

Aku Rauhala

ILMAVIRTAMITTAUKSEN TESTIPENKKI

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2015

ILMAVIRTAMITTAUKSEN TESTIPENKKI

Rauhala, Aku
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Syyskuu 2015
Ohjaaja: Sandberg, Esa
Sivumäärä: 59
Liitteitä: 19

Asiasanat: Ilmavirta, mittaus, testipenkki, suutin

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ilmavirtamittauksen testipenkki Fläkt Woods Oy:n Toijalan tehtaalle. Testipenkki on tarkoitettu ilmanvaihtokomponenttien suoritusarvojen testaamista varten. Suoritusarvojen testaaminen vaatii tarkkaa ilmavirran tietämystä.

Tehtävänä oli tutustua useisiin eri ilmavirran mittauslaitteiden ja -järjestelmien standardeihin ja suunnitteluohjeisiin, joiden perusteella työtä lähdetäisiin tekemään. Pääasiallisina lähteinä on käytetty AMCA 210 - 99, sekä ISO 5801.

Testipenkki suunniteltiin suurimmilta osin Fläkt Woods Oy:n ilmankäsittelykone osilla, käyttäen ACON-suunnitteluohjelmaa. Muut komponentit suunniteltiin standardien mukaisesti ja piirrettiin AutoCAD ja MagiCAD ohjelmilla.

Työssä käydään läpi testipenkin eri komponentit ja niiden valitsemisen, sekä suunnittelemisen kriteerit ja perusteet, sekä testipenkillä tehtävät eri mittaukset ja niiden käsittely ja esitys.

TEST BENCH FOR AIR FLOW MEASUREMENT

Rauhala, Aku

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

September 2015

Supervisor: Sandberg, Esa

Number of pages: 59

Appendices: 19

Keywords: Air flow, measurement, test bench, multi-nozzle

The purpose of this thesis was to design an air flow test bench for Fläkt Woods Ltd's factory in Toijala. The test bench is intended for the testing the performance figures of ventilation components. Testing the performance figures requires measuring the air flow very accurately.

The task was to research several standards relating to air flow measurement, upon which the test bench would be designed. The primary sources used were AMCA 210 - 99, and ISO 5801.

The test bench was mostly designed from Fläkt Woods Ltd's air handling unit modules, using the ACON design program. Other components in the thesis were designed according to the standards, and were drawn on the programs AutoCAD and MagiCAD.

The thesis presents the different components of the test bench and the criteria used for choosing and designing them and the measurements to be made on the test bench, as well as the calculations and presentation done on them.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Työn tausta.....	8
1.2	Työn tavoitteet	8
1.3	Rajaukset.....	8
2	ILMAVIRTA-ALUE.....	9
3	MITTALAITTEET	10
3.1	Testipenkki.....	10
3.2	Mittauskammio	11
3.2.1	Suuttimet	12
3.2.2	Virtauksen tasaajat.....	15
3.3	Testikanava	16
3.4	Suutinseinän paine-eron mittaus	17
3.5	Testikanavan staattisen paineen mittaus	17
3.6	Ilmanlämpötilan mittaus	17
3.7	Ilmanpaineen mittaus	17
4	PUHALTIMET	18
4.1	Puhaltimien valinta	18
4.2	Isompi puhallin	20
4.3	Pienempi puhallin	21
4.4	Kiertopiiri.....	22
5	TESTILAITTEISTON RAKENNE	23
5.1	Testipenkin rakenne	23
5.2	Ilmankäsittelykoneen rakenne	25
5.2.1	Kiertopiirin rakenne.....	27
5.2.2	Poistokanavien rakenne	28
5.2.3	Lähtökanavien rakenne.....	29
5.3	Mittauskammion rakenne.....	31
5.3.1	Suutinseinän rakenne.....	32
5.3.2	Suuttimien sulkujen rakenne	36
5.3.3	Paine-eron mittausyhde	37
5.3.4	Lämpötilan mittausyhde	38
5.3.5	Virtauksen tasaajien rakenne.....	39
5.4	Testikanavan rakenne.....	41
5.4.1	Virtauksen oikaisijoiden rakenne	42
5.4.2	Staattisen paineen mittausyhde.....	44

6 MITTAUSPROSESSI	45
6.1 Mittausten alkujärjestely	45
6.2 Testiolosuhteiden mittaukset	46
6.3 Testilaitteiden mittaukset	46
6.4 Tulosten merkintä	47
6.5 Tiheys.....	48
6.6 Ilmavirta.....	49
6.7 Testilaitteen suoritusarvot.....	51
6.8 Mittauksien epävarmuudet.....	52
6.9 Tuloksien epävarmuudet.....	54
7 KUSTANNUSARVIO	55
8 YHTEENVETO	59
LÄHDELUETTELO.....	60
LIITTEET	62

SYMBOLIT JA YKSIKÖT

Tunnus	Kuvaus	SI-yksikkö
A	Pinta-ala	m ²
B	Pinta-alojen suhde	-
C	Suuttimen purkautumiskerroin	-
D	Kanavan halkaisija	mm
d	Suuttimen halkaisija	mm
L	Pituus	m
N	Pyörimisnopeus	rpm
n	Mittausten lukumäärä	-
p	Paine	Pa
Δp	Paine-ero	Pa
p _{st}	Staattinen paine	Pa
p _b	Ilmanpaine	Pa
p _e	Kylläinen höyrynpaine	Pa
p _p	Osahöyrynpaine	Pa
q _v	Ilmavirta	m ³ /s
R	Kaasuvakio	J/(kgK)
Re	Reynoldsin luku	-
t	Lämpötila	°C
v	Ilman nopeus	m/s
ν	Kinemaattinen viskositeetti	m ² /s
Y	Suuttimen laajenemiskerroin	-
α	Suuttimen staattisen paineen kerroin	-
β	Suutin halkaisijoiden suhde	-
ρ	Ilman tiheys	kg/m ³
μ	Ilman dynaaminen viskositeetti	Pa*s

ALAINDEKSIT

Tunnus	Kuvaus
0	Ympäristö
3	Mittauskammio
5	Testikanava
a	Mittaus testilaitteen kanssa
b	Mittaus ilman testilaitetta
d	Kuiva
r	Mittaus lukema
w	Märkä
kurkku	Suuttimen kurkku

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämä opinnäytetyö tehtiin Satakunnan ammattikorkeakoululle Fläkt Woods Oy:n tilauksesta. Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella ilmavirtamittauksen testipenkki ilmanvaihtokomponenttien testausta varten. Testipenkki suunniteltiin pääasiallisesti Fläkt Woods Oy:n ilmankäsittelykoneiden moduuleista. Työ tehtiin Fläkt Woods Oy:n Toijalan tehtaalle, jossa tuotetaan ilmavaihtokomponentteja.

1.2 Työn tavoitteet

Testipenkin on tarkoitus toimia laboratorio-olosuhteissa ja tuottaa tarkasti mitattua ilmavirtaa, jota käytetään ilmanvaihtokomponenttien suoritusarvojen tarkkailemiseen. Jotta ilmanvaihtokomponenttien suoritusarvoja voidaan luotettavasti testata, on testipenkille tuotettava ilmavirta tunnettava tarkasti, sillä tuotteiden suoritusarvot ovat tilavuusvirrasta riippuvia. Täten testaus perustuu tarkkaan ilmavirran tietämykseen.

1.3 Rajaukset

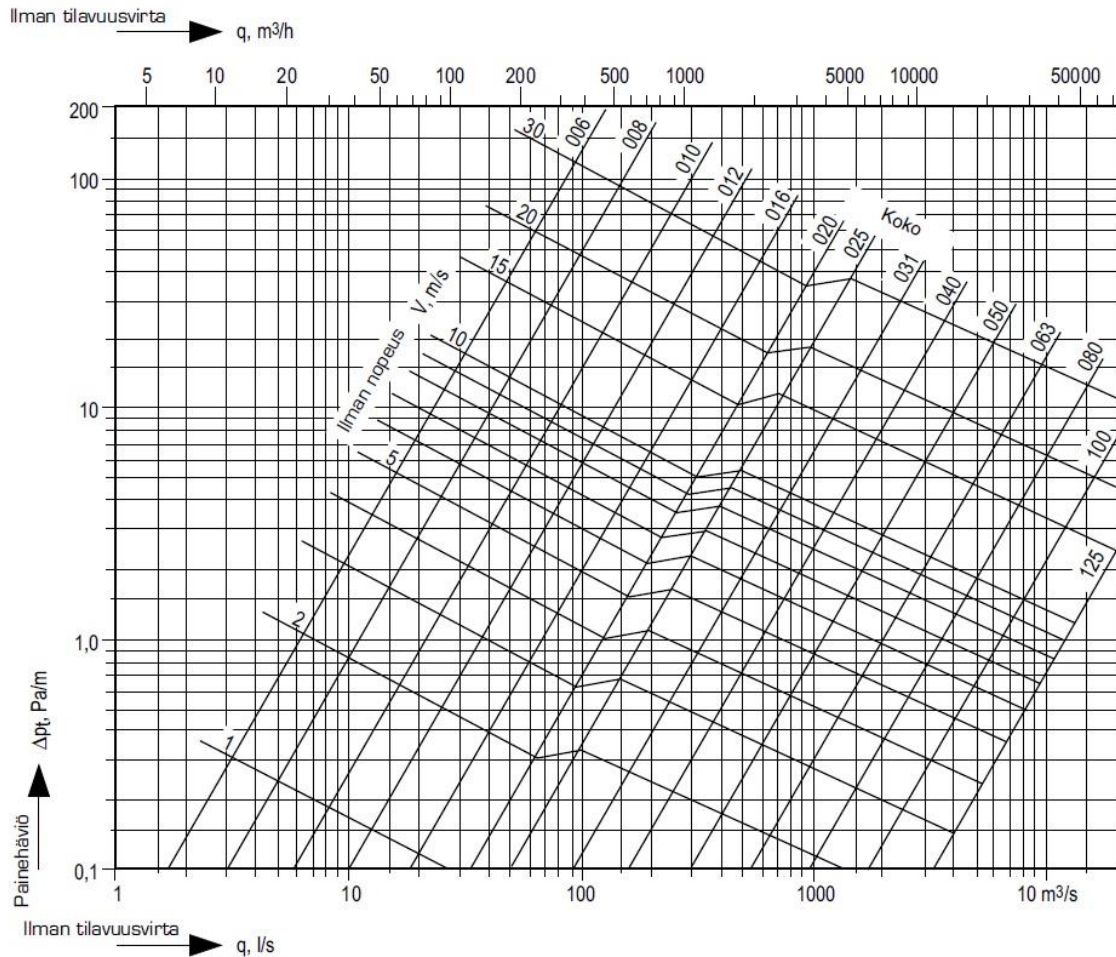
Testipenkin suurimmaksi kanavakooksi rajattiin 800 mm, suurimman tehtaalla tuotettavien pyöreiden kanavaosien mukaan. Testipenkin suurimmaksi tavoitetilavuusvirraksi valittiin $4 \text{ m}^3/\text{s}$, Fläkt Woods Oy:n tekemien painehäviökäyrästöjen mukaan. Opinnäytetyö rajattiin testipenkin suunnitteluun ja kustannusarvioon. Testipenkin rakentaminen ei sisälly tähän opinnäytetyöhön.

2 ILMAVIRTA-ALUE

Ilmavirta-alue määriteltiin opinnäytetyön aloituskokouksessa. Ilman nopeuden toivottiin olevan ainakin 5 m/s, joka kuvan 2.1. painehäviökäyrästä mukaan on noin 4 m³/s, kun käytetään testipenkin suurinta 800 mm halkaisijan pyöreää kanavaa.

Täten 4000 l/s, eli 4 m³/s on suurin tavoiteilmavirta-arvo. Pienin tavoiteilmavirta määritellään pienimmän testipenkissä käytettävän suuttimen mukaan, mutta toivottu pienin ilmavirta on noin 3 l/s eli 0,003 m³/s.

Kanava



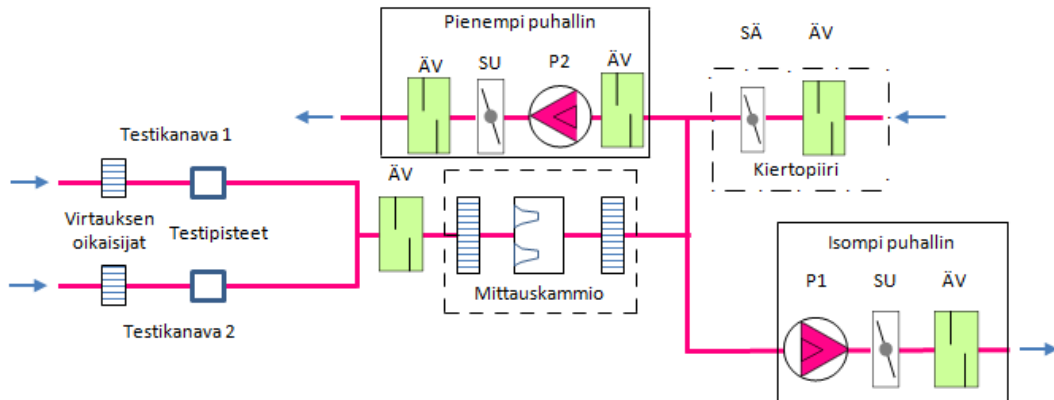
Kuva 2.1. Painehäviökäyrästä. (Fläkt Woods 2008).

3 MITTALAITTEET

3.1 Testipenkki

Ilmavirran mittaustavaksi valittiin Fläkt Woods Oy:n toiveiden mukaan suutinkamiojärjestelmä. Järjestelmä muodostuu mittauskammioista, jonka sisällä on ilmavirtaa vastakkain oleva seinä, jossa on useita erikokoisia suuttimia. Ilmavirran mittaus perustuu seinän yli tehtäviin paine-eromittauksiin, joista saadun paine-eron perusteella ilmavirta lasketaan käyttämällä suuttimille tehtyjä kaavoja. Paine-ero mittaukset suoritetaan manometrilla suutinseinän läheisyyteen asennetuista mittausyhteistä. Erikoisilla suuttimilla on eri ilmavirta-alueet. Tiettyä ilmavirtaa mitattaessa kyseisen ilmavirran sisältävä suutin tai suutinryhmä avataan ja muut suuttimet suljetaan.

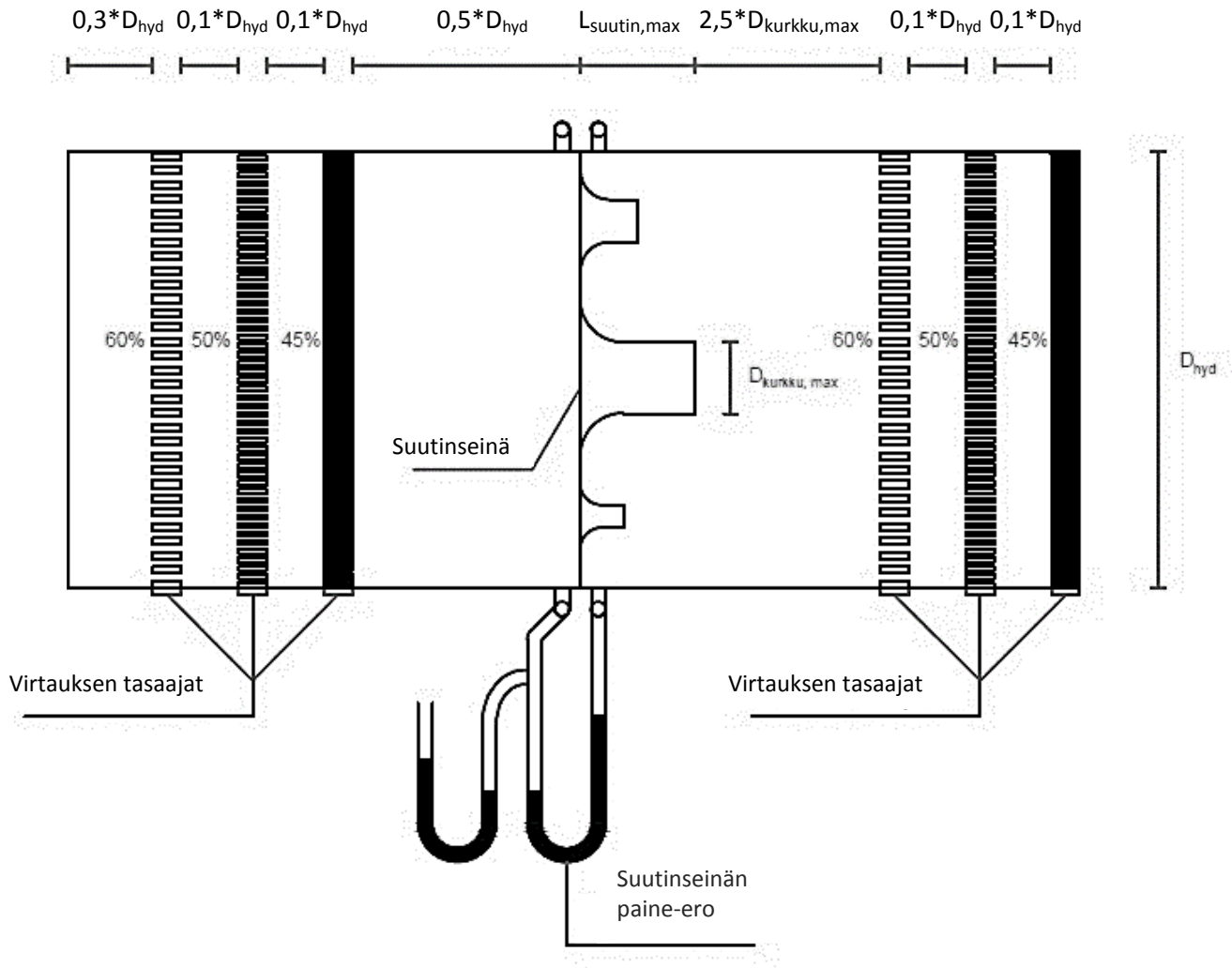
Kuvassa 3.1 on esitettyä testipenkin toimintakaavio. Testipenkkiin kuuluu kaksi erikokoista testikanavaa, virtauksen tasaajista ja suutinseinästä koostuva mittauskammio, sekä ilmentäytelykone, johon kuuluu kaksi eri puhallinta, sekä kiertopiiri. Toimintakaaviot löytyvät myös liitteestä 19.



