

Opinnäytetyö (AMK)

Koneautomaatiotekniikka

NKONTK13

2018

Severi Väisänen

MATKUSTAJARISTEILIJÄN YLEISIÄ TILOJA PALVELEVIEN PUHALLINKONVEKTOREIDEN SIJOITTELUN OPTIMOINTI

Severi Väisänen

MATKUSTAJARISTEILIJÄN YLEISIÄ TILOJA PALVELEVIEN PUHALLINKONVEKTOREIDEN SIJOITTELUN OPTIMOINTI

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on määrittää optimoitu vaihtoehto yleisiä tiloja palvelevien puhallinkonvektoreiden sijoittelulle. Työssä on vertailun kohteena neljä ominaisuuksiltaan erilaista puhallinkonvektoriyksikköä. Työssä kerrotaan matkustajaristeilijöiden ilmastointijärjestelmästä, yleisesti ilmastoinnista ja puhallinkonvektoreista, sekä määritetään puhallinkonvektorijärjestelmiin liittyvät vertailtavat kriteerit ja niihin liittyvät tutkimusmenetelmät. Työssä määritettyjä tutkimusmenetelmiä hyväksikäyttäen luodaan vertailuarvopohjainen pisteytys vertailtaville puhallinkonvektoriyksiköille tutkimuksessa määritettyjen kriteereiden pohjalta ja luodaan teoreettinen vertailutila, sekä hyväksikäytetään telakan sisäisten toimijoiden asiantuntevuutta kriteerikohtaisella painoarvokyselyllä.

Ilmastointi moderneissa matkustajaristeilijöissä on keskeisessä osassa matkustamismukavuutta. Se on järjestelmänä yksi matkustajaristeilijöiden suurimmista energiankuluttajista ja täten olennainen tutkimustyön kohde. Puhallinkonvektorit toimivat olennaisessa roolissa osana modernien matkustajaristeilijöiden ilmastointijärjestelmiä.

Puhallinkonvektoreiden sijoittelulle asetettiin vertailtavat kriteerit. Vertailtavat kriteerit käsittävät puhallinkonvektoriyksiköiden ja niihin liitettyjen järjestelmien fyysiset ja kustannukselliset tutkimukset. Työssä käydään läpi kriteerien teoria ja tutkimustyö, niihin liittyvät laskukaavat, sekä määritetään kriteereittäin jokaiselle vertailtavalle puhallinkonvektoriyksikölle vertailuarvo kriteerien laskujen ja tutkimusten pohjalta. Vertailtaviksi kriteereiksi on määritetty puhallinkonvektorijärjestelmien ilmakeinavistojen painehäviöt ja tilankäyttö, puhallinkonvektoriyksiköiden asennuksen ja huollon kustannukset, tilankäyttö sekä niiden aiheuttama melu.

Teoreettisen vertailutilan, vertailtavien kriteereiden vertailuarvojen ja asiantuntijapohjaisia painoarvoja käyttäen saatiin tulokseksi optimi vaihtoehto puhallinkonvektoreiden sijoittelulle. Tulokseksi saatiin taulukkomuotoinen laskujen sarja, jonka tarkoituksena on toimia työkaluna ilmastoinnin suunnittelijoille puhallinkonvektoreiden sijoittelua suunniteltaessa.

ASIASANAT:

Koneellinen ilmanvaihto, telakkateollisuus, LVI, ilmastointi, risteilijä, puhallinkonvektori, matkustajaristeilijä

Severi Väisänen

PLACEMENT OPTIMIZATION OF FAN COIL UNITS SERVING PUBLIC SPACES OF A CRUISE SHIP

The scope of this thesis is to determine optimized solution for placement of the fan coil units which serve the public spaces of a cruise ship. In this thesis, a comparison for four different types of fan coil units which vary by their properties is carried out. Thesis introduces the facts of a fan coil unit, air conditioning systems of a cruise vessel and air conditioning in general. The reader is also introduced to the comparison criteria and the research behind the criteria. The research methods in the thesis will be utilized to create benchmark based values for the fan coil units in comparison from the basis of research of the determined criteria. Theoretic comparison space will be created in which the benchmark based values and by the means of weighted values for the criteria given by the experts of the yards internal operators will be implemented.

Air conditioning in modern cruise ships play a crucial part in the well-being of the passengers. As a system, it is one of the most energy consuming applications and therefore an essential target for a research. Fan coil units play a relevant role as a part of the air conditioning system of a cruise ship.

The criteria for the placement of the fan coil units were set. The criteria consist of both physical and cost front research of the fan coil units. Thesis concerns the theory, research and the formulas for calculating behind the criteria. Criteria by criteria, benchmark based values were set for fan coil units in comparison by utilizing the research and calculating behind the criteria. The criteria consist of the pressure loss in the ducting of a fan coil unit systems and space usage of the ducting; noise, space usage and the costs in installation and maintenance of the fan coil units.

By the means of theoretic comparison space, benchmark values and weighted values given by the air conditioning experts, an optimized option for the positioning of the fan coil units was achieved. The result was a series of calculations in a form of a worksheet. The purpose of the worksheet is to work as a tool for air conditioning designers when designing the placement of the fan coil units.

KEYWORDS:

Mechanical ventilation, shipyard industry, HVAC, air conditioning, cruise vessel, fan coil unit, cruise ship

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	8
2 LAIVAN ILMASTOINTI	9
2.1 Yleistä	9
2.2 Ilmankäsittelykone	9
2.2.1 Ilmankäsittelykoneen komponentit	10
2.2.2 Ilmankäsittelykoneen toiminta	11
2.2.3 Ilmankäsittelykoneet matkustajaristeilijöissä	11
2.3 Laivassa käytetyt ilmastointijärjestelmät	11
2.3.1 Korkea- ja matalapainejärjestelmä	12
2.3.2 Ilma- ja ilma-vesijärjestelmät sekä jakojärjestelmät	12
3 PUHALLINKONVEKTORIJÄRJESTELMÄ	16
3.1 Puhallinkonvektorin komponentit	16
3.2 Puhallinkonvektorin toiminta	17
3.3 Puhallinkonvektorit matkustajaristeilijöissä	17
4 REFERENSSILAIVAN TIEDOT	19
4.1 Mein Schiff 5 ilmastointi	19
4.1.1 Ilmastointi yleisissä tiloissa	19
4.2 Ilmastointikoneiden tiedot	21
4.3 Teoreettinen vertailutila	24
5 VERTAILTAVAT KRITEERIT	25
5.1 Virtaus ilmakehässä ja painehäviöt	25
5.1.1 Painehäviöt	26
5.2 Tilankäyttö	29
5.2.1 Yksikön lattiapinta-ala	30
5.2.2 Kanavoinnin tilavuus	30
5.3 Asennus ja huolto	31
5.3.1 Asennus	31
5.3.2 Sähkötyöt	32
5.3.3 Kondenssivesi	32
5.3.4 Asennuksen riski	33

5.3.5 Huolto	33
5.3.6 Huollon helppous	33
5.4 Melu	34
6 PUHALLINKONVEKTOREIDEN SIOITTELUN OPTIMOINTI	36
6.1 Virtaus ilmakekanavassa ja painehäviöt	36
6.2 Tilankäyttö	37
6.2.1 Yksikön tilankäyttö	37
6.2.2 Kanavoinnin tilavuus	38
6.3 Asennus ja huolto	39
6.3.1 Asennus	39
6.3.2 Sähkötyöt	40
6.3.3 Kondenssivesi	40
6.3.4 Asennuksen kustannukset	40
6.3.5 Asennuksen riski	41
6.3.6 Huolto	41
6.3.7 Huollon helppous	42
6.4 Melu	42
6.5 Teoreettinen vertailutila	43
6.6 Asiantuntijapohjaiset painoarvot	43
6.7 Tulosten yhteenveto	44
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	46
LÄHTEET	47

LIITTEET

- Liite 1. Moodyn käyrästä
- Liite 2. Kertavastuskertoimet
- Liite 3. Melutasojen mittaus
- Liite 4. Painehäviölaskutaulukot

KAAVAT

Kaava 1. Reynoldsin luvun kaava. (wiki.meteoropolia.fi 2009)	25
--	----

Kaava 2. Kokonaispainehäviöiden kaava. (Esa Sandberg 2016)	26
Kaava 3. Kanaviston kitkapainehäviöiden laskentakaava. (Esa Sandberg 2016).	27
Kaava 4. Laminaarisen virtauksen kitkavastuskertoimen määrittävä kaava. (Esa Sandberg 2016).	27
Kaava 5. Turbulenttisen virtauksen kitkavastuskertoimen määrittävä kaava. (Seppänen 1996)	28
Kaava 6. Turbulenttisen virtauksen kitkapainehäviöiden likikaava aineen virratessa peltikanavassa. (Esa Sandberg 2016).	28
Kaava 7. Kertavastuspainehäviöiden laskentakaava. (Esa Sandberg 2016)	29
Kaava 8. Painehäviöiden vertailuarvon määrittävä kaava.	37
Kaava 9. Yksikön lattiapinta-alan vertailuarvon määrittävä kaava.	38
Kaava 10. Kanavoinnin tilavuuden vertailuarvon määrittävä kaava.	38
Kaava 11. Yksikkökohtaisen vertailuarvon ja vertailusysteemin V1 yksiköiden tulo.	44

KUVAT

Kuva 1. Ilmankäsittelykone (koja.fi 2018)	10
Kuva 2. SFCU-05 (Koja 2014)	21
Kuva 3. SFCU-15 (Koja 2014)	22
Kuva 4. AFCU-09 (Koja 2014)	23
Kuva 5. Future-0906 (Koja 2014)	23

KUVIOT

Kuvio 1. Moodyn käyrästä (Wikipedia 2018)	Liite 1
Kuvio 2. Kanavaosien likimääräisiä kertavastuskertoimia (Seppänen 1996)	Liite 2

TAULUKOT

Taulukko 1. Vertailtavien yksiköiden ilmankäsittelymäärät.	24
Taulukko 2. Yksiköiden mitat ja lattiapinta-ala.	30
Taulukko 3. Vertailtavien järjestelmien kanavoinnin tilavuudet.	30
Taulukko 4. Vertailtavien yksiköiden melutasot mitattuna eri tarkastelupisteistä ja eri suoritusarvoilla.	35
Taulukko 5. Kanaviston painehäviöt.	36
Taulukko 6. Vertailtavien järjestelmien kanaviston painehäviöiden vertailuarvot.	37
Taulukko 7. Vertailtavien yksiköiden tilavuudet ja vertailuarvot.	38
Taulukko 8. Vertailtavien järjestelmien kanavoinnin tilavuuden vertailuarvot.	39
Taulukko 9. Yksiköiden hinnat.	39
Taulukko 10. Yksiköiden sähkökomponentit ja vertailuarvot.	40

Taulukko 11. Asennukset kustannukset ja vertailuarvot.	40
Taulukko 12. Asennuksen riskit ja vertailuarvot.	41
Taulukko 13. Puhallinkonvektoreiden suodattimien määrä ja hinta, sekä vertailuarvo.	41
Taulukko 14. Huollon helppous; yksiköiden sijainti, malli ja vertailuarvo.	42
Taulukko 15. Vertailtavien yksiköiden melutasot ja vertailuarvot.	42
Taulukko 16. Systeemivaihtoehdot ja niiden kokoonpanot	43
Taulukko 17. Asiantuntijapohjaiset painoarvot käännettynä.	44
Taulukko 18. Vertailusysteemit ja niiden pisteytys.	45

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

AC	Air conditioning (ilmastointi)
FCU	Fan coil unit (puhallinkonvektori)
HAS	Laivan ilmastoinninohjausjärjestelmä (Eng. HVAC automation system)
HVAC	Heating, ventilation, and air conditioning (Lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointi)
AT	Asiantuntija
EC	Elektronisesti kommutoitu (Electronically Commutated)

1 JOHDANTO

Puhallinkonvektorit ovat ilmankäsittely-yksiköitä, joiden toimintaperiaatteena on kierrättää ilmaa tilassa jota se palvelee. Se joko jäähdyttää tai lämmittää kierrätettävää ilmaa.

Ilmastointi matkustajaristeilijöissä on toiseksi suurin energiankuluttaja vuositasolla tarkasteltuna heti potkureiden jälkeen. Puhallinkonvektorit toimivat osana matkustajaristeilijän ilmastointijärjestelmää ja ovat energiatehokas ilmastointiratkaisu. Puhallinkonvektorit voivat toimia itsenäisinä yksittäisten tilojen ilmankäsittely-yksiköinä tai olla osana laajempaa ilmastointijärjestelmää, jolloin se yleisesti toimii yhdessä ilmastoinnin keskuskoneen, eli ilmankäsittelykoneen kanssa yhteistyössä.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan erilaisia puhallinkonvektoriyksiköitä ja järjestelmiä johon ne on referenssilaivassa liitetty. Työn tarkoituksena on määrittää optimoitu, eli paras mahdollinen vaihtoehto puhallinkonvektoreiden sijoittelulle vertailemalla erilaisten yksiköiden ja niihin liitettyjen järjestelmien ominaisuuksia. Vertailut tehdään niille määritettyjen kriteerien pohjalta, jotka ovat olennaisessa osassa puhallinkonvektorijärjestelmää suunniteltaessa.

Vertailtavina kriteereinä ovat puhallinkonvektorijärjestelmien kanavistossa aiheutuvat painehäviöt, puhallinkonvektoriyksiköiden ja niihin liitettyjen järjestelmien kanavistojen tilankäyttö, puhallinkonvektoriyksiköiden asennuksen kustannukset, niiden huollon kustannukset, huollon riski, huollon helppous ja keskimääräiset melutasot.

Referenssilaivana työssä käytetään TUI Cruises –varustamon Meyer Turku Oy:lta tilaamaa Mein Schiff 5 matkustajaristeilijää, jonka rakentaminen aloitettiin Turun telakalla 30.12.2014, laskettiin vesille 15.1.2016 ja luovutettiin varustamolle 20.5.2016. Mein Schiff 5 on sarjansa kolmas alus joka on rakennettu Turun telakalla.

Työn alussa kerrotaan matkustajaristeilijöissä käytettävistä ilmastointijärjestelmistä ja ilmanjakojärjestelmistä, sekä vertailtavista puhallinkonvektoreista ja niiden toiminnasta. Työn keskivaiheessa kerrotaan puhallinkonvektorijärjestelmiin ja –yksiköihin liittyvien vertailtavien kriteereiden teoria, tutkimus- ja laskentatavat, sekä asetetaan yksikkökohtaiset vertailuarvot kriteereittäin. Lopuksi luodaan teoreettiseen vertailutilaan systeemi-vaihtoehdot, jossa yksikkökohtaiset vertailuarvot ja asiantuntijapohjaiset painoarvot määrittävät systeemin pisteytyksen ja täten saavutetaan optimoitu vaihtoehto. Työn viimeisessä kappaleessa käydään läpi työn tulokset ja niiden merkitys.

2 LAIVAN ILMASTOINTI

Laivan ilmastoinnin tarkoituksena on luoda hyvät olosuhteet matkustajille. Laivassa käytettävät ilmastointijärjestelmät toimivat pitkälti samalla periaatteella kuin maapuolella käytettävät ilmastointijärjestelmät. Usein kuitenkin matkustajaristeilijöiden ilmastointikoneiden lukumäärä on selvästi suurempi kuin vastaavan kokoluokan toimistorakennuksissa ja on täten toiseksi suurin yksittäinen energiankuluttaja laivassa heti potkureiden jälkeen.

2.1 Yleistä

Laivanrakennuksessa ilmastointijärjestelmien suunnittelussa kohtaa useita eri laivan ilmastointia koskevia määräyksiä, joita laativat ja valvovat merenkulun viranomaiset ja luokituslaitokset. Laivan tilaaja päättää minkä luokituslaitoksen mukaan laivaa valvotaan. Määräykset koskevat yleisesti turvallisuutta ja erityisesti paloturvallisuutta, jota vasten on tehty paljon erilaisia määräyksiä koska ilmastointi käsitetään tärkeäksi osaksi paloturvallisuutta. Risteilyalusten ilmastointijärjestelmien ensisijaisena kriteerinä on tarjota hyvä sisäilmasto. Järjestelmän täytyy olla energiatehokas, turvallinen, asennettavissa ja huollettavissa. Usein kuitenkin ilmastoinnin suunnitteluun osallistuvilla tahoilla on erilaiset käsitykset siitä, millainen ilmastointijärjestelmä täyttää nämä kriteerit. (Miimu Matilainen 1998).

2.2 Ilmankäsittelykone

Ilmankäsittelykone muuttaa käsiteltävän ilman lämpötilaa ja kosteutta, sekä sekoittaa kierrätetyn ilman ja raitisilman. Sitä käytetään yleisesti rakennusilmastoinnissa ja se

toimii usein laivoissa ilmastoinnin keskuskoneena.



Kuva 1. Ilmankäsittelykone (koja.fi 2018)

2.2.1 Ilmankäsittelykoneen komponentit

Palveltavan tilan lämpötilaa ohjataan lämmitys/jäähdytyspatterin avulla, jonka läpi ilma imetään puhaltimella. Puhaltimena toimii ilmankäsittelykoneissa yleisesti vaihtosähkömoottorilla toimiva keskipakopuhallin jota ajetaan taajuusmuuttajan välityksellä.

Puhallin voi aiheuttaa värähtelyä, joka synnyttää meteliä. Värähtelyä vaimennetaan värinäneristimillä, jotka asennetaan koneen molemmiin puolin tulo- ja poistoilmaukoille, sekä puhallinlokeroon ja muiden koneen komponenttien välille.

Ilmankäsittelykoneeseen asennetaan suodattimet, jotka puhdistavat kierrätettävän ilman saasteilta. Ne yleensä sijoittuvat koneessa syöttöilmakanavan jälkeen, jotta jälkikäsittelykomponentit pysyisivät puhtaana.

Ilmankäsittelykoneeseen asennetaan yleisesti lämmön talteenottokomponentti, jonka tarkoituksena on siirtää poistoilman sisältämää lämpöenergiaa tuloilmaan. Se on ilmankäsittelykoneissa yleensä roottorilämmönsiirrin, joka pyörii tulo- ja poistoilmakammioiden välillä siirtäen poistoilman lämpöä ja kosteutta tuloilmaan.

Kuivaa ilmaa voidaan myös kosteuttaa koneeseen asennettavilla kosteuttajilla, esim. höyrystimellä.

Koneeseen voidaan asentaa lämmityspatterin lisäksi myös ilman jälkilämmitin, joka lisää entisestään lämmitystehoa.

