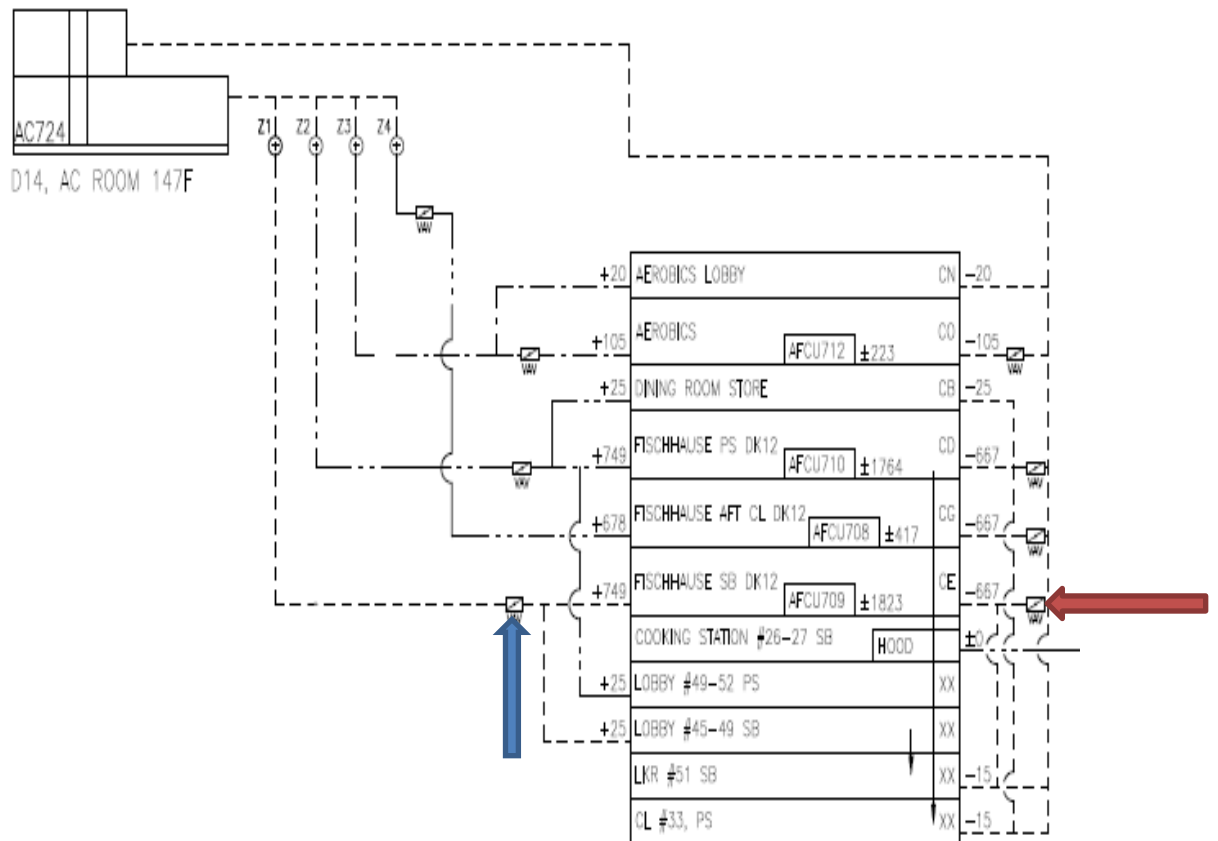
Tulosten saavuttamiseksi ilmastointikoje säädetään ja mitataan ilmamäärät sekä tekemällä automaatiotestaus asettamalla VAV-peltejä eri asentoihin. Peltien asennot sekä tarkastusmittaukset ovat tehty yhteistyössä neljän osapuolen kanssa. Osapuolet ovat: RCCL, MEYER TURKU, WTS ja MRS-TIIMI OY.

Kaikki kuvat opinnäytetyössä ovat Royal Caribbean Cruises Ltd:n omistamia. Kuvien käyttäminen tai levittäminen muualle on ehdottomasti kielletty.

2 VAV-MOOTTORISÄÄTÖPELTI

2.1 Käyttökohde

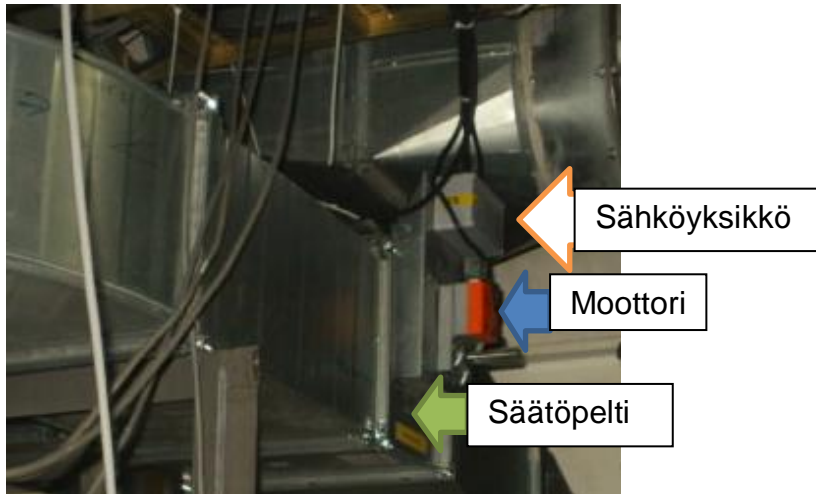
VAV-säätöpeltejä käytetään ilmastointikojeissa, jotka palvelevat yleisiä tiloja ja joissa on useita omilla vesikiertoisilla lämmityspattereilla varustettuja tuloilmairunkokanavia (kuvassa 1, Z1, Z2, Z3 ja Z4). Ravintolat ja myymälät ovat esimerkiksi tällaisia alueita, joiden ilmastointikojeisiin on asennettu VAV-säätöpellit. Säätöpeltejä ei käytetä kuitenkaan matkustaja- ja miehistöportaitoissa eikä matkustajahytti-ilmastointikojeissa.



Kuva 1. Yleisen alueen ilmastointikojeen prosessivirtauskaavio (D.384.5610.504.703 ver. B 2015).

2.2 VAV-säätöpellin osat

Säätöpeltejä on kahdenlaisia, suorakaidekanaviin (kuva 2) sekä pyörösaumali eli spirokanaviin asennettavia (kuva 3 sivulla 9). Säätöpelti koostuu kolmesta osasta. Osat ovat moottori, säätöpelti ja sähkö-yksikkö (kuva 2).



Kuva 2. VAV-säätöpelti ja sähköyksikkö suorakaidekanavassa.

Suorakaidekanavia käytetään matalapaineisissa, jotka palvelevat yleisiä alueita. Ilm nopeudet ovat näissä kanavissa normaalisti max. 8 m/s:ssa. Spirokanavia käytetään yleensä korkeapaineisissa, joissa ilm nopeudet nousevat 10 m/s:iin ja enemmän. Poikkeustapauksissa on pyöreä VAV-säätöpelti sijoitettu matalapaineeseen (kuva 3). Pyörökanavan asennus matalapaineeseen ei haittaa ilmamäärän ollessa pieni, 105 l/s:ssa ja kanavan halkaisija 160 mm, jolloin kanavanopeudeksi v saadaan 5,22 m/s:ssa.

$$v = \frac{0,105 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times \left(\frac{0,16 \text{ m}}{2}\right)^2} = 5,22 \text{ m/s}$$



Kuva 3. VAV-säätöpelti spirokanavassa.

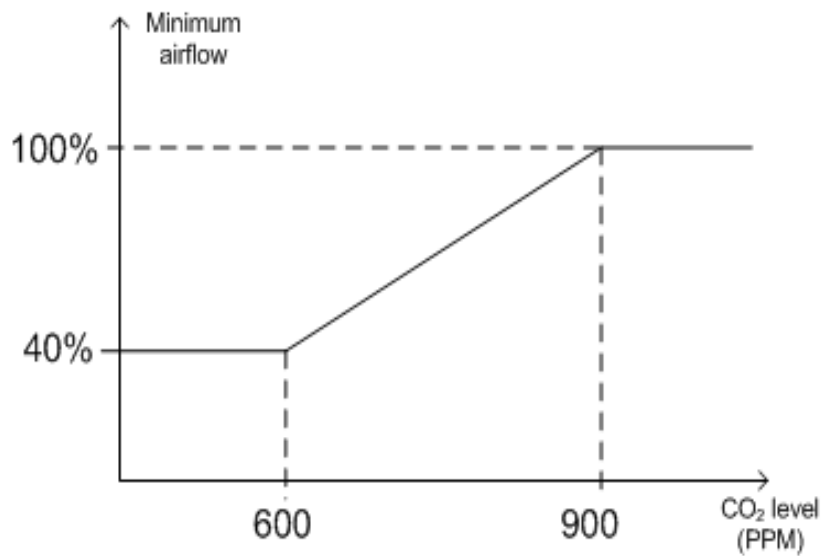
2.3 Käyttötarkoitus

VAV-säätöpellin tarkoitus on säästää energiaa. Energiaa saadaan säästettyä tilan käytön aikana mittaamalla tilan CO₂-pitoisuus ja lämpötila antureilla. CO₂-pitoisuus on näistä määräävämpi. Lämpötilan arvo otetaan huomioon silloin kun, AFCU:t eivät kykene jäähdyttämään tilaa tai aluetta lämmitetään sille asetettuun lämpötilaan. (Strömborg 2015.)