Kuva 3.1. Toimintakaavio.

3.2 Mittauskammio

Mittauskammio sisältää suutinseinän, virtauksen tasaajat, sekä paine-eron mittauspisteet. Mittauskammio mitoitetaan standardin AMCA 210 - 99, s. 29 mukaisesti. Mitoitusarvot on esitettyinä alla olevassa kuvassa 3.2.



Kuva 3.2. Mittauskammion mitat. (AMCA 210 - 99).

3.2.1 Suuttimet

Suuttimien valinta perustuu luvussa 2 mainittuihin tavoiteilmavirtoihin, suuttimien omiin ilmavirtarajoihin, sekä suutinseinän pinta-alaan. Suurin tavoiteilmavirta on $4 \text{ m}^3/\text{s}$. Pienin tavoiteilmavirta määritellään pienimmän suuttimen ilmavirtarajan, sekä pienimmän testipenkillä tuotettavan ilmavirran perusteella. Kuvassa 3.3 on valokuva suuttimista, kuvassa 3.4 esitetään suuttimien geometriaa.

Suuttimien ilmavirtarajat perustuvat suutinseinän paine-eroon. Paine-eron on oltava jokaisella suuttimella tai suutinryhmällä yli 250 Pa, jotta virtaus on turbulenttista, mutta alle 1000 Pa, jottei virran kokoonpuristuminen aiheuttaisi virhettä mittaustuloksiin. Toivottu mittauksissa saavutettava paine-ero olisi noin 750 Pa, joka saavutetaan aloittamalla sopivan kokoluokan suuttimesta tai suutinryhmästä ja avaamalla tai sulkemalla suuttimia, tai muuttamalla puhaltimen ilmavirtaa kunnes saavutaan tavoite paine-eroon, tai rajojen 300 - 900 Pa välille.

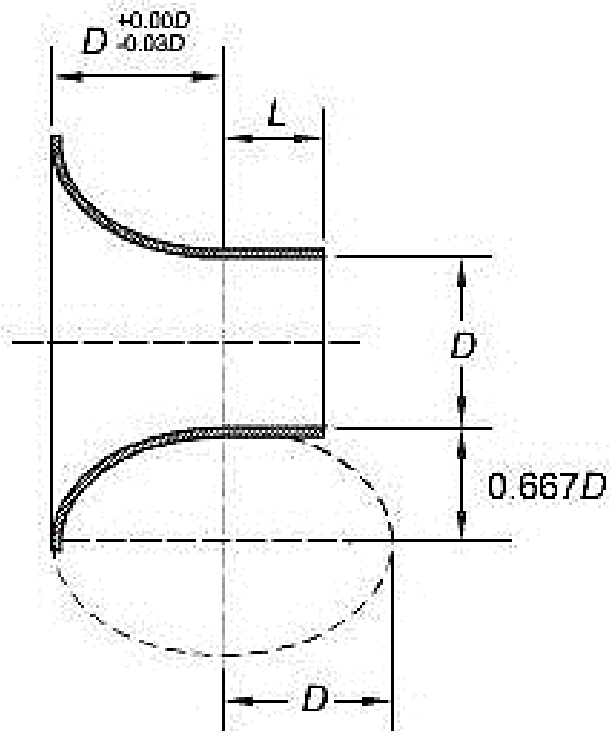
Suuttimien valinta aloitettiin laskemalla standardin AMCA 210 - 99, s. 12 mukaiset ilmavirrat suuttimille siten, että suurin ilmavirta $4 \text{ m}^3/\text{s}$ saavutettaisiin kolmen suurimman suuttimen yhdistelmällä. Kolmen suurimman suuttimen yhdistelmällä päästään mahdollisimman lähelle suurinta tavoiteilmavirtaa mahdollisimman laajalla ilmavirta-alueella ja vähiten pinta-ala vaativalla suutinseinällä.

Taulukoissa 3.1 - 3.3 on esitetty eri suuttimille ja suutinryhmille lasketut ilmavirtaraja-arvot. Nämä raja-arvot on tarkoitettu mittauksissa käytettävien suuttimien valintaa varten. Taulukoissa on esitettyä jokaisen yksittäisen suuttimen, sekä koko suutinryhmän yhteisen ilmavirran ylä- ja alarajat. Suutinryhmien sisältämiä suuttimia voidaan käyttää yhtä aikaa mittauksessa ilmavirran tarpeen mukaan.

Laskenta on suoritettu käyttämällä luvun 6.6 kaavaa 13, muokkaamalla siihen oletusarvot purkauskertoimelle ($C = 0,95$), laajenemiskertoimelle ($Y = 0,992$) sekä ilman tiheydelle ($\rho = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3/\text{s}$). Taulukot löytyvät myös liitteestä 3.



Kuva 3.3. Suuttimia. (Helander Metal Spinning Company. 2015).



Kuva 3.4. Suuttimien geometria. (ISO 5167. 2003)

Taulukko 3.1. Suutinryhmä 1.

Suutinryhmä 1 Ilmavirtarajat								
Laajenemis- kerroin	Max paine- ero	Min paine- ero	Mittapisteen ilmantiheys	Purkautumis- kerroin	Suuttimien kurkkujen halkaisijat	Max Ilma- virta	Min Ilma- virta	
Y	Δp_{max}	Δp_{min}	ρ_5	C	d_k	qv	qv	
[-]	[Pa]	[Pa]	[kg/m ³]	[-]	[mm]	[l/s]	[l/s]	
0,992	900	300	1,2	0,95	160	734	424	
					200	1147	662	
					250	1792	1034	
Ilmavirta yhteensä:						3672	2120	[l/s]
						3,7	2,1	[m ³ /s]

Taulukko 3.2. Suutinryhmä 2.

Suutinryhmä 2 Ilmavirtarajat								
Laajenemis- kerroin	Max paine- ero	Min paine- ero	Mittapisteen ilmantiheys	Purkautumis- kerroin	Suuttimien kurkkujen halkaisijat	Max Ilmavirta	Min Ilmavirta	
Y	Δp_{max}	Δp_{min}	ρ_5	C	d_k	qv	qv	
[-]	[Pa]	[Pa]	[kg/m ³]	[-]	[mm]	[l/s]	[l/s]	
0,992	900	300	1,2	0,95	9,5	3	1	
					15	6	4	
					25	18	10	
					40	46	26	
					160	734	424	
					200	1147	662	
Ilmavirta yhteensä:						1953	1128	[l/s]
						2,0	1,1	[m ³ /s]

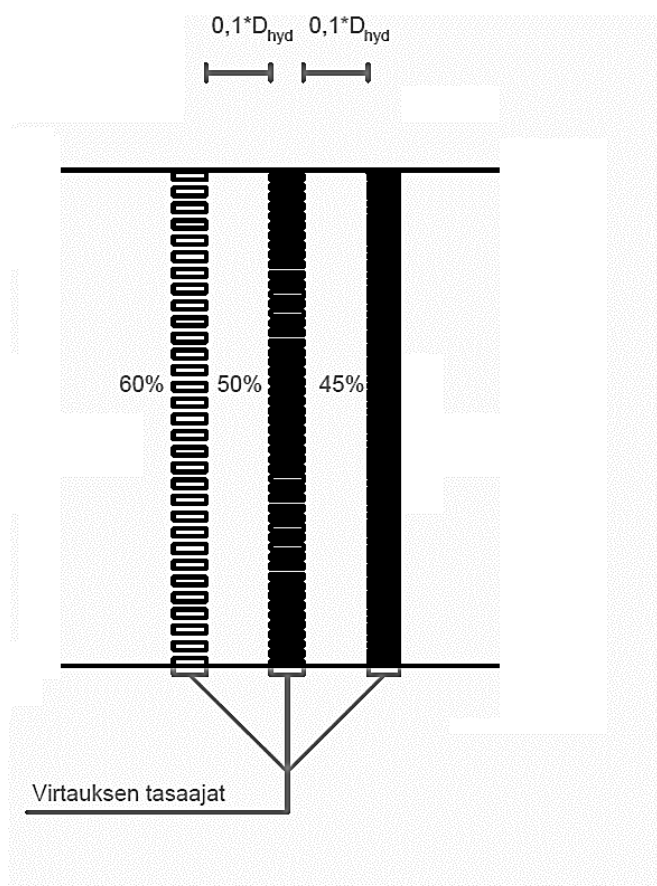
Taulukko 3.3. Suutinryhmä 3.

Suutinryhmä 3 Ilmavirtarajat								
Laajenemis- kerroin	Max paine- ero	Min paine- ero	Mittapisteen ilmantiheys	Purkautumis- kerroin	Suuttimien kurkkujen halkaisijat	Max Ilmavirta	Min Ilmavirta	
Y	Δp_{max}	Δp_{min}	ρ_5	C	d_k	qv	qv	
[-]	[Pa]	[Pa]	[kg/m ³]	[-]	[mm]	[l/s]	[l/s]	
0,992	900	300	1,2	0,95	9,5	3	1	
					15	6	4	
					25	18	10	
					40	46	26	
					50	72	41	
					100	287	166	
					120	413	238	
Ilmavirta yhteensä:						844	487	[l/s]
						0,8	0,5	[m ³ /s]

3.2.2 Virtauksen tasaajat

Mittauskammiossa on käytettävä virtauksen tasaajia suutinseinän yhteydessä. Suutinseinästä ylävirrassa olevilla tasaajilla varmistetaan seinälle tuleva tasainen ilmanvirtaus ja suutinseinästä alavirrassa olevat tasaajat ottavat vastaan ilmavirran kineettisen energian ja antavat ilman purkautua suuttimista luonnollisesti, kuin virtaus purkautuisi avoimeen tilaan. Täten varmistetaan mittapisteistä saatavien tuloksien tarkkuus.

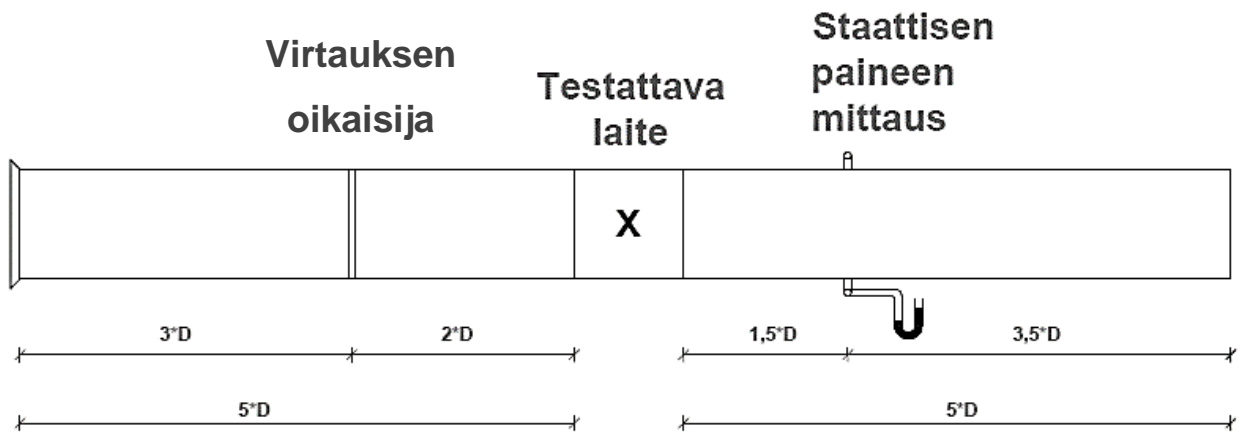
Tasaajina voidaan käyttää minkä tahansa kolmen verkon, tai rei'itetyn levyn yhdistelmää, joilla on 60 %, 50 % ja 45 % avoin pinta-ala, virtaussuunnan mukaisesti järjestettynä. Tasaajat sijoitetaan 0,1 kertaa mittauskammion hydraulisen halkaisijan päähän toisistaan kuvan 3.5 esittämällä tavalla standardien AMCA 210 - 99 6.6.3, s. 10 ja ISO 5801 29.1.3, s. 111 mukaan. Tasaajien sijainti mittauskammiossa on esitettyä kuvassa 3.2 sekä 5.2.



Kuva 3.5. Tasaajien välimitat ja järjestys. (AMCA 210-99).

3.3 Testikanava

Testikanava on testipenkin osuus, johon testattava ilmanvaihtokomponentti asennetaan mittausta varten. Testikanava koostuu imukartiosta, virtauksen oikaisijasta, staattisen paineen mittauksesta sekä kierresaumakanavasta. Testilaitteen kummallekin puolelle asennetaan 5 kertaa halkaisijan verran kanavaa. Mitoituksessa käytettiin lähteinä SFS-käsikirja 50-1 Rakennusten ilmanvaihto Osa 1: Ilmanvaihtokanavat, s. 110, sekä AMCA 500 – D - 12, Test Figure 5.3, s. 42 ja Ilmastointiteknikka Osa 2, s. 34. Kuvassa 3.6 esitetään testikanavien mitoitus. Testikanavien piirustukset löytyvät liitteestä 7.



Kuva 3.6. Testikanavan mitoitus. (SFS-käsikirja 50-1)

3.4 Suutinseinän paine-eron mittaus

Suutinseinän paine-eron mittaukseen käytetään AirFlow TA465 monitoimimittaria (www.kimrok/sivut/ilmavirtaus-ilmamaeraemittarit/airflow-ta460-monitoimitmittari) tai vastaavanlaista laitetta. Paine-ero mitataan luvussa 5.2.3 määritellyistä mittausyhteistä. Mittaria käytetään sen valmistajan ohjeiden mukaisesti.

3.5 Testikanavan staattisen paineen mittaus

Testilaitteen jälkeisen staattisen paineen mittaukseen käytetään AirFlow TA465 (www.kimrok/sivut/ilmavirtaus-ilmamaeraemittarit/airflow-ta460-monitoimitmittari) monitoimimittaria, tai vastaavanlaista laitetta. Staattinen paine mitataan luvussa 5.3.2 määritellyistä mittausyhteistä. Mittaria käytetään sen valmistajan ohjeiden mukaisesti.

3.6 Ilmanlämpötilan mittaus

Lämpötilaa mitataan testikanavasta, mittauskammioista, sekä mittauksilman ympäristöstä. Mittauksilman ympäristön lämpötilamittaukset tehdään testikanavien imuaukoilta. Testikanavien mittaukset suoritetaan 2,5 kertaa kanavan halkaisijan matkan edellä testilaitetta. Mittauskammion lämpötilaa mitataan luvun 5.2.4. Lämpötilojen mittaukseen käytetään AirFlow TA465 manometria (www.kimrok/sivut/ilmavirtaus-ilmamaeraemittarit/airflow-ta460-monitoimitmittari) monitoimimittaria, tai vastaavanlaista laitetta. Mittaria käytetään valmistajan ohjeiden mukaisesti.

3.7 Ilmanpaineen mittaus

Ilmanpaine tarvitaan myös ilmavirran mittauksilman korjausta varten. Ilmanpaineen mittaukseen käytetään Fläkt Woods Oy:n omistamaa, Vaisala Oy:n valmistamaa mittaria, tai vastaavanlaista laitetta. Ilmanpaine mittaria käytetään sen valmistajan ohjeiden mukaisesti ja mittaukset suoritetaan tilassa, jossa testipenkki sijaitsee suutin seinän keskitason korkeudella.

4 PUHALTIMET

4.1 Puhaltimien valinta

Puhaltimien valinta perustuu toivottuun ilmavirta-alueeseen, sekä testipenkin aiheuttamaan painehäviöön. Puhaltimen täytyy pystyä tuottamaan testipenkin testilaitteille ainakin opinnäytetyön alussa määritelty $4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Osille, jotka eivät ole eriteltyinä liitteen 1 ilmankäsittelykoneiden painehäviö tulosteissa laskettiin yhteisen painehäviön olevan suurimmillaan 1500 Pa. Tämä summa on lisätty liitteen 1 esittämään koko järjestelmän painehäviön laskuun nimellä ”pressure drop in extract inlet”. Testipenkin osien painehäviölaskelma löytyy liitteestä 17, painehäviölaskelman tulokset on myös esitettyinä taulukossa 4.1. Taulukon 4.1 laskuissa on otettu huomioon kaikki testipenkin osat, mutta taulukossa 4.1 esitetään vain merkittävimmät painehäviöt. Kaikki painehäviöt löytyvät liitteestä 17. Painehäviöt ovat esitettyinä ilmavirtojen ja kanavakokojen mukaan.

Luvun 5.4.1 mukaisille virtauksen oikaisijoille laskettiin painehäviö virtauksen oikaisijan tuottajan tarjoamalla kaavalla, jonka tulokset on esitettyinä liitteen 17 lopussa. Taulukossa 4.1. on käytetty 60 Pa painehäviötä jokaiselle oikaisijalle, koska oikaisijoiden painehäviö ei ylittänyt 56 Pa.