Riippuen ilmastointijärjestelmästä ja sovelluskohteesta, ilmankäsittelykonetta ohjataan joko termostaatilla tai automaattisesti kytkettynä säätöpiiriin. Lämpötila-anturit, hiilidioksidianturit ja ilmankosteus-anturit toimivat erosuuretta laskevina mittauseliminä ja virtauskytkimet, ohjainaktuaattorit, moottorit ja ohjaimet toimivat erosuuretta ohjaavina toimieliminä. (Wikipedia 2016).

2.2.2 Ilmankäsittelykoneen toiminta

Paluuilma eli tilasta otettava kierrätettävä ilma ja ulkoilmasta otettava raitisilma välittyvät suodattimien kautta sekoituskammioon roottorilämmönsiirtimelle jossa lämmönsiirto tapahtuu. Ilma kulkee roottorilta lämmitys/jäähdytyskäämin läpi puhaltimelle, joka puhaltaa käsitellyn syöttöilman palveltavaan tilaan. Ilmankäsittelykoneen puhallusnopeutta, jäähdytys- tai lämmityspatterin vedensyöttöä ja ilman jälkilämmitintä ohjataan yleisesti joko lämpötilan ja/tai hiilidioksiditasojen mukaisesti joita mitataan mittauselimillä, jotka ovat sijoitettu palveltuun tilaan.

2.2.3 Ilmankäsittelykoneet matkustajaristeilijöissä

Ilmankäsittelykoneet ovat moderneissa matkustajaristeilijöissä sijoitettu AC-huoneisiin, eli ilmastointihuoneisiin. Ilmastointi on sidottu laivan palovyöhykkeisiin, eli jokaisella vyöhykkeellä on toisistaan riippumattomat ilmankäsittelykoneet ja järjestelmät. Palon sattuessa esimerkiksi kokonaisen vyöhykkeen palaessa, voivat muut ilmankäsittelykoneet toimia toisistaan riippumattomina.

2.3 Laivassa käytetyt ilmastointijärjestelmät

Laivan ilmastointijärjestelmät voidaan luokitella ilman ominaisuuksien perusteella, sekä kategorisoida ilmanpaineen, eli kanavistossa kulkevan ilman nopeuden mukaisesti ja jakaa ilmastoinnin periaatteiltaan sovellettavien kohteiden mukaisesti, eli palveltavan aluetyypin mukaisesti.

Kaikissa ilmastoinnin aluetyypeissä on ilmankäsittelykone, joka toimii ilmastoinnin keskuskoneena; se on toimintaperiaatteiltaan ja rakenteeltaan yleisesti samanlainen. Ilmanjako- sekä jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmien ominaisuudet vaihtelevat tyypeittäin ja niitä sovelletaan palveltavan tilan tyyppin mukaisesti.

Jotta voitaisiin ymmärtää miten puhallinkonvektorit toimivat osana laivan ilmastointijärjestelmää, on selvitettävä erilaisten laivassa käytettävien järjestelmien toiminnan perusteet. Seuraavissa alaluvissa esitellään laivan ilmastointijärjestelmät, niiden toiminta ja ohjausperiaatteet.

2.3.1 Korkea- ja matalapainejärjestelmä

Korkea- ja matalapainejärjestelmät perustuvat ilmaa kuljettavien kanavistojen kokoon. Matalapainejärjestelmässä ilmaa puhalletaan kanavistossa 5-10 m/s ja korkeapainejärjestelmissä ilman maksiminopeus voi ylittää 15 m/s. Korkeapainejärjestelmässä suurilla ilmastointikoneiden ajonopeuksilla voidaan pienien kanavien välityksellä tuoda matalapainejärjestelmää vastaava ilmamäärä palveltavalle alueelle ja siksi sitä käytetään yleisesti hyttialueilla niiden tilanahtauden takia. Kanavisto joudutaan myös usein palo- tai lämpöeristämään, joka lisää entisestään kanaviston tilantarvetta. Matalapainejärjestelmästä käytetään myös nimitystä piennopeusjärjestelmä ja korkeapainejärjestelmästä vastaavasti nimitystä suurnopeusjärjestelmä. (Christian Mylius 1998).

2.3.2 Ilma- ja ilma-vesijärjestelmät sekä jakojärjestelmät

Ilmajärjestelmissä palveltuun tilaan puhalletaan ilmaa joka on käsitelty ilmankäsittelykoneessa. Ilmajärjestelmät voidaan jakaa yksi- ja monivyöhykejärjestelmään, jälkilämmitysjärjestelmään, kaksikanavajärjestelmään, ilmavirtasäätöiseen järjestelmään ja rakotattojärjestelyyn.

Yksivyöhykejärjestelmä

Yksivyöhykejärjestelmässä ilmankäsittelykone käsittelee ilman ja se jaetaan kanavistoa pitkin tiloihin jotka sijaitsevat sen palvelemalla vyöhykkeellä. Yksivyöhykejärjestelmää käytetään tiloissa jotka tarvitsevat oman erillisen ilmanvaihdon, eivätkä täten saa se-

koittua ympäröivien tilojen ilmanvaihdon kanssa. Kyseistä järjestelmää käytetään esimerkiksi aluksen sairaaloissa. Yksivyöhykejärjestelmä on tilankäytöllisesti suurta, koska järjestelmässä on yleisesti käytössä monta pientä erillistä keskuskonetta ja monen keskuskoneen käyttö johtaa moneen erilliseen ulko- ja jäteilmakanavistoon. Yksivyöhykejärjestelmän käyttö on energiankulutukseltaan ja asennuskustannuksiltaan kallista. (Miimu Matilainen 1998).

Monivyöhykejärjestelmä

Monivyöhykejärjestelmässä ilmaa syötetään kahdelle tai useammalle vyöhykkeelle. Ilmankäsittelykone on tällaisissa järjestelmissä monivyöhykekone, jossa on koneelle tyypilliset komponentit, kuten lämmitys/jäähdytyspatteri ja puhallin, mutta koneessa on myös puhaltimen jälkeen omat lämmityspatterit erikseen jokaiselle palveltavalle vyöhykkeelle. Syötettävän ilman lämpötilaa säädetään ilmankäsittelykoneella pienimmän lämpötilan vaatiman vyöhykkeen mukaiseksi. Ulkoilmaa joko jäähdytetään puhallinta ennen olevalla jäähdytys/lämmityspatterilla tai jälkilämmitetään koneen vyöhykekohtaisella lämmityspatterilla riippuen vyöhykkeen lämpötilan asetusravosta. Järjestelmässä mittauseliminä ja ohjaavina toimilaitteina toimivat vyöhykekohtaiset termostaatit. Monivyöhykejärjestelmää käytetään yleisesti matalapaineisena yleisissä tiloissa ja portaikoissa. (Miimu Matilainen 1998).

Jälkilämmitysjärjestelmä

Jälkilämmitysjärjestelmä on periaatteeltaan sama kuin monivyöhykejärjestelmä, mutta sähköisesti toimiva tai vesikierteinen jälkilämmityspatteri on asennettu palveltuun tilaan. Jälkilämmitysjärjestelmä voidaan kategorioida sekä ilma että ilma-vesijärjestelmiin kuuluvaksi riippuen jälkilämmityspatterin toimintatavasta. Jälkilämmitysjärjestelmää käytetään yleisesti korkeapaineisena hytti- ja palvelualueilla, sekä matalapaineisena yleisillä alueilla. (Miimu Matilainen 1998).

Kaksikanavajärjestelmä

Kaksikanavajärjestelmässä ilma puhalletaan ilmankäsittelykoneen jäähdytys/lämmityspatterin jälkeen erillisiin kylmän- ja lämpimän ilman kanaviin. Ilma kulkee

kanavia pitkin palvelulle vyöhykkeelle, jossa ilmat sekoittuvat sekoitusyksikössä. Ilma sekoitetaan tilaan sopivaan suhteeseen joko manuaalisesti käsin tai automaattisesti anturein ja toimilaittein. Kylmäilmakanavan lämpötila määräytyy sen mukaiseksi, missä tilassa on korkein jäähdytystarve. Lämpöilmakanavan lämpötila määräytyy vastaavasti eniten lämmitystä tarvitsevan tilan mukaisesti. Kaksikanavajärjestelmää käytetään yleisesti hyttialueilla korkeapaineisena. (Christian Mylius 1998).

Ilmavirtasäätöinen järjestelmä

Ilmavirtasäätöisessä järjestelmässä tilaan syötettävän ilman tilavuusvirtaa säädellään tilakohtaisin säätöpellein. Ilmankäsittelykone käsittelee ilman eniten jäähdytystehoa vaativan tilan mukaisesti ja tilojen lämpötilaa säädetään säätöpelleillä siten että palvelun tilan lämpötila pysyy tasaisena. Ilmavirtasäätöinen järjestelmä mahdollistaa tarkat huonekohtaiset säädöt ja oikein säädettynä tarjoaa kustannustehokkaan ratkaisun minimi ilmavirtatarpeen pienentyessä. Ilmavirtasäätöistä järjestelmää kutsutaan myös VAV-järjestelmäksi (Eng. Variable air volume) ja sitä käytetään aluksen yleisillä alueilla, hyteissä, sekä portaikoissa. (Christian Mylius 1998).

Rakokattojärjestely

Rakokattojärjestelyä ei voida käsittää ilmastointijärjestelmänä vaan se on ilmanjakotapa, jota käytetään yleisesti laivan yleisissä tiloissa ja portaikoissa. Ilmankäsittelykoneelta tuleva ilma puhalletaan palveltavan tilan välikattoon, josta se siirtyy katon rakojen välistä oleskelutilaan eli katon rakoja käytetään niin sanotusti kanaviston pääteelimenä. Ilma poistuu tilasta samojen rakojen lävitse poistoilmakanaviston välityksellä. Syöttö- ja poistoilmakanavien välille tulee yleensä noin metrin pituinen väli jotta syöttöilma ei kulkeutuisi suoraan poistoilmakanavalle. (Christian Mylius 1998).

Ilma-vesijärjestelmä

Ilma-vesijärjestelmässä ilma esikäsitellään ennen tilaan syöttöä jälkikäsitteilykoneissa kunkin tilan vaatimusten ja/tai tarpeiden mukaisesti. Jälkikäsitteilykoneiden jäähdytys- ja/tai lämmityspatterit vaativat toimiakseen jäähdytys- ja/tai lämmitysnepesteputkiston.

Ilma-vesijärjestelmät voidaan jakaa suutinkonvektorijärjestelmään ja puhallinkonvektorijärjestelmään.

Puhallinkonvektorijärjestelmässä ilmankäsittelylaite tuo ilman palveltavalle alueelle ja puhallinkonvektorit kierrättävät tilan ilmaa sitä samalla lämmittäen tai jäähdyttäen. Hyttikohtaisessa puhallinkonvektorijärjestelmässä ilma tulee puhallinkonvektorille suoraan ilmankäsittelykoneelta. Puhallinkonvektorin sekoitusosassa ilmankäsittelykoneelta tuleva ilma ja palveltavasta tilasta puhallinkonvektorille tuleva kiertoilma sekoittuvat ja sitä syötetään tilaan sen vaatiman lämpötilan ja hiilidioksiditason mukaisesti. Hytin lämpötilaa voidaan ohjata hytin termostaatilla. Puhallinkonvektorijärjestelmää käytetään nykyään yleisesti laivan yleisissä- ja teknisissä tiloissa, sekä tietenkin hyttikohtaisesti. (Mii-mu Matilainen 1998).

Suutinkonvektorijärjestelmä toimii samalla periaatteella kuin puhallinkonvektorijärjestelmä, mutta yleisesti suutinkonvektoriyksiköt eivät sisällä omaa puhallinta, jolloin puhaltimena toimii keskusyksikön, eli ilmankäsittelykoneen puhallin. Suutinkonvektorijärjestelmää ei juurikaan käytetä laivoissa.

Osa yllä kerrotuista järjestelmistä ovat kuitenkin vanhoja ja moderneissa matkustajalaitoissa on ilmastointi suunniteltu erittäin energiatehokkaaksi ja ne sisältävät paljon erilaista anturointia ja on täten laajalti automatisoitu.

3 PUHALLINKONVEKTORIJÄRJESTELMÄ

Puhallinkonvektori on yksinkertainen ilmastointilaite, joka mahdollistaa nopeat lämpötilamuutokset.

Puhallinkonvektoreita käytetään yleisesti lämpötilan säätelyyn tilassa, johon se on asennettu. Integroituna laajoihin ilmastointijärjestelmiin, se voi ohjata usean tilan lämpötilaa samanaikaisesti.

Puhallinkonvektoreiden ominaisuudet vaihtelevat palveltavien sovellusten mukaisesti, eli markkinoilla on laaja tarjonta erilaisia puhallinkonvektoreita.

Puhallinkonvektoria nimitetään ammattikielessä myös ”fancoiliksi”, joka tulee englanninkielisestä sanasta: ”fan coil unit”. Puhallinkonvektorin nimityksessä konvektorilla tarkoitetaan lämpöpatteria, eli tässä tapauksessa lamellipatteria jossa lämmön siirto perustuu kiertävän ilman jäähdyttämiseen/lämmittämiseen.

3.1 Puhallinkonvektorin komponentit

Kuten ilmankäsittelykoneessa, myös puhallinkonvektorissa kierrätettävä ilma puhalletaan tai imetään puhaltimella jäähdytys/lämmityspatterin läpi, johon syötetään lämmintä tai kylmää nestettä palveltavan tilan tarpeen mukaisesti.

Puhallinkonvektoreiden vedensyöttöominaisuudet vaihtelevat mallityypin mukaan. Ne voidaan jakaa kaksiputkisiin ja neliputkisiin puhallinkonvektoreihin. Kaksiputkisessa mallissa lamellipatterissa kiinni olevat putket toimivat syöttö- ja paluuesiputkina, jolloin lamellipatterille voidaan syöttää joko kylmää tai kuumaa vettä. Neliputkisessa mallissa, lamellipatterille voidaan syöttää kylmää, sekä kuumaa vettä samanaikaisesti. Neliputkinen puhallinkonvektori mahdollistaa eri tilojen eriävien ilmastointitarpeiden tyydyttämisen ja on täten yleisesti käytetympi malli. (Wikipedia 2014).

Puhallinkonvektorissa on yleensä paluuilmanakanavan jälkeen suodatin, joka puhdistaa kiertoilman saasteilta.

3.2 Puhallinkonvektorin toiminta

Puhallinkonvektorit toimivat eri yksikkömallista riippumatta periaatteeltaan aina samalla tavalla. Puhallinkonvektoreiden tehtävä on kierrättää palveltavan tilan ilmaa suodattimen ja lämpöpatterin kautta takaisin tilaan. Riippuen puhallinkonvektorin termostaatille tai ilmastointijärjestelmään asetetusta lämpötilan asetusarvosta, puhallinkonvektorin lämpöpatteriin syötetään kylmää tai lämmintä nestettä, yleensä vettä. Lämpö siirtyy patterista ilmaan konvektiolla.

Puhallinkonvektoria ohjataan yleisesti joko manuaalisella kytkimellä tai automaattisesti käyttäen termostaattia, joka ohjaa puhaltimen nopeutta tai ohjausventtiiliä. Ohjausventtiili ohjaa veden läpisyöttöä käsittelijältä lämmönsiirtimeen eli lamellipatterille. Puhallinkonvektorin moottoria voidaan ohjata taajuusmuuttajalla tai mikäli yksikön moottori on elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori (EC-moottori), säätämällä vaihtovirtamuuntajan virransyöttöä. EC-moottorillisten yksiköiden vaihtovirtamuuntajan virransyöttöä säädetään 1-10 voltin välillä.

Palveltavan tilan lämpötilan asetusarvo määrittää lamellipatterille syötettävän veden lämpötilan, sekä puhaltimen puhallusnopeuden. Syöttövesi virtaa joko vedenjäähdyttimen kautta tai lämminvesivaraajalta. Mikäli tilan lämpötilan erosuure on suuri verrattuna asetusarvoon, puhallin pyörii nopeammin tarjoten nopeamman ilmanvaihdon.

Puhallinkonvektorit voivat ruveta kondensoimaan riippuen syötetyn veden lämpötilasta ja suhteellisesta ilmankosteudesta. Kondenssivesi pyritään ohjaamaan viemäriin välityksellä ulos järjestelmästä. Puhallinkonvektorit yleensä omaavat itsessään ns. tippakaukalon viemäri liittimellä vastaavia tilanteita varten. Kondenssivesipumppua käytetään paikossa joissa veden viemärointi on painovoiman kannalta epäedullista, esimerkiksi litteämallisissa kattoon asennettävien yksiköiden yhteydessä. (Wikipedia 2014).

3.3 Puhallinkonvektorit matkustajaristeilijöissä

Trooppisilla alueilla risteilevillä aluksilla jäähdytys on suurin energiankuluttaja vuositar kastelulla. Puhallinkonvektorijärjestelmissä ulkoilmaa voidaan tuoda selvästi vähem-

män verrattuna muihin ilmastointijärjestelmiin ja täten on myös edullisin vaihtoehto energiankulutukseltaan. (Miimu Matilainen 1998)

Puhallinkonvektoreita käytetään yleisesti laivan ilmastoinnissa joko palvelemaan yksittäisiä hyttejä, toimistotiloja, teknisiä huoneita tai yleistiloja. Puhallinkonvektorityypit eroavat kooltaan ja ominaisuuksiltaan riippuen sen käyttötarkoituksesta, eli tilan tyypistä jota ne palvelevat.

4 REFERENSSILAIVAN TIEDOT

4.1 Mein Schiff 5 ilmastointi

Koja Marinen julkaiseman Mein Schiff 5 matkustajaristeilijään rakennettavan ilmastoinnin kuvauksen mukainen järjestelmä on laivan julkisissa tiloissa suunniteltu käsittelemään sataprosenttisesti ulkoilmasta otettavan ilman tarvittavien raitisilmamäärien taakaamiseksi. (Description of air conditioning system 2015).