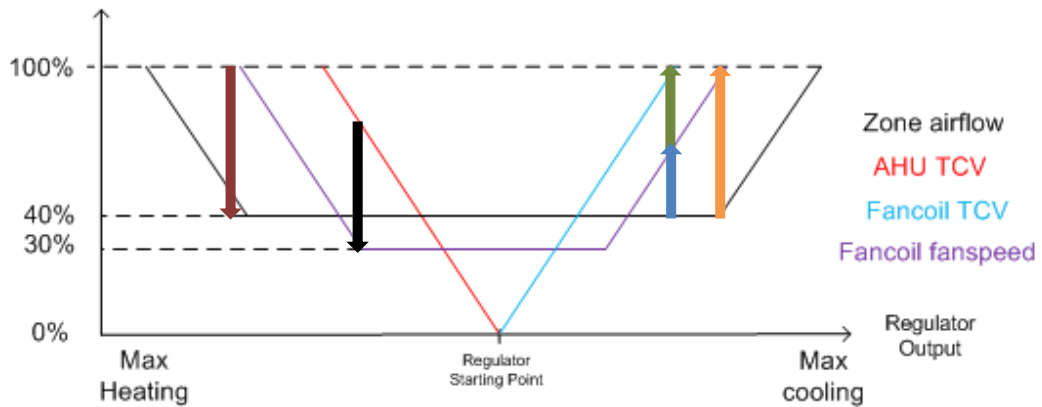
CO₂-pitoisuus määrää tilaan kulloinkin haluttavan tuloilman määrän (Strömborg 2015). Tuloilmaa rajoitetaan tilaa palvelevan VAV-pellin avulla (sininen nuoli), mikä ohjaa vuorostaan tilasta poistuvan ilman VAV-peltiä (punainen nuoli) kuvassa 1.

Ilmamäärä, joka halutaan tilaan, saadaan joko käyrästä mitkä määrittelevät tuloilman suhteessa CO₂-pitoisuuteen tai lämpötilaan (kuva 4, s. 10 ja kuva 5, s. 11). Käyrän valinta riippuu siitä ollaanko, alle tai yli, 600 ppm-arvon. VAV ajaa aina kuvan 4 käyrän mukaan, kun CO₂-arvo on 600 ppm tai sen yli. CO₂-tason ylittäessä 900 ppm VAV-tulosäätöpelti on aina 100 % auki. (Peltomaa 2015). Tämä 900 ppm on vain ehdotus maksimirajaksi. Järjestelmän käyttäjä voi tilakohtaisesti määrittää maksimi-ppm-tason (WTS 2015). Tuloilmamäärä säätyy kuitenkin käyrän mukaisesti.

Tilojen ilmamäärää voidaan säätää VAV-säätöpellin avulla myös aika-ohjelmalla häiritsemättä ilmastointikojeen muita palveleimia alueita (WTS 2015). Esimerkiksi aerobic-tilassa voidaan urheilla samaan aikaan kun, ravintolat ovat kiinni. Aerobic-tilan VAV voi olla 100 % auki, kun taas ravintoloiden VAV:t ovat minimillä eli 40 % auki. Tällaisella tarpeenmukaisella ilmastoinnilla saadaan aikaan energiansäästöä.



Kuva 4. Tuloilman määrä suhteessa alueen CO₂-pitoisuuteen (WTS 2015).



Kuva 5. Tuloilman määrä suhteessa lämpötilaan (WTS 2015).

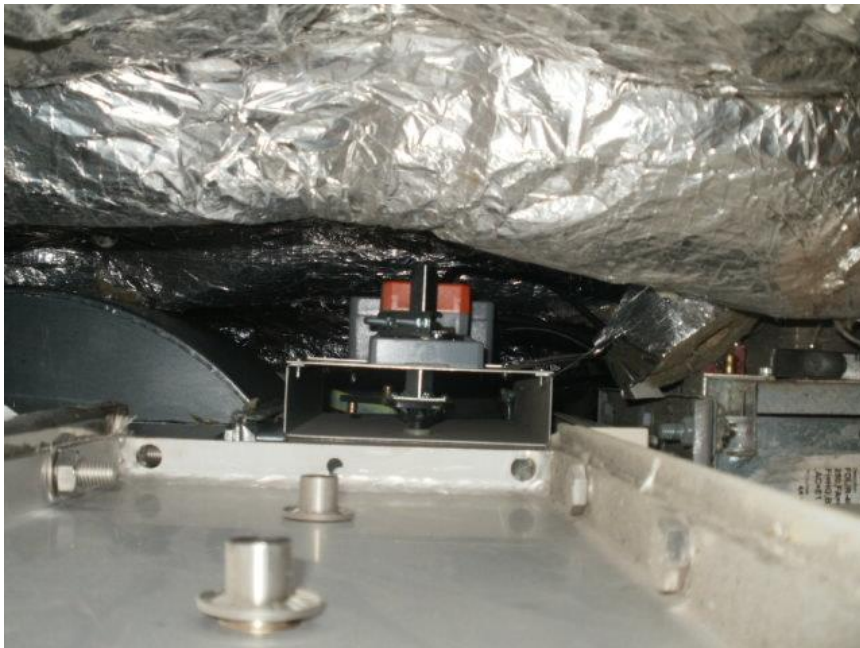
Käyrän tulkinta: Maksimijäähdytyksestä lähdettäessä lämmitykseen, VAV ajaa itseään 100 %:sta kiinnipäin kunnes saavuttaa minimiarvonsa eli 40 %. VAV:n saavutettua minimiarvon (oranssi nuoli) lähtee jäähdytinkoje laskemaan pyörimisnopeuttaan 100 %:sta alas, kunnes saavuttaa noin 70 %:n nopeuden (sininen nuoli). Jäähdytinkojeen kylmänvedenventtiili lähtee ajamaan itseään kiinni tässä nopeudessa (vihreä nuoli). Jäähdytysventtiili ajaa itsensä kiinni eli säätöjen nollakohtaan, jossa sekä jäähdytys- että lämmitysventtiili ovat kiinni. VAV on 40 % auki ja jäähdytinkojeen pyörimisnopeus on 30 %. Lämmitystilanteessa lämmitysventtiili avautuu ensin noin 70 % (musta nuoli), jonka jälkeen jäähdytinkoje nostaa pyörimisnopeuttaan. Saavutettuaan 100 %:n nopeuden (ruskea nuoli) aloittaa VAV avautumisen. (Peltomaa 2015.)

Maksimilämmityksestä lähdettäessä jäähdytykseen, VAV ajaa itseään 100 %:sta kiinnipäin kunnes saavuttaa minimiarvonsa eli 40 %. VAV:n saavutettua minimiarvon lähtee jäähdytinkoje laskemaan pyörimisnopeuttaan 100 %:sta alas, kunnes saavuttaa noin 50 %:n nopeuden. Ilmastointikojeen tämän alueen lämmityspatterin venttiili lähtee ajamaan itseään kiinni 100 %:sta tässä nopeudessa. Lämmitysventtiili ajaa itsensä kiinni eli säätöjen nollakohtaan, jossa sekä jäähdytys- että lämmitysventtiili ovat kiinni. VAV on 40 % auki ja jäähdytinkojeen pyörimisnopeus on 30 %. Jäähdytystilanteessa jäähdytysventtiili avautuu ensin noin 70 %, jonka jälkeen jäähdytinkoje nostaa pyörimisnopeuttaan. Saavutettuaan 100 %:n nopeuden VAV aloittaa avautumisen. (Peltomaa 2015.)