Luvun 5.2.5 mukaisien virtauksen tasaajien kertavastuslukujen arvio laskettiin lähteen The Measurement of Air Flow 5th Edition, Formula 51 s. 193 ilmoitetun kaavan mukaan. Kyseisten kaavojen kanssa saatu suurin painehäviö ei ylittänyt millään ilmavirralla, tai verkko vaihtoehdoilla 10 Pa tasaajaa kohden. Tasaajien painehäviöiden laskut löytyvät liitteen 17 lopusta. Taulukon 4.1 laskuissa on käytetty 20 Pa arviota jokaista tasaajaa kohden.

Suutinseinän painehäviönä on käytetty suurimman mittauksissa käytettävän paineen arvoa, joka on 900 Pa. Testilaitteiden painehäviön arviona on käytetty 100 Pa.

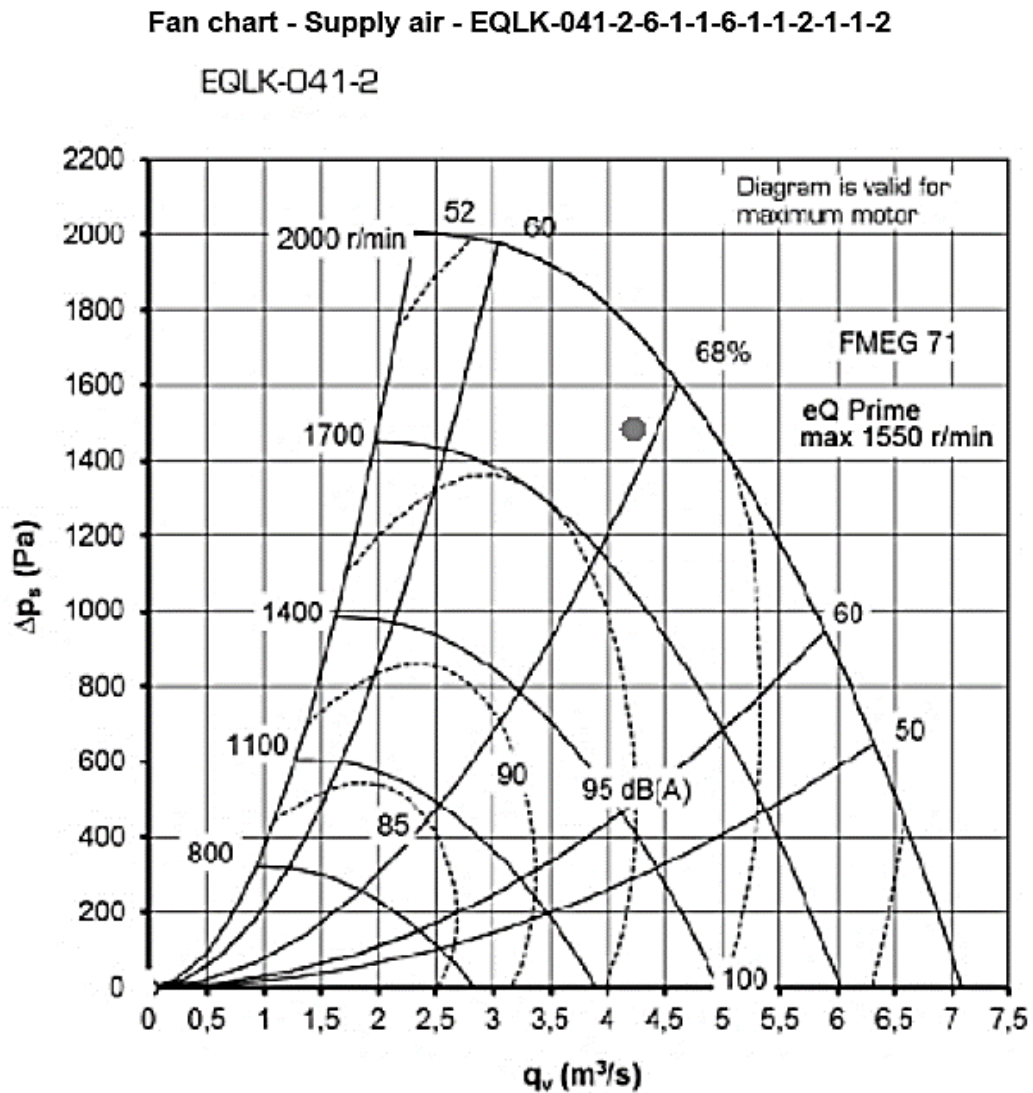
Taulukko 4.1. Painehäviölaskelman tulokset.

Lähtötiedot		Testikanava			Poistokanava	Virtauksen tasaajat			Suutinseinä	Aukko	EQ-koneen osat	Total	
Ilma- virta	Kanava	Virtauksen oikaisija	Testi- laite	Liitos ilmankäsittely- koneeseen	Liitos ilmankäsittely- koneeseen	45	50	60	Painehäviö	Paine- häviö	Painehäviö	Paine- häviöt Yht.	Puhaltimella tuotettava max paine
[m ³ /s]	[mm]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
4,0	800	60	100	20	14	20	20	20	900			1484	1650
2,5	630	60	100	27	5	20	20	20	900	100	100	1476	
1,6	500	60	100	30	2	20	20	20	900			1476	
1,0	400	60	100	33	1	20	20	20	900			1480	
0,6	315	60	100	33	6	20	20	20	900			1486	1700
0,4	250	60	100	38	3	20	20	20	900	100	100	1491	
0,3	200	60	100	37	1	20	20	20	900			1491	
0,2	160	60	100	37	0	20	20	20	900			1489	
0,1	100	60	100	35	0	20	20	20	900			1492	

Järjestelmään valittiin kaksi puhallinta, jotta testipenkillä saataisiin tuotettua mahdollisimman laaja ilmavirta-alue. Lisäksi pienempää puhallinta varten järjestelmään asennetaan kiertokanava, jolla voidaan säätää ilmavirtaa pienemmäksi, kuin mitä puhaltimen omalla säädöllä saataisiin aikaiseksi.

4.2 Isompi puhallin

Isommaksi puhaltimeksi valittiin EQLK-41-2, jolla saadaan tuotettua ilmavirtaa alueelle 4,25 - 1,25 m³/s. Isompi puhallin asennetaan samaan tasoon mittauskammion kanssa. Puhaltimen tekniset tiedot löytyvät liitteestä 1. Puhaltimen taajuusmuuttajana käytetään FC 101 taajuusmuuttajaa, jonka tekninen ohje löytyy liitteestä 2.

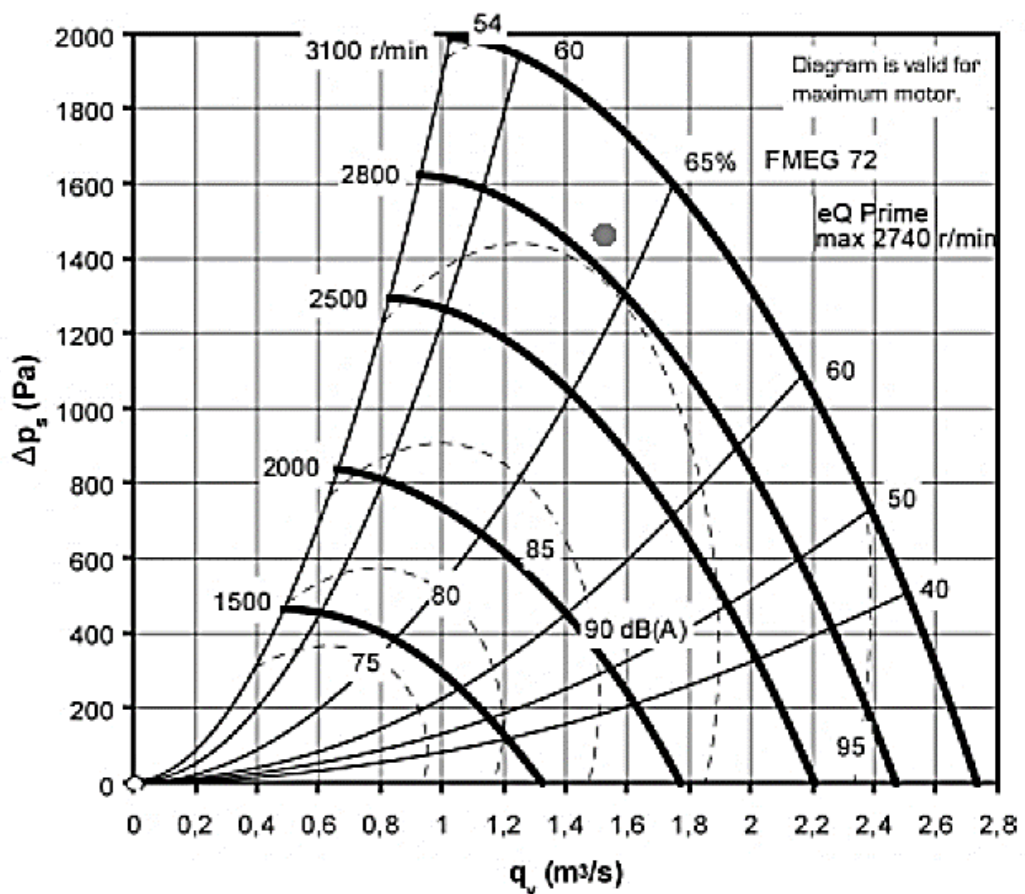


Kuva 4.1. Isomman puhaltimen painekäyrästä. (Fläkt Woods 2015)

4.3 Pienempi puhallin

Pienemmäksi puhaltimeksi valittiin EQLK-014-3, jolla saadaan tuotettua ilmavirtaa alueelle 1,5 - 0,4 m³/s. Pienempi puhallin asennetaan ylemmälle tasolle. Puhaltimen taajuusmuuttajana käytetään FC 101 taajuusmuuttajaa, jonka tekninen ohje löytyy liitteestä 2.

Fan chart - Exhaust air inlet - EQLK-014-3-2-1-1-6-1-2-2-1-2-2
EQLK-011-3/014-3/018-2/020-2



Kuva 4.2. Pienemmän puhaltimen painekäyrästä. (Fläkt Woods 2015).

4.4 Kiertopiiri

Puhaltimien ilmavirtaa säädetään myös kiertopiirillä. Kiertopiiri koostuu kierresaumakanavasta, sekä Iris-pelistä, jolla säädetään kiertopiirin kautta imettävää ilmavirtaa ja sen aiheuttamaa painehäviötä. Suoraan ilmankäsittelykoneen yhteyteen asennetaan pieni matka isointa kiertopiirissä käytettävää kanavaa, johon tarpeen mukaisen kokoinen Iris-pelti asennetaan mahdollisten muuntoliittimien kanssa. Iris-peltien säätötaulukot löytyvät liitteestä 4. Kun kiertopiiri ei ole käytössä se tulpataan kiinni.

5 TESTILAITTEISTON RAKENNE

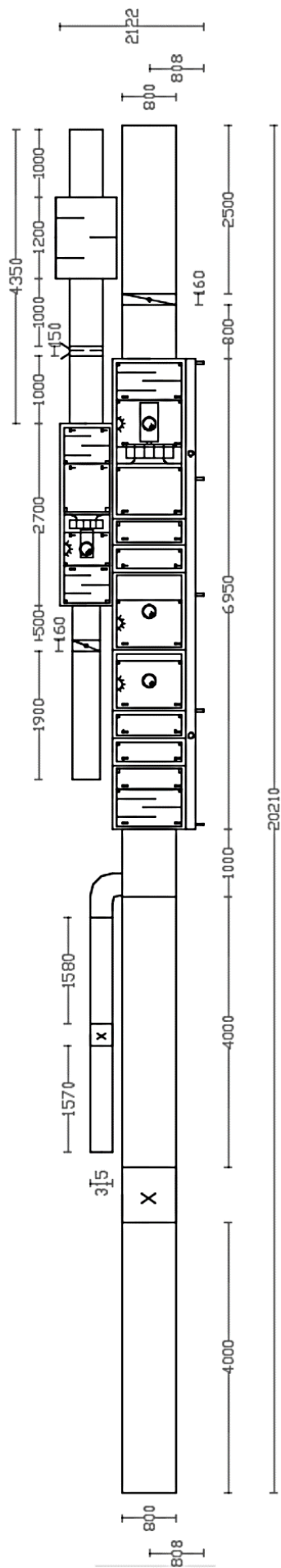
5.1 Testipenkin rakenne

Testipenkki koostuu testikanavista ja ilmankäsittelykoneesta. Testikanava koostuu käytetystä testikanavasta ja lähtökanavasta. Komponentit, jotka eivät ole ilmankäsittelykoneen moduuleja ovat mainittuna kuvan viereisessä tekstissä.

Kuvassa 5.1. on esitettyä koko testipenkki suurimmilla käytettävillä testikanavilla, suutinseinää ja virtauksen tasaajia lukuun ottamatta. Suutinseinän ja virtauksen tasaajia ei ole esitettyä kuvissa, mutta niiden sijainnit on merkitty kuviin ja ilmoitetaan kuvien teksteissä.

Testikanavan sijainti suoraan ilmankäsittelykoneeseen asennettuna on vain ehdotus, jos kyseinen asennustapa ei mahdu lopulliseen testipenkin sijoitus paikkaan, voidaan testikanavan asennustapaa muuttaa, kunhan huomioidaan tästä aiheutuva painehäviön lisäys. Testikanavat voidaan asentaa esimerkiksi kahden kulman kanssa siten, että ne kulkevat ilmankäsittelykoneen vierellä.

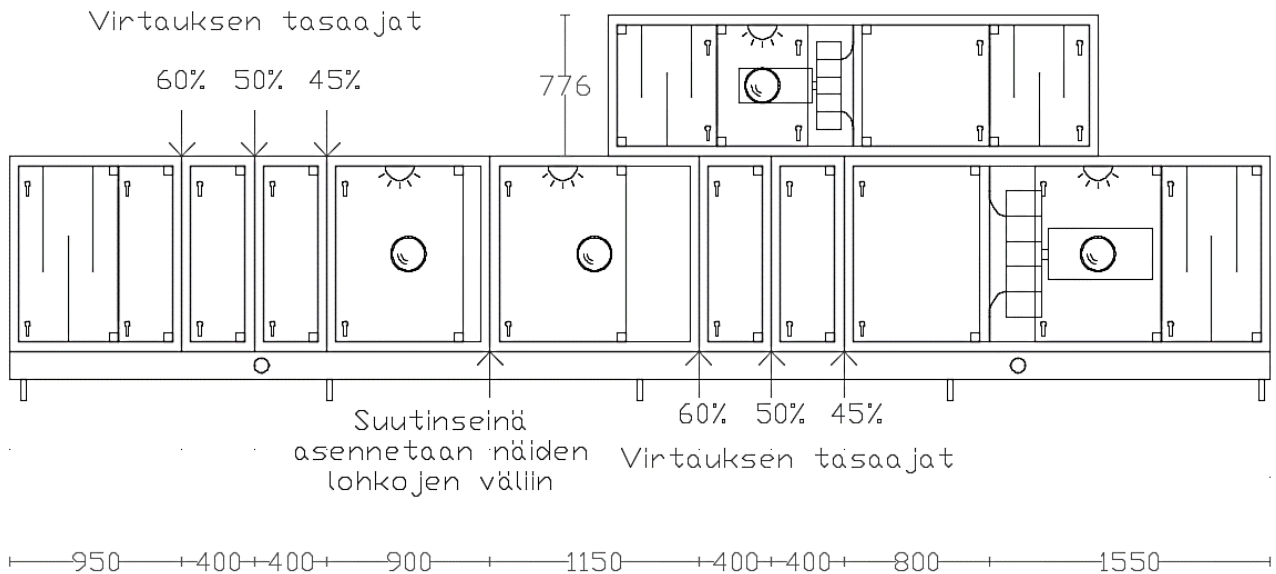
Myös poistokanavien sijainti on vain ehdotus. Jos kuvien mukaiset sijainnit eivät mahdu testipenkin sijoitus tilaan voidaan poistokanavia muokata tai siirtää, kunhan huomioidaan myös tästä aiheutuva painehäviön lisäys.



Kuva 5.1. Testipenkki.

5.2 Ilmankäsittelykoneen rakenne

Ilmankäsittelykone rakennetaan Fläkt Woodsin EQ-moduuleista. Suunnittelu suoritettiin Fläkt Woodsin ACON-suunnitteluohjelmalla. Koneessa tulee olemaan kaksi kerrosta. Ensimmäinen kerros koostuu mittauskammiosta ja isommasta puhaltimesta, ylempi kerros koostuu pienemmästä puhaltimesta ja sen kiertopiiristä.



Kuva 5.2. Ilmankäsittelykone.

Kuvassa 5.2 on esitetty ilmankäsittelykone tarkastelusivulta katsottuna. Virtauksen tasaajat asennetaan kuvassa 5.2 merkittyjen lohkojen väliin. Suutinseinä asennetaan kuvassa 5.2 merkittyjen lohkojen väliin. Ilmankäsittelykoneen piirustuksiin ja kuviin ei ole piirretty virtauksen tasaajien ja suutinseinän tuoma lisämittaa. Niiden tuoma pituuden lisäys tulee lisätä tilattavaan ilmankäsittelykoneen jalustaan, kun lopullinen kone tilataan. Testikanavien lähdöt asennetaan koneen päähän, kuten myös puhaltimien poistot.

Ylemmän kerroksen pienemmän koneen huolto puolen reunalle tulee asentaa laattarauta, ja vastakkaiselle puolelle kulmarauta, liitteen 2 asennusohjeiden mukaan.

Ylemmän kerroksen koneen tyhjän rakenneosan pohjaan tilataan piirustuksien mukainen aukko lopullista konetta tilattaessa. Alempaan koneeseen täytyy tehdä samankokoinen aukko paikan päällä koneen saavuttua. Aukon ympärille tulee asentaa samaa laattarautaa, mitä koneen reunoillekin asennetaan. Aukon ympäröivän raudat tiivistetään molemmin puolin, samoin kuin lohkot liitteen 2 ohjeiden mukaan.