Ilmankäsittelyprosessi ulkoilmasta tilaan toimii seuraavalla tavalla: Ulkoilman lämpötilaa ja kosteutta mitataan laivan molemmin puolin olevilla painoarvosäätöisillä kosteus- ja lämpötila-antureilla. Tieto kulkeutuu ilmastoinninohjausjärjestelmään (HAS) joka antaa asetusarvon ilmankäsittelykoneen ilman esikäsittely-yksikölle ja lämmitys-/jäähdytyspatterille, joka kuivattaa/jäähdyttää tai kosteuttaa/lämmittää koneen läpi kulkevaa ilmaa. Käsittelyn jälkeen ilma kulkee kanavistoa pitkin tilaan tai tiloihin jota ilmankäsittelykone palvelee. Tilan poistoilmakanavassa tai tilassa sijaitsevat lämpötila- ja hiilidioksidianturit antavat tilojen oloarvon ilmastoinninohjausjärjestelmälle, joka välittää ohjaussuureen toimilaitteille, eli ilmankäsittelylaitteelle ja tietyissä tiloissa tilaa palveleville puhallinkonvektoreille jotka pyrkivät pitämään tilaan esiasetetun lämpötilan ja hiilidioksiditason asetusarvon mukaisena. Eli ilmankäsittelykoneen ilmamäärän syöttö on riippuvainen tilan lämpökuormasta ja sitä kompensoivan puhallinkonvektorin/puhallinkonvektoreiden ilmankäsittelynopeudesta/puhallusnopeudesta. Ilma kulkee prosessissa suodattimien, palopeltien, ilmamääräsäätöisten säätöpeltien kautta tilaan ja joissain tapauksissa puhallinhuoneeseen sijoitetun ilman jälkilämmittimen kautta tilaan. (Description of air conditioning system 2015).

HAS (eng. HVAC Automation System) on laivan ilmastoinninohjausjärjestelmä. Se käsittelee yleisesti laivan ilmastoinninohjauksen, eli automaation, lämpötilojen, kosteuden, hiilidioksiditasojen sekä ilmansyötön tarkkailun ja säädön.

4.1.1 Ilmastointi yleisissä tiloissa

Laivan yleinen tila matkustajaristeilijöissä tarkoittaa tilaa joka on tarkoitettu matkustajien ja henkilöstön yleiseen käyttöön. Yleinen tila, eli yleistila käsittää yleisesti laivan ravintolat, kokoustilat, isot oleskelutilat, kasinot ja teatterit.

Ilma käsitellään tilaa tai tiloja palvelevalla ilmankäsittelykoneella, josta ilma kulkeutuu palveltuun ilmakehään. Yleistilojen lämpökuormat kompensoidaan ilmankäsittelykoneiden ja puhallinkonvektoreiden yhteistyöllä, joita ohjataan laivan ilmastoinninohjausjärjestelmällä (HAS). Pienimmissä jatkuvassa käytössä olevissa yleistiloissa kuten kokoushuoneissa on lämpötilan ohjaus toteutettu sähköisillä lämmittimillä tai välityksellisesti ilmankäsittelykoneen lämminveden jälkilämmityksellä. Tarpeen mukainen lämpötila säädetään ilmastoinninohjausjärjestelmällä (HAS). (Description of air conditioning system 2015).

Pääilmansyötön lämpötilaa ohjataan ilmastoinninohjausjärjestelmällä (HAS). Ilmastointi toimii säätösilmukassa, jossa ovat roottorilämmönsiirrin ja esilämmitys/jäähdytysventtiili kytkettynä sarjaan. Ilmanmääränsyötön toimielimenä toimii ilmankäsittelykone, jonka puhaltimen nopeutta säädetään taajuusmuuttajalla. Ilmanmäärän syöttö on riippuvainen tilan lämpökuormasta ja sitä kompensoivan puhallinkonvektorin/puhallinkonvektoreiden jäähdytys/lämmitystehosta. (Description of air conditioning system 2015).

Tilan lämpötilanohjaus tapahtuu yhdellä tai useammalla puhallinkonvektorilla osana kaskadisäätösilmukkaa, jossa paine-anturi ja huoneen lämpötila-anturit toimivat erosuuretta laskevana mittauselimenä. Riippuen palveltavan tilan/tilojen lämpötilasta, ilmaa ohjataan joko lämmitys- tai jäähdytystilassa. Korkean lämpökuorman jäähdytystilassa esimerkiksi tilan kokiessa lämpöpiikin: puhallinkonvektoreille ja ilmakäsittelylaitteille syötetään niiden lamellipattereihin kylmää vettä jäähdyttimeltä, sekä puhaltimen nopeudet nostetaan maksimiin nopean ilmanvaihdon takaamiseksi. Puhaltimien nopeutta lasketaan niiden suoritustarpeen mukaisesti. Mikäli taas tila on liian viileä, lämminvesi johdetaan ilmankäsittelylaitteen lamellipatterille ja sen puhaltimen nopeutta säädetään tarpeen mukaan. (Description of air conditioning system 2015).

Yleistilojen hiilidioksiditasoa ohjataan säätösilmukalla, jossa huoneen lämpötila-anturi tai hiilidioksidianturi toimii mittauselimenä ja ilmankäsittelylaitteen puhaltimen nopeussäätö toimii erosuuretta ohjaavana toimielimenä. (Description of air conditioning system 2015).

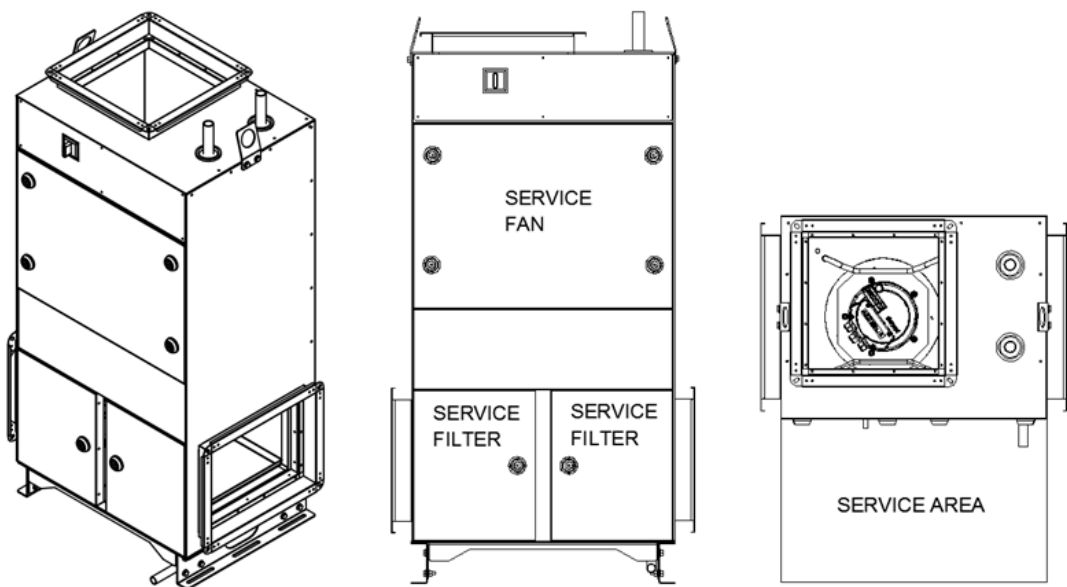
Vyöhykeohjaus tapahtuu pääilmansyötössä ja poistoilmakanavassa säätöpellein mikäli vyöhyke sallii teknisen ilmapirranohjauksen. Ilmankäsittelylaitteen ilmamääränohjaus toimii rinnan laitteen puhaltimen nopeus/paine-anturin ja vyöhykekohtaisten motorisoitujen säätöpeltien kanssa. Säätöpeltien ansiosta kytkennällä saavutetaan optimi ilman-

jako, joka vähentää ilmkäsittelylaitteen puhaltimen tehontarvetta täten vähentäen myös energiankulutusta. (Description of air conditioning system 2015).

4.2 Ilmastointikoneiden tiedot

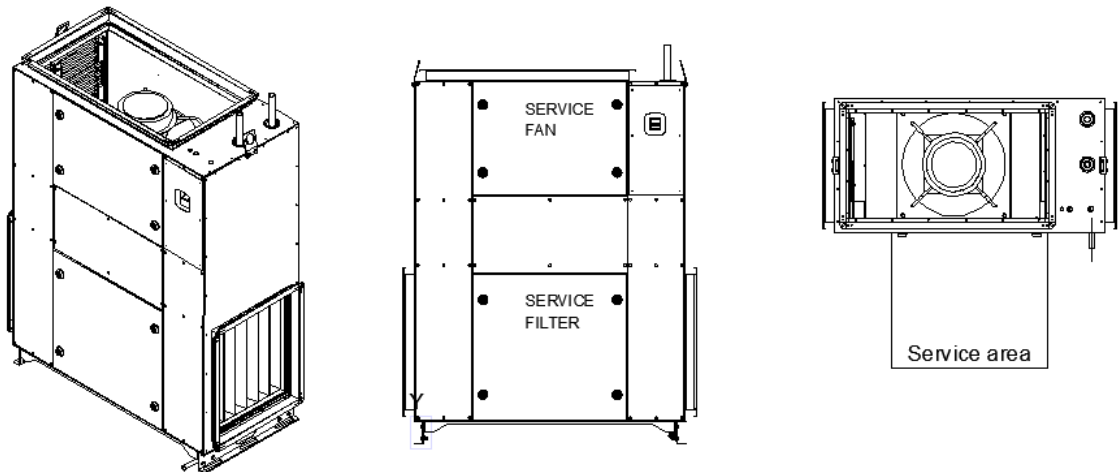
Tässä luvussa esitetään vertailtavat puhallinkonvektoriyksiköt fyysiseltä kooltaan pienimmästä suurimpaan.

SFCU-05, on vertailun pienin puhallinkonvektori. Se on lattiamallinen yksikkö, joka asennetaan pystyasentoon palveltavaan tilaan, mitoiltaan S496mm x L748mm x K1308mm, kattaa huoltotila mukaan laskettuna 0,67m² lattiapinta-alan ja painaa 140kg. Puhallinkonvektorille kanavoidaan paluuilma yksikön alaosan aukoille, josta ilma kulkeutuu ylös suodattimen läpi puhaltimelle ja lämmitys/jäähdytyspatterin läpi tuloilmakanavistoon. SFCU-05:en puhaltimen teoreettinen ilmkäsittelymäärä/tilavuusvirta: 1620m³/h ja teoreettinen kokonaispaine: 800Pa. Puhallinta pyörittää kaksinapainen, teholtaan 0,82kW, elektronisesti kommutoitu (EC) moottori.



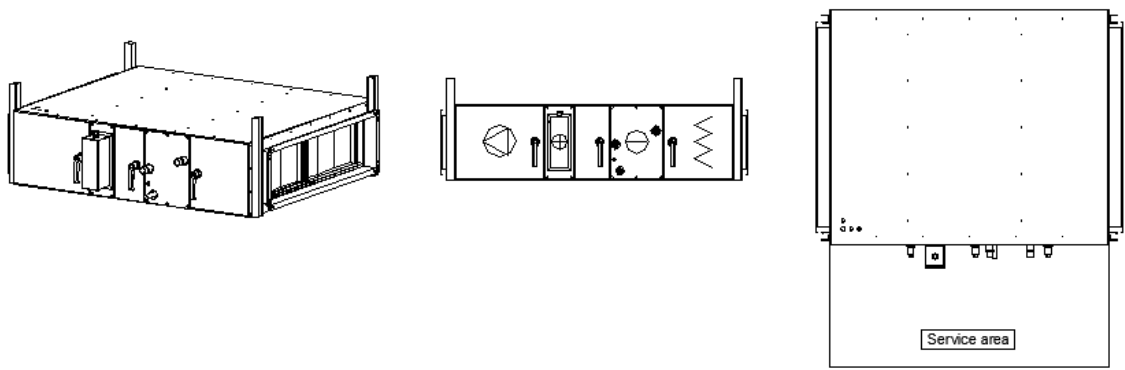
Kuva 2. SFCU-05 (Koja 2014)

SFCU-15 on vertailussa aluepuhallinkonvektoreissa kokoluokaltaan keskikokoa. Se on lattiamallinen yksikkö, joka asennetaan pystyasentoon palveltavaan tilaan, mitoiltaan S595mm x L1299mm x K1605mm, kattaa huoltotila mukaan laskettuna 1,5m² lattiapinta-alan ja painaa 245kg. Toimintaperiaate on sama kuin SFCU-05:llä. SFCU-15:sen puhaltimen teoreettinen ilmankäsittelymäärä/tilavuusvirta: n. 5400m³/h ja teoreettinen kokonaispaine: 800Pa. Puhallinta pyörittää kaksinapainen, teholtaan 3kW, elektronisesti kommutoitu (EC) moottori.



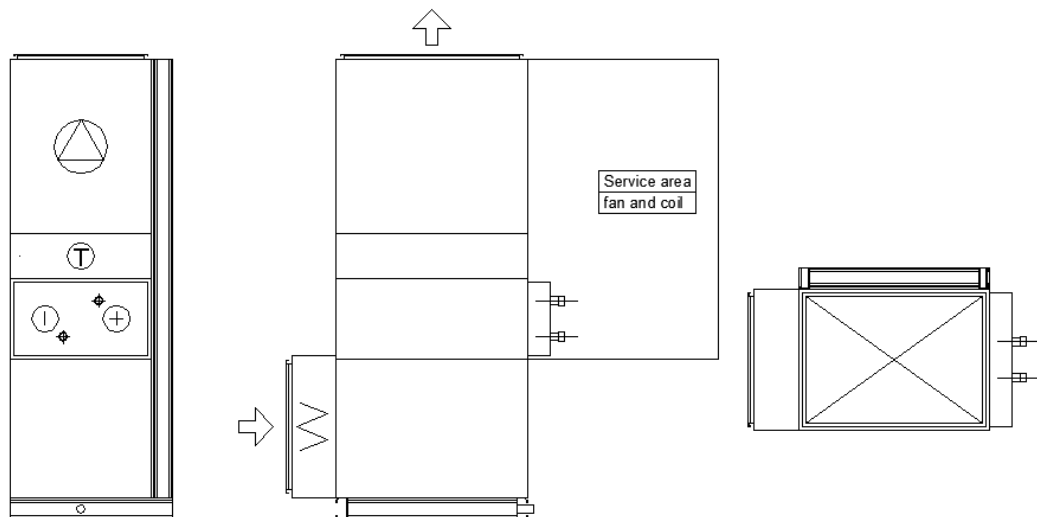
Kuva 3. SFCU-15 (Koja 2014)

AFCU-09 on vertailussa aluepuhallinkonvektoreissa kokoluokaltaan suuri. Se on kattomallinen yksikkö, joka asennetaan vaakatasoon palveltavan tilan välikattoon, mitoiltaan S1164mm x L1525mm x K500mm, kattaa huoltotila mukaan laskettuna 2,69m² lattiapinta-alan ja painaa 220kg. Puhallinkonvektorille kanavoidaan paluuilma yksikön toiselle puolelle, josta ilma kulkee suodattimen läpi jäähdytyspatterilta ja sähköiseltä lämmittimeltä puhaltimen kautta tuloilmakanavistoon. Yksikköön syötetään lamellipatterille joko kylmää vettä chilleriltä eli kylmävesisäiliöltä tai ilma lämmitetään sähköisellä lämmittimellä riippuen palveltavan tilan ilmanlaadun tarpeesta. Toisin kuin lattiamalliset yksiköt, kattomallinen yksikkö tarvitsee kondenssiveden viemäroitiin kondenssivesipumpun. AFCU-09 puhaltimen teoreettinen ilmankäsittelymäärä/tilavuusvirta: n. 3240m³/h ja teoreettinen kokonaispaine: 800Pa. Yksikkö omaa kaksi puhallinta joita pyörittää kaksi kaksinapaista, tehoiltaan 2x0,82kW, elektronisesti kommutoitua (EC) moottoria.



Kuva 4. AFCU-09 (Koja 2014)

Future-0906 on puhallin- tai AC-huoneeseen sijoitettava puhallinkonvektori ja kooltaan, sekä suorituskyvyltään vertailun suurin. Yksikkö asennetaan pystyasentoon, mutta valmistajalla on myös vaaka-asentoon asennettava malli, sekä vastasuuntaan toimiva pystymalli. Yksikkö on mitoiltaan S1320mm x L910mm x K2570mm, kattaa huoltotila mukaan laskettuna 4,08m² lattiapinta-alan ja painaa 900kg. Puhallinkonvektorille kanavoidaan paluuilma yksikön ala-sivulle. Ilma kulkee suodattimelta lämmitys/jäähdytyspatterin kautta puhaltimelle, josta ilma kulkeutuu tuloilmakanavistoon. Future-0906:den puhaltimen teoreettinen ilmankäsittelymäärä/tilavuusvirta: n. 1,7m³/s, teoreettinen kokonaispaine: 889Pa ja sähköteho: 6,885kW. Puhaltimen pyörimisnopeutta säädetään taajuusmuuttajalla.



Kuva 5. Future-0906 (Koja 2014)

4.3 Teoreettinen vertailutila

Teoreettinen tila luotiin vertailtavia kriteereitä varten, jossa ilmantarve määrittää vertailtavien yksiköiden tarvittavan lukumäärän ja on täten suoraan suhteessa optimoinnissa käytettävään pisteytykseen. Future-0906:den ollessa vertailun tehokkain, määritin teoreettisen tilan ilmamääräntarpeen sen tilan ilmamääräntarpeen mukaisesti jota kyseessä oleva yksikkö palvelee referenssilaitavassa. Arvot saatiin MS5:den ilmamääränmitoitusaulukosta.

Taulukossa 1. näytetään vertailtavien yksiköiden ilmaskäsitelymäärät $\frac{m^3}{h}$ ja palveltavien tilojen ilmanvaihtokertoimet $\frac{ch}{h}$ ja niille laskettiin yksikkökohtaiset ilmamääräarvot V_{ilma} .

Taulukko 1. Vertailtavien yksiköiden ilmaskäsitelymäärät.

	m^3/h	ch/h	V_{ilma}
SFCU-05	1512	10	15120
SFCU-15	2531	9	22777
AFCU09	2304	9	20736
FUTURE-0906	6361	7	44528

Teoreettisen tilan ilmamäärän tarpeeksi määritettiin 44528 m^3/h .

5 VERTAILTAVAT KRITEERIT

Puhallinkonvektorijärjestelmien vertailuun asetettiin vertailukriteerit joiden teoria, tutkimus- ja laskentatavat esitetään tässä luvussa.

5.1 Virtaus ilmakehässä ja painehäviöt

Työssä tutkitaan erilaisten puhallinkonvektorijärjestelmien ilmakehässä syntyviä painehäviöitä. Jotta erilaisten puhallinkonvektorijärjestelmien painehäviöt voitaisiin laskea, on ensin ymmärrettävä miten fluidit käyttäytyvät ilmakehässä.