3 VAV-MOOTTORISÄÄTÖPELLIN ASENNUS

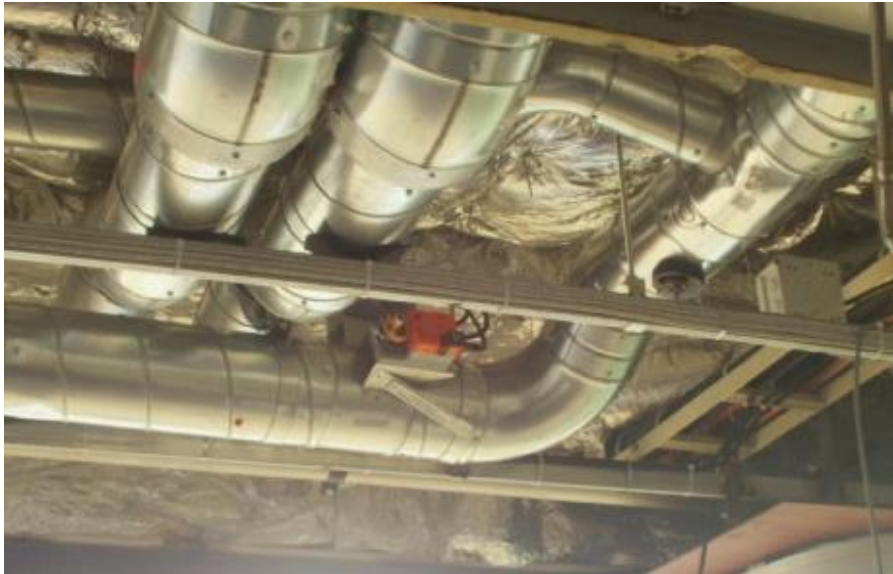
3.1 Asennus huollettavuuden kannalta

Ilmastointikonehuoneeseen asennettavien VAV-peltien paikat eivät aina ole optimaalisia huollettavuuden kannalta. Kanavien asennus sekä tilan puute johtavat usein siihen, että ilmastointiasentajat joutuvat tekemään kompromisseja VAV-pellin asennus paikasta. Säätöpellin paikka saattaa olla kanavan ja laipion välissä, jossa tilaa työskentelylle on ainoastaan 15 cm, jolloin moottorin irrotus akselista on haasteellista (kuva 6).



Kuva 6. VAV-säätöpellin ja laipion väli on noin 15 cm.

Alueelle asennetut VAV-pellit ovat helpompi huoltaa, koska kanavat kulkevat kauempana laipioista. Normaalisti tuloilma VAV-säätöpellit ovat asennettu ilmastointikonehuoneisiin ja poistoilma VAV-säätöpellit sijaitsevat enimmäkseen tiloissa, joissa ilma vaihtuu.

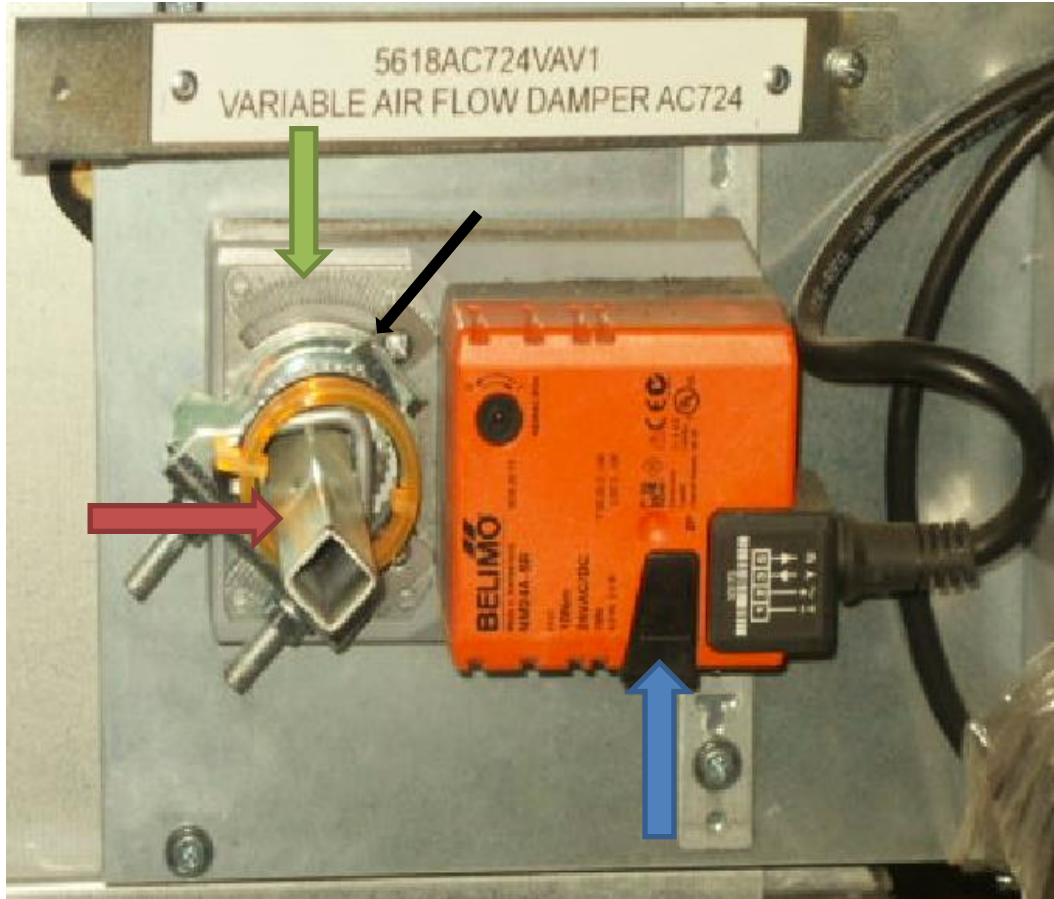


Kuva 7. VAV-säätöpellin ympärillä paljon työskentelytilaa.

3.2 Asennus säätötarkkuuden kannalta

Säätötarkkuuden kannalta on tärkeä nähdä moottoripellin astelevy hyvin (kuva 8, s. 14 vihreä nuoli). Tähän levyyn merkitään viivat kolmeen eri ilmamäärän kohtaan. Nämä ilmamäärät ovat 75 %, 50 % ja 25 % VAV-pellin suunnitellusta arvosta. (Jensen 2014.) VAV-pellin suunniteltuilmamäärä on esimerkiksi 1000 l/s, niin merkityt arvot ovat 750 l/s, 500 l/s ja 250 l/s.

Asteet tarkastetaan visuaalisesti. Kuvan 6 kaltainen asennus aiheuttaa tarkkuusvirheen kasvamisen, koska viivan piirtämiseen ja asteluvun tulkitsemiseen tarvitaan tässä tapauksessa peiliä. Akselin (punainen nuoli) kääntäminen samanaikaisesti akselinvapautuspainiketta (vihreä nuoli) painamalla ahtaassa tilassa kahdella kädellä on erittäin haasteellista (kuva 8, s. 14). Musta nuoli osoittaa nokkaa, jonka kohdalle viivat piirretään, kun akseli on oikeassa osailmamääräkohdassa esimerkiksi 500 l/s.



Kuva 8. VAV-säätöpelti.

Moottoreita on käytössä kahdenlaisia. Vääntömomentti, sähkönkulutus ja säätöpellin pinta-ala ovat muuttuvat arvot. Arvoiltaan pienempi on tarkoitettu noin 1 m² kokoisille säätöpelleille jolloin sähkönkulutus on 1 W ja vääntömomentti 5 Nm. Vahvemman moottorin vastaavat arvot ovat 2 m², 2 W ja 10 Nm. Asennon tarkkuus on molemmissa $\pm 5\%$. (Belimo 2015.)

4 VAV-MOOTTORISÄÄTÖPELLIN SÄÄTÖ JA SÄÄDETTÄVYYS

4.1 Ilmamäärien säätö

Työn tavoitteena on selvittää ilmastointikojeen, jossa on VAV-säätöpeltejä, säädettävyys. Itselläni on monen vuoden työkokemus ilmastointikojeiden säätämisestä joten oli selvää, että pystyisin hyödyntämään omia taitojani säädettävyyden selvittämisessä. Lupa säädön suorittamiseksi oli pyydetty RCCL:lta, WTS:lta, MEYER TURKU -telakalta ja MRS-TIIMI Oy:ltä takuun säilymisen vuoksi.

Säätötyötä varten haastattelin WTS:n site manager Tonny Jensenia (2014). Jensen antoi ohjeet miten järjestelmä tulee säätää. Säätö tuli suorittaa niin sanotun suhteellisen säädön periaatetta noudattaen josta kerrotaan tarkemmin kappaleessa 4.2.