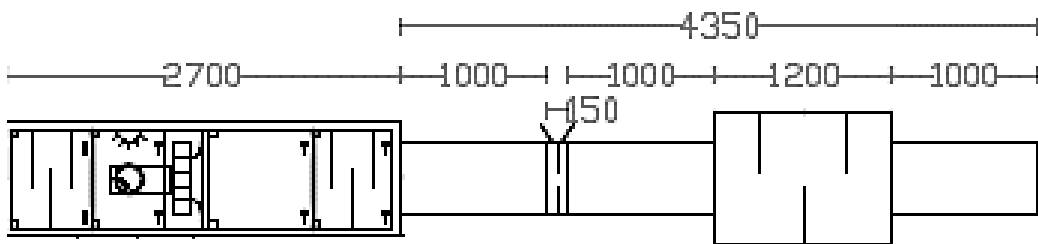
Molempien puhaltimien jälkeen asennetaan pieni matka kanavaa, johon asennetaan sulkupellit. Näitä käytetään mittauksissa käytettävien puhaltimien valitsemiseen.

Ylemmän puhaltimen viereisien tyhjien osioiden välille asennetaan kuvassa 5.3 esitetty kiertopiiri, jolla säädetään pienemmällä puhaltimella tuotettua mittauskammion ilmavirtaa. Koko ilmapuhaltimien piirustukset löytyvät liitteestä 1.

5.2.1 Kiertopiirin rakenne

Kiertopiiri asennetaan ilmapuhaltimen ylemmän kerroksen oikeaan reunaan kuvan 5.3. esittämällä tavalla. Kiertopiiri koostuu 500 mm kanavasta, johon asennetaan Iris-pelti. Kiertopiiriin voidaan myös asentaa erikokoisia Iris-peltejä tarpeen mukaan, asentamalla muuntoliitin kanavaan ennen Iris-peltiä. Täten saadaan pienemmällä puhaltimella tuotettua ilmavirtaa säädettyä joustavammin.

Kuvassa 5.3. esitetään kiertopiiri silloin, kun siihen on asennettuna suurin kiertopiirikanaava. Ilmapuhaltimen yhteydessä oleva metrin mittainen kanavapätkä on asennettuna koneeseen kiinteästi. Kaikkien kiertopiirikanaavien piirustukset löytyvät liitteestä 12. Kun kiertopiiri ei ole käytössä, asennetaan kiertopiirin päähän tulppa. Kiertopiirissä käytettävien Iris-peltien tekninen ohje löytyy liitteestä 4.

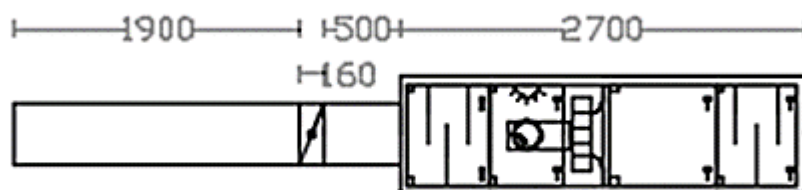


Kuva 5.3. Kiertopiiri.

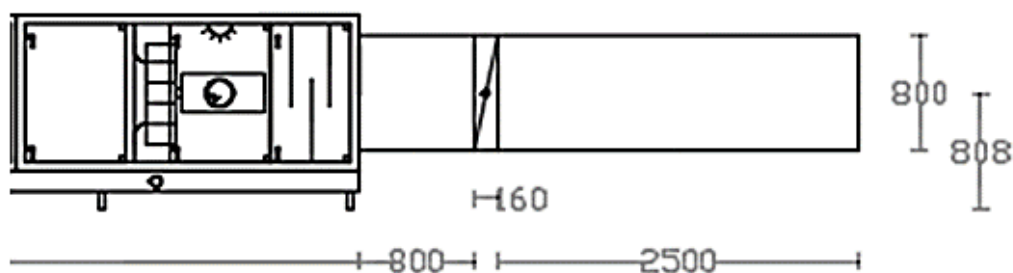
5.2.2 Poistokanavien rakenne

Poistokanavat ovat ilmapuhaltimen puhaltimien perään tulevat kanavat, jotka kuljettavat ilman pois koneesta ja sulkevat puhallinreitit, silloin kuin vain toinen on käytössä mittausta varten. Poistokanavien sulkemiseen käytetään BDEP säätölaitteita, joissa on moottorit. Poistokanavat, ilmapuhaltimien koneeseen asennettuna ovat esitettyinä kuvissa 5.4 ja 5.5.

Lopullisen testipenkin poistokanavat voivat poiketa suunnitelmista, jos suunnitelmiin mukaiset piirustukset eivät sovellu lopulliseen sijoitus paikkaan, tärkein vaatimus poistokanaville on sulkujärjestelmä. Poistokanavien piirustukset löytyvät liitteestä 9.



Kuva 5.4. Pienemmän puhaltimen poistokanava.

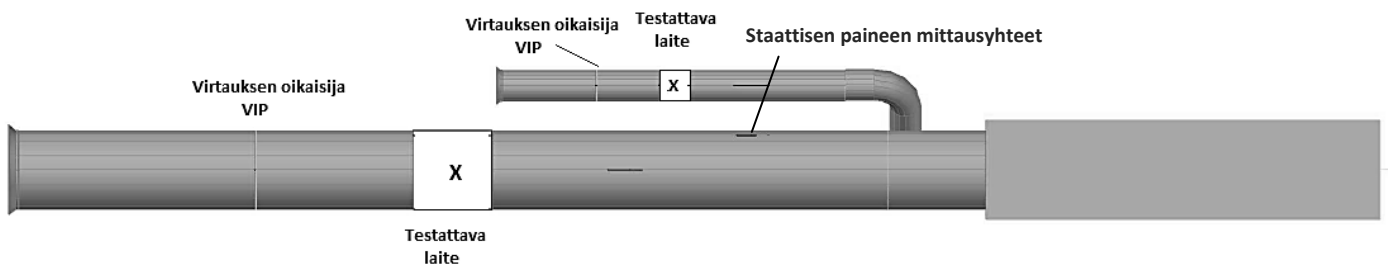


Kuva 5.5. Isomman puhaltimen poistokanava.

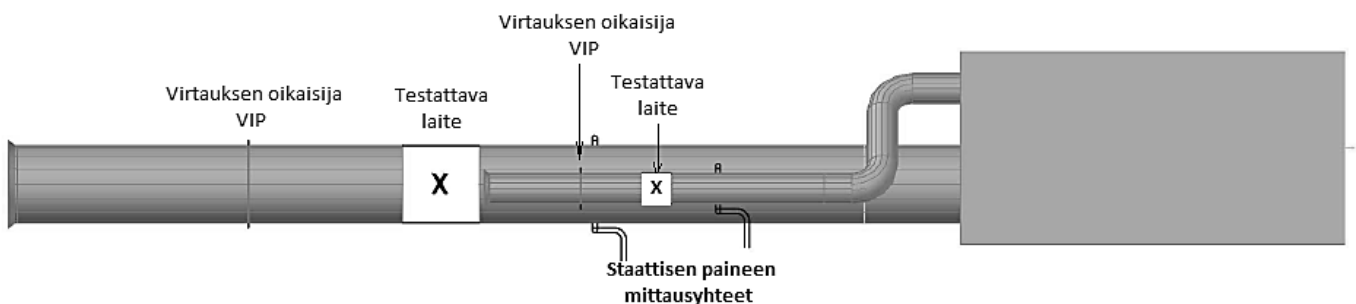
5.2.3 Lähtökanavien rakenne

Lähtökanavat ovat kanavanosat, jotka liittävät testikanavat ilmankäsittelykoneeseen. Lähtökanavat asennetaan ilmankäsittelykoneen imupuolen päähän. Testikanavien sulkemiseen käytetään tulppia. Tulppa asennetaan samaan liitokseen, kuin testikanava. 800 mm lähtökanava tulpataan muuntoliittimen kanssa.

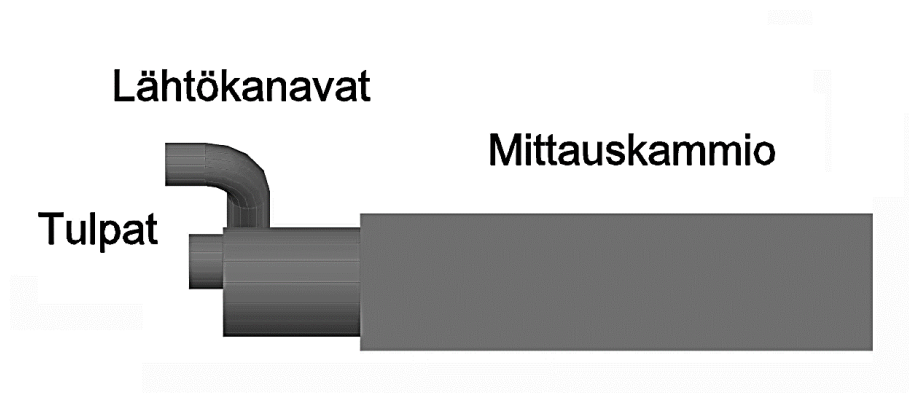
Lopulliset lähtökanavat voivat poiketa piirustuksista, jos piirustuksien mukaiset lähtökanavat eivät mahdu testipenkin lopulliseen sijoitus paikkaan. Tärkein vaatimus on sulkujärjestelmä. Lähtökanavien piirustukset löytyvät liitteestä 8. Kuvissa 5.6 ja 5.7 esitetään testikanavia asennettuna lähtökanaviin. Kuvissa 5.8 ja 5.9 esitetään pelkät lähtökanavat.



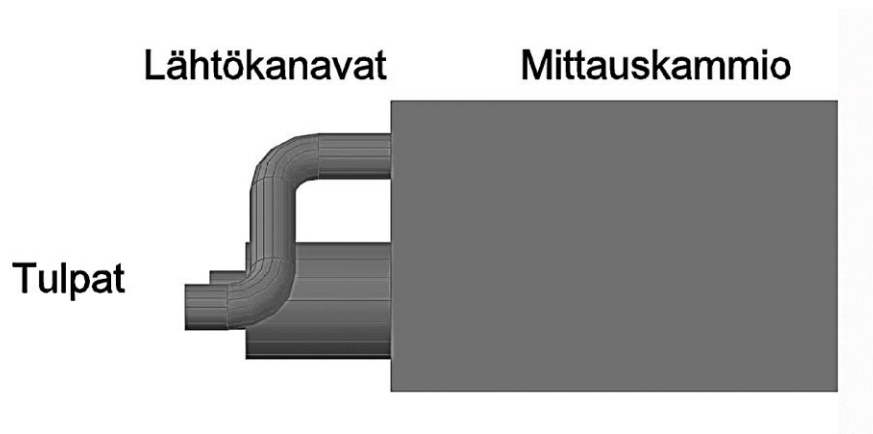
Kuva 5.6. Testikanavat sivusta.



Kuva 5.7. Testikanavat ylhäältä.



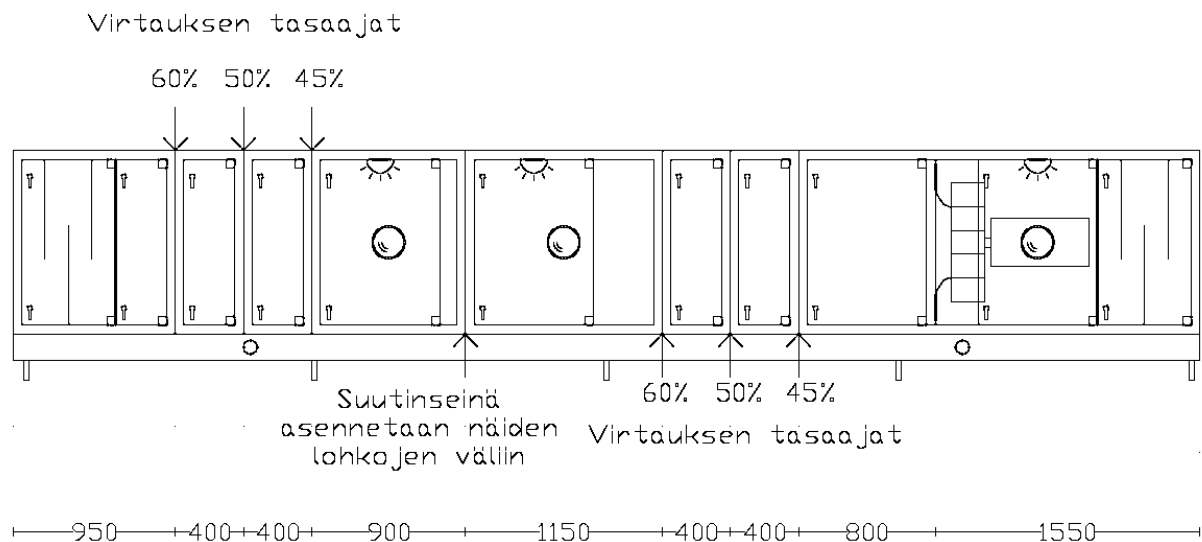
Kuva 5.8. Tulpatut lähtökanavat sivusta.



Kuva 5.9. Tulpatut lähtökanavat ylhäältä.

5.3 Mittauskammion rakenne

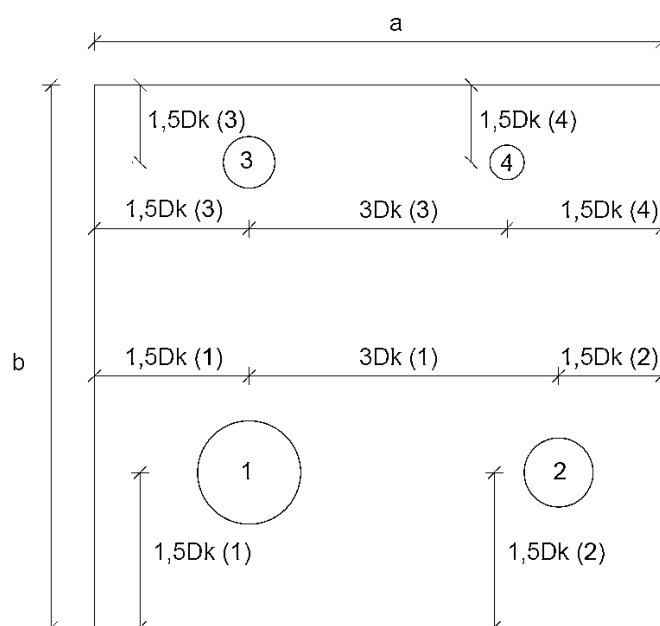
Kuvassa 5.10 on esitetty lopullinen mittauskammio, joka tehdään osittain ilmankäsittelykoneen moduuleista ja osittain erikseen suunnitelluista komponenteista. Virtauksen tasaajat, sekä suutinseinä eivät ole esitettyinä kuvissa. Virtauksen tasaajat asennetaan kuvan 5.10 esittämien lohkojen väliin. Tasaajien välisiksi lohkoiksi suunniteltiin 400 mm pitkät lohkot sillä ne olivat pienimmät joihin saadaan huolto-ovet. Suutinseinä asennetaan kuvan 5.10 esittämien lohkojen väliin. Liitteessä 2 olevien ohjeiden mukaiset tiivisteet asennetaan siis suutinseinän ja virtauksen tasaajien laippoihin, jonka jälkeen suutinseinä ja tasaajat asetetaan lohkojen väliin ja lohkot kiinnitetään toisiinsa. Ilmankäsittelykoneen piirustukset löytyvät liitteestä 1.



Kuva 5.10. Mittauskammio ilmankäsittelykoneessa.