Ilman virtaus ilmakehässä on joko laminaarista tai turbulentsista. Virtauksen laatu voidaan määrittää Reynoldsin luvulla, joka lasketaan kaavalla 1.

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

Kaava 1. Reynoldsin luvun kaava. (wiki.meteoropolia.fi 2009)

v	Virtaavan aineen virtausnopeus [m/s]
D_h	Virtausputken hydraulinen halkaisija [m]
ν	Kinemaattinen viskositeetti [m ² /s]

Laminaarisessa eli pyörteettömässä virtauksessa ainesosat kulkevat putken pituusakselin suuntaisina virtaviivojen mukaisesti. Pyörteettömässä virtauksessa fluidin hiukkaset etenevät tasaisissa rinnakkaisissa kerroksissa. Kanavan pinnankarheus ei vaikuta laminaarisessa virtauksessa kitkapainehäviöön. Pyöreissä kanavissa ja putkissa virtaus on laminaarista Reynoldsin luvun ollessa alle sen kriittisen rajan eli kun $Re_{krit} = 2320$. (Ville Hämäläinen 2013)

Turbulentsisessa eli pyörteellisessä virtauksessa ainesosat liikkuvat myös poikittain virtaussuuntaan nähden, joka aiheuttaa virtausosasten jatkuvan sekoittumisen. Laminaarinen virtaus muuttuu turbulentsiseksi kun aineen sisäisten viskoosien kyky pitää

virtauksen nopeaa nopeuden ja suunnan muutosta ajan suhteen loppuu. Turbulenttissa virtauksessa kanavan seinämän karheudella on merkitystä kitkapainehäviössä. Turbulenttista virtausmuotoa esiintyy kun $Re_{krit} = 2320$ ylittyy. Virtauksen muuttuminen laminaarisesta turbulenttiseksi ei välttämättä tapahdu välittömästi Reynoldsin luvun kriittisen arvon ylittyessä. Re_{krit} ollessa välillä 2320 – 4000 pidetään virtaustyyppin siirtymisvyöhykkeenä. (Ville Hämäläinen 2013).

5.1.1 Painehäviöt

Ilmastointikanavistossa aiheutuu yleisesti virtauksen painehäviöitä. Kanaviston ja koneiden painehäviöt määrittelevät ilmastointijärjestelmän energiatehokkuuden. Kanaviston painehäviöt ilmaisevat virtauksen kokonaispaineen muutoksen. Ilmakanavien painehäviöt koostuvat kitka- ja kertavastushäviöistä. Ilman ominaisuudet, kanavien muodot ja sisäpinnan karheus vaikuttavat kitkapainehäviöihin. Kanavoiden muodonmuutos ja geometria vaikuttavat kertavastushäviöihin. Kokonaispainehäviöt voidaan laskea kaavalla 2.

$$\Delta p_{häviöt} = \sum \Delta p_{\lambda} + \sum \Delta p_{\zeta}$$

Kaava 2. Kokonaispainehäviöiden kaava. (Esa Sandberg 2016)

$\Delta p_{häviöt}$	Kaikkien virtaussuunnassa peräkkäisten painehäviöiden laskemista yhteen (kokonaispainehäviöt) [Pa]
Δp_{λ}	Kitkapainehäviö yhdellä kanavaosuudella [Pa]
Δp_{ζ}	Kertavastuspainehäviö yhdessä muodonmuutoksessa [Pa]
λ	Kitkavastuskerroin
ζ	Muodonmuutoksen kertavastusluku

Kitkapainehäviöt

Kitkapainehäviöt syntyvät kanavan sisäpuolisen seinämän ja virtaavan aineen välisestä kitkasta, sekä kanavistossa kulkevien fluidien kitkasta eli viskositeetista. Suoran putken kitkavastus turbulentiisessa virtauksessa on suoraan verrannollinen dynaamiseen paineeseen sekä putkipituuteen. Laminaarisessa virtauksessa kitkapaine on suoraan verrannollinen virtausnopeuteen ja kääntäen verrannollinen putken sisähalkaisijaan. Kanaviston kitkapainehäviöt voidaan laskea kaavalla 3. (Ville Hämäläinen 2013).

$$\Delta p_{\lambda} = \lambda * \frac{1}{d} * \frac{1}{2} * \rho * v^2$$

Kaava 3. Kanaviston kitkapainehäviöiden laskentakaava. (Esa Sandberg 2016).

Δp_{λ}	Suoran putken kitkavastusten aiheuttama painehäviö [Pa]
λ	Kanavan kitkavastuskerroin
l	Kanavan pituus [m]
d	Kanavan sisähalkaisija [m]
ρ	Virtaavan aineen tiheys [kg/m ³]
v	Virtausnopeus [m/s]

Laminaarisessa virtauksessa kitkavastuskerroin (λ) riippuu virtauksen Reynoldsin luvusta. Laminaarisessa virtauksessa kanaviston kitkavastuskerroin voidaan määrittää kaavalla 4. (Ville Hämäläinen 2013).

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

Kaava 4. Laminaarisen virtauksen kitkavastuskertoimen määrittävä kaava. (Esa Sandberg 2016).

Turbulenttisessa virtauksessa kitkavastuskertoimen määrittämistä ei voida tehdä yllä olevalla kaavalla, vaan määrittäminen perustuu teoreettisiin tarkasteluihin ja kokeellisiin tutkimuksiin koska se riippuu putkenkarheudesta, sekä Reynoldsin luvusta. Turbulenttisen virtauksen määrittämiseksi johdettu kaava esitetään kaavassa 5. (Ville Hämäläinen 2013).

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg * \left(\frac{2.51}{Re * \sqrt{\lambda}} + \frac{\frac{k}{d}}{3.71} \right)$$

Kaava 5. Turbulenttisen virtauksen kitkavastuskertoimen määrittävä kaava. (Seppänen 1996)

λ Putkijohdon kitkavastuskerroin

Re Virtauksen Reynoldsin luku

$\frac{k}{d}$ Kanavan suhteellinen karheus

Peltikanaville, niiden karheuden k määrittävä arvo on yleisesti 0,015 mm. Likikaava 6. määrittää peltikanavien kitkapainehäviöt. (Ville Hämäläinen 2013).

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

Kaava 6. Turbulenttisen virtauksen kitkapainehäviöiden likikaava aineen virratessa peltikanavassa. (Esa Sandberg 2016).

Kitkavastuskertoimen λ arvo saadaan myös Moodyn käyrästä (liite 1.) Reynoldsin luvun ja suhteen $\frac{k}{d}$ perusteella.

Kertavastuspainehäviöt

Erilaiset kanavaosat aiheuttavat pyörteilyä kanaviston virtaukseen aiheuttaen kertavastuspainehäviöitä. Painehäviö on suurempi mitä enemmän pyörteilyä tapahtuu. Turbulenttisessa virtauksessa kertavastuskerroin määräytyy kanavan geometriasta. Kertavastuksen painehäviöt voidaan laskea kaavalla 7. (Ville Hämäläinen 2013).

$$\Delta p_{\zeta} = \zeta \cdot p_{dyn} = \zeta \cdot \frac{1}{2} \rho v^2$$

Kaava 7. Kertavastuspainehäviöiden laskentakaava. (Esa Sandberg 2016)

Δp_{ζ}	Kertavastuksen aiheuttama painehäviö [Pa]
ζ	Osan kertavastuskerroin
p_{dyn}	Dynaaminen paine kanavassa [Pa]
ρ	Virtaavan aineen tiheys [kg/m ³]
v	Virtausnopeus kanavassa [m/s]

Monilla kanavaosientoimittajilla on viitteelliset kertavastuskertoimet annettu kanavaosilleen. Liitteessä 2. esitetään tyypillisten kanavaosien likimääräisiä kertavastuskertoimia.

5.2 Tilankäyttö

Tilankäyttö esiintyy olennaisena kriteerinä yksiköiden sijoittelun optimoinnissa. Jokainen laivan neliö on käytettävä järkevästi kustannustehokkaan rakentamisen saavuttamiseksi.

Yksiköiden lattiapinta-ala niiden huollon vaatima tilan mukaan lukien on keskeinen kriteeri vertailussa, koska se määrittää yksikön tilantarpeen tilassa johon se on sijoitettu.

Kanavoinnin tilavuus ja täten sen koko, on merkittävä tekijä puhallinkonvektorijärjestelmää suunniteltaessa, koska jokainen kanavametri lisää järjestelmän kokonaispainoa.

5.2.1 Yksikön lattiapinta-ala

Vertailtaviin yksiköiden lattiapinta-ala huollon tilantarve mukaan lukien, saatiin niiden teknisistä piirustuksista. Taulukossa 2. esitetään vertailtaviin puhallinkonvektorimallien yksiköiden lattiapinta-ala huoltotila mukaan lukien.

Taulukko 2. Yksiköiden lattiapinta-ala + huoltotila.

	LATTIAPINTA-ALA (ml. huoltotila) [m ²]
SFCU-05	0,67
SFCU-15	1,55
AFCU09	2,69
FUTURE-0906	4,08

5.2.2 Kanavoinnin tilavuus

Laskin vertailtaviin puhallinkonvektorijärjestelmien kanavoinnin tilavuuden ja käytetyt kanavametrit skemaattisten AC-kaavioiden pohjalta. Pyöreän kanavan tilavuus lasketaan kaavalla 8.

$$V_{kanavointi} = \pi * r^2 * h$$

Kaava 8. Pyöreän kanavan tilavuuden kaava. (Laskurini.fi 2018)

$V_{kanavointi}$ Kanavoinnin tilavuus [m³]

r Kanavan säde [m]

h Kanavan pituus [m]

Taulukossa 3. esitetään vertailtaviin puhallinkonvektorijärjestelmien lasketut kanavoinnin tilavuudet ja kanavametrit.

Taulukko 3. Vertailtaviin järjestelmien kanavoinnin tilavuudet.

SFCU-05	KANAVOINNIN TILAVUUS [m³]	KANAVAMETRIT [m]
PALUUILMA	0,85	33,39
TULOILMA	0,59	24,65
YHTEENSÄ	1,44	58,03
AFCU09	KANAVOINNIN TILAVUUS [m³]	KANAVAMETRIT [m]
PALUUILMA	0,89	28,37
TULOILMA	0,90	44,68
YHTEENSÄ	1,79	73,05
SFCU-15	KANAVOINNIN TILAVUUS [m³]	KANAVAMETRIT [m]
PALUUILMA	4,83	100,46
TULOILMA	3,21	72,63
YHTEENSÄ	8,03	173,09
FUTURE-0906	KANAVOINNIN TILAVUUS [m³]	KANAVAMETRIT [m]
PALUUILMA	5,97	151,19
TULOILMA	7,48	223,73
YHTEENSÄ	13,46	374,93

5.3 Asennus ja huolto

Asennuksen kustannukset voidaan jakaa asennuksen puolelta yksiköiden asennukseen, sähkötöihin ja mahdollisen kondenssivesipumpun asentamiseen, sekä huollon puolelta yksikön suodattimien vaihtoon. Puhallinkonvektoreiden asennusajankohta ja -tapa riippuvat yksikön tyypistä ja sijoituspaikasta.

Puhallinkonvektorit huolletaan ensimmäisen kerran kaksi kuukautta asennuksen jälkeen, jossa yksiköiden suodattimet vaihdetaan ja tehdään yleinen tarkastus. Tämän jälkeen yksiköitä huolletaan puolen vuoden välein riippumatta mallista. (Vesa Heikkilä 2017)

5.3.1 Asennus

Asennuksen kustannuksiin tässä työssä lähestytään yksiköiden hinnan kannalta.

5.3.2 Sähkötyöt

Sähkötöiden laajuus riippuu yksikön tyypistä ja sijoituspaikasta. Yleisesti virta yksiköille ja sen komponenteille otetaan aluekohtaisista sähkökuiluista, joissa kulkee kokoojakiskot sähkönjakokaapeleille. Alueelliset johdonsuojakatkaisijat sähkökuiluissa toimivat laitteiden pistorasioina.

Palveltavalle alueelle sijoitettaville elektronisesti kommutoiduille puhallinkonvektoreille sähkövedot tehdään seuraavasti:

- Aluekohtaiselta johdonsuojakatkaisijalta kaapelit puhallinkonvektorin käynnistimelle
- Käynnistimeltä johdot puhallinkonvektorille ja HVAC I/O automaatiokaappiin, joka on kytköksissä laivan automaatiojärjestelmään

AC-tilaan asennettavalle taajuusmuuttajalla ohjattaville puhallinkonvektorille sähkövedot tehdään seuraavasti:

- Aluekohtaiselta johdonsuojakatkaisijalta kaapelit puhallinkonvektorin käynnistimelle
- Käynnistimeltä kaapelit taajuusmuuttajalle ja puhallinkonvektorille
- Taajuusmuuttajalta kaapelit puhallinkonvektorille ja HVAC I/O automaatiokaappiin

Työ ei ota kantaa millaiselle etäisyydelle yksiköt tai siihen liitettävät komponentit sijoitetaan sähkökuiluista. Koska sähkövetojen määrä ja kaapelien tyypit erilaisille puhallinkonvektoreille ja niiden komponenteille ovat erilaisia, sekä laitteiden alueellisten sähkövetojen kokonaistyön hinta on riippuvainen työn ajankohdasta, olisi tehtävä laajempi kartoitus sähkövedoista ja koska työssä ei käsitellä yksikön ja sen komponenttien tarkkaa sijoituspaikkaa, sähkövetojen hinta olisi laajalti spekulatiivista. Täten vertailun kriteerinä sähkötyöt käsittää vertailtavien yksiköiden sähkökomponenttien hinta jokaista vertailtavaa yksikköä kohden.

5.3.3 Kondenssivesi

Kondenssiveden poistosta ei lattiamallin yksiköille yleisesti tule yksikkökohtaisesti lisäasennuskustannuksia koska puhallinkonvektoreiden yhteyteen asennetaan viemärit

tapauksesta riippumatta. Aluepuhallinkonvektoreissa kondenssivesi viemäröidään harmaavesiputkistoon ja AC-huone puhallinkovektoreissa kondenssivesi viemäröidään kondenssivesijärjestelmän kautta kondenssivesisäiliölle, josta kondenssivesi voidaan uusiokäyttää pesuloissa pesuvetenä.

Kattomallisille puhallinkonvektoriyksiköille, eli vertailtavalle AFCU-09:lle asennetaan kondenssivesipumppu, joka luo asennuskustannuksiin lisän joka ei päde muihin malleihin niiden ollessa lattiamallisia yksiköitä. Kondenssivesipumppu (200€) ja tämän asennus yksikön yhteyteen, luo n. 300€ kustannukset kokonaisuudessaan (pumppu + työ) per kattomallin yksikkö. (Antti Laaksonen 2017)

5.3.4 Asennuksen riski

Asennuksen riski voidaan määrittää yksikön asennuspaikan ja ajankohdan perusteella. AC-huoneeseen asennettavat yksiköt nostetaan lohkon sen ollessa auki, joten riskinä asennuksessa on nostotyöhön liittyvät henkilöriskit. Alueelle sijoitettavissa yksiköissä kattomallin yksikköön liittyy kondenssiveden vuotoriski, meluriski yksikön käydessä korkeilla suoritusarvoilla ja huoltotilan pienuus, jota ei voida välttämättä pitää riskinä mutta voi hankaloittaa huoltotoimenpiteitä. Alueelle sijoitettavissa lattiamallin yksiköissä ei asennuksessa varsinaisesti synny riskejä sen helpon tavoitettavuuden vuoksi. (Jyrki Kotilainen 2018)

5.3.5 Huolto

Puhallinkonvektoreiden huoltotoimenpiteisiin kuuluu yksikön suodattimen/suodattimien vaihto, jotka maksavat 20€ kappale yksikkömallista riippumatta. Puhallinkonvektorit huolletaan ensimmäisen kerran kaksi kuukautta asennuksen jälkeen, jossa yksiköiden suodattimet vaihdetaan ja tehdään yleinen tarkastus. Tämän jälkeen yksiköitä huolletaan puolen vuoden välein riippumatta mallista. (Vesa Heikkilä 2017)

5.3.6 Huollon helppous

Palveltavalle alueelle sijoitettavat yksiköt voidaan joutua huoltamaan matkustajien ollessa tilassa, joka voidaan kokea haittana yksiköiden huollon helppouden kannalta.

Lattiamallin aluepuhallinkonvektorit ovat verrattuna kattomallin yksiköihin helpommin huollettavissa, koska ne ovat yleisesti piilotettu ovellisen sisustusseinän taakse, joka mahdollistaa hyvän tilan huoltotoiminnalle.

Kattomallin yksiköt ovat hieman hankalammin huollettavia, koska yksikön läheisyyteen pääsemiseksi tarvitsee yleisesti tikapuut ja täten pään yläpuolella saranoidun katto-paneelin takana olevaan yksikköön joutuu kurottelemaan huoltotoimenpiteiden tekemiseksi.

AC-huone yksiköt ovat vertailun helpoiten huollettavia, koska sen ympärillä on yleisesti hyvin tilaa toimenpiteille ja se ei sijaitse palveltavalla alueella, eli matkustajien välittömässä läheisyydessä. (Jyrki Kotilainen 2018).

5.4 Melu

Yksiköiden melutaso nähtiin olennaiseksi osaksi vertailun kriteerejä sen ollessa suorassa vaikutuksessa palveltavan tilan käyttömukavuuteen. Yksiköiden melumittauksissa käytetään eri taajuuksia eri tavoin painottavia suodatuksia. Tällä painotuksella on tarkoitus kuvata tarkemmin äänen vaikutusta ihmiseen. Yleisin on ns. A-suodatin, jolloin melutason mittaukseen käytetään merkintää dB (A) (Wikipedia 2017)

Yksiköiden melutasot dB (A) mitattiin MS6 (New MS1) koematalla. Melutasot mitattiin desibelimittareilla liitteen 3. mukaisesti tuloilmakanavien päätelaitteiden kohdilta yksiköiltä, jotka eivät olleet suoraan matkustajien vaikutusalueella eli välittömässä läheisyydessä ja vaikutusalueella olevien yksiköiden melutasot mitattiin lähimmän istumapaikan kohdalta. Ennen suoritusta raitisilmansyöttö tai systeemiin kytketty ilmankäsittelykone suljettiin, jotta ilmankäsittelykoneen melu ei häiritsisi mittaustulosta.

Melutasot mitattiin yksiköiden suoritusarvojen ollessa 100%, 75% ja 50%. Yksiköiden SFCU-05 ja SFCU-15 meluarvot mitattiin kahdessa eri tarkastelupisteessä ja AFCU09, sekä FUTURE-0906 meluarvot mitattiin yhdessä tarkastelupisteessä liitteen 3. mukaisesti.