Säädön eri vaiheet tulee olla:

1. Ilmamäärät on säädettävä suunnitteluarvoihin.
2. Tulo- ja poistoilmakammioiden paineiden mittaaminen.
3. Tulo- ja poisto-VAV:n jälkeen on mitattava 100 % ilmamäärällä paine.
4. Kaikista VAV:eista on mitattava 75 %, 50 % ja 25 % ilmamäärät.
5. Mitatut ilmamäärät merkitään astelevyihin.
6. Pöytäkirjan teko kohdista 1-5. (Jensen 2014.)

Ilmamäärien säätämisen jälkeen tulo- ja poistoilmakammioista mitataan paine. Paineen mittaaminen on tärkeää, koska mittaustulos määrittelee näiden kojeiden vakio-paineen. Vakio-paine merkitään HVAC-automaatio systeemiin eli HAS:iin.

Vakio-paine on ohjaava painearvo, joka pysyy aina samana vaikka VAV-säätöpellit menevät pienemmälle ilmamäärä asetukselle eli menevät kiinni päin.

Paine nousee kanavassa VAV:n ja puhaltimen välillä. Taajuusmuuntaja ohjaa puhaltimen kierrosnopeuden tällöin pienemmälle. VAV-säätöpeltien jälkeen kanavasta mitataan 100 %:sen ilmamäärän paine. Tällä paineella ja ilmamäärällä lasketaan muut kolme ilmamäärää. (Jensen 2014.)

Esimerkkilasku:

Mitattu ilmamäärä on 700 l/s ja tätä vastaava paine 348 Pa. 75 % ilmamäärää vastaava paine saadaan kaavasta: $Pa_2 = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2 \times Pa_1$ eli $Pa_2 = \left(\frac{700 \frac{l}{s} \times 0,75}{700 \frac{l}{s}}\right)^2 \times 348 Pa = 196 Pa$.

VAV-säätöpeltiä käännetään nyt kiinni kunnes kanavapaine on 196 Pa VAV:n jälkeen. Astelevyyn merkataan 75 % ilmamäärää vastaava kohta. Seuraavaksi lasketaan 50 % ilmamäärää vastaava paine ja käännetään VAV-säätöpeltiä kiinni kunnes paine kanavassa on lasketun arvon mukainen ja tämä paikka merkitään astelevyyn.

Tämä on tapa, jolla kaikki VAV-säätöpellit käydään läpi. Erikoista on, ettei puhaltimesta pienennetä kierroslukua kammiopaineen noustessa yli vakiopaineasetuksen. Tämä kierrosten pienentäminen olisi tehtävä manuaalisesti taajuusmuuntajasta jokaisen VAV-säätöpellin eri ilmamäärämittauksen jälkeen. Jensenin (2014) ohje on kuitenkin antaa puhaltimen pyöriä 100 % ilmamäärää vastaavaa kierroslukua.

Pöytäkirjoista tulee näkyä seuraavat asiat:

1. Ilmastointikojeen suunnitellut ja mitatut arvot sekä kojeen eri osista mitatut paineet (kuva 9 sivulla 17).
2. Eri alueilta ja tiloista suunnitellut ja mitatut arvot (kuva 10 sivulla 17).
3. VAV-säätöpeltien suunnitellut ja mitatut arvot ja näiden paineet (kuva 11 sivulla 18). (Jensen 2014.)

VAV-säätöpelti pöytäkirjaan merkitään myös tulo- ja poistoilmakammioiden paineet (kuva 11, s. 19 oranssi alue) (Jensen 2014).



HVAC/Fan - unit test sheet					BHP: NB-1384	
AC:	724				Date Issued:	04.03.2015
F:					Date Issued:	
Area served:						
MOTOR	kW	Amp	rpm	V (Hz)		
Type	Nominal	9,2	9,6	3515	3-60	
	Measured/PRQ code		6,6	3000	51	
	Designed value	N/A	N/A	3336	55,6	
FAN Type	mm	3000		6,9	3110	53
EUMM-30	mm	3000				
Fan, Air Data:	Flow m³/s	Static pressure, developed (mmHg Pa)				
	Design	2,401		←		
	Actual	2,414		1335 1425		
PRESSURE Readings:						
Section	BEFORE	AFTER	Pressure drop	Remarks		
Filter	150	192	42	235	280	45
Regoterm	192	370	178	470	470	190
Fan	370	965	1335	470	955	1425
Cooling Coil	965	740	225	455	745	210
NOTE:						

ok 7.5.2015 JLR



HVAC/Fan - unit test sheet					BHP: NB-1384	
AC:	724				Date Issued:	04.03.2015
F:					Date Issued:	
Area served:						
MOTOR	kW	Amp	rpm	V (Hz)		
Type	Nominal	7,5	8,23	1760	3-60	
	Measured/PRQ code		4,5	2500	84	
	Designed value	N/A	N/A	2800	93,3	
FAN Type	mm	2500		4,3	2540	86
EUMM-30	mm	2500				
Fan, Air Data:	Flow m³/s	Static pressure, developed (mmHg Pa)				
	Design	2,176		←		
	Actual	2,236		1008 1075		
PRESSURE Readings:						
Section	BEFORE	AFTER	Pressure drop	Remarks		
Filter	622	662	40	620	660	40
Regoterm	662	845	183	660	845	185
Fan	845	163	1008	845	230	1075
NOTE:						

ok 7.5.2015 JLR

Kuva 9. Ilmastointikojeiden eri osista mitatut paineet.

Säätöpöytäkirjaan myynnissä tehdyt tarkastusmittaukset (sininen laatikko) osoittavat, että ilmamäärien säätö ja tasapainotus on hyväksyttävällä tasolla. Suunnitelluiden ja mitattujen ilmamäärien ero ei saa olla enempää ± 10 %:a.



NB-1384 AC/E - 724								
AREA	Deck	Supply design (lit)	Supply measured (lit)	Exhaust design (lit)	Exhaust measured (lit)	(lit position)	Check supply (lit)	Check exhaust (lit)
Aerobics	14	105	101	105	106		126	126
Aerobics Lobby	14	20	21	20	20			
Fischhaus PS	12	749	755	627	638		774	630
Lobby PS	12	25	24	25	24		26	27
Dining Room Store PS	12	25	24	25	24		26	26
Cleaning Station PS	12			15	15			16
EL PS	12			25	26			29
Fischhaus CL	12	678	689	667	689			688
Fischhaus SB	12	774	777	667	694			694
Lobby SB	12	25	23					

Kuva 10. Ilmamäärien säätöpöytäkirja.

90% 744 Pa
AC VAV



AC	Pressure in supply plenum:	Pa	740
E	Pressure before filter	Pa	622

NB-1384 AC-724

Tuloilma VAV:t

AREA	Deck	VAV number	Flow %	Flow design [l/s]	Flow measured [l/s]	Measure pressure [pa]	VAV position [angle]	Flow check [l/s]	Flow Check [l/s]	
Fischhause SB	12	1	100	774	777	205	0			
			50%	75	581	583	115	42	382	244
			50	387	389	51	48		523	
			25	194	194	13	54			
Fischhause PS	12	2	100	799	803	170	0			
			60%	75	599	602	96	54	429	710
			50	400	402	43	58		500	
			25	200	201	11	60			
Aerobics	14	3	100	105	101	32	0			
			75	79	76	18	30	95	101	
			50	53	51	8	46		709	
			25	26	25	2	76			
Fischhause CL	12	4	100	878	689	457	0			
			80%	75	609	517	257	56	542	696
			50	339	345	115	60		365	
			25	170	172	28	64			