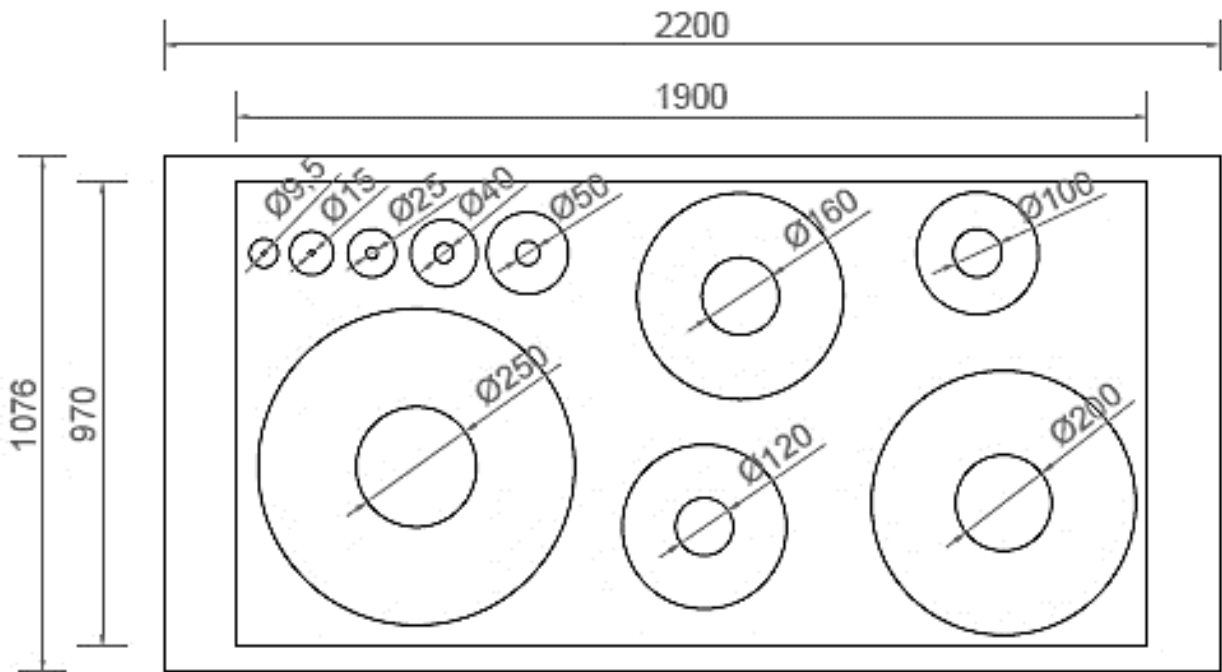
5.3.1 Suutinseinän rakenne

Suutinseinän rakenne koostuu valituista suuttimista sekä metallilevystä, johon suuttimet kiinnitetään ja joka asennetaan ilmankäsittelykoneeseen. Suutinseinän rakenteen mitoitus varten suuttimille on asetettu standardien AMCA 210 - 99 6.3.4, s. 10 ja SFS-EN ISO 5801:en 22.3, s. 70 mukaiset minimivälimitat seinästä, sekä toisistaan. Jokaisen suuttimen keskilinjan on oltava ainakin 1,5 kertaa suuttimen kurkun halkaisijan mitan päässä seinästä. Jokaisen yhtäaikaisesti käytettävien suuttimien on oltava 3 kertaa suuremman suuttimen välimatkan päässä toisistaan

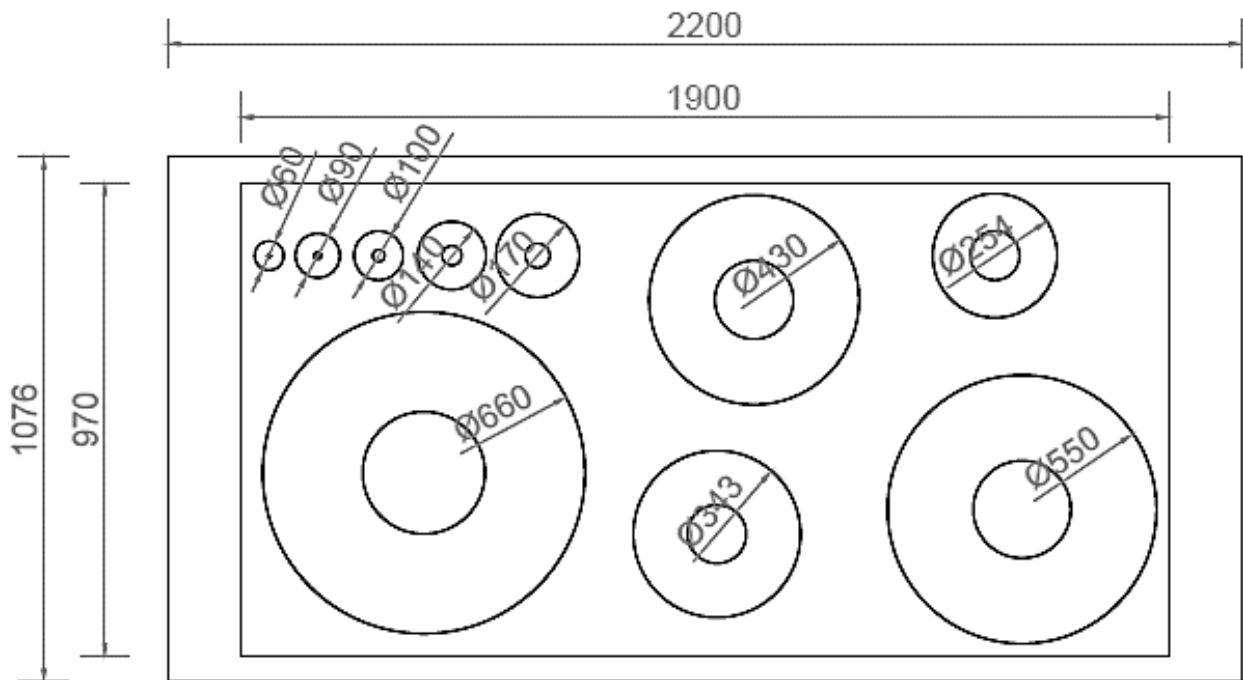


Kuva 5.11. Suutinseinän mitoitusperiaate.

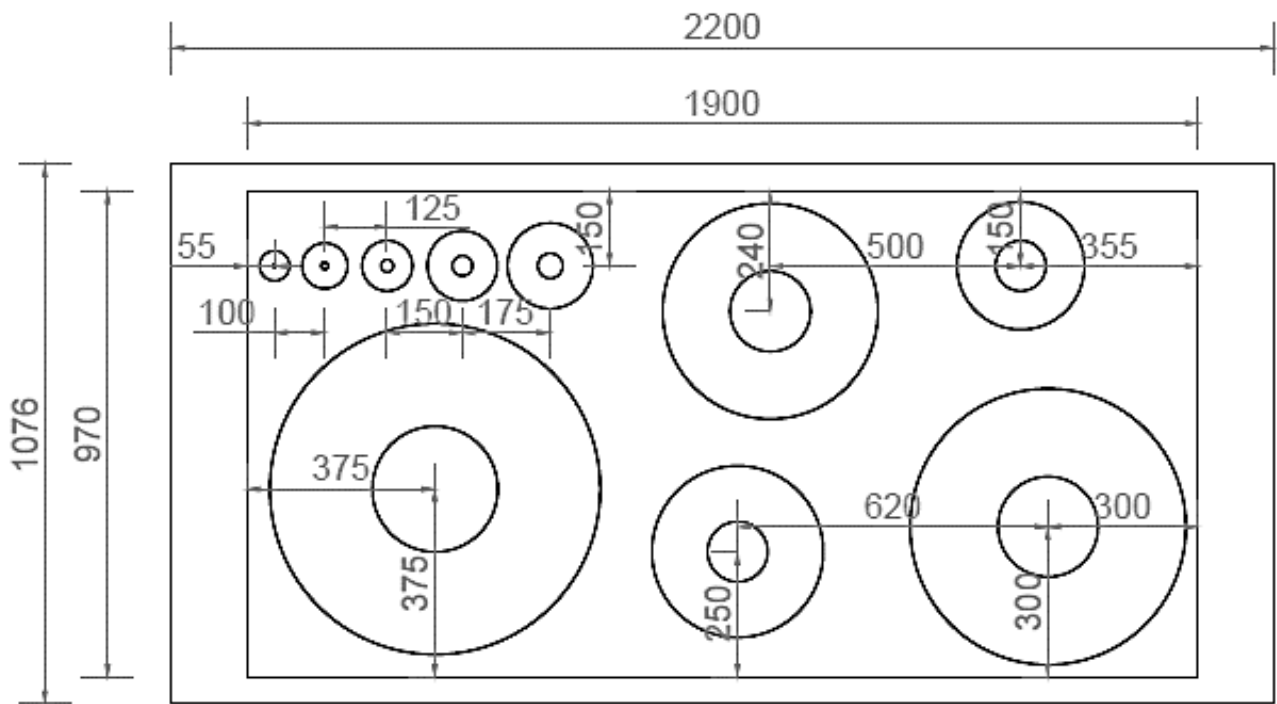
Kuvassa 5.11 on esitetty suutinseinän mitoitusperiaate. Suuttimet on numeroitu punaisilla luvuilla ja mittojen jälkeisissä suluissa ilmoitetaan minkä suuttimen kurkun halkaisijaa mitoituksessa käytetään. Suuttimet, jotka eivät toimi samanaikaisesti eivät tarvitse 3 kertaa suuremman suuttimen halkaisijan mittaa toisistaan. Samoja ilmavirtoja kuvassa käyttävät 1 ja 2, sekä 3 ja 4. Täten esim. 1 ja 3 eivät tarvitse minimi välimittaa.



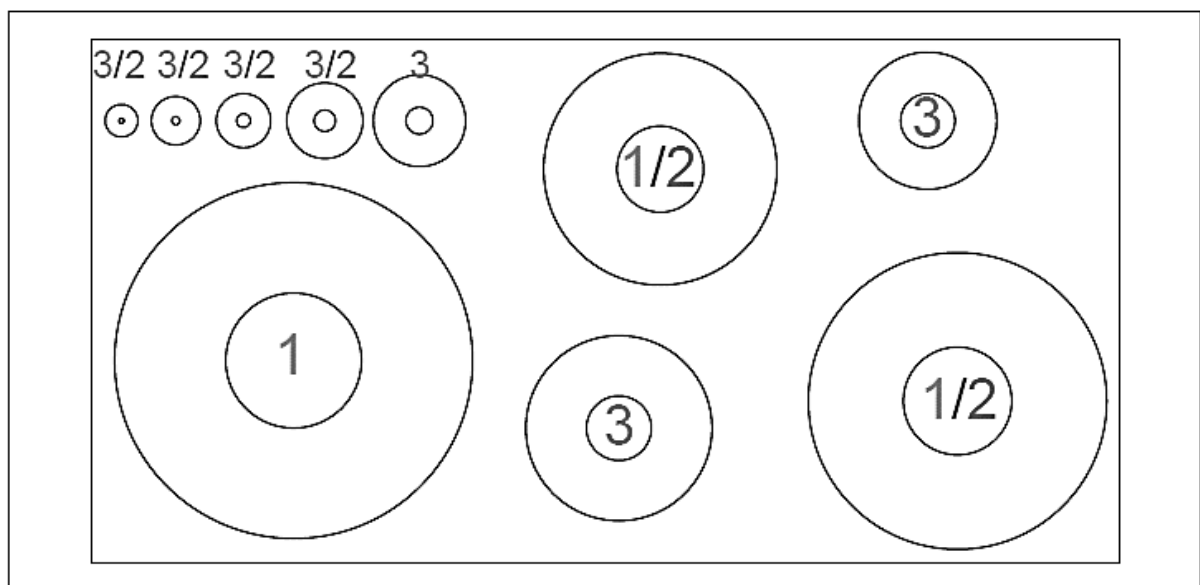
Kuva 5.12. Suuttimien halkaisijat.



Kuva 5.13. Suuttimien laippojen halkaisijat.



Kuva 5.14. Suuttimien mitat seinistä.



Kuva 5.15. Suutinryhmät numeroituna.

Edellä olevissa kuvissa 5.12, 5.13 ja 5.14 on esitetty suutinseinän mittoja. 1900 mm ja 970 mm mitat ovat ilmankäsittelykoneen kanavan sisämitat, 2200 mm ja 1076 mm ovat laippamitat, joihin liitteen 2 mukaiset tiivisteet asetetaan. Kuvassa 5.15 on esitettyinä suuttimien ryhmät, numeroituina eri värien kanssa. Kuvassa 5.16 on esitettyinä suutinseinä asennettuna pyöreään kanavaan.

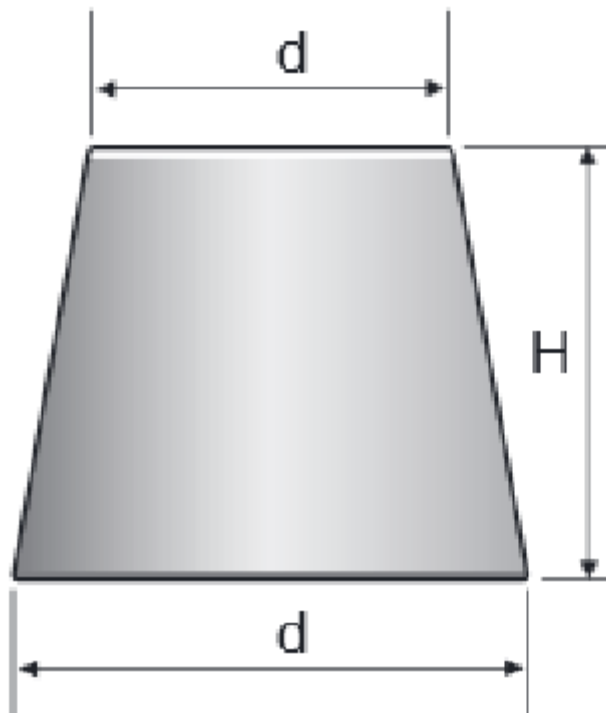
Suuttimien sijainnit toisiinsa nähden, rajoittaa suuttimien yhtäaikaisen käytön taulukoissa 1 - 3 esitettyihin ryhmiin ja niille lasketuille ilmavirtarajoille. Suutinseinän piirustukset ovat liitteessä 10. Suutinseinä tilataan erikseen, eikä sitä ole eriteltyinä kustannusarviossa. Suuttimien tuottajia löytyy listattuna liitteessä 18.



Kuva 5.16. Mallikuva suutinseinästä. (SFP 2015).

5.3.2 Suuttimien sulkujen rakenne

Suuttimia suljetaan liitteen 3 taulukkojen 1 - 3 ryhmien mukaisesti. Suuttimien sulkuuun käytetään Fläkt Woods Oy:n tuottamia kanavasulkuja suutinkooille 250 mm, 200 mm, 160 mm, 120 mm ja 100 mm. Kooille 50 mm, 40 mm, 25 mm, 15 mm ja 9,5 mm käytetään muovitulppia, jotka ovat esitettynä kuvassa 5.17 (www.tuotteet.etra.fi/fi/g2661594/kumitulpat-kartio-harmaa-nr). Muovitulpat asetetaan suutinseinän painepuolelle suuttimien sisälle, muovitulppiin voidaan myös kiinnittää esim. koukkuruuvi, jonka avulla tulpan poistaminen helpottuisi. Fläkt Woods Oy:n kanavatulpat ovat BDEG-4-D₁ kanavatulppia ja ne asennetaan myös suutinseinän painepuolelle. Suutinseinän tulpat tilataan erikseen, eikä niitä ole eriteltyä kustannusarviossa. Liitteessä 18 on listattu tuottajia.

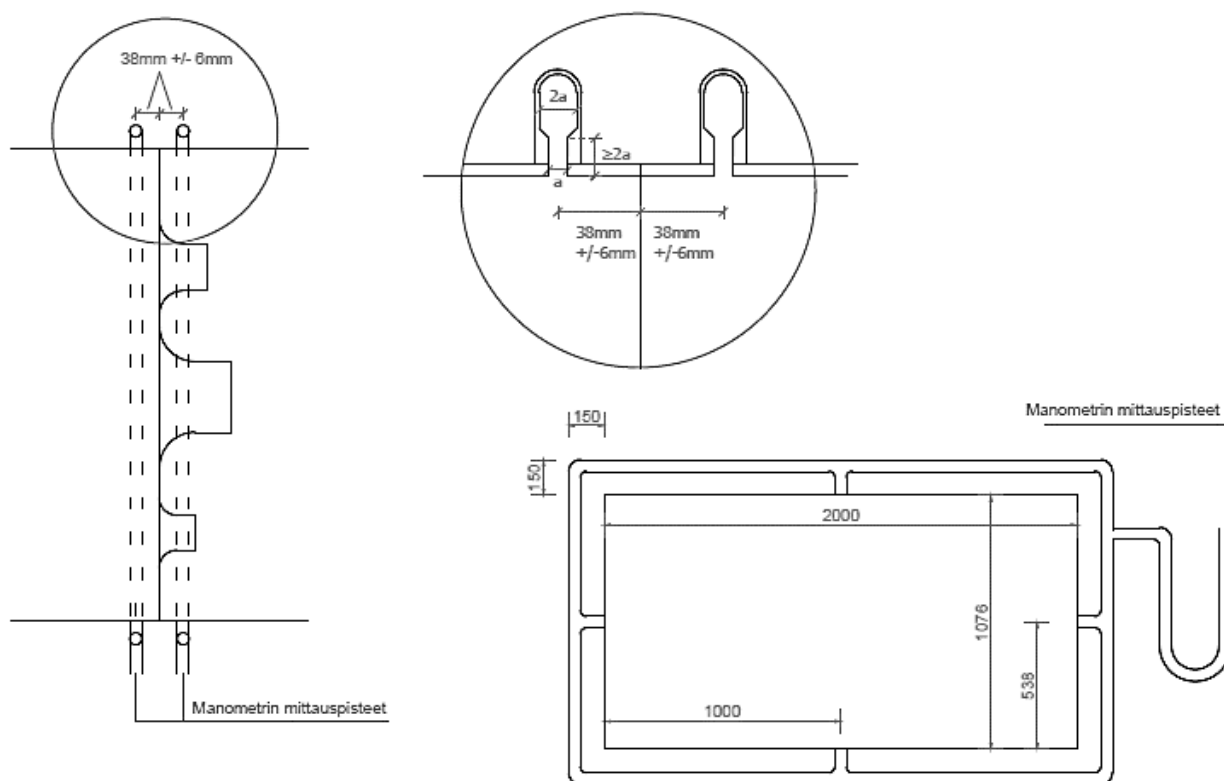


Kuva 5.17. Muovitulpat pienemmille suuttimille.

5.3.3 Paine-eron mittausyhde

Suutinseinän eri puolien paine-eroa mitataan luvun 3.4 mittarilla, jonka mittauspisteet asennetaan mittauskammion kaikkien seinien keskelle, 38 mm päähän suutinseinästä, +/-6 mm virheellä standardien SFS-EN ISO 5801:en, Figure 37, s. 110 ja AMCA 210 - 99, Figure 2A, s. 21 mukaisesti. Liitäntäletkujen halkaisijan tulee olla välillä 1,5 – 5 mm ja seinään porattavan reiän halkaisijan tulee olla puolet letkujen halkaisijasta kuvan 5.18. mukaisesti. Lisäksi seinään tehtävien reikien tulee olla teräväreunaiset ja jäysteettömät. Lisäksi rengaskammio on asennettava niin, että rengaskammion letkut mahtuvat mittauskammion pohjan ja lattian väliseen 270 mm väliin, sekä mittauskammion katon ja pienemmän puhaltimen poistokanavan väliseen 150 mm väliin. Paine-eron mittausyhteen piirustukset liitteessä 11.