Kahdessa eri tarkastelupisteessä mitattujen yksiköiden melutasot eri suoritusarvoilla laskettiin yhteen ja jaettiin kahdella, jolloin niille saatiin määritettyä melun suoritusarvopohjainen keskiarvo.

Taulukko 4. Vertailtavien yksiköiden melutasot mitattuna eri tarkastelupisteistä ja eri suoritusarvoilla.

	1, dB (A)	2, dB (A)	dB (A) ka.
SFCU-05			
100 %	42	44	43
75 %	40	41	40,5
50 %	39	40	39,5
SFCU-15			
100 %	47	45	46
75 %	45	44	44,5
50 %	43	41	42
AFCU09			
100 %		49	49
75 %		47	47
50 %		45	45
FUTURE-0906			
100 %	43		43
75 %	41		41
50 %	50		40

Suoritusarvopohjaisten melutasojen keskiarvot laskettiin yhteen ja jaettiin kolmella, jolloin niille saatiin määritettyä yksikön keskimääräinen melutaso tilassa. Tämän toteutettiin esimerkkikaavalla 8.

$$\begin{aligned} & ((db(A)100\%(1)_{SFCU-05} + db(A)100\%(2)_{SFCU-05}/2) + (db(A)75\%(1)_{SFCU-05} \\ & + db(A)75\%(2)_{SFCU-05}/2) + (db(A)50\%(1)_{SFCU-05} \\ & + db(A)50\%(2)_{SFCU-05}/2))/3 \end{aligned}$$

Kaava 8. Yksikön keskimääräisen melutason määrittävä laskukaava.

$$db(A)x\%(x)_x$$

$db(A)$ melutaso

$x\%$ suoritusarvo prosentteina

$(x)_x$ tarkastelupiste_{yksikkö}

6 PUHALLINKONVEKTOREIDEN SIOITTELUN OPTIMOINTI

Vertailtavien puhallinkonvektoriyksiköiden ja järjestelmien kriteereiden vertailuarvot lasketaan tässä luvussa. Lopuksi tehdään tulosten yhteenveto, jossa asiantuntijapohjaisista painoarvoista ja lasketuista kriteereiden vertailuarvoista lasketaan teoreettisen vertailutilan systeemien pisteet.

6.1 Virtaus ilmakehässä ja painehäviöt

Virtauksen ilmakehässä osoitettiin olevan turbulenttista, koska virtauksen Re_{krit} ylitti reilusti turbulentsisuuden raja-arvon (4000) jokaisessa lasketussa tapauksessa.

Puhallinkonvektoreiden kanavistoissa aiheutuneet painehäviöt laskettiin luvussa viisi olevia kaavoja (2,3,6 & 7) ja valmistajan ohjeellisia kanavaosien painehäviökäyriä käyttäen. Tulokset esitetään taulukossa 5. Painehäviölaskelmataulukot näytetään liitteessä 4.

Taulukko 5. Kanaviston painehäviöt.

	TULOILMA [Pa]	PALUUILMA [Pa]	SUMMA [Pa]
SFCU-05	137,63	98,58	236,21
AFCU09	293,44	106,55	399,99
SFCU-15	283,88	666,6	950,48
FUTURE-0906	941,91	538,67	1480,58

Tuloksille asetettiin vertailuarvot kymmenestä (10) alaspäin, esim. Future-0906:den ilmakehäviston painehäviöiden summalle $\Delta p_{FUTURE-0906}=1480,58\text{Pa}$ annoin arvon 10 ja SFCU-05 ilmakehäviston painehäviöiden summalle $\Delta p_{SFCU-05}=236,21\text{Pa}$ annoin arvon 1,6. Tämän toteutin kaavalla 8.

$$\frac{\Delta p_{SFCU-05}}{\Delta p_{FUTURE-0906}} * 10$$

Kaava 8. Painehäviöiden vertailuarvon määrittävä kaava.

$\Delta p_{SFCU-05}$ SFCU-05 ilmakehän painehäviöiden summa

$\Delta p_{FUTURE-0906}$ Future-0906 ilmakehän painehäviöiden summa

Osoittajaa vaihtamalla muihin vertailtavien yksiköiden laskettu $\Delta p_{häviöt}$, saatiin tuloksena pyöristetyt vertailuarvot jotka esitetään taulukossa (?), yhden (1) ollessa kanavoinnin painehäviöiden summaltaan vertailun pienin ja vastaavasti kymmenen (10) ollessa vertailun suurin:

Taulukko 6. Vertailtavien järjestelmien kanaviston painehäviöiden vertailuarvot.

	PAINEHÄVIÖIDEN SUMMA [Pa]	VERTAILUARVO
SFCU-05	236,21	1,60
AFCU09	399,99	2,70
SFCU-15	950,48	6,42
FUTURE-0906	1480,58	10

6.2 Tilankäyttö

Puhallinkonvektoriyksiköiden ja niiden kanavoinnin tilavuudet, sekä lasketut vertailuarvot esitetään seuraavissa ala-luvuissa.

6.2.1 Yksikön tilankäyttö

Yksiköiden tilankäytölle, eli tässä työssä lattiapinta-alalle asetettiin vertailuarvot kymmenestä (10) alaspäin. Koska työssä keskitytään matkustajaristeilijän yleistiloihin, yksikkökohtaiset vertailuarvot määritetään sen mukaisesti. Future-0906 ollessa AC-huoneeseen sijoitettava yksikkö, sen tilankäyttö ei vaikuta palveltavaan tilaan, mutta vie tilaa muilta applikaatioilta. Tämän syy takia esim. $A_{Future}=4,08m^2$ annoin vertailuar-

von 1 ja koska AFCU-09 ei vie käytä tilan lattiapinta-alaa sen ollessa välikattoon sijoitettava malli, annoin sille vertailuarvon 1. $A_{SFCU-15}=1,55\text{m}^2$ annoin vertailuarvon 10 ja $A_{SFCU-05}=0,67\text{m}^2$ laskin arvon 0,84. Tämän toteutin kaavalla 9.

$$\frac{A_{SFCU-05}}{A_{SFCU-15}} * 10$$

Kaava 9. Yksikön lattiapinta-alan vertailuarvon määrittävä kaava.

$A_{SFCU-05}$ SFCU-05 yksikön lattiapinta-ala

$A_{SFCU-15}$ Future-0906 lattiapinta-ala

Yksiköiden laskettu tilavuus ja niille lasketut vertailuarvot esitetään taulukossa 7.

Taulukko 7. Vertailtavien yksiköiden lattiapinta-alat ml. huoltotila ja vertailuarvot.

	LATTIAPINTA-ALA (ml. huoltotila) [m ²]	VERTAILUARVO
SFCU-05	0,67	4,32
SFCU-15	1,55	10
AFCU09	2,69	1
FUTURE-0906	4,08	1

6.2.2 Kanavoinnin tilavuus

Luvun 5.2.2, taulukon 6. tuloksille asetettiin vertailuarvot kymmenestä (10) alaspäin, esim. $V_{kFuture} \approx 13,46\text{m}^3$ annoin arvon 10 ja $V_{kSFCU-05} \approx 1,44\text{m}^3$ annoin arvon 1,0. Tämän toteutin kaavalla 10.

$$\frac{V_{kSFCU-05}}{V_{kFuture}} * 10$$

Kaava 10. Kanavoinnin tilavuuden vertailuarvon määrittävä kaava.

$V_{kSFCU-05}$ SFCU-05 kanavoinnin tilavuus

$V_{kFuture}$ Future-0906 kanavoinnin tilavuus

Osoittajaa vaihtamalla muihin vertailtavien yksiköiden laskettu V_k , saatiin tuloksena pyöristetyt vertailuarvot jotka esitetään taulukossa 8, yhden (1) ollessa kanavoinnin tilavuudeltaan vertailun pienin ja vastaavasti kymmenen (10) ollessa vertailun suurin:

Taulukko 8. Vertailtavien järjestelmien kanavoinnin tilavuuden vertailuarvot.

	KANAVOINNIN TILAVUUS [m ³]	VERTAILUARVO
SFCU-05	1,44	1
AFCU09	1,79	1,3
SFCU-15	8,03	6
FUTURE-0906	13,46	10

6.3 Asennus ja huolto

Asennukseen ja huoltoon liittyvät vertailuarvot lasketaan seuraavissa alakappaleissa. Asennuksen kustannukset koostuvat yksiköiden ja niiden komponenttien hinnoista. Lukujen 6.3.1, 6.3.2, 6.3.3 kustannukset summataan luvussa 6.3.4 ja vertailtavalle kriteerille ”asennuksen kustannukset”, luodaan yksikkökohtaiset vertailuarvot.

6.3.1 Asennus

Asennuksen kustannuksissa huomioidaan yksiköiden hinta. Taulukossa 9. esitetään yksiköiden suurpiirteiset hinnat.

Taulukko 9. Yksiköiden hinnat.

	HINTA (€)
SFCU-05	8000
SFCU-15	12500
AFCU09	10000
FUTURE-0906	14000

6.3.2 Sähkötyöt

Kappaleen 5.3.4 mukaisesti sähkötyöt vertailtavana kriteerinä käsittävät vertailtavien yksiköiden sähkökomponenttien hinnat jokaista vertailtavaa yksikköä kohden. Vertailutaulukossa 10. esitetään yksiköiden yhteyteen asennettavat komponentit ja niiden hintojen summat.

Taulukko 10. Yksiköiden sähkökomponentit ja vertailuarvot.

	KÄYNNISTIN (€)	TAAJUUSMUUTTAJA (€)	YHTEENSÄ (€)
SFCU-05	800	1500	2300
SFCU-15	1200		1200
AFCU09	1200		1200
FUTURE-0906	1200		1200

6.3.3 Kondenssivesi

Kuten otsikossa 5.3.3. kerrottu, kondenssiveden poistosta vain vertailun AFCU-09:lle asennetaan kondenssivesipumppu. Täten yksiköiden kondenssiveden poistossa kyseessä olevalle vertailtavalle yksikölle voidaan lisätä asennuskustannuksiin summan 300€.

6.3.4 Asennuksen kustannukset

Asennuksen kustannuksille asetettiin vertailuarvot kuten aikaisemmissa vertailuarvolaskuissa. Taulukossa 11. esitetään yksikkökohtaiset vertailuarvot kriteereiden asennus, sähkötyöt ja kondenssiveden poiston summalle.

Taulukko 11. Asennukset kustannukset ja vertailuarvot.

	YKSIKKÖ (€)	KÄYNNISTIN (€)	TAAJUUSMUUTTAJA (€)	KONDENSSESIVESIPUMPPU (€)	YHTEENSÄ (€)	VERTAILUARVO
SFCU-05	8000	1200			9200	5,64

(jatkuu)

Taulukko 11 (jatkuu).

SFCU-15	12500	1200			13700	8,4
AFCU09	10000	1200		300	11500	7,06
FUTURE-0906	14000	800	1500		16300	10

6.3.5 Asennuksen riski

Yksiköiden asentamiseen liittyvät riskit voidaan määrittää sen perusteella, millaisia riskejä erilaisten mallien asentamiseen liittyy. Taulukossa 12. esitetään yksikkökohtaiset asiantuntijalausuntoihin pohjautuvat asennukseen liittyvät riskit. Yksikön ja riskityypin risteäville soluille on asetettu kirjain "X", mikäli riski on olennainen tai mahdollinen. Vertailuarvo määräytyy annettujen "X" merkkien perusteella, jossa eniten merkkejä saaneelle vertailtavalle yksikölle on annettu vertailuarvoksi (10).

Taulukko 12. Asennuksen riskit ja vertailuarvot.

	HENKILÖRIS- KI	MELURISKI	KONDENSsirIS- KI	VERTAILUARVO
SFCU-05				1
SFCU-15				1
AFCU09		X	X	10
FUTURE-0906	X			5

6.3.6 Huolto

Huollon kustannukset per yksikkö voidaan laskea sen suodattimien määrän mukaisesti. Taulukossa 13. esitetään yksiköiden suodattimien määrät, määrän ja suodattimen hinnan summa (määrä x 20€), sekä lasketut vertailuarvot jossa kalleimman huollon omaavalle yksikölle on annettu arvoksi (10).

Taulukko 13. Puhallinkonvektoreiden suodattimien määrä ja hinta, sekä vertailuarvo.

SUODATTIMIA	HINTA/HUOLTO (€)	VERTAILUARVO
--------------------	-------------------------	---------------------

(jatkuu)

Taulukko 13 (jatkuu).

SFCU-05	2	40	10
SFCU-15	1	20	5
AFCU09	1	20	5
FUTURE-0906	1	20	5

6.3.7 Huollon helppous

Huollon helppoudelle voidaan antaa arvot kokemuspohjaisten asiantuntijalausuntojen pohjalta. Sovelsin luvussa 5.3.6 esitettyjä argumentteja loogisten vertailuarvojen luomiseen vertailtavien yksiköiden huollon helppoudelle. Taulukossa 14. esitetään yksiköiden sijainti, malli ja yksikkökohtaiset vertailuarvot, jossa vaikeinten huollettavan yksikön vertailuarvoksi annoin arvon (10).

Taulukko 14. Huollon helppous; yksiköiden sijainti, malli ja vertailuarvo.

	SIJAINTI	MALLI	VERTAILUARVO
SFCU-05	Alue	Lattia	5
SFCU-15	Alue	Lattia	5
AFCU09	Alue	Katto	10
FUTURE-0906	AC-huone	Lattia	1

6.4 Melu

Vertailtaville yksiköille laskettiin vertailuarvot kymmenestä (10) alaspäin kuten muissa kriteereissä. Taulukossa 15. esitetään yksiköiden keskiarvoiset melutasot ja niiden lasketut vertailuarvot.

Taulukko 15. Vertailtavien yksiköiden keskiarvoiset melutasot ja vertailuarvot.

	dB (A) kok. ka.	VERTAILUARVO
SFCU-05	41,00	8,72
SFCU-15	44,17	9,4
AFCU09	47,00	10
FUTURE-0906	41,33	8,8

6.5 Teoreettinen vertailutila

Luvussa 4.3 teoreettisen vertailutilan ilmamäärän tarpeeksi V_{ilma} määritettiin $44528\text{m}^3/\text{h}$. Ilmamäärätarpeen pohjalta tein viisi erilaista systeemivaihtoehtoa joissa ilmamäärän tarve tyydytetään erilaisilla yksikkökokoonpanoilla. Kokoonpanojen yhteenlaskettu ilmamääräntarpeen tyydytys jokaisessa tapauksessa ylitti tai alitti ilmamääräntarpeen kohdearvon, mutta kokoonpanovalinnat ja täten näiden ilmamääräntarpeen tyydytyskyvyn summat pyrittiin pitämään mahdollisimman lähellä kohdearvoa, mutta kuitenkin siten että viisi kokoonpanovaihtoehtoa saatiin luotua. Taulukossa 16. esitetään systeemivaihtoehdot V1-V5, niiden yksikkökokoonpanot ja ilmamääräntarpeen tyydytyskyky prosentteina verrattuna kohdearvoon.

Taulukko 16. Systeemivaihtoehdot ja niiden kokoonpanot

		V1	V2	V3	V4	V5
	V_{ilma}	44528	44528	44528	44528	44528
SFCU-05	15120	3			2	
SFCU-15	22777		1	2		
AFCU09	20736		1		1	
FUTURE-0906	44528					1
	%	102	98	102	114	100

6.6 Asiantuntijapohjaiset painoarvot

Tein kyselyn telakalla toimiville HVAC-asiantuntijoille, jossa esitin osan tutkinnan alla olevista kriteereistä. Kysely lähetettiin yhdeksälle telakan sisäiselle toimijalle joilla on vahva tieto ja osaaminen liittyen laivojen ilmastointijärjestelmiin.

Vastanneet ilmaisivat mielipiteensä painoarvona (1-10) jokaiselle kriteerille jotka toimivat kertoimina vertailuarvoille, yksi (1) tarkoittaen epämieluisinta, eli vähiten painavinta arvoa ja kymmenen (10) tarkoittaen mieluisinta, eli asiantuntijan mielestä painavinta arvoa kriteerille.

Asiantuntijapohjaiset painoarvot kriteereille saatiin kerättyä kahdeksalta vastanneelta. Kerätyt painoarvot käännettiin tavalla $10=1$ ja $1=10$, jolloin painoarvoista saatiin tehtyä kertoimet kriteereiden matemaattisten faktojen ja loogisten oletusten vertailuarvoille.

Taulukossa 17. esitetään asiantuntijoiden ilmoittamat painoarvot jokaiselle kriteerille käännettynä ja niiden keskiarvo per kriteeri kahden desimaalin tarkkuudella.

Taulukko 17. Asiantuntijapohjaiset painoarvot käännettynä.

Kriteeri	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6	AT7	KESKIARVO
Kanaviston painehäviöt	6	6	4	6	3	6	5	5,14
Tilankäyttö (yksikkö)	2	6	5	5	3	6	1	4
Tilankäyttö (kanavisto)	2	6	8	8	1	3	3	4,43
Tilankäyttö (sijainti)	1	1	10	10	10	10	10	7,43
Asennuksen hinta	5	1	8	9	7	9	6	6,43
Asennuksen riski	3	1	9	1	9	2	3	4
Huollon määrä	4	7	10	3	6	6	4	5,71
Huollon helppous	5	6	9	2	5	3	4	4,86
Melu	4	1	9	4	3	3	3	3,86

6.7 Tulosten yhteenveto

Teoreettisen vertailutilan systeemivaihtoehdot listattiin yksittäin ja kokoonpanossa olevien yksiköiden vertailuarvot vertailukriteereittäin laskettiin yhteen. Esimerkiksi kriteerin ”kanaviston painehäviöt” yksikkökohtainen vertailuarvo vertailusysteemissä V1 laskettiin kaavalla 11.

$$Painehäviöt_{SFCU-05} * 3$$

Kaava 11. Yksikkökohtaisen vertailuarvon ja vertailusysteemin V1 yksiköiden tulo.

$$Painehäviöt_{SFCU-05} \quad SFCU-05 \text{ kanaviston painehäviöiden vertailuarvo}$$

Yksikkökohtaisen vertailuarvon ja vertailusysteemin V1 yksiköiden tulo kerrottiin asiantuntijapohjaisten vertailukriteerille annettujen painoarvojen keskiarvon kanssa.