90% 570 Pa
E VAV



	Pressure in supply plenum:	Pa	740
	Pressure before filter	Pa	622

NB-1384 E-724

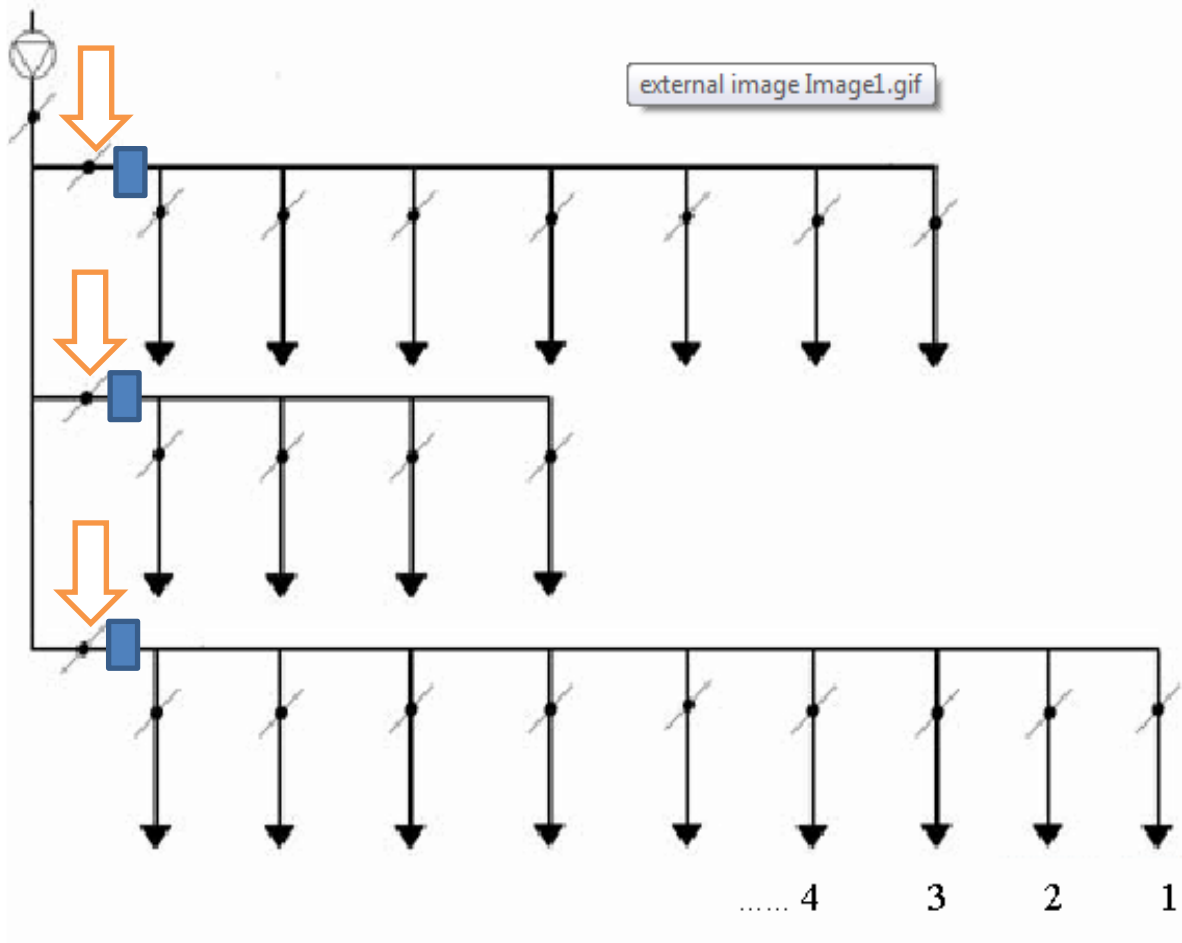
Poistoilma VAV:t

AREA	Deck	VAV number	Flow %	Flow design [l/s]	Flow measured [l/s]	Measure pressure [pa]	VAV position [angle]	Flow check [l/s]	Pressure Check [l/s]	
Fischhause SB	12	1	100	667	694	299	0			
			50	500	521	169	56	534	615	
			50	334	347	75	64		345	
			25	167	174	19	70			
Fischhause PS	12	2	100	717	727	414	0			
			60	75	538	545	233	40	430	579
			50	359	364	104	48		527	
			25	179	182	26	54			
Aerobics	14	3	100	105	106	25	0			
			75	79	80	14	36	95	154	
			50	53	53	6	50		749	
			25	26	27	2	68			
Fischhause CL	12	4	100	667	689	147	0			
			80	75	500	517	83	42	534	615
			50	334	345	37	56			
			25	167	172	9	62			

Kuva 11. VAV-säätöpelti pöytäkirja.

4.2 Suhteellinen säätö

Ilmanvaihtojärjestelmä koostuu useasta päärunkokanavasta, joista lähtee yksi tai useampi haarakanava tai yhdestä päärunkokanavasta, josta lähtee yksi tai useampi haarakanava. Haarakanavasta tai kanavistoista lähtee yksi tai useampi päätelaitteelle johtava kanava (kuva 12). (Pietiko Oy 2015.)



Kuva 12. Tuloilmakoje, josta lähtee yksi päärunkokanava ja kolme haarakanavaa (Pietiko 2015).

Ilmamäärien säätötyö aloitetaan haarakanavasta, jossa on suurin mitattu ilmanvirtaus suunniteltuihin ilmanvirtausarvoihin nähden. Vertailupäätelaitteeksi valitaan kyseisen haarakanavan viimeinen päätelaite, koska tässä yleensä suhdeluku, mitattu ilmamäärä/suunniteltu ilmamäärä, on pienin. Tilanne voi kuitenkin olla, ettei haaran vertailupäätelaitteella ole pienin suhdeluku. Tällaisessa tapa-

uksessa vertailupäätelaite tulee säätää samaan suhdelukuun kuin suurimman suhdeluvun omaava päätelaite samassa haarakanavassa. (Pietiko Oy 2015.)

Kuvassa 12 ilmamäärien säätötyö aloitetaan säätämällä päätelaite 2 samaan suhdelukuun kuin päätelaite 1. Säädettäessä päätelaitetta 2 muuttuu myös päätelaitteen 1 ilmamäärä. Päätelaite 1 on siis vertailupäätelaite. (Pietiko Oy 2015.)

Vertailupäätelaitteen suunnitteluilmamääräksi voidaan olettaa 150 l/s ja päätelaite 2 ilmamääräksi 300 l/s. Mitatut päätelaitteiden ilmamäärät ovat vertailupäätelaitteella 180 l/s ja päätelaite 2:a 420 l/s. Suhdearvot ovat vertailupäätelaitteella $\frac{180 \text{ l/s}}{150 \text{ l/s}} = 1,2$ ja päätelaite 2:a $\frac{420 \text{ l/s}}{300 \text{ l/s}} = 1,4$. (Pietiko Oy 2015.)

Suhdeluvut säädetään samoiksi. Päätelaitteen 2 ilmamäärää pienennetään kunnes suhdeluku on 1,2 eli $1,2 \times 300 \text{ l/s} = 360 \text{ l/s}$. Vertailupäätelaitteen ilmamäärä tarkastetaan ja todetaan sen nousseen 191 l/s eli suhdeluku on $\frac{191 \text{ l/s}}{150 \text{ l/s}} = 1,27$. Päätelaitetta 2 on avattava hieman jotta suhdeluvuksi saadaan sama kuin vertailupäätelaitteella eli $1,27 \times 300 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 381 \text{ l/s}$. Ilmamäärä tarkastetaan vertailupäätelaitteelta ja se on pienentynyt päätelaite 2:en avauksen johdosta 188 l/s, jolloin suhdeluku on $\frac{188 \text{ l/s}}{150 \text{ l/s}} = 1,25$. Tämä ero suhdearvoissa on hyväksyttävä. Haaran kaikki päätelaitteet säädetään samalla tavoin vertailupäätelaitteen suhdelukuun vertaillen. Haaran kaikki päätelaitteet ovat tämän jälkeen samassa suhdeluvussa. (Pietiko Oy 2015.)

Säätöä jatketaan jäljelle jääneet kaksi haaraa samalla periaatteella. Vertailupäätelaitteena toimii nyt säädettävän haaran viimeinen päätelaite.

Haarojen keskinäinen ilmamääräsäätö tehdään samaa periaatetta noudattaen. Valitaan suhdeluvulta heikoimman haaran vertailupäätelaite mittapisteeeksi. Säädetään kahden jäljelle jääneen haaraan vertailupäätelaitteet samaan suhdelukuun heikoimman haaran vertailupäätelaitteen kanssa. Haarojen ollessa keskenään suhdeluvuiltaan samoja ovat kaikki päätelaitteetkin suhdeluvuiltaan samoja. (Pietiko Oy 2015.)

Ilmamäärien säätöjen jälkeen verrataan mitattua kokonaisilmamäärää suunnitel-
tuun. Puhaltimen kierroslukua joko kasvatetaan tai pienennetään riippuen siitä
ollaanko suunnitellun kokonaisilmamäärän ala- tai yläpuolella. (Pietiko Oy
2015.)