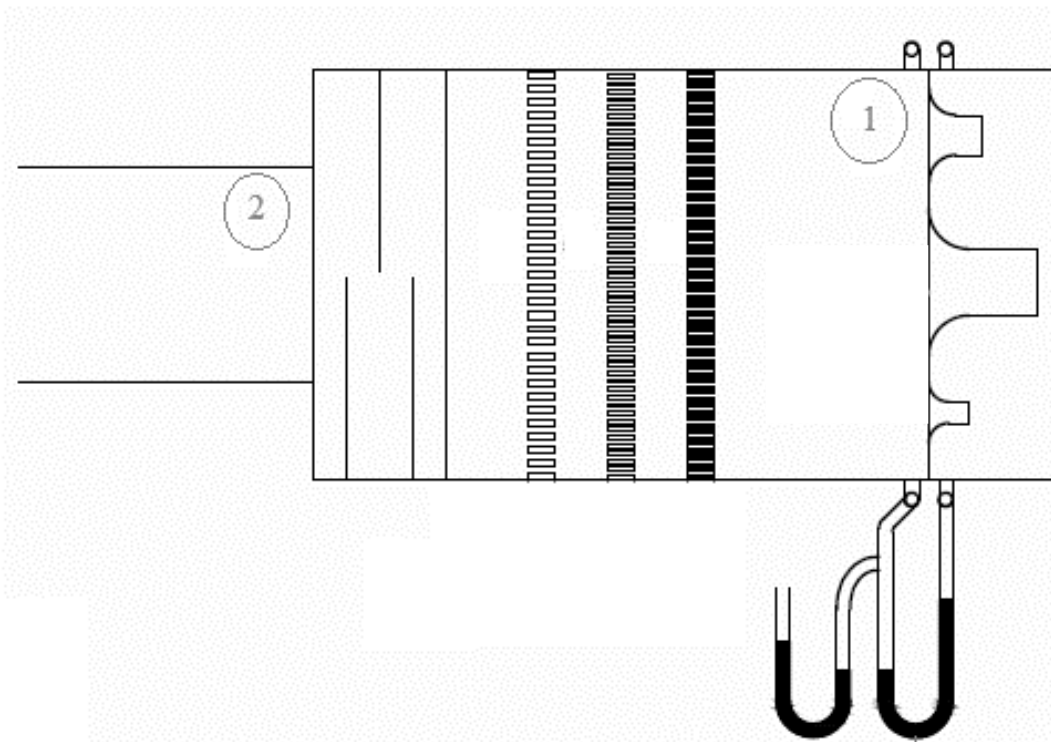
Tarkastusoven kohdalla olevien mittausyhteiden letkujen tulee olla irrotettavissa, jotta tarkastusovet voidaan avata suuttimien sulkua varten. Mittausyhteen pneumatiikkaletkut tilataan erikseen, eikä niitä ole eriteltynä kustannusarviossa. Liitteessä 18 löytyy pneumatiikkaletkun tuottajia.



Kuva 5.18. Painemittausliitäntöjen mitat

5.3.4 Lämpötilan mittausyhde

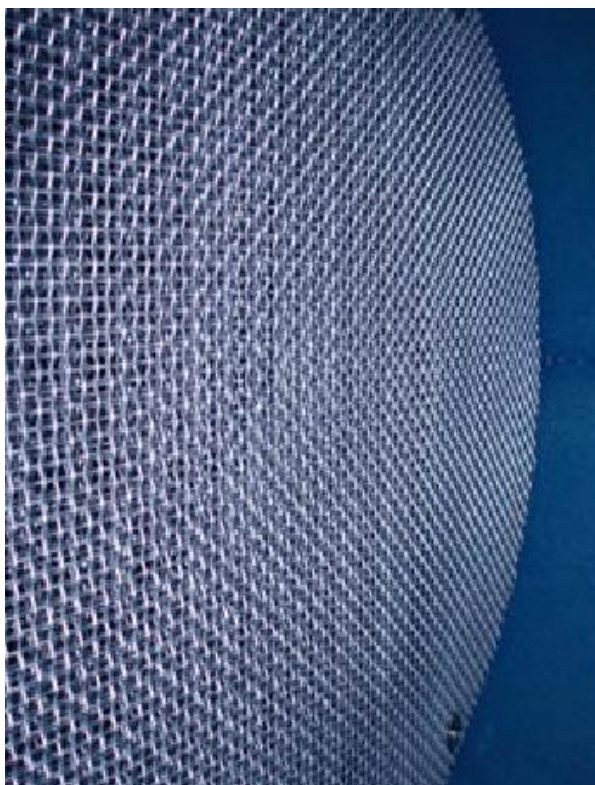
Mittauskammion lämpötilaa mitataan kappaleessa 3.6 esitetyllä monitoimimittarilla. Monitoimimittarin anturi voidaan asettaa mittauskammioon suutinseinän yhteyteen, mutta standardin AMCA 210 - 99, Figure 12, s. 31 mukaan mittauskammiota edeltävän kanavanlämpötila voidaan olettaa olevan sama, kuin mittauskammiossa, joten mittausanturi voidaan asettaa lähtökanavaan, juuri ennen mittauskammioon liittämistä, jos tämä koetaan helpommaksi, tai jos anturi on liian lyhyt yltääkseen mittauskammion keskelle. Mittausanturi voidaan täten sijoittaa kuvan 5.19 pisteiden 1 ja 2 välille.



Kuva 5.19. Lämpötila-anturin sijaintivaihtoehdot

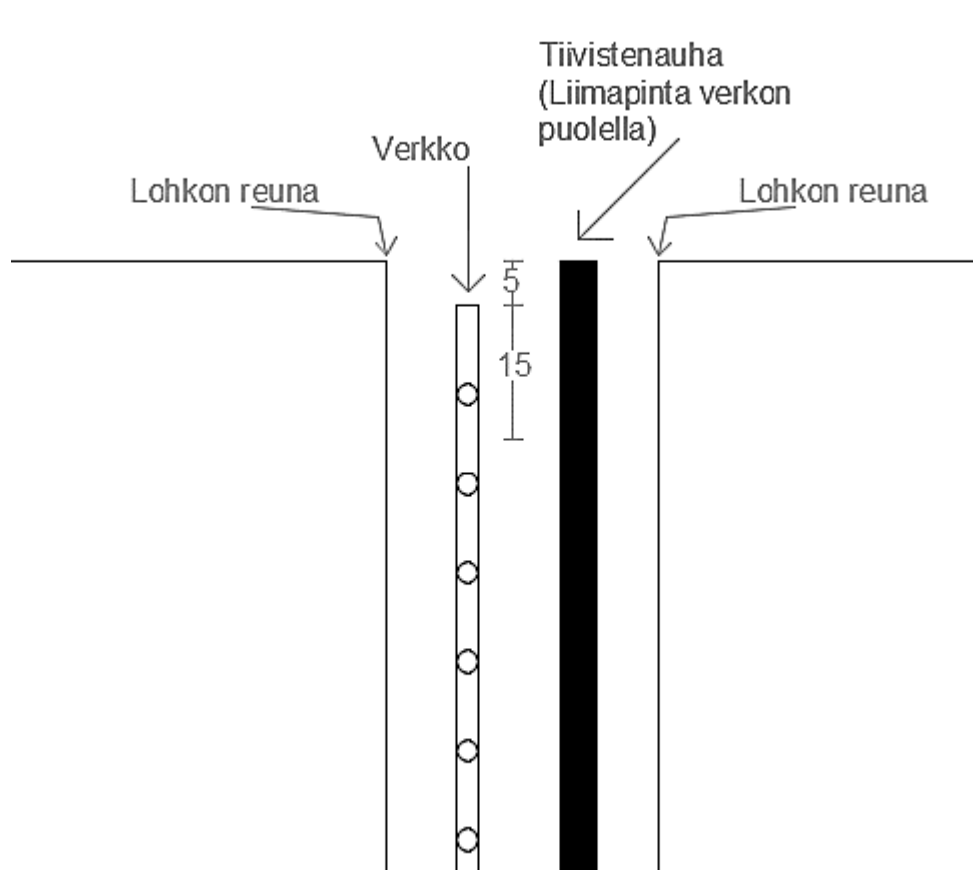
5.3.5 Virtauksen tasaajien rakenne

Virtauksen tasaajiksi valittiin ilmankäsittelykoneen lohkojen väliin asennettavat metalliset verkot. Lähteen SFS-EN ISO 5801:en 29.1.3, s. 110 mukaan mikä tahansa rei'itetyn levyn tai verkon, joilla on 45 %, 50 % ja 60 % avoimet alat, asennettuna 0,1 kertaa mittauskammion hydraulisen halkaisijan päähän toisistaan voidaan olettaa tuottavan tarpeellinen virtauksen tasaus. Kuvassa 5.20 on esitettyä malli tasaajaverkosta.



Kuva 5.20. Mallikuva tasaajaverkosta pyöreässä mittauskammiossa (SFP 2015)

Verkkojen leveyteen ja korkeuteen lisätään 15 mm enemmän, kuin mittauskammion sisähalkaisijalla, jotta se jää lohkojen väliin. Täten jokaisen verkon leveys on 1930 mm ja korkeus 1000 mm. Verkot tiivistetään kuvan 5.21 mukaisesti niin, että tiivistenauha on leveydeltään puoliksi verkon päällä ja puoliksi vain lohkon reunan päällä.



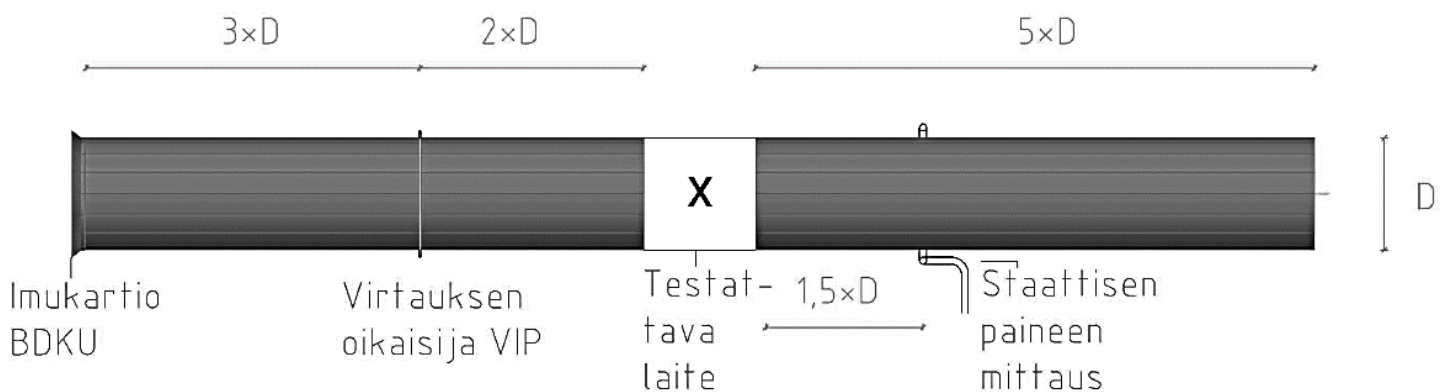
Kuva 5.21. Virtauksen tasaajan asennus mallikuva

Virtauksen tasaajien verkkojen avoimet alat tulee olla mahdollisimman lähellä luvussa 3.2.2 mainittujen 60 %, 50 % ja 45 % avoimia aloja. Avoimien alojen tulisi olla noin välillä 43 - 47 %, 48 - 52 %, 58 - 62 %. Verkkojen paksuuksien tulisi olla mahdollisimman lähellä 2,5 mm, mutta verkkojen halkaisijat saavat olla väliltä 5 - 0,5 mm

Virtauksen tasaajien piirustukset löytyvät liitteestä 5. Tasaajien pituus riippuu sen rakentamiseen käytetyn verkon paksuudesta. Mahdollisia tuottajia on esiteltyä liitteessä 18. Virtauksen tasaajat tilataan erikseen, eikä niitä ole eritelty kustannusarviossa.

5.4 Testikanavan rakenne

Testikanavat ovat kanavaosiot, joihin mitattavat laitteet liitetään. Testipenkissä käytetään kanavakokoja 100 – 800 mm. Testikanavassa on testattavan laitteen tulopuolella 5 kertaa halkaisijan mitan verran putkea, sekä virtauksen oikaisija ja imukartio. Testattavan laitteen poistopuolella on staattisen paineen mittauspiste, sekä sama 5 kertaa halkaisijan määrä kanavaa, joka liitetään ilmankäsittelykoneiden lähtökaulukseen. Testikanavien piirustukset löytyvät liitteestä 7.



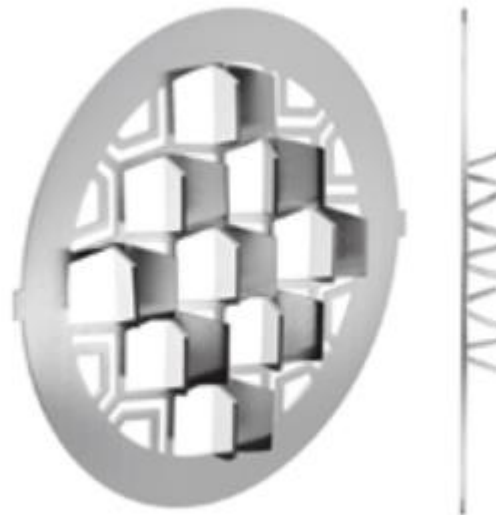
Kuva 5.22. Malli kuva testikanavista

Testikanavan imuaukkoon asennetaan BDKU – imukartio, joka osittain auttaa virtauksen oikaisemisessa. Sen jälkeen kanavaan asennetaan varsinainen virtauksen oikaisija 3 kertaa halkaisijan matkan päähän imukartion jälkeen ja 2 kertaa halkaisijan matkan päähän testilaitetta ennen kuvan 5.22 esittämällä tavalla. Staattisen paineen mittaus asennetaan 1,5 kertaa halkaisijan matkan päähän testilaitteen jälkeen.

5.4.1 Virtauksen oikaisijoiden rakenne

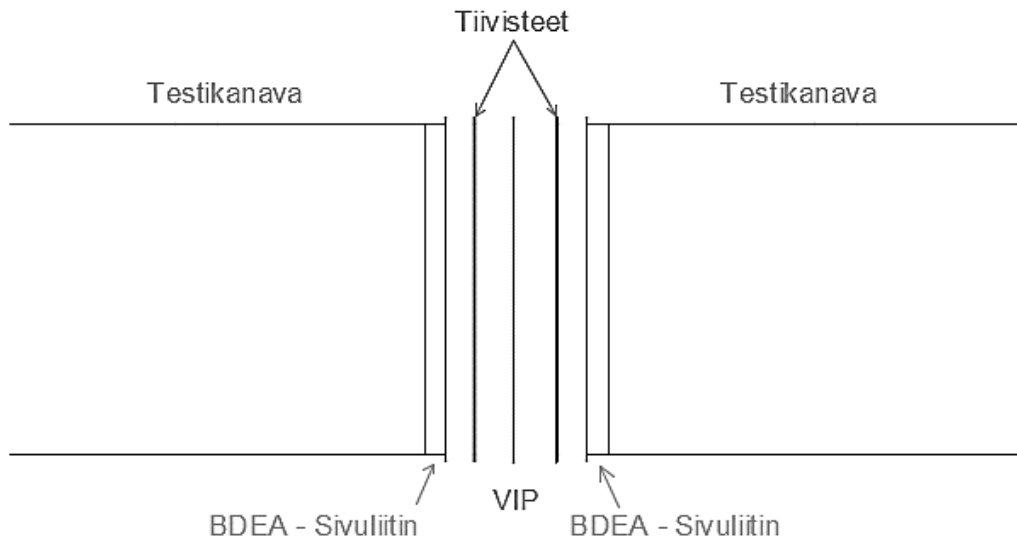
Virtauksen oikaisijana käytetään Vortab Company:n tuottamaa VIP (Vortab Insertion Panel Flow Conditioner) virtauksen oikaisijoita. Standardien SFS-EN ISO 5801:en ja AMCA 210 - 99 mukaan virtauksen oikaisijana voidaan käyttää mitä tahansa oikaisija mallia, jonka on todettu tuottavan hyväksyttävä virtauksen oikaisu, johon VIP oikaisijoilla on ISO 9001 hyväksyntä. Tilauslista oikaisijoille on liitteessä 6, joka täytetään Vortab Company:n ohjeiden mukaan. Oikaisijat asennetaan 3 kertaa kanavan halkaisijan mitan päähän imuaukosta ja 2 kertaa kanavan halkaisijan matkan päähän testilaitteesta lähteen SFS-käsikirja 50 - 1 s. 110 ja kuvan 5.22. mukaan.

Virtauksen oikaisijoiden painehäviöt on laskettu Vortab Company:n kaavojen mukaan. Painehäviöiden tulokset ja laskenta on esitetty liitteessä 17. Puhaltimien mitoituksessa, virtauksen oikaisijoille on varattu 60 Pa painehäviö. Yhdenkään oikaisijakoon laskettu painehäviö ei noussut 56 Pa suuremmaksi. Virtauksen oikaisijat tilataan erikseen, eikä niiden hintaa esitetä kustannusarviossa.