Taulukossa 18. esitetään vertailusysteemit, niille lasketut vertailuarvojen summat kriteereittäin, sekä vertailusysteemin kriteerien vertailuarvojen summien ja asiantuntijapohjaisten vertailukriteerille annettujen painoarvojen keskiarvojen tulot summattuna

liikarvona taulukon alimpaan riviin vertailusysteemeittäin.

Taulukko 18. Vertailusysteemit ja niiden pisteytys.

		V1	V2	V3	V4	V5
Kriteeri	AT ka.	3x SFCU-05	SFCU-15 & AF-CU09	2x SFCU-15	AFCU09 & 2x SFCU-05	FUTURE-0906
Kanaviston painehäviöt	5,14	4,8	9,12	12,84	15,54	10
Tilankäyttö (yksikkö)	4,43	12,96	11	20	9,64	1
Tilankäyttö (kanavisto)	4	3	7,3	12	3,3	10
Asennuksen hinta	6,43	25,2	15,46	16,8	18,34	10
Asennuksen riski	4	3	11	2	11	5
Huollon määrä	4,86	30	10	10	15	5
Huollon helppous	5,71	15	15	10	20	1
Melu	3,86	26,16	19,4	18,8	27,44	8,8
\approx AT ka. _{kriteeri} * V _x		601	477	497	591	244

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Taulukko 18. osoittaa yhden puhallinkonvektoriyksikön systeemivaihtoehdon "V5", eli AC-huoneesta tilaa palveleva FUTURE-0906:den olevan paras mahdollinen, eli optimi vaihtoehto puhallinkonvektoreiden sijoittamiselle. V5 voittaa seuraavaksi parhaan systeemivaihtoehdon "V2" 233:llä pisteellä eli, vaihtoehdon "V2" pisteet ovat hieman yli kaksinkertaiset verrattuna vaihtoehtoon "V5". Eniten pisteitä saanut ja täten ns. huonoin systeemivaihtoehto "V1" on pisteiltään 2,46 kertaa suurempi kuin vertailun paras systeemivaihtoehto.

Taulukosta 18. voi huomata että asennuksen hinta, huollon määrä ja melu kattavat suurimman osan systeemivaihtoehtojen pisteytyksessä. Mikäli asiantuntijoiden painoarvojen keskiarvo (AT ka.) olisi asennuksen hinnassa pienempi, voisivat muut systeemivaihtoehdot olla kilpailukykyisemmässä asemassa voittaja systeemivaihtoehtoa vastaan. Ko. taulukko on kuitenkin saatavilla telakan sisäisille toimijoille, muokattavissa ja täten erilaisilla painoarvoilla voidaan vaikuttaa systeemivaihtoehtojen pisteytykseen.

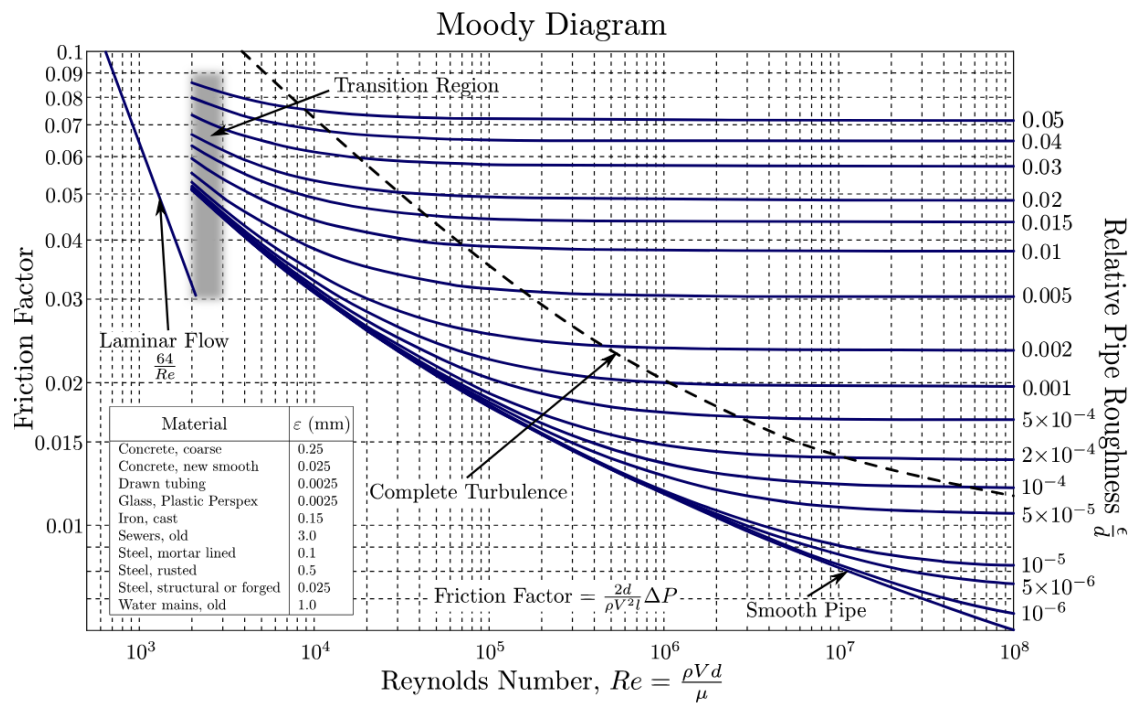
Opinnäytetyön aihe ja siihen liittyä tiede, eli ilmastointi yleisesti, ilmanvaihto ja laivan ilmastointijärjestelmät ennen työn aloittamista olivat minulle suhteellisen tuntematon tekniikan alue. Ennen opinnäytetyön aloittamista oli opittava yleinen tietämys ja ymmärrys ilmastoinnista ja siihen liittyvistä laitteista, mutta päästyäni ns. jyvälle aiheesta, oli kirjoittamisen aloittaminen helppoa.

Vaikka opinnäytetyön lopputuloksen idea ja tutkimustavat olivat aluksi hämärät, sain mielestäni koottua työn, jossa tutkimuksen kohteet ja kriteerit voidaan perustella järkevästi. Joillekin työn tutkimustavat voisivat vaikuttaa epäolennaisilta tai lopputulos epätoivotulta, mutta uskon että työtä ja sen tutkimustuloksia voidaan käyttää tulevaisuuden puhallinkonvektorijärjestelmien suunnittelussa puhallinkonvektoriyksiköiden sijoittelun optimoinnin työkaluna.

LÄHTEET

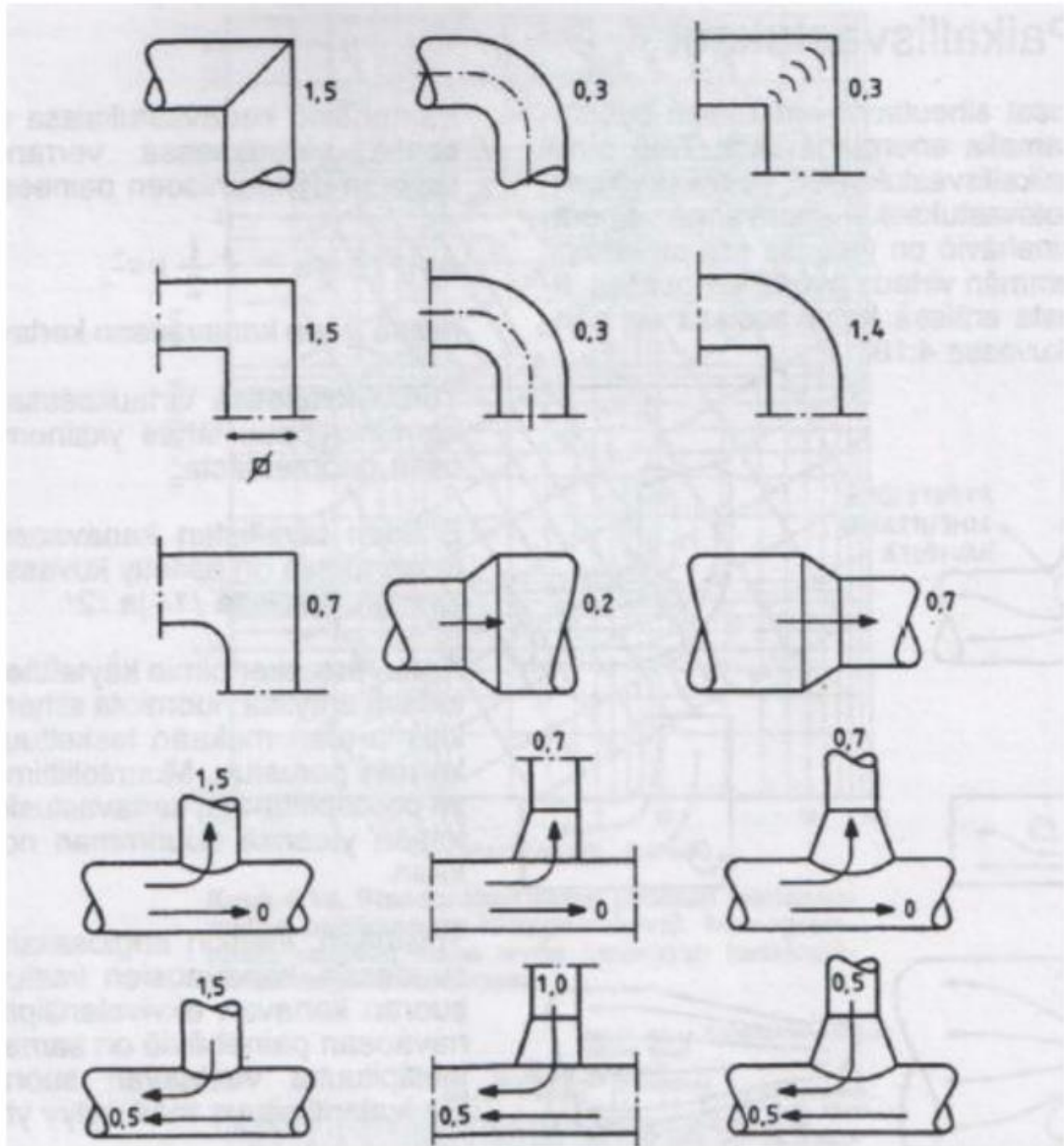
- Wiki metropolia: 4. Putkivirtaus, elokuu 2009.
<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus>. Viitattu 2.3.2018
- Wikipedia: Air handler, toukokuu 2016. https://en.wikipedia.org/wiki/Air_handler. Viitattu 8.7.2016.
- Wikipedia: Fan coil unit, toukokuu 2016. https://en.wikipedia.org/wiki/Fan_coil_unit. Viitattu 10.7.2016.
- Wikipedia: Moody chart, maaliskuu 2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Moody_chart. Viitattu 7.6.2018.
- Wikipedia: Desibeli, marraskuu 2017. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Desibeli>. Viitattu 7.6.2018.
- Koja Oy: Air handling units, 2018. <http://www.koja.fi/uploads/materialbank/pdf/Air-Handling-Unit-Future.pdf>. Viitattu 7.6.2018.
- Laskurini: Lieriön tilavuus ja pinta-ala -laskuri, 2018.
<https://www.laskurini.fi/matematiikka/lierion-tilavuus-pinta-ala>. Viitattu 7.6.2018.
- Seppänen, O. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Kirjapaino Kiitorata Oy.
- Sandberg, E 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- Koja Oy 2015. Description of Air conditioning system. Project NB1389, TUI.
- Hämäläinen, V. 2013. Ilmanvaihtokanavien kitkapainehäviöt. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Satakunta: Satakunnan ammattikorkeakoulu.
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61918/Ilmanvaihtokanavien+kitkapainehaviot_ville+hamalainen.pdf;jsessionid=42D06208A3D29D86A134005ACA452BB0?sequence=1. Viitattu 2.3.2017.
- Matilainen, M. 1998. Sisäilmasto merellä. Diplomityö. Energiatekniikan osasto. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.
- Mylius, C. 1998. Risteilyaluksen ilmastointisuunnitteluprosessin kehittäminen. Diplomityö. Kone-tekniikan osasto. Helsinki: Helsingin teknillinen korkeakoulu.
- Laaksonen, Antti (2018). Meyer Turku Oy systeemivastuullinen, insinööri. Haastattelu Turussa 5.2.2018.
- Kotilainen, Jyrki (2018). Meyer Turku Oy LVI varustelun työjohtaja, ilmastointiasentaja. Haastattelu Turussa 4.5.2018.
- Heikkilä, Vesa (2018). Meyer Turku Oy Technical Team Leader, insinööri. Haastattelu Turussa 4.5.2018.

Moodyn käyrästä



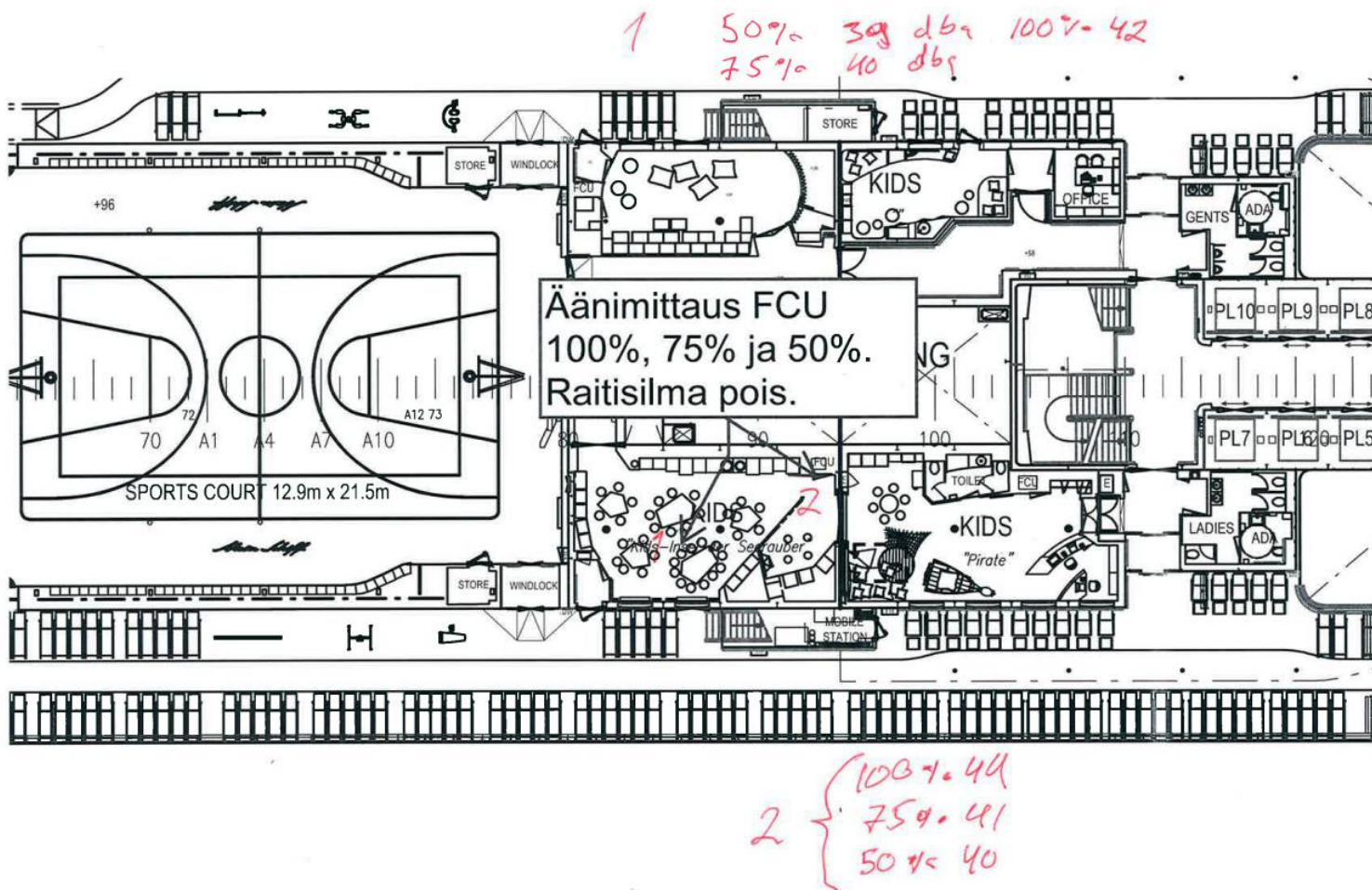
Kuvio 1. Moodyn käyrästä (Wikipedia 2018)

Kertavastuskertoimet

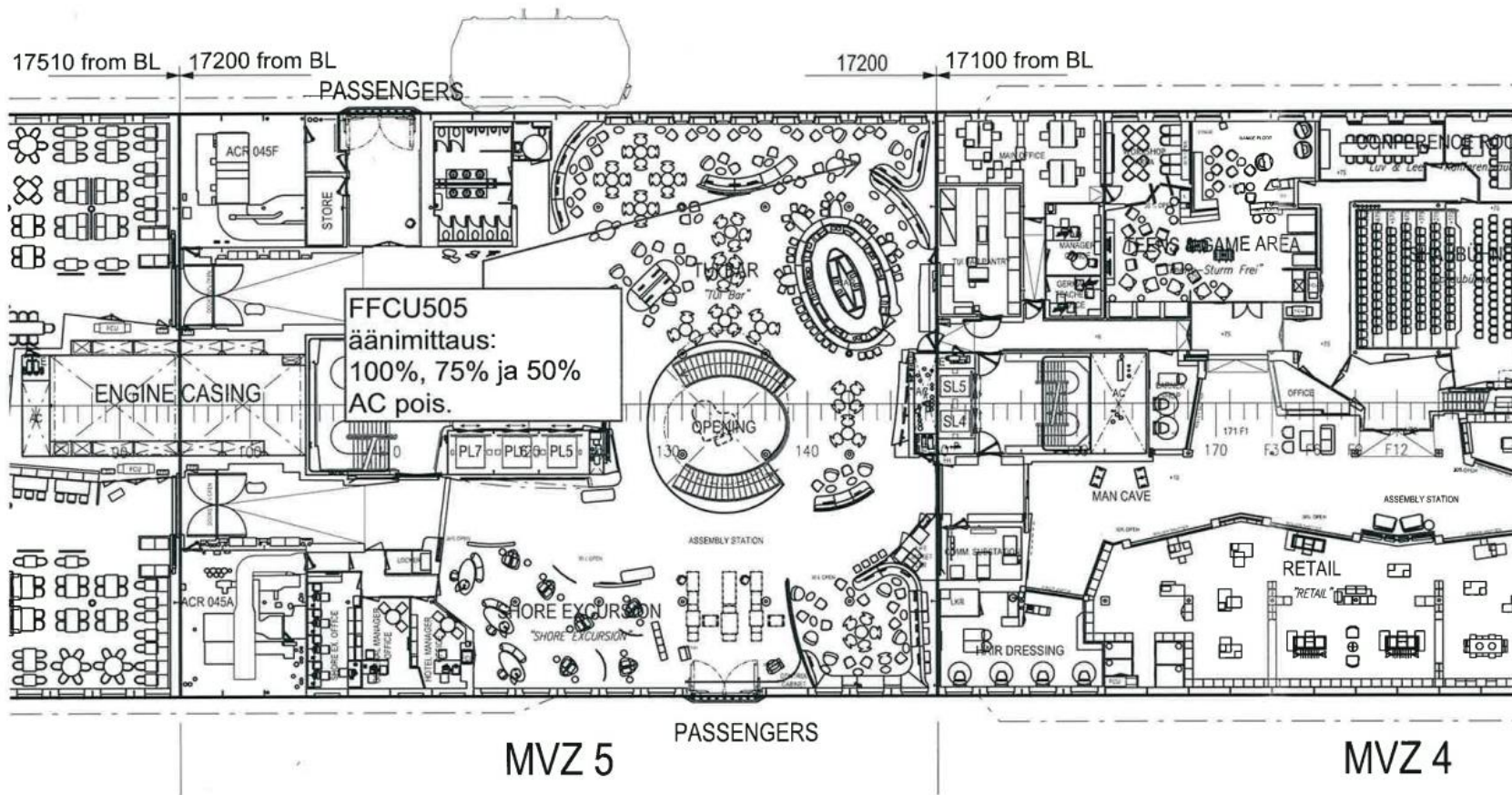


Kuvio 2. Kanavaosien likimääräisiä kertavastuskertoimia (Seppänen 1996)