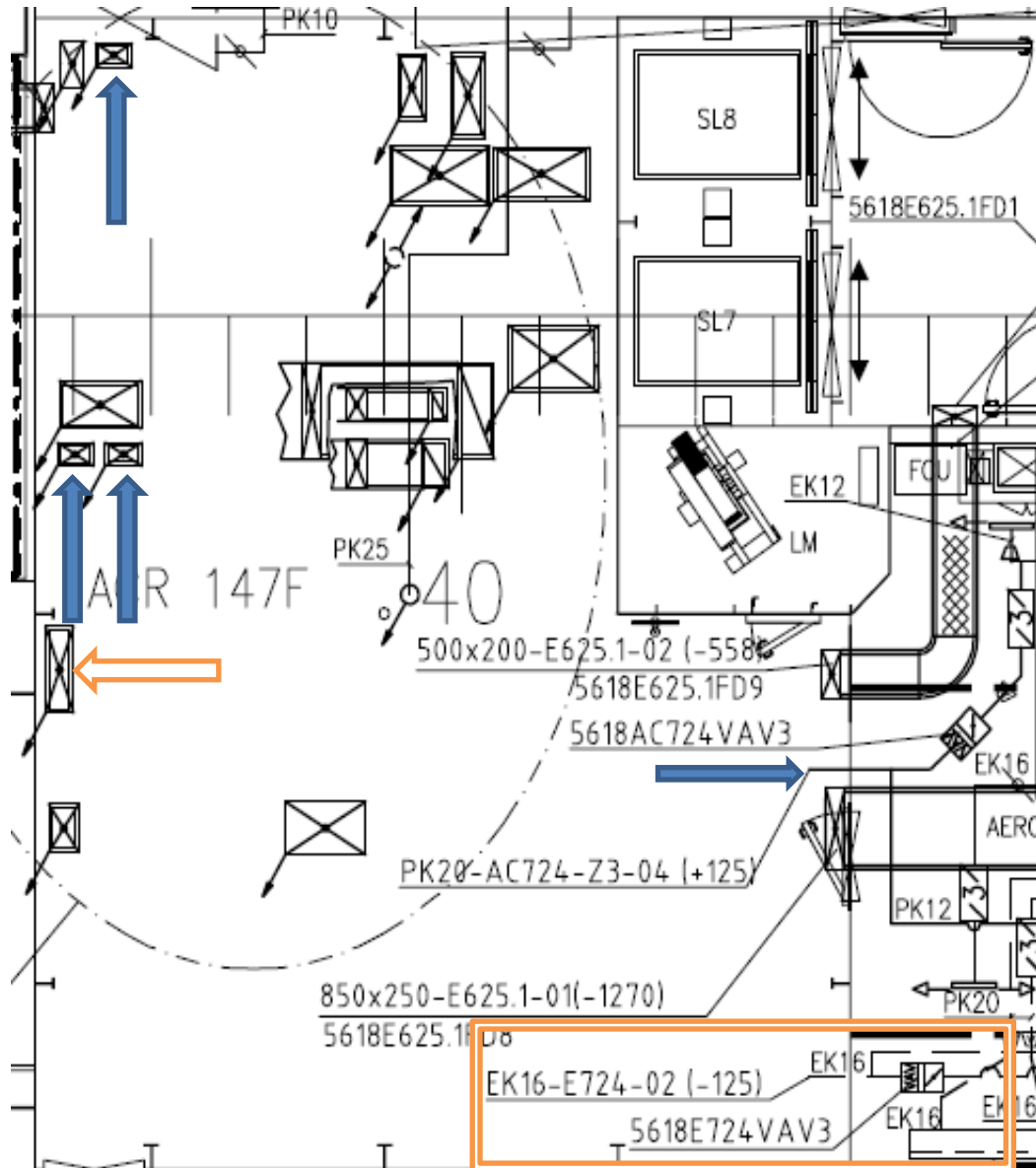
4.3 Ilmamäärien säädettävyys

Kappale käsittelee ilmastointikojetta jonka ilmamäärät itse säädin. Ilmamäärien
säädettävyteen vaikuttavat seuraavat asiat:

1. VAV-säätöpellin asennus
2. Kanaviston rakenne
3. Automaatiota varten laskettu VAV-säätöpellin käyrä.

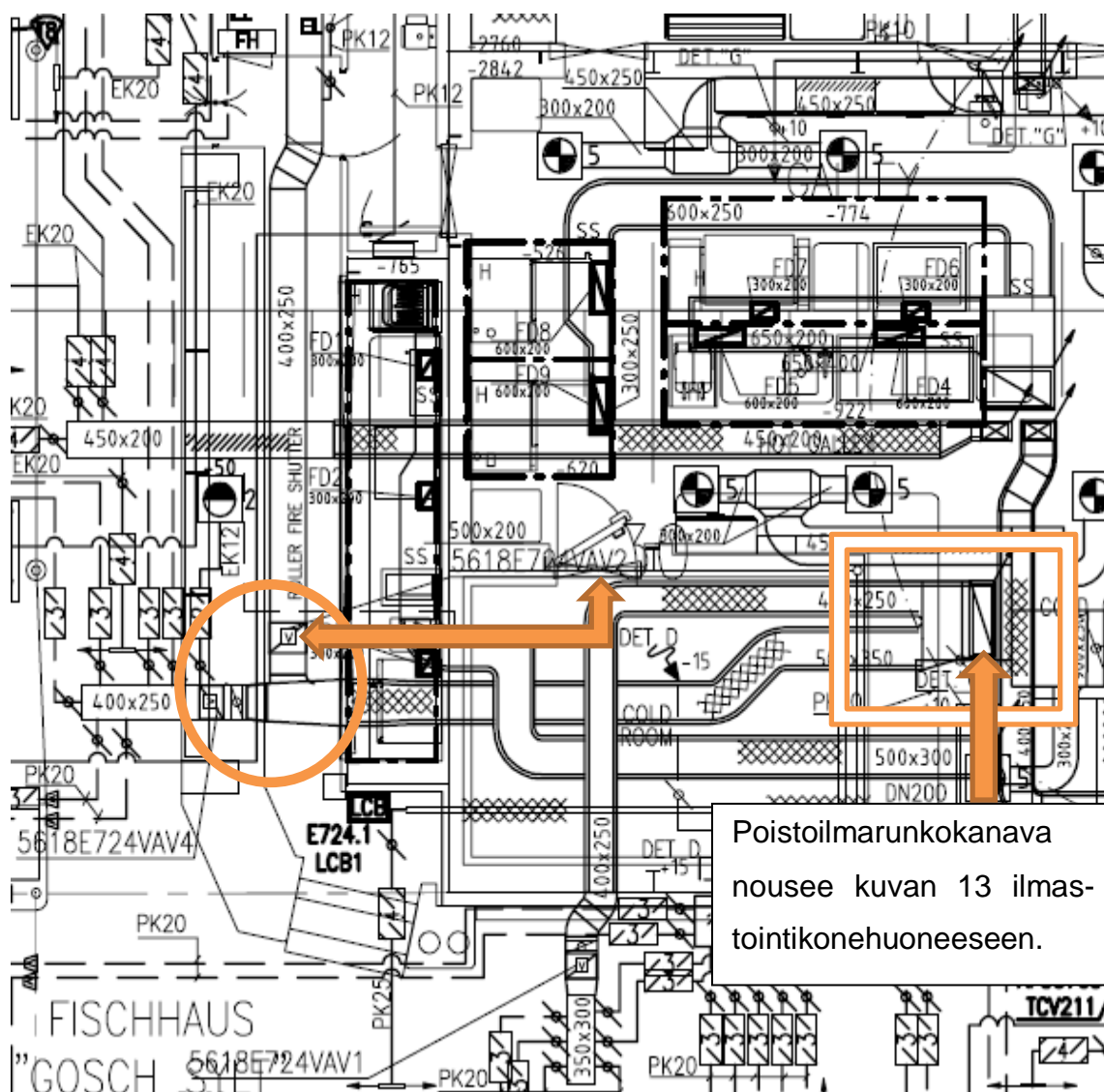
Asennuksen vaikutus säätötarkkuuteen eli säädettävyteen käsiteltiin kappaleessa 3.2 sivulla 13.

Tuloilmakanaviston rakenne ei ole ongelmallinen ilmamääräkäyrä ohjatun VAV-säätöpellin säädettävyden kannalta. Yleisen alueen ilmastointikojeelta, jossa VAV:t, tuloilmakanavat lähtevät kammioista omina runkolinjoina palveltavalle alueelle (kuva 13 sivulla 22 siniset nuolet). Kuvassa 1 sivulla 7 on prosessivirtauskaavioon piirretty Z1-Z4 lähteväksi samasta runkokanavasta. Prosessivirtauskaavio on periaatekuva, ei työkuva, eli kanavat lähtevät todellisuudessa kammioista. VAV-säätöpellit tuloilmakanavistoissa ovat asennettu ilmastointikonehuoneeseen. Tuloilma VAV 2:n ajaessa itsensä esimerkiksi 60 % suunnitellusta ilmamäärästä, nousee tuloilmakojeen kammioaine. Paineen nousu kammiossa johtaa puhaltimen kierrosluvun laskuun, näin muiden tuloilmakanavien ilmamäärät pysyvät vakiona.



Kuva 13. Ilmastointikonehuone josta lähtee yksi poistoilma runkokanava (D.384.5610.501.714 ver. C 2015).