Kuva 5.23. Virtauksen oikaisijan mallikuva (Vortab Company 2015)

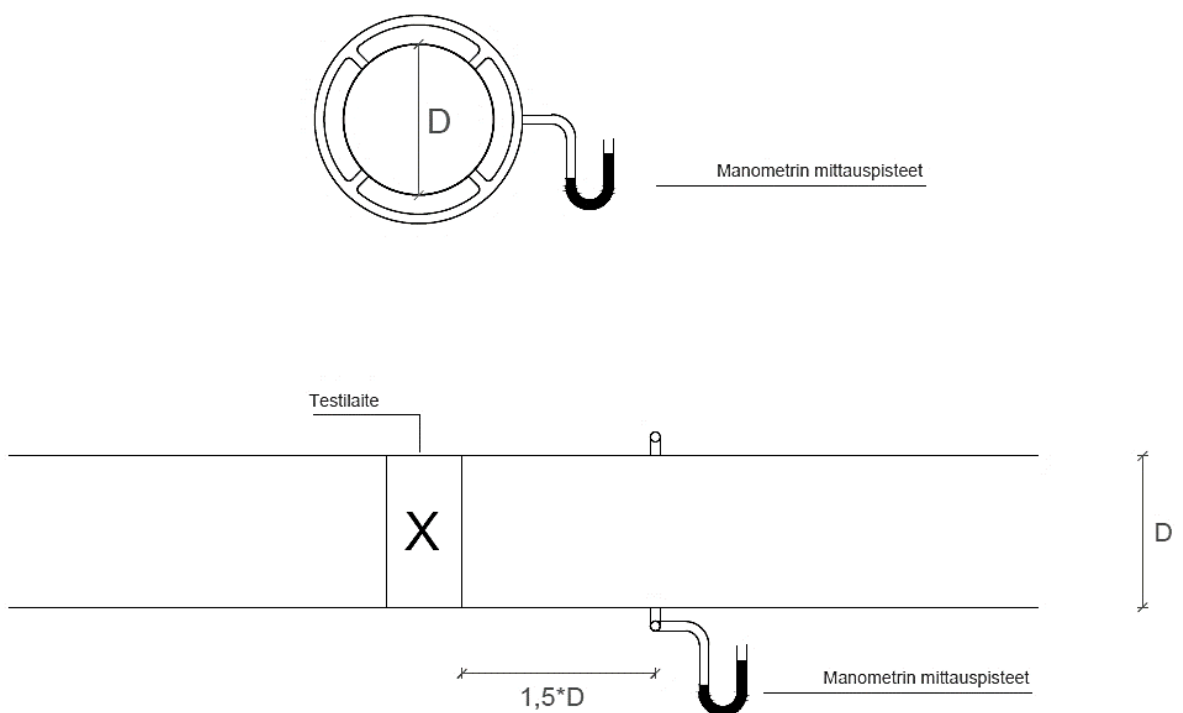
Kuvassa 5.23 on Vortab Company:n tekemä kuva VIP oikaisijasta. Oikaisija asennetaan testikanavaan Fläkt Woods Oy:n HAEA - sivuliittimien kanssa tiivistettynä kuvan 5.24 mukaisesti. Sopivien tiivisteiden tuottajia on listattuna liitteessä 18. Sivuliittimet kiinnitetään toisiinsa pulteilla ja muttereilla, jotka asennetaan sivuliittimissä oleviin reikiin. Sivuliittimiin voidaan porata lisää reikiä, jos pelkästään liittimen omien reikien kanssa kiinnittämisen ei koeta olevan tarpeeksi tukeva tai tiivis.



Kuva 5.24. Virtauksen oikaisijan asennus testikanavaan

5.4.2 Staattisen paineen mittausyhde

Staattisen paineen mittausyhde on pneumatiikkaletkusta valmistettu rengaskammio, joka asennetaan 1,5 kertaa halkaisijan mitan päähän testilaitteesta. Mittausyhde tehdään standardin AMCA 210 - 99, Appendix G, s. 51 mukaan. Mittaus suoritetaan luvun 3.5 manometrillä. Staattisen paineen piirustuksia löytyy liitteestä 13. Mittausyhteen letkut tehdään pneumatiikkaletkusta, jonka tuottajia löytyy liitteestä 18. Letkut ja osat on tilattava erikseen, eikä niitä ole eriteltyinä kustannusarviossa, tarvittavat määrät ovat myös liitteessä 17.



Kuva 5.23. Testikanavan staattisen paineen mittausyhde

6 MITTAUSPROSESSI

6.1 Mittausten alkujärjestely

Mittausprosessin alkuun valitaan haluttu mitattava laite ja asennetaan se sopivimpaan testikanavaan, joka vuorostaan asennetaan sopivimpaan lähtökanavaan mahdollisten muuntoliittimien kanssa. Lähtökanava, joka ei ole käytössä suljetaan tulpalla.

Testikanavan valinnan jälkeen selvitetään mitattavalle testilaitteelle toivotut ilmavirta-alueet, joilla laitetta mitataan. Ilmavirta-alueen perusteella valitaan suutin tai suuttimet, joilla mitataan ilmavirtaa mittauskammiossa. Mittauksessa käytettävät suuttimet voidaan valita taulukoista 1, 2 ja 3, jotka löytyvät liitteestä 3. Taulukoista valitaan suutin tai suutinryhmä, joka sisältää toivotun ilmavirran ja valitaan se mittausta varten.

Suuttimien sopivuuden tarkistamiseksi voidaan suorittaa paine-eromittaus, jolla varmistetaan suuttimien sopivuutta ilmavirtaan. Käynnistetään testipuhallin valitulla ilmavirralla ja mitataan suutinseinän paine-ero. Jos paine-ero on alle 250 Pa, suljetaan osa suuttimista, jos paine-ero on yli 1000 Pa, niin avataan lisää suuttimia, jotka kuuluvat käytettyyn suutinryhmään. Suuttimia avataan ja suljetaan, kunnes päästään 300 - 900 Pa raja-arvojen sisälle.

Kiertopiiriä käytettäessä puhaltimelle asetetaan suurempi ilmavirta, kuin mitä varsinaisessa mittauksessa halutaan käyttää. Tämä asetettu ilmavirta mitataan sille sopivalla suutinryhmällä, kun kiertopiiri on tulpattuna. Kun tämä ilmavirta on mitattu, suljetaan kaikki muut paitsi haluttua mittausta varten tarvittavat suuttimet. Tämän jälkeen sopivan ilmavirta- ja painehäviö-alueen omaava Iris-pelti asennetaan kiertopiiriin ja asetetaan liitteessä 4 olevan teknisen ohjeen mukaiseen säätöasentoon niin, että sen läpi kulkee puhaltimen tuottama ylimääräinen ilmavirta. Täten mittauspenkissä kulkee vain haluttu ilmavirta.

6.2 Testiolosuhteiden mittaukset

Kun oikeat mittauksessa käytettävät suuttimet on valittu ja mittauslaite asennettu testikanavaan, voidaan suorittaa testiolosuhteiden mittaukset. Näitä mittauksia käytetään testilaitteiden mittausten käsittelyyn ja korjauksiin.

Ympäristön lämpötilat mitataan testikanavan imuaukolta. Lämpötilamittarin anturi sijoitetaan testikanavan imuaukon keskelle. Testikanavan ilmanlämpötilat mitataan testikanavasta, 2,5 kertaa halkaisijan matkan päästä testilaitteesta tulopuolelta. Mittauskammion ilman lämpötila mitataan luvun 5.3.4 mukaisesta alueesta.

Ilmanpaine mitataan suutin seinän keskikorkeudelta siinä tilassa, missä testipenkki sijaitsee.

6.3 Testilaitteiden mittaukset

Testipenkin ilmavirta mitataan paine-eron mittausyhteistä, jotka on määritelty luvussa 5.3.3. Mittausyhteen letkut liitetään kappaleen 3.4 mittariin, siten että suutinseinän jälkeisen puolen letku liitetään manometrin negatiiviseen mittausliitokseen ja suutinseinää edeltävän puolen letku positiiviseen liittimeen.

Staattinen paine mitataan mittausyhteestä, joka on määritelty luvussa 5.4.2. Mittausyhteen letkut liitetään kappaleen 3.5 mittariin.

Paine-eroa ja staattista painetta suositellaan otettavaksi ainakin kymmenen mittausta, joista lasketaan keskiarvo, jota käytetään laskuissa. Mittaukset suoritetaan esimerkiksi ottamalla paine-eron ja staattisen paineen mittarin lukema, joka kahdenkymmenen sekunnin välein kymmenen kertaa.

6.4 Tulosten merkintä

Testiin liittyvät tiedot ja tulokset tulee merkitä mittauspöytäkirjaan testin yhteydessä. Tarvittavat tulokset ja mittaustiedot on esitetty taulukossa 6.1. Niiden lisäksi mittauspöytäkirjaan merkitään myös testin päivämäärä, mittaajat, sekä mittauspaikka. Liitteessä 14 on malli mittauspöytäkirjasta.

Taulukko 6.1. Mittauspöytäkirjaan merkittävät tiedot

Aihe	Tunnus	Yksikkö
Mitattava laite	-	-
Mitattavan laitteen säätöasento	-	-
Käytetty testikanava	-	mm
Käytetyt muuntoliittimet	-	mm
Käytetty lähtökanava	-	mm
Käytetyt suuttimet	-	mm
Ympäristön märkälämpötila	t_{w0}	°C
Mittauskammion märkälämpötila	t_{w5}	°C
Testikanavan märkälämpötila	t_{w3}	°C
Ympäristön ilmankosteus	φ_0	%RH
Mittauskammion ilmankosteus	φ_5	%RH
Testikanavan ilmankosteus	φ_3	%RH
Ympäristön kuivalämpötila	t_{d0}	°C
Mittauskammion kuivalämpötila	t_{d5}	°C
Testikanavan kuivalämpötila	t_{d3}	°C
Suutinseinän paine-ero	Δp	Pa
Staattinen paine testilaitteen kanssa	$p_{s3r, a}$	Pa
Staattinen paine ilman testilaitetta	$p_{s3r, b}$	Pa
Kiertopiirin IRIS Säättöasento	s	n
Isomman puhaltimen kierrosnopeus	r_1	rpm
Pienemmän puhaltimen kierrosnopeus	r_2	rpm

6.5 Tiheys

Tiheys selvitetään testipenkin osille, joita tarvitaan mittaustulosten korjaamiseen. Tässä testipenkissä tiheys tulee selvittää mittauskammiolle. Tiheys lasketaan mille tahansa testikanavan osalle käyttämällä kaavoja 1 - 5, jotka ovat standardien AMCA 210 - 99 8.2, s. 12 mukaisia. Tuloksien laskujen malli on esitetty liitteessä 15.

Kaava 1. Kylläisen vesihöyryn paine

$$p_e = 3,25 * t_{wo}^2 + 18,6 * t_{wo} + 692 \quad (1)$$

Kylläisen vesihöyryn paineen kaava 1 soveltuu vain lämpötiloille 4 – 39 °C. Testitilan lämpötilan voidaan olettaa pysyvän näissä rajoissa. Muussa tapauksessa kylläinen höyrynpaine voidaan selvittää standardista (SFS-EN ISO 5801:en).

Kaava 2. Vesihöyryn osapaine

$$p_p = p_e - p_b * \left(\frac{t_{d0} - t_{wo}}{1500} \right) \quad (2)$$

Kaava 3. Ympäristön ilman tiheys

$$\rho_0 = (p_b - 0,378 * p_p) / (287,1 * (t_{d0} + 273,150)) \quad (3)$$

Kaava 4. Ilman tiheys tietyssä pisteessä testipenkkiä

$$\rho_x = \frac{t_{d0} + 273,15}{t_{dx} + 273,15} * \left(\frac{p_{sx} + p_b}{p_b} \right) \quad (4)$$

Kaava 5. Ilman dynaaminen viskositeetti

$$\mu = (17,23 + 0,048 * t_{d0}) * 10^{-6} \quad (5)$$

6.6 Ilmavirta

Ilmantiheyden määrittämisen jälkeen voidaan laskea ilmavirta. Ilmavirran kaavat 6 - 13 ovat standardin (AMCA 210 - 99 8.3, s. 12) mukaisia. Tuloksien laskujen malli on esitettyä liitteessä 15.

Kaava 6. Ilmavirta kerroin

$$a = 1 - \frac{\Delta p}{\rho_5 * 287,1 * (t_{d5} + 273,15)} \quad (6)$$

Kaava 7. Laajentumiskerroin

$$Y = 1 - (0,548 + 0,71 * (\beta^4)) * (1 - a) \quad (7)$$

Kaava 8. Reynoldsin luvun arvio 1

$$Re_1 = \left(\frac{\sqrt{(2)}}{\mu} \right) * C_0 * d_{kurkku} * Y * \left(\sqrt{\frac{(\Delta p * \rho_5)}{1}} \right) \quad (8)$$

Kaava 9. Purkautumiskertoimen arvio 1

$$C_1 = 0,9986 * Re_1 \quad (9)$$

Kaava 10. Reynoldsin luvun arvio 2

$$Re_2 = \left(\frac{\sqrt{(2)}}{\mu} \right) * C_1 * d_{kurkku} * Y * \left(\sqrt{\frac{(\Delta p * \rho_5)}{1}} \right) \quad (10)$$

Kaava 11. Purkautumiskertoimen arvio 2

$$C_2 = 0,9986 - \left(\frac{7,006}{\sqrt{Re_2}} \right) + \left(\frac{134,6}{Re_2} \right) \quad (11)$$

Kaava 12. Purkautumiskertoimen arvioiden erotus

$$\Delta C = C_2 - C_1 < 0,001 \quad (12)$$

Purkautumiskertoimen arvioiden erotus tulee olla alle 0,001. Jos erotus on suurempi, kuin 0,001, niin arvioita lasketaan uudelleen tarkemmilla arvoilla, kunnes erotus on alle 0,001. Kun toivottu erotus on saavutettu, valitaan kaavassa 13 käytettäväksi purkautumiskertoimeksi purkautumisarvio 2. Kaavoissa 8 – 12 suositellaan käyttämään viiden desimaali luvun tarkkuutta. Purkautumiskerroin lasketaan jokaiselle mittauksessa käytetylle suuttimelle erikseen ja kaavassa 13 lasketaan purkautumiskertoimien ja suutinkurkkujen alojen tulojen summa.

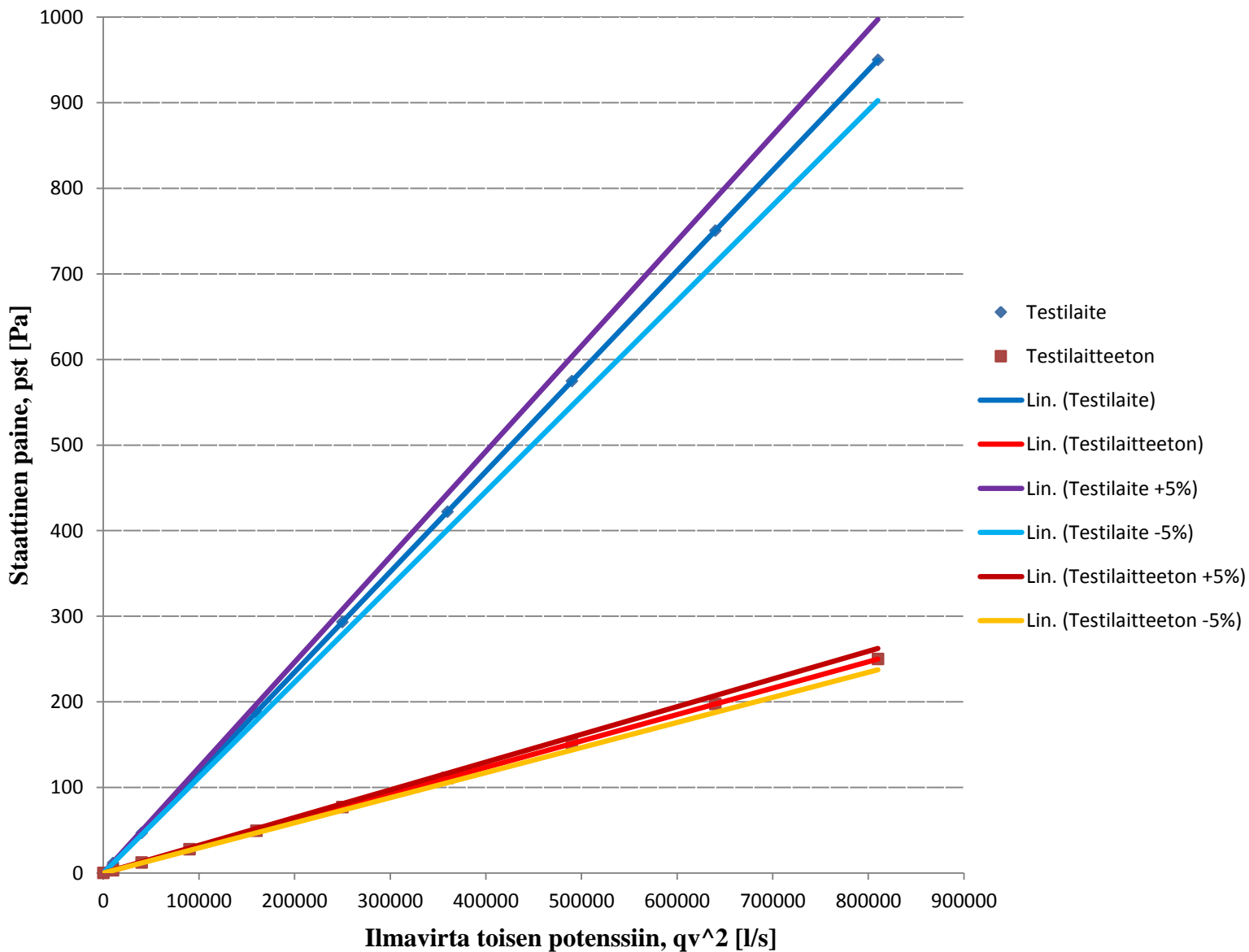
Kaava 13. Ilmavirta suuttimista

$$q_v = Y * \sqrt{\left(\frac{2 * \Delta p}{\rho_5} \right)} * \sum (C_2 * A_{kurkku}) \quad (13)$$

6.7 Testilaitteen suoritusarvot

Mittauksista saatuja tuloksia käytetään tarkkailemaan testattavien laitteiden suoritusarvoja. Tämä toteutetaan vertaamalla testilaitteen jälkeistä staattista painetta, samasta paikasta mitattuun staattiseen paineen, kun testilaitte ei ole asennettuna kanaavaan. Kaaviossa 1 esitetään testikanavista mitattuja staattisia paineita, sekä testilaitteen kanssa, että ilman testilaitetta. Kaavio on standardin SFS-käsikirja 50-1, SFS-EN 1751, Kuva 5, s. 114 mukainen, jossa staattinen paine on esitettyä y-akselina ja ilmavirta on esitettyä toiseen potenssiin laskettuna x-akselina.