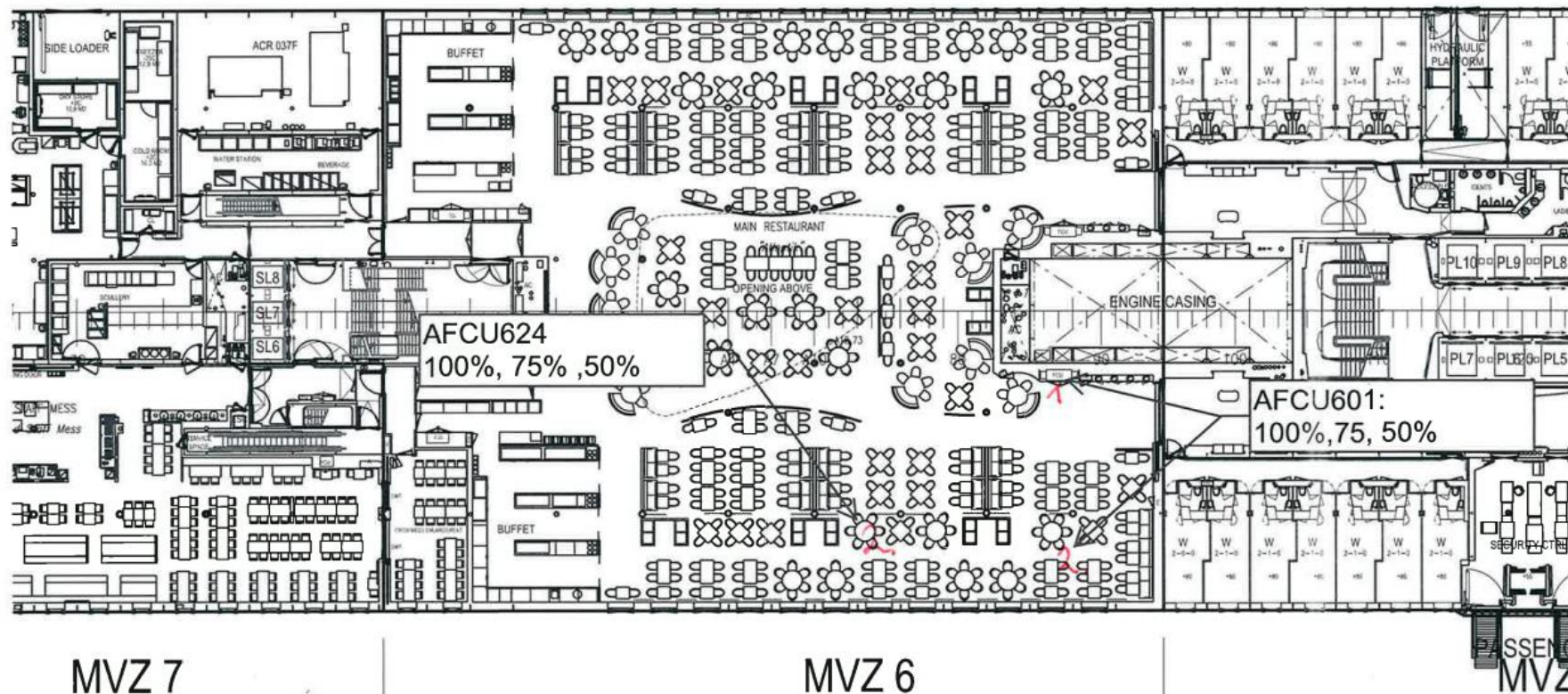
Melutasojen mittaus



FFCU505 100% 75% 50%
 43 41 40



	100%	75%	50%	
2 {	AFCU 601	45	44	41
	AFCU 624	49	47	45
1,	AFCU 601	47	45	43



MVZ 7

MVZ 6

SSEN
MVZ

Aluearvo: 150 1/4 /4

Lähys 8																																									
1	Katava EK 012	0,012271846					0,0975	0,537	0,072		0,465	1,05774907			0,036862024	0	0	0,551-08	0	0,21359208						125	125			0,125				2,531-08							
2	Katava EK 012	0,012271846					0,0975				0,056101947	1,05774907			0,036862024	0,225	0,817255583	0,536-08	0	0,811019607						125	125			0,125				2,531-08							
3	Katava EK 012	0,012271846					0,0975	1,318	0,1		1,318	1,05774907			0,036862024	0	0	0,551-08	0	0,559474779						125	125			0,125				2,531-08							
4	Sijutus 012-016	0,012271846	0,020106193	1,6384	0,01818992	1,6384	0,0975	0,6697	0,071		0,071	1,05774907	2,460435948	3,032429054	0,225	0,817255583	0,836-08	0,817255583	0,00786089						125	125	160	160	0,125	0,18	0,1425		2,866-08								
Lähys 10																																									
1	Katava EK 015	0,012271846					0,0975	0,76	0,166	0,071	0,533	1,05774907			0,036862024	0	0	0,551-08	0	0,21359208					125	125			0,125				2,531-08								
2	Sijutus 012-016	0,012271846	0,020106193	1,6384	0,01818992	1,6384	0,0975	0,6697	0,071		0,071	1,05774907	2,460435948	3,032429054	0,225	0,817255583	0,536-08	0,817255583	0,00786089						125	125	160	160	0,125	0,18	0,1425		2,866-08								
3	Katava EK 016	0,010106193					0,075	0,1			0,1	1,71119129			0,09525412	1,5	11,4914811	0,301-08	11,4914811	0,030645942						160	160			0,16				3,905-08							
4	Sijutus 016-020	0,020106193	0,021411927	1,5623	0,02276106	1,5623	0,075	0,06609375	0,071		0,071	1,71119129	3,058750663	5,013664042	0,225	1,243360945	0,836-08	1,243360945	0,023874154						160	160	200	200	0,16	0,2	0,18		4,841-08								
Lähys 11																																									
1	Katava EK 012	0,012271846					0,0975	1,409		0,071	1,408	1,05774907			0,036862024	0	0	0,551-08	0	0,811019607					125	125			0,125				2,531-08								
2	Sijutus 012-016	0,012271846	0,020106193	1,6384	0,01818992	1,6384	0,0975	0,6697	0,071		0,071	1,05774907	2,460435948	3,032429054	0,225	0,817255583	0,536-08	0,817255583	0,00786089						125	125	160	160	0,125	0,18	0,1425		2,866-08								
3	Katava EK 013	0,000106193					0,075	0,1			0,1	1,82669898			2,24806613	1,5	3,3733984	0,836-08	3,3733984	0,033880916						160	160			0,16				3,976-08							
4	Katava EK 015	0,010106193					0,075	0,78	0,094	0,166	0,178	1,71119129			0,09525412	0	0	0,301-08	0	0,324267604						160	160			0,16				3,905-08							
5	Katava EK 016	0,010106193					0,075	0,105			0,105	1,71119129			0,09525412	0,225	2,06623624	0,301-08	2,06623624	0,034343568						160	160			0,16				3,905-08							
6	Sijutus 016-020	0,020106193	0,021411927	1,5623	0,02276106	1,5623	0,075	0,105	0,071		0,071	1,71119129	3,058750663	5,013664042	0,225	1,243360945	0,836-08	1,243360945	0,023874154						160	160	200	200	0,16	0,2	0,18		4,841-08								
Lähys 13																																									
1	Katava EK 012	0,012271846					0,0975	0,947	0,1	0,071	0,776	1,05774907			0,036862024	0	0	0,551-08	0	0,811019607					125	125			0,125				2,531-08								
2	Sijutus 012-016	0,012271846	0,020106193	1,6384	0,01818992	1,6384	0,0975	0,6697	0,071		0,071	1,05774907	2,460435948	3,032429054	0,225	0,817255583	0,536-08	0,817255583	0,00786089						125	125	160	160	0,125	0,18	0,1425		2,866-08								
Lähys 14 - 1412																																									
1	Katava EK 012	0,014192927					0,15	0,143			0,143	1,72644833			14,25843264	1,2	21,1079901	0,506-08	21,1079901	0,17775214						200	200			0,2				6,311-08							
2	Katava EK 020	0,014192927					0,15	1,013	0,115	0,1485	0,7915	1,72644833			14,79883268	0	0	0,606-08	0	0,60682218						200	200			0,2				6,311-08							
3	Katava EK 012	0,014192927					0,15				0,14719755	1,72644833			14,73813268	0,3	4,42152903	0,606-08	4,42152903	0,06417321						200	200			0,2				6,311-08							
4	Katava EK 020	0,014192927					0,15	1,71	0,115	0,6	1,165	1,72644833			14,73813268	0	0	0,606-08	0	1,80725681						200	200			0,2				6,311-08							
5	20000	0,014192927					0,15																			200	200			0,2				6,311-08							
Lähys 14 - 1410																																									
1	Katava EK 020	0,014192927					0,15	1,988	0,125		1,861	1,24777954			35,2297886	0	0	7,951-08	0	3,21554068						450	450			0,2149871				1,971-08							
2	Katava EK 020	0,014192927					0,15				0,26244441	1,24777954			35,2297886	0,3	16,5898908	7,951-08	16,5898908	0,04939765						450	450			0,2149871				1,971-08							
3	Katava EK 020	0,014192927					0,15	5,72	0,25		5,462	1,24777954			35,2297886	0	0	7,951-08	0	7,492248311						450	450			0,2149871				1,971-08							
4	Katava EK 020	0,014192927					0,15	0,10			0,10	1,24777954			35,2297886	1,5	87,169029	7,951-08	87,169029	0,01911112						450	450			0,2149871				1,971-08							
5	Katava EK 020	0,014192927					0,15	2,85			2,85	1,24777954			35,2297886	0	0	7,951-08	0	3,8625461						450	450			0,2149871				1,971-08							
6	Katava EK 020	0,014192927					0,15	7,7	0,145		7,295	1,24777954			35,2297886	0	0	7,951-08	0	10,34486061						450	450			0,2149871				1,971-08							
7	Katava EK 020	0,014192927					0,15				0,32344411	1,24777954			35,2297886	0,3	16,5898908	7,951-08	16,5898908	0,04479765						450	450			0,2149871				1,971-08							
8	Katava EK 020	0,014192927					0,15	0,69	0,145		0,68	1,24777954			35,2297886	0	0	7,951-08	0	0,91928213						450	450			0,2149871				1,971-08							
9	Katava EK 020	0,014192927					0,15				0,26244441	1,24777954			35,2297886	0,3	16,5898908	7,951-08	16,5898908	0,04479765						450	450			0,2149871				1,971-08							
10	Katava EK 020	0,014192927					0,15	0,77	0,145		0,592	1,24777954			35,2297886	0	0	7,951-08	0	0,80817002						450	450			0,2149871				1,971-08							

156,0119129

Tulolinn										Alkuarvo: 640 /s										RVAALUE									
Tulolinna										Alkuarvo: 270 /s										RVAALUE									
Lühid 3.1										Alkuarvo: 270 /s										RVAALUE									
Lühid 3.1										Alkuarvo: 270 /s										RVAALUE									
1	Supistea EK 016-400x225	0,00106193	0,00114906	3,24	0,042625120	1	0,00	0,1908		0,45	4,47632778	2,9289300	5,14704809	0,15	0,77207305	8,566-01	0,77207305	0,133507924	0,905564397	ilm. laetus mitol	160	160	400	325	0,16	0,288	0,224	6,64600	
2	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,00		6,002	0,45	0,6	7,617	4,47632778	0	0	8,846-01	0	5,019502355		160	160						4,74600		
3	AV 016	0,00106193				1	0,00							0	0	8,846-01	0	0		160	160						0,00000		
4	Kulma 90° EK 016	0,00106193				1	0,00				0,115663706	4,47632778	12,95370059	0,3	3,886110178	8,846-01	3,886110178	0,088915827	3,176001768	14	160	160						4,74600	
5	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,00		0,836	0,094	0,12	4,47632778	12,95370059	0	0	8,846-01	0	0,570778217		160	160						9,74600		
6	Kulma 90° EK 016	0,00106193				1	0,00				0,115663706	4,47632778	12,95370059	0,3	3,886110178	8,846-01	3,886110178	0,088915827	3,176001768	14	160	160						4,74600	
7	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,00		6,100	0,094	0,100	5,993	4,47632778	0	0	8,846-01	0	4,280998002		160	160						4,74600		
8	Tiivasa 016	0,00106193				1	0,045				2,288116387		3,238425148	1,5	4,817637723	9,596-01	4,817637723	0	0	14	160	160						2,37600	
9	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,045		0,8	0,1045		0,7955	2,238116387	0	0	9,596-01	0	0,154483678		160	160						2,37600		
10	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,025		0,8	0,1045		0,7955	1,119504310	0	0	3,076-01	0	0,043094259		160	160						1,18000		
11	Lühid 3.1																										0,00000		
12	Supistea EK 016-400x225	0,00106193	0,00114906	3,24	0,042625120	1	0,00	0,1908		0,45	4,47632778	2,9289300	5,14704809	0,15	0,77207305	8,566-01	0,77207305	0,133507924	0,905564397	ilm. laetus mitol	160	160	400	325	0,16	0,288	0,224	6,64600	
13	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,00		2,113	0,45	0,698	0,369	4,47632778	0	0	8,846-01	0	0,693159154		160	160						4,74600		
14	AV 016	0,00106193				1	0,00							0	0	8,846-01	0	0		160	160						0,00000		
15	Kulma 90° EK 016	0,00106193				1	0,00				0,115663706	4,47632778	12,95370059	0,3	3,886110178	8,846-01	3,886110178	0,088915827	3,176001768	14	160	160						4,74600	
16	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,00		2,096	0,094		2,002	4,47632778	0	0	8,846-01	0	1,437097277		160	160						9,74600		
17	Kulma 90° EK 016	0,00106193				1	0,00				0,115663706	4,47632778	12,95370059	0,3	3,886110178	8,846-01	3,886110178	0,088915827	3,176001768	14	160	160						4,74600	
18	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,00		5,183	0,094		5,009	4,47632778	0	0	8,846-01	0	1,640337393		160	160						4,74600		
19	Kulma 90° EK 016	0,00106193				1	0,00				0,115663706	4,47632778	12,95370059	0,3	3,886110178	8,846-01	3,886110178	0,088915827	3,176001768	14	160	160						4,74600	
20	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,00		1,608	0,094	0,100	1,409	4,47632778	0	0	8,846-01	0	1,007906344		160	160						4,74600		
21	Tiivasa 016	0,00106193				1	0,00				4,47632778		12,95370059	1,5	19,4305089	8,846-01	19,4305089	0	0	14	160	160						8,74600	
22	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,045		0,8	0,1045		0,8955	2,238116387	0	0	9,596-01	0	0,113983318		160	160						2,37600		
23	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,045		0,8	0,1045		0,8955	2,238116387	0	0	9,596-01	0	0,123903374		160	160						2,37600		
24	Lühid 4.1																										0,00000		
25	Lühid 4.1																										0,00000		
26	Supistea EK 016-400x225	0,00106193	0,00114906	3,24	0,042625120	1	0,185	0,3922		0,45	9,201145148	6,02050238	21,74786935	0,15	3,262180402	8,13E-01	3,262180402	0,534792724	3,796977676	ilm. laetus mitol	160	160	400	325	0,16	0,288	0,224	1,16000	
27	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,185		1,8	0,45	0,094	1,254	9,201145148	0	0	8,10E-01	0	3,563337940		160	160						9,74600		
28	Kulma 90° EK 016	0,00106193				1	0,185				0,115663706	9,201145148	54,73338306	0,3	16,42001492	8,10E-01	16,42001492	0,356814684	16,17782936	14	160	160						9,74600	
29	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,185		3,384	0,094	0,8	3,146	9,201145148	0	0	8,10E-01	0	9,932883332		160	160						9,74600		
30	AV 016	0,00106193				1	0,185							0	0	8,10E-01	0	0,950910701		160	160						0,00000		
31	Kulma 90° EK 016	0,00106193				1	0,185				0,115663706	9,201145148	54,73338306	0,3	16,42001492	8,10E-01	16,42001492	0,356814684	16,17782936	14	160	160						9,74600	
32	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,185		0,976	0,094		0,887	9,201145148	0	0	8,10E-01	0	2,504380997		160	160						9,74600		
33	Kulma 90° EK 016	0,00106193				1	0,185				0,115663706	9,201145148	54,73338306	0,3	16,42001492	8,10E-01	16,42001492	0,356814684	16,17782936	14	160	160						9,74600	
34	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,185		4,148	0,094		4,058	9,201145148	0	0	8,10E-01	0	11,31109398		160	160						9,74600		
35	Kulma 90° EK 016	0,00106193				1	0,185				0,115663706	9,201145148	54,73338306	0,3	16,42001492	8,10E-01	16,42001492	0,356814684	16,17782936	14	160	160						9,74600	
36	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,185		0,528	0,094	0,100	0,528	9,201145148	0	0	8,10E-01	0	1,30206433		160	160						9,74600		
37	Tiivasa 016	0,00106193				1	0,185					9,201145148	54,73338306	1,5	82,1000746	8,10E-01	82,1000746	0	0	14	160	160						9,74600	
38	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,025		0,8	0,1045		0,8955	4,600572574	0	0	8,81E-01	0	0,52408375		160	160						4,87E00		
39	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,025		0,8	0,1045		0,8955	4,600572574	0	0	8,81E-01	0	0,52408375		160	160						4,87E00		
40	Lühid 3.3																										0,00000		
41	Supistea EK 016-400x225	0,00106193	0,00114906	3,24	0,042625120	1	0,185	0,3922		0,45	9,201145148	6,02050238	21,74786935	0,15	3,262180402	8,13E-01	3,262180402	0,534792724	3,796977676	ilm. laetus mitol	160	160	400	325	0,16	0,288	0,224	1,16000	
42	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,185		1,798	0,45	0,094	1,254	9,201145148	0	0	8,10E-01	0	3,560690664		160	160						9,74600		
43	Kulma 90° EK 016	0,00106193				1	0,185				0,115663706	9,201145148	54,73338306	0,3	16,42001492	8,10E-01	16,42001492	0,356814684	16,17782936	14	160	160						9,74600	
44	Kanava EK 016	0,00106193				1	0,185		4,800	0,094	0,700	3,81	9,201145148	0	0	8,10E-01	0	10,25082315		160	160						9,74600		
45	AV 016	0,00106193				1	0,185							0	0	8,10E-01	0	0,950910701		160	160						0,00000		
46	Tiivasa 016	0,00106193				1	0,185					9,201145148	54,73338306	1,5	82,1000746	8,10E-01	82,1000746	0	0	14	160	160							