Poistoilmakanavisto on suunniteltu toisella tavalla. Ilmastointikonehuoneesta lähtee yksi runkokanava (kuva 13 oranssi nuoli) joka haarautuu kolmeen haarakanavaan. Kolmesta haarakanavasta yksi jakautuu alueella vielä kahdeksi haarakanavaksi (kuva 14 sivulla 23 oranssi ympyrä), joissa molemmissa on oma VAV-säätöpelti. Poistoilma-VAV-3 haarautuu ilmastointikonehuoneessa (kuva 13, oranssi laatikko).



Kuva 14. Alueella haarautuvat poistoilmakanavat (D.384.5610.501.712 ver. E 2015).

Haarautumiset alueella aiheuttavat sen, ettei paine nouse suoraan poistoilmakammioon vaikka poistoilma VAV-2 kuvassa 14 ajaa itsensä 60 %:iin. Kappaleessa 4.2 suhteellinen säätö, käsiteltiin kuinka ilmamäärät nousevat naapuri päätelaitteilla kun saman haaran yhtä laitetta säädetään. Poistoilmakanaviston rakenteen vuoksi ilmamäärä ja paine nousee myös muissa haaroissa kuin poistoilmakammiossa. Paineen jakautumisen vuoksi poistoilmakoje pienentää kierroslukuaan vähemmän kuin tuloilmakoje.

Kuvasta 9:n huomaa, että tuloilman (sininen nuoli) määrä tulisi olla suurempi kuin poistoilman (oranssi nuoli). VAV-automaatiotarkastuksessa tilanne muuttuu päinvastaiseksi. Kuvasta 11, VAV-säätöpeltien mittauspöytäkirjoista tämä voidaan helposti laskea.

Kuvassa 11 sivulla 18 vaaditut ilmamäärät, 25 % - 100 %, ovat vihreiden laatikoiden sisällä. Sinisissä laatikoissa on ilmamääräprosentti, johon automaatiotestissä kyseinen VAV halutaan. Punaisessa laatikossa on ilmamäärä joka tulisi testissä saada eli vihreän laatikon 100 %:n ilmamäärä kerrotaan sinisen laatikon prosenttien kanssa. Siniset ja oranssiset nuolet osoittavat ilmamääriä jotka automaatiotestissä saatiin.

Vaadittu kokonaistuloilmamäärä testissä ravintolatilaan oli $Q_v = 1408 \text{ l/s}$ ja toteutunut $Q_m = 1594 \text{ l/s}$. Prosentuaalinen ero $\frac{1594 \text{ l/s} \times 100\%}{1408 \text{ l/s}} = 113\%$ eli 13 %:a. Sallittu ero mitatun ja vaadittuun ilmamäärän välillä on $\pm 10\%$. Mitatun tuloilmamäärän sallitun rajan ylitys voidaan hyväksyä VAV-automaatiotestissä, jos mitattu poistoilmamäärä on myös saman verran yli vaaditun. Tärkeintä ovat tilojen painesuhteet, eikä tässä tapauksessa ilmamäärät.

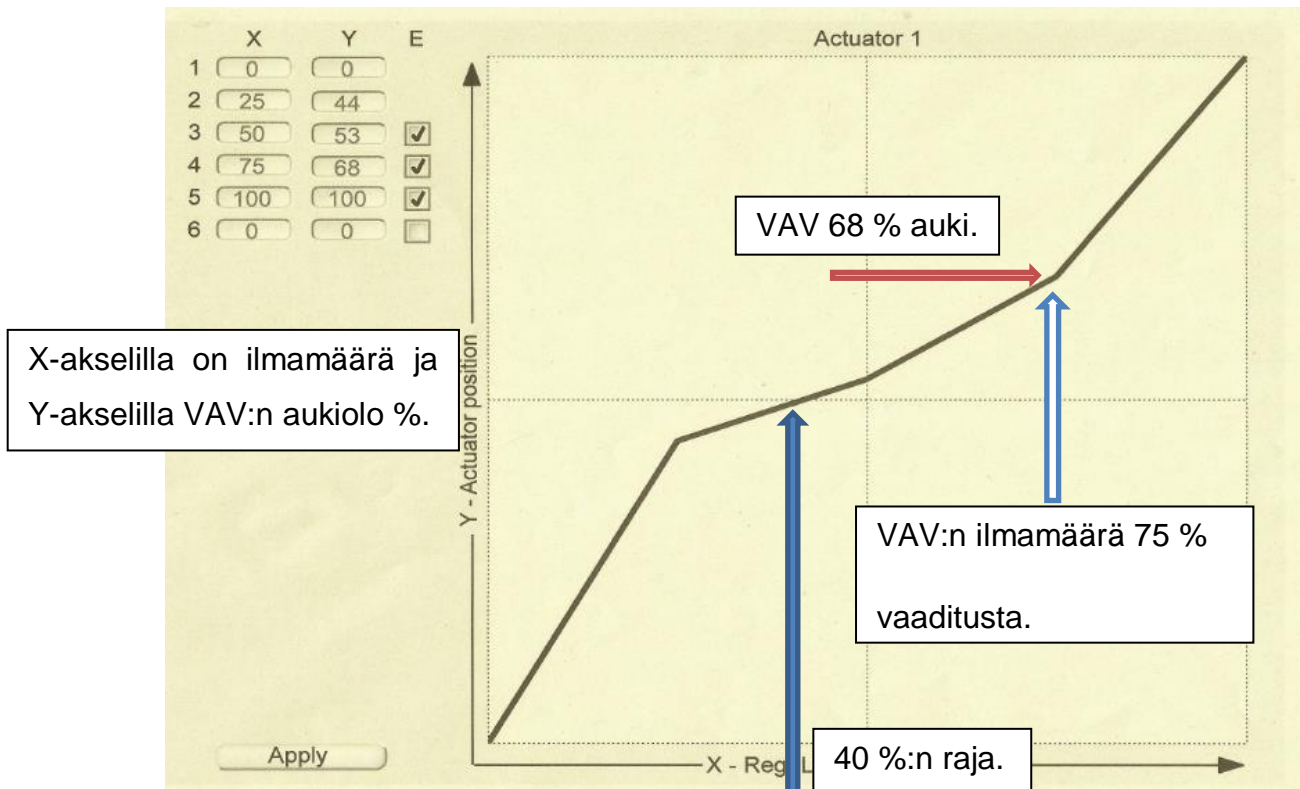
Vaadittu poistoilmamäärä ravintolatilasta oli $Q_v = 1298 \text{ l/s}$ ja toteutunut $Q_m = 1591 \text{ l/s}$. Prosentuaalinen ero $\frac{1591 \text{ l/s} \times 100\%}{1298 \text{ l/s}} = 123\%$ eli 23 %:a. Tämä ylitys on liikaa, koska ravintolatila on nyt painesuhteeltaan tasapainossa, tuloilmamäärän ollessa 1594 l/s ja poistoilmamäärän 1591 l/s . Vaaditut arvot ravintolaan olivat tuloilmalle 1408 l/s ja poistoilmalle 1248 l/s . Aerobic tilan vaaditut arvot olivat tulo- ja poistoilmalle 95 l/s . Testissä tuloksiksi saatiin tuloilmalle 101 l/s ja poistoilmalle 149 l/s .

VAV-säätöpellin käyrä lasketaan 25 % - 100 % ilmamäärien ja niitä vastaavien kulmien avulla, mustat laatikot (kuva 11). VAV-säätöpellit säätyvät käyrien kuvan 14 sivulla 26 mukaan. Käyrästä on käytössä vain osa, joka on 40 %:a ilmamäärästä ja sen yli. Jokaiselle VAV:lle lasketaan oma käyränsä. Käyrien muoto riippuu paineesta joka vallitsee VAV:n takana. Ilmamäärän muutos on suurempi korkeammassa paineessa, eli pienemmällä säätöpellin asennon muutoksella saadaan suurempi ilmamäärän muutos.