Kaavio 6.1. Testattavan laitteen suoritusarvojen esitys



6.8 Mittauksien epävarmuudet

Mittauksille suoritetaan standardin AMCA 210 - 99 Appendix E, s. 48 mukainen epävarmuuksien selvitys. Epävarmuuksien laskuille löytyy esimerkki liitteessä 16.

Kaava 14. Ilmanpaine

$$e_b = \frac{1,70}{p_b} \quad (14)$$

Kaava 15. Kuivalämpötilan epävarmuus

$$e_d = \frac{1,0}{t_d + 273,15} \quad (15)$$

Kaava 16. Märkälämpötilan epävarmuus

$$e_w = \frac{3}{t_d - t_w} \quad (16)$$

Kaava 17. Puhaltimen nopeuden epävarmuus

$$e_N = 0,005 \quad (17)$$

Puhaltimen nopeuden epävarmuus on AMCA standardien mukainen arvio. Jos käytetylle puhaltimen kierrosnopeudelle tiedetään oikea epävarmuus, käytetään sitä laskuissa.

Kaava 18. Purkautumiskertoimen epävarmuus

$$e_d = 0,012 \quad (18)$$

ISO-5167-1: 2003 (E) mukaan valmistetuilla suuttimilla on 1,2 % toleranssi mittauksissa ja se on täten laskuissa käytetyn kertoimen virhe. Jos käytetyillä suuttimilla on tarkempi mittatoleranssi, käytetään sitä laskuissa.

Kaava 19. Pinta-alan epävarmuus

$$e_A = 0,005 \quad (19)$$

Testipenkkiä varten tehtävien pituuksien mittauksien tarkkuus on 0,2 %, joten pinta-alalla tulee olemaan 0,5 % tarkkuus, kun tavoiteltu epävarmuus alue on 95 %.

Kaava 20. Paine-eron epävarmuus

$$e_f = \left\{ (0,01)^2 + \left[0,01 \left(\frac{q_{v,max}}{q_v} \right)^2 \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

Kaavassa 20 käytetty $q_{v,max}$ on suurimman mittauksissa saadun lukeman mukaan laskettu ilmavirta. q_v kaikkien suoritettujen mittauksien keskiarvon mukaan laskettu ilmavirta.

Kaava 21. Staattisen paineen epävarmuus

$$e_{st} = 0,003 \quad (21)$$

Staattisen paineen mittauksen minimitarvike on standardin SFS-käsikirja 50-1, mukainen. Jos lopullisen käytetyn mittarin tarkkuus on eri, käytetään sitä laskuissa.

6.9 Tuloksien epävarmuudet

Mittauksien perusteella tehtyjen laskujen epävarmuudet määritellään, jokaiseen laskuun liittyvän eri laskukomponentin epävarmuudesta käyttämällä niille eriteltyjä kaavoja 23 – 25. Tuloksien epävarmuuksien laskulle löytyy esimerkki liitteessä 16.

Kaava 23. Tiheyden epävarmuus

$$e_{\rho} = (e_b^2 + e_v^2 + e_d^2)^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

Jossa;

$$e_v^2 = [0,00002349 * t_w - 0,0003204] * (t_d - t_w)]^2$$

Kaava 24. Ilmavirran epävarmuus

$$e_{qv} = \left[e_c^2 + e_A^2 + \left(\frac{e_f}{2} \right)^2 + \left(\frac{e_{\rho}}{2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (24)$$

Kaava 25. Testilaitteen suoritusarvojen epävarmuus

$$e_{test} = (e_{qv}^2 + e_{st}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

7 KUSTANNUSARVIO

Kustannusarvio perustuu Fläkt Woods Oy:n tuottamien osien osalta hinnastoon, josta on otettu eri tuotteiden hinta ilman arvolisänveroa. Ilmankäsittelykoneen kustannusarvio on tuotettu ACON-suunnitteluohjelmalla. Lisäksi tuotteet ovat laskettu normimittojen mukaan, eli esimerkiksi kanavat tulevat joko 3 m tai 6 m kanavina.

Taulukko 7.1. Kustannusarvio testikanaville.

Tuote	Koko	Tarvittu määrä	Kappale hinta	Ostettava määrä	Yht. Hinta ALV 0%
Pyöreä kanava EKOD-3-D-1	100mm	1,0 m	11 €/m	3m	33 €
	160mm	1,6 m	12 €/m	3m	37 €
	200mm	2,0 m	18 €/m	3m	55 €
Pyöreä kanava EKOD-6-D-1	250mm	2,5 m	23 €/m	3m	69 €
	315mm	3,2 m	28 €/m	6m	166 €
	400mm	4,0 m	45 €/m	6m	269 €
	500mm	5,0 m	58 €/m	6m	350 €
	630mm	6,3 m	76 €/m	9m	684 €
	800mm	8,0 m	106 €/m	12m	1272 €
Imukartio BDKU-D ₁	800mm	1 kpl	201 €/kpl	1 kpl	201 €
	630mm	1 kpl	137 €/kpl	1 kpl	137 €
	500mm	1 kpl	110 €/kpl	1 kpl	110 €
	400mm	1 kpl	96 €/kpl	1 kpl	96 €
	315mm	1 kpl	87 €/kpl	1 kpl	87 €
	250mm	1 kpl	67 €/kpl	1 kpl	67 €
	200mm	1 kpl	64 €/kpl	1 kpl	64 €
	160mm	1 kpl	59 €/kpl	1 kpl	59 €
	100mm	1 kpl	59 €/kpl	1 kpl	59 €
Sisäliitin BDEN-1D1	800mm	2 kpl	74 €/kpl	2 kpl	149 €
	630mm	2 kpl	38 €/kpl	2 kpl	76 €
	500mm	2 kpl	24 €/kpl	2 kpl	49 €
	400mm	2 kpl	18 €/kpl	2 kpl	36 €
	315mm	2 kpl	14 €/kpl	2 kpl	27 €
	250mm	2 kpl	10 €/kpl	2 kpl	21 €
	200mm	2 kpl	8 €/kpl	2 kpl	17 €
	160mm	2 kpl	7 €/kpl	2 kpl	15 €
	100mm	2 kpl	7 €/kpl	2 kpl	14 €
Sivuliitin BDEA-6-D ₁	800mm	2 kpl	60 €/kpl	2 kpl	121 €
	630mm	2 kpl	51 €/kpl	2 kpl	102 €
	500mm	2 kpl	34 €/kpl	2 kpl	68 €
	400mm	2 kpl	31 €/kpl	2 kpl	62 €
	315mm	2 kpl	17 €/kpl	2 kpl	35 €
	250mm	2 kpl	13 €/kpl	2 kpl	27 €
	200mm	2 kpl	11 €/kpl	2 kpl	21 €
	160mm	2 kpl	9 €/kpl	2 kpl	19 €
	100mm	2 kpl	7 €/kpl	2 kpl	14 €
BDEG-1D Tulppa	315mm	1 kpl	11 €/kpl	1 kpl	11 €
	500mm	1 kpl	37 €/kpl	1 kpl	37 €
Yhteensä:					4732 €

Taulukko 7.2. Kustannusarvio lähtökanaville.

Tuote	Koko	Tarvittu määrä	Kappale hinta	Ostettava määrä	Yht. Hinta ALV 0%
Pyöreä kanava EKOD-3-D-1	800mm	1 m	28 €/m	3m	84 €
	315mm	3 m	106 €/m	3m	318 €
Käyrä 90 BDEB-031	315mm	2 kpl	55 €/kpl	2kpl	111 €
Sisäliitin BDEN-1D1	800mm	1 kpl	74 €/kpl	1kpl	74 €
	315mm	1 kpl	14 €/kpl	1kpl	14 €
Muuntoliitin BDKF-4-D ₁ -d ₁ 800mm/	630mm	1 kpl	230 €/kpl	1kpl	230 €
	500mm	1 kpl	226 €/kpl	1kpl	226 €
	400mm	1 kpl	223 €/kpl	1kpl	223 €
Muuntoliitin BDKF-4-D ₁ -d ₁ 500mm/	400mm	2 kpl	94 €/kpl	2kpl	187 €
	315mm	2 kpl	92 €/kpl	2kpl	184 €
	250mm	2 kpl	91 €/kpl	2kpl	183 €
Muuntoliitin BDED-3-D ₁ -d ₁ 315mm/	250mm	2 kpl	20 €/kpl	2kpl	41 €
	200mm	2 kpl	20 €/kpl	2kpl	40 €
Muuntoliitin BDED-3-D1-d1 160mm/	160mm	2 kpl	20 €/kpl	2kpl	39 €
	100mm	2 kpl	10 €/kpl	2kpl	20 €
Yhteensä:					1974 €

Taulukko 7.3. Kustannusarvio poistokanaville.

Tuote	Koko	Tarvittu määrä	Kappale hinta	Ostettava määrä	Yht. Hinta ALV 0%
Pyöreä kanava EKOD-3-D-1	800mm	4 m	106 €/m	6m	636 €
	400mm	3 m	45 €/m	3m	134,4 €
Sulku BDEP-1-D1-1	400mm	1 kpl	181 €/kpl	1kpl	181 €
Sulku BDEP-1-D1-1	630mm	1 kpl	319 €/kpl	1kpl	319 €
Moottori sululle	400mm	1 kpl	233 €/kpl	1kpl	233 €
Moottori sululle	630mm	1 kpl	589 €/kpl	1kpl	589 €
Yhteensä:					2092 €

Taulukko 7.4. Kustannusarvio kiertopiirille.

Tuote	Koko	Tarvittu määrä	Kappale hinta	Ostettava määrä	Yht. Hinta ALV 0%
Pyöreä kanava EKOD-6-D-1	500mm	3m	58€/m	3m	174 €
	400mm	2m	45€/m	3m	135 €
	315mm	2m	28€/m	3m	84 €
	250mm	2m	23€/m	3m	68,7 €
	200mm	1m	18€/m	3m	54 €
	160mm	1m	12€/m	3m	36 €
	100mm	1m	11€/m	3m	33 €
IRIS-pellit (kiertopiirille)	500mm	1kpl	247€/kpl	1kpl	247 €
	400mm	1kpl	207€/kpl	1kpl	207 €
	315mm	1kpl	170€/kpl	1kpl	170 €
	250mm	1kpl	136€/kpl	2kpl	272 €
	200mm	1kpl	101€/kpl	3kpl	303 €
	160mm	1kpl	70€/kpl	4kpl	280 €
	100mm	1kpl	62€/kpl	5kpl	308 €
Äänenvaimentimet BDER-45 (Kiertopiirille)	500mm	1kpl	741€/kpl	1kpl	741 €
	400mm	1kpl	568€/kpl	1kpl	568 €
	315mm	1kpl	454€/kpl	1kpl	454 €
Äänenvaimentimet BDER-44 (Kiertopiirille)	250mm	1kpl	286€/kpl	1kpl	286 €
	200mm	1kpl	245€/kpl	1kpl	245 €
	160mm	1kpl	222€/kpl	1kpl	222 €
ÄV BDER-40 (Kiertopiirille)	100mm	1kpl	101€/kpl	1kpl	101 €
Tulppa BDEG-1D	500mm	1kpl	37€/kpl	1kpl	37 €
Yhteensä:					5026 €

Taulukko 7.5. Kustannusarvio muille kanavaosille.

Tuote	Koko	Tarvittu määrä	Kappale hinta	Ostettava määrä	Yht. Hinta ALV 0%
BDEG-4-D1 Tulppa (Suuttimille)	250mm	2kpl	13€/kpl	2kpl	27 €
	200mm	2kpl	10€/kpl	2kpl	20 €
	160mm	2kpl	8€/kpl	2kpl	16 €
	120mm	1kpl	7€/kpl	1kpl	7 €
	100mm	2kpl	6€/kpl	2kpl	12 €
Kannatusside BDSK-D	800mm	6kpl	22€/kpl	6kpl	131 €
	630mm	4kpl	14€/kpl	4kpl	57 €
	500mm	6kpl	11€/kpl	6kpl	64 €
	400mm	8kpl	9€/kpl	8kpl	72 €
	315mm	6kpl	8€/kpl	6kpl	47 €
	250mm	6kpl	5€/kpl	6kpl	32 €
	200mm	6kpl	4€/kpl	6kpl	26 €
	160mm	6kpl	4€/kpl	6kpl	22 €
	100mm	6kpl	4€/kpl	6kpl	22 €
Yhteensä:					554 €

Taulukko 7.6. Kustannusarvio ilmankäsittelykoneelle.

Tuote	Koko	Tarvittu määrä	Kappale hinta	Ostettava määrä	Yht. Hinta ALV 0%
Ilmankäsittelykone	-	1	15100 €/kpl	1 kpl	15100 €
Yhteensä:					15100 €

Taulukko 7.7. Kustannusarvio monitoimimittarille.

Tuote	Koko	Tarvittu määrä	Kappale hinta	Ostettava määrä	Yht. Hinta ALV 0%
AirFlow TA465	--	1 kpl	1915 €/kpl	1 kpl	1915 €
Yhteensä					1915 €

Taulukko. 7.8. Kustannusarvioiden summa.

Kustannusarvioiden summa	Yht. Hinta ALV 0%
Testikanavat	4732 €
Lähtökanavat	1974 €
Poistokanavat	2092 €
Kiertokanavat	5026 €
Muut kanavatuotteet	554 €
Ilmankäsittelykone	15100 €
Mittalaitteet	1915 €
Yhteensä	31393 €

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ilmavirtamittauksen testipenkki Fläkt Woods Oy:n ilmanvaihtolaitteiden suoritusarvojen testaamiseen. Testipenkki suunniteltiin useiden AMCA, ISO ja SFS standardien pohjalta.

Testipenkkiä käytetään ilmanvaihtokanavatuotteiden suoritusarvojen mittaamiseen. Testipenkki tuottaa ilmavirtaa, joka kuljetetaan testikanavaa pitkin testattavalle laitteelle. Testilaitteen jälkeistä staattista painetta mitataan ja verrataan staattiseen paineeseen, joka on testikanavassa, kun testilaite ei ole asennettuna.

Testilaitteen suunnittelussa käytettiin suurimmalta Fläkt Woods Oy:n omia osia. Liitteessä 1 on esitettynä Acon suunnittelu ohjelman mukaan tuotetut ilmankäsittelykoneen osat, joita käytetään testipenkissä. Liitteissä 8 ja 9 on esitetty lähtö- ja poistokanavaosat, jotka liitetään ilmankäsittelykoneeseen. Liite 7 sisältää piirustukset testikanaville.

Muille komponenteille on laadittu suunnitelmat ja piirustukset. Mahdollisia tuottajia ja toimittajia kyseisille komponenteille on listattuna liitteessä 18.

Mittaus tuloksien käsittelyn laskutoimitukset perustuvat standardeihin ja niistä on esitettynä malli liitteissä 15 ja 16. Liitteessä 15 on esitettynä mittaustuloksien laskujen esimerkit. Liitteessä 16 on esitettynä mittausepävarmuuksien laskujen esimerkit. Liite 16 on tehty suoraan AMCA 210 Appendix E mukaan ja siinä on käytetty kyseisen Appendix E:n mukaisia arvoja. Arvot on kuitenkin nimetty ja merkitty samoilla tunnuksilla, joita on käytetty tässä opinnäytetyössä ja liitteen 15 laskuissa.

LÄHDELUETTELO

AMCA Inc:n www-sivut 2015. Viitattu 12.10.2015

<http://www.amca.org/Userfiles/file/FanEffectPPT2.pdf>

ANSI/AMCA Standard 210 - 99. Laboratory Methods of Testing Fans for Aerodynamic Performance Rating. Air Movement and Control Association International, Inc.

ANSI/AMCA Standard 500 - D - 12. Laboratory Methods of Testing Dampers for Rating. 2012. Air Movement and Control Association International, Inc.

ANSI/AMCA Standard 600 - 06 (R2010). Applications Manual for Air Flow Measurement Stations. Air Movement and Control Association International, Inc.

Fläkt Woods Oy:n www-sivut 2015. Viitattu 12.10.2015

<http://www.flaktwoods.fi/tuotteet/vs/kanavatuotteet/ilmanvaihtokanavat>

Fläkt Woods Oy:n www-sivut 2015. Viitattu 12.10.2015

<http://www.flaktwoods.fi/f0d83e62-93fd-43de-b11d-184acff24289>

Fläkt Woods Oy:n www-sivut 2015. Viitattu 12.10.2015

<https://acon.flaktwoods.com>

ISO 5167-1:2003(E). Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full. Part 1 and 3.

Helander Metal Spinning Company:n www-sivut 2015. Viitattu 12.10.2015

<http://helandermetal.com/air-flow-nozzles