AFU-09															Ilman dynaaminen viskositeetti: Ilman kinemaattinen viskositeetti:										0,0000174 Pa*s 1.51E-05 m ² /s						
Puhallin															1,293 kg/m ³																
No.	Kanavisto osa	A)	A2)	A2)	A2+A1/2)	lkm	Q	Q2	l suora	l kulma	l supistuu	320	v1	v2	P _{tot}	ΔP	ΔP	ΔP	ΔP	enkos	osat	Huom.	Kanavan 1	Kanavan 2	1 dh / m	2 dh / m	3 dh / m	4 dh / m	Re		
		m ²	m ²	m ²	m ²		m ³ / s	m ³ / s	(m)	(m)	(m)	(m)	m / s	m / s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa		mitat / mm	mitat / mm	Zsabs	Zsabs	Zsabs	Zsabs	Zsabs	Zsabs		
Lähde 1																															
1	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		1,48	0,18		1,28	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	0,92163883	200	200							6,74E-04	
2	Kanava 90° EK 000	0,031415927				1	0,18				0,157079633	5,09298179		16,76906118	0,3	5,03071835	8,55E-01	5,03071835	0,112574409		5,443292762	200	200							6,74E-04	
3	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		3,063	0,2	0,18	2,703	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	1,935728217	200	200							6,74E-04	
4	Kanava 90° EK 000	0,031415927				1	0,18				0,157079633	5,09298179		16,76906118	0,3	5,03071835	8,55E-01	5,03071835	0,112574409		5,443292762	200	200							6,74E-04	
5	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		5,824	0,36	0,6	4,864	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	3,485887467	200	200							6,74E-04	
6	AV 000	0,031415927				1	0,18																200	200						0,00E+00	
7	Kanava 90° EK 000	0,031415927				1	0,18				0,157079633	5,09298179		16,76906118	0,3	5,03071835	8,55E-01	5,03071835	0,112574409		5,443292762	200	200							6,74E-04	
8	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		0,487	0,2	0,18	1,097	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	0,806917081	200	200							6,74E-04	
9	Kanava 90° EK 000	0,031415927				1	0,18				0,157079633	5,09298179		16,76906118	0,3	5,03071835	8,55E-01	5,03071835	0,112574409		5,443292762	200	200							6,74E-04	
10	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18				0,473	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	0,337552014	200	200								6,74E-04	
11	Supistuu EK20-400x225	0,031415927	0,065144065	2,0736	0,048279998	1	0,18	0,245888		0,2	0,18	0,45	5,09298179	1,77452648	8,548230134	0,15	1,28223452	8,41E-01	1,28223452	0,927215539	1,696950055	lim. jätös mitali	200	200	400	225	0,2	0,288	0,244	8,22E-04	
Lähde 2																															
1	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		1,48	0,18		1,28	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	1,096206244	200	200							6,74E-04	
2	Kanava 90° EK 000	0,031415927				1	0,18				0,157079633	5,09298179		16,76906118	0,3	5,03071835	8,55E-01	5,03071835	0,112574409		5,443292762	200	200							6,74E-04	
3	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		4,808	0,2	0,18	4,048	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	2,901083978	200	200							6,74E-04	
4	Kanava 90° EK 000	0,031415927				1	0,18				0,157079633	5,09298179		16,76906118	0,3	5,03071835	8,55E-01	5,03071835	0,112574409		5,443292762	200	200							6,74E-04	
5	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		5,38	0,36	0,6	4,43	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	3,174852378	200	200							6,74E-04	
6	AV 000	0,031415927				1	0,18																200	200						0,00E+00	
7	Kanava 90° EK 000	0,031415927				1	0,18				0,157079633	5,09298179		16,76906118	0,3	5,03071835	8,55E-01	5,03071835	0,112574409		5,443292762	200	200							6,74E-04	
8	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		0,448	0,2	0,18	1,068	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	0,816133701	200	200							6,74E-04	
9	Kanava 90° EK 000	0,031415927				1	0,18				0,157079633	5,09298179		16,76906118	0,3	5,03071835	8,55E-01	5,03071835	0,112574409		5,443292762	200	200							6,74E-04	
10	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18				0,658	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	0,470136139	200	200								6,74E-04	
11	Supistuu EK20-400x225	0,031415927	0,065144065	2,0736	0,048279998	1	0,18	0,245888		0,2	0,18	0,45	5,09298179	1,77452648	8,548230134	0,15	1,28223452	8,41E-01	1,28223452	0,927215539	1,696481511	lim. jätös mitali	200	200	400	225	0,2	0,288	0,244	8,22E-04	
Lähde 3																															
1	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		0,31	0,18		0,11	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	0,12183408	200	200							6,74E-04	
2	Kanava 90° EK 000	0,031415927				1	0,18				0,157079633	5,09298179		16,76906118	0,3	5,03071835	8,55E-01	5,03071835	0,112574409		5,443292762	200	200							6,74E-04	
3	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		0,493	0,2	0,18	0,333	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	0,293883894	200	200							6,74E-04	
4	Kanava 90° EK 000	0,031415927				1	0,18				0,157079633	5,09298179		16,76906118	0,3	5,03071835	8,55E-01	5,03071835	0,112574409		5,443292762	200	200							6,74E-04	
5	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		2	0,36	0,6	1,04	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	0,745337783	200	200							6,74E-04	
6	AV 000	0,031415927				1	0,18																200	200						0,00E+00	
7	Supistuu EK20-400x225	0,031415927	0,065144065	2,0736	0,048279998	1	0,18	0,245888		0,2	0,18	0,45	5,09298179	1,77452648	8,548230134	0,15	1,28223452	8,41E-01	1,28223452	0,927215539	1,456481511	lim. jätös mitali	200	200	400	225	0,2	0,288	0,244	8,22E-04	
Lähde 4																															
1	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18				0,668	0,18	0,508	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	0,368068838	200	200							6,74E-04
2	Kanava 90° EK 000	0,031415927				1	0,18				0,157079633	5,09298179		16,76906118	0,3	5,03071835	8,55E-01	5,03071835	0,112574409		5,443292762	200	200							6,74E-04	
3	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		1,452	0,2	0,18	1,092	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	0,78260662	200	200							6,74E-04	
4	Kanava 90° EK 000	0,031415927				1	0,18				0,157079633	5,09298179		16,76906118	0,3	5,03071835	8,55E-01	5,03071835	0,112574409		5,443292762	200	200							6,74E-04	
5	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,18		1,659	0,36	0,6	0,899	5,09298179		16,76906118	0	0	8,55E-01		0	0,500952985	200	200							6,74E-04	
6	AV 000	0,031415927				1	0,18																200	200						0,00E+00	
7	Supistuu EK20-400x225	0,031415927	0,065144065	2,0736	0,048279998	1	0,18	0,245888		0,2	0,18	0,45	5,09298179	1,77452648	8,548230134	0,15	1,28223452	8,41E-01	1,28223452	0,927215539	1,456481511	lim. jätös mitali	200	200	400	225	0,2	0,288	0,244	8,22E-04	
Puhallin																															
1	Kanava 400x225	0,065144065				1	0,64					9,834319203		62,89916288	0	0	7,97E-01		0	1,726433863	400	225							1,87E-03		
																					106,5480501										

561JAFU614										SFCU-05										liman dy									
Palautilma										Alkuarvo:										liman tiheys:									
No.	Kanavisto/osa	A1	A2	A3	A2+A3/2	lkm	Q1	Q2	l suora	l kulma	l supistuu	420	1/3	2/3	P _{av}	ρ	Pa/m	λ	dp	Q _p									
	Kanavisto (mitat)	m ²	m ²	A1 m ²	A2+A3/2	spj	m ³ /s	m ³ /s	(m)	(m)	(m)	(m)	m ³ /s	m ³ /s	Pa	kg/m ³	N/m	1/s	Pa	kg/m ³									
1	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,14		0,434	0,2		0,238	4,458138407	12,83881296	0	0	8,655-003		0	0,129388648									
2	Kulma SF EK 000	0,031415927				1	0,14				0,157079033	4,458138407	12,83881296	0,3	1,851643739	8,655-003		0	0,087225235										
3	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,24		1,240	0,14	0,2	0,885	4,458138407	12,83881296	0	0	8,655-003		0	0,461434863									
4	Kulma SF EK 000	0,031415927				1	0,14				0,157079033	4,458138407	12,83881296	0,3	3,851643739	8,655-003		0	0,087225235										
5	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,14		7,998	0,16	0,8	6,138	4,458138407	12,83881296	0	0	8,655-003		0	3,886937248									
6	Kulma SF EK 000	0,031415927				1	0,14				0,157079033	4,458138407	12,83881296	0,3	1,851643739	8,655-003		0	0,087225235										
7	Kanava SF EK 000	0,031415927				1	0,24				0,157079033	4,458138407	12,83881296	0,3	3,851643739	8,655-003		0	0,087225235										
8	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,14		0,241	0,16		0,081	4,458138407	12,83881296	0	0	8,655-003		0	0,049787603									
9	Supistuu EK 20-350x200	0,050886008	0,031415927	0,617346939	0,041152267	1	0,14	0,113214286			0,45	2,753308073	3,60372264	7,792909012	0,15	1,168813518	8,965-003		0	0,133026091									
Tulokset																													
1	Kanava EK 018	0,020106193				1	0,07		0,306	0,094		0,302	3,48151438	7,836189248	0	0	9,068-003		0	0,144712386									
2	Kulma SF EK 018	0,020106193				1	0,07				0,155661306	3,48151438	7,836189248	0,3	2,350650774	9,068-003		0	0,059870999										
3	Kanava EK 018	0,020106193				1	0,07		0,53	0,098		0,316	3,48151438	7,836189248	0	0	9,068-003		0	0,159448771									
4	Kulma SF EK 018	0,020106193				1	0,07				0,155661306	3,48151438	7,836189248	0,3	2,350650774	9,068-003		0	0,054070968										
5	Kanava SF EK 018	0,020106193				1	0,07		5,602	0,094		0,308	3,48151438	7,836189248	0	0	9,068-003		0	3,324323895									
6	AV 018	0,020106193				1	0,07													#DIV/0!									
7	Supistuu EK 16-350x200	0,050886008	0,020106193	0,395102041	0,036497401	1	0,07	0,048828571			0,45	3,758884487	2,428513908	3,526666167	0,15	0,530799925	9,914-003		0	0,307999205									
Tulokset																													
1	Kanava EK 018	0,020106193				1	0,07		5,998	0,8		3,308	3,48151438	7,836189248	0	0	9,068-003		0	3,388990303									
2	AV 018	0,020106193				1	0,07													#DIV/0!									
3	Supistuu EK 16-350x200	0,050886008	0,020106193	0,395102041	0,036497401	1	0,07	0,048828571			0,45	3,758884487	2,428513908	3,526666167	0,15	0,530799925	9,914-003		0	0,307999205									
Tulokset																													
1	Kanava EK 008	0,031415927				1	0,14		0,914	0,2		0,234	4,458138407	12,83881296	0	0	8,655-003		0	0,396737484									
2	Kulma SF EK 008	0,031415927				1	0,14				0,157079033	4,458138407	12,83881296	0,3	3,851643739	8,655-003		0	0,087225235										
3	Kanava EK 008	0,031415927				1	0,14		0,903	0,16	0,2	0,561	4,458138407	12,83881296	0	0	8,655-003		0	0,311819567									
4	Kulma SF EK 008	0,031415927				1	0,14				0,157079033	4,458138407	12,83881296	0,3	1,851643739	8,655-003		0	0,087225235										
5	Kanava EK 008	0,031415927				1	0,14		4,739	0,18	0,2	4,309	4,458138407	12,83881296	0	0	8,655-003		0	2,431629568									
6	Kulma SF EK 008	0,031415927				1	0,14				0,157079033	4,458138407	12,83881296	0,3	3,851643739	8,655-003		0	0,087225235										
7	Kanava SF EK 008	0,031415927				1	0,14				0,157079033	4,458138407	12,83881296	0,3	3,851643739	8,655-003		0	0,087225235										
8	AV 008	0,031415927				1	0,14		2,324	0,16	0,8	1,164	4,458138407	12,83881296	0	0	8,655-003		0	0,646363464									
9	Kulma SF EK 008	0,031415927				1	0,14				0,157079033	4,458138407	12,83881296	0,3	3,851643739	8,655-003		0	0,087225235										
10	Kanava EK 000	0,031415927				1	0,14		0,350	0,2		0,145	4,458138407	12,83881296	0	0	8,655-003		0	0,065173035									
11	Supistuu EK 20-350x200	0,050886008	0,031415927	0,617346939	0,041152267	1	0,14	0,113214286			0,45	2,753308073	3,60372264	7,792909012	0,15	1,168813518	8,965-003		0	0,133026091									
Tulokset																													
1	Kanava SF 20x200	0,050886008				1	0,42		2,331			2,331	8,23332062	44,07783327	0	0	8,338-003		0	3,268735484									
Tulokset																													
Tulokset											Alkuarvo:																		
1	Kanava SF 20x200	0,050886008				1	0,42		0,421	0,125		0,298	6,286185248	25,54701448	0	0	8,338-003		0	0,211973765									
2	Kulma SF 350x200	0,066813385				1	0,42		0,620	0,125		0,076035010	6,286185248	25,54701448	0,3	7,664103443	8,338-003		0	0,156278010									
3	Kanava SF 350x200	0,066813385				1	0,42		0,620	0,125		0,304	6,286185248	25,54701448	0	0	8,338-003		0	0,369008888									
4	Kulma SF 350x200	0,066813385				1	0,42				0,153774161	6,286185248	25,54701448	0,3	7,664103443	8,338-003		0	0,109159663										
5	Kanava SF 20x200	0,050886008				1	0,42		1,866	0,125		1,244	6,286185248	25,54701448	0	0	8,338-003		0	2,246881397									
Tulokset																													
1	Supistuu EK 016-350x200	0,020106193	0,066813385	3,343025174	0,043459789	1	0,395	0,220958822			0,45	5,22277157	3,396900476	6,923386162	0,15	1,038507624	8,446-003		0	0,177487266									
2	Kanava EK 016	0,020106193				1	0,395		0,340	0,031		0,345	5,22277157	17,63142581	0	0	8,705-003		0	0,319715588									
3	Kulma SF EK 016	0,020106193				1	0,395				0,155661306	5,22277157	17,63142581	0,3	5,26927792	8,705-003		0	0,149511318										
4	Kanava EK 016	0,020106193				1	0,395		3,411	0,021	0,6	2,706	5,22277157	17,63142581	0	0	8,705-003		0	2,079204815									
5	AV 016	0,020106193				1	0,395													#DIV/0!									
6	Kulma SF EK 016	0,020106193				1	0,395				0,155661306	5,22277157	17,63142581	0,3	5,26927792	8,705-003		0	0,120511315										
7	Kanava EK 016	0,020106193				1	0,395		0,285	0,021		0,264	5,22277157	17,63142581	0	0	8,705-003		0	0,251274968									
Tulokset																													
1	Supistuu EK 016-350x200	0,020106193	0,066813385	3,343025174	0,043459789	1	0,395	0,220958822			0,45	5,22277157	3,396900476	6,923386162	0,15	1,038507624	8,446-003		0	0,177487266									
2	Kanava EK 016	0,020106193				1	0,395		0,337	0,031		0,316	5,22277157	17,63142581	0	0	8,705-003		0	0,300493599									
3	Kulma SF EK 016	0,020106193				1	0,395				0,155661306	5,22277157	17,63142581	0,3	5,26927792	8,705-003		0	0,149511318										
4	Kanava EK 016	0,020106193				1	0,395		7,322	0,021	0,6	2,706	5,22277157	17,63142581	0	0	8,705-003		0	0,429393985									
5	AV 016	0,020106193				1	0,395													#DIV/0!									
6	Kulma SF EK 016	0,020106193				1	0,395				0,155661306	5,22277157	17,63142581	0,3	5,26927792	8,705-003		0	0,120511315										
7	Kanava EK 016	0,020106193				1	0,395		1,960	0,021		1,844	5,22277157	17,63142581	0	0	8,705-003		0	1,464295835									
Tulokset																													
1	Supistuu EK 016-350x200	0,020106193	0,066813385	3,343025174	0,043459789	1	0,395	0,220958822			0,45	5,22277157	3,396900476	6,923386162	0,15	1,038507624	8,446-003		0	0,177487266									
2	Kanava EK 016	0,020106193				1	0,395		1,702	0,043	0,6	1,599	5,22277157	17,63142581	0	0	8,705-003		0	1,015979605									
3	AV 016	0,020106193				1	0,395													#DIV/0!									
4	Kulma SF EK 016	0,020106193				1	0,395				0,041887603	5,22277157	17,63142581	0,3	5,26927792	8,705-003		0											