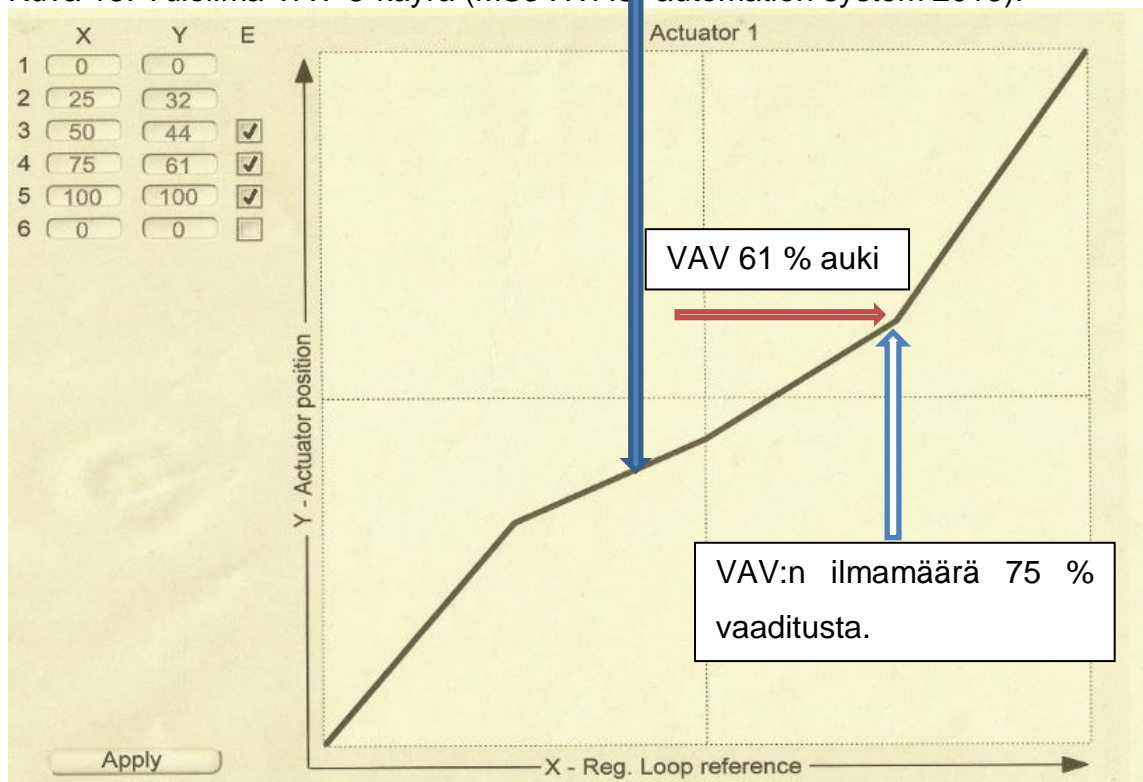
Pienemmästä paineesta kanavistossa johtuen, poistoilma VAV-säätöpelleillä on Y-akselin suuntainen siirtymä suurempi kuin tuloilma VAV:lla. Vertailun vuoksi kuvassa 15 sivulla 26 poistoilma VAV-3:n käyrä josta huomaa eron Y-akselin suunnassa. Poistoilman haarautuvan runkokanavistonsa vuoksi paine purkautuu myös muista haaroista.

Automaatiotestissä havaittiin suuria eroja VAV:n halutun ja todellisen asennon välillä. Suuret erot johtivat lopulta VAV-automaatiotestin hylkäämiseen. Telakan korjattua virheet suoritettiin epävirallinen uusinta testi. VAV-pöytäkirjat (kuva 11) ovatkin epävirallisen testin tuloksia. Virallisen uusintatestin päivämäärästä ei ole vielä tietoa. Laiva on luovutettu tilaajalle ja operoimassa maailmalla.

Opinnäytetyö perustuu tämänhetkisiin mittauksiin ja tarkastuksiin. Todellinen ilmastoinnin säätötarkkuus selviää vasta lopullisessa VAV-automaatiotestissä.



Kuva 15. Tuloilma VAV-3-käyrä (MS3 HVAC automation system 2015).



Kuva 16. Poistoilma VAV-3-käyrä (MS3 HVAC automation system 2015).

5 PÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön alussa itselläni oli vahva epäily ilmamääräkäyräohjattujen VAV-säätöpeltien toimivuudesta. Alustavasti näyttää siltä, että ilmamäärien ja tilojen painesuhteiden tasapaino ei tule toteutumaan. Todellisen tuloksen tietää kun lopullinen VAV-automaatiotesti on suoritettu. Tämänhetkisten mittausten perusteella olen tullut siihen tulokseen, että mittatarkkuutta eli säädettävyyttä voi parantaa pienillä muutoksilla.

Tuloilma VAV:n asennuspaikan valinnassa voidaan tehdä toisenlaisiakin kompromisseja kuin väkisin asennus ilmastointikonehuoneeseen. Alueelle asennus parantaisi huomattavasti sekä säädettävyyttä että huoltoa. Säätöpelti, joka asennetaan ennen VAV:a, voidaan jättää ilmastointikonehuoneeseen. Kustannuksia tulisi johdotuksen ja mahdollisen huoltoluukun muodossa.

Osailmamäärien (25 % -75 %) säätötapaa, ilmastointikojeen käydessä koko ajan 100 %, tulisi muuttaa. Tulo- ja poistoilmakojeen VAV:t tulisi säätää osailmamääräprosentti kerrallaan, kammiopaineiden ollessa 100 % ilmamäärää vastaavassa arvossa.

Säätömenetelmä vaatii kaksi säätöhenkilöä. Henkilöistä toinen säätää manuaalisesti puhaltimen kierroslukua ja tarkkailee painemittarista kammiopainetta ja toinen kääntää VAV-peltejä. Ilmastointikojeita säätää yleensä kaksi henkilöä, joten säätömenetelmä ei vaadi lisäresursseja työhön. Haittapuolena on työn hitaus, mutta tarkastustilanteessa säätötarkkuus on parempi.

Poistoilmakanaviston rakenteen vuoksi muuttuu paine, ja sen vuoksi ilmamäärät myös haarakanavissa. Kammiopaine ei osailmamääriä säädettäessä nouse poistokojeella samalla tavalla kuin tuloilmakojeessa. Poistokoje olisi hyvä asettaa tuloilmakojeelle orjaksi. Tulopuhaltimen pudottaessa kierroslukuaan pudotaisi poistopuhallin kierroslukuaan suhteessa saman verran. Kokonaisilmavirrat pysyisivät näin paremmin tasapainossa, jolloin myös painesuhteet olisivat lähempänä suunniteltuja arvoja.

VAV:n peltimoottorin valmistaja antaa moottorilleen paikkatarkkuudeksi $\pm 5\%$. Tarkkuus ei vaikuta VAV:n käyrään ja tätä kautta säätötarkkuuteen, koska käyrään vaikuttavat paikoitukset asetetaan manuaalisesti. Jokaisen VAV:n osailmamäärä paikoitukset tulisi ajaa automaatiolla ja tarkastaa visuaalisesti. Tarkastustyö vaatisi kuitenkin resursseja joita kukaan ei tähän työhön halua käyttää. Jokainen laivassa oleva VAV pitäisi käydä tarkastamassa paikanpäällä, samalla kun ECR:ssä oleva henkilö asettelee HAS:iin VAV-osailmamääräprosentteja.

Ilmamääräkäyrä ohjattu VAV-säätöpelti on helppo ja tarkka säätää 100 %:n ilmamäärään. Painesuhteet ja tarkat osailmamäärät on mahdoton saavuttaa laivaan asennetuilla VAV-säätöpelleillä ilman isompaa rahallista investointia. Ilmamääräkäyrä ohjattua VAV-säätöpeltiä ei ole ihanteellista käyttää kanavistoissa jotka haarautuvat yhdestä päärungosta useammaksi haarakanavaksi.

Paine-ohjatut VAV-säätöpellit ovat tarkkuudeltaan parempia ja säädettävyydeltään yksinkertaisempia kuin ilmamääräkäyrä ohjatut VAV:t. Laivan käyttöönotto ajan lyhyden vuoksi ovat nämä suositeltavampia.

LÄHTEET

Belimo Oy 2015. Tekninen kuvasto. Viitattu 20.5.2015.

<http://www.centrumklima.pl/en,produkty-wentylacja-klimatyzacja,9,175,144,actuators-without-return-spring.html>

Jensen, T. Wilhelmsen Technical Solutions Site Manager. Haastattelu 15.5.2014.

Mein Schiff 3 HVAC Automation system – automaatiojärjestelmä. 25.1.2015.

MeyerTurku Oy 2015. D.384.5610.504.703 ver. B Viitattu 2.5.2015.

MeyerTurku Oy 2015 D.384.5610.501.712 ver. E Viitattu 2.5.2015.

MeyerTurku Oy 2015. D.384.5610.501.714 ver. C Viitattu 2.5.2015.

Peltomaa, A. MeyerTurku Oy Area Manager HVAC and Catering. Haastattelu 19.5.2015.

Pietiko Oy 2015. Suhteellisen säädön periaate. Viitattu 3.5.2015

http://www.pietiko.fi/mittarikirjallisuus/swema_ilmanvaihdon_suhteellinen_saato.htm

Strömborg, B. 2015. Royal Caribbean Cruises Ltd. Haastattelu 2.3.2015.

WTS - Wilhelmsen Technical Solutions 2013. HVAC Function Design Specification Part 2 – Subsystems and Control. Viitattu 1.5.2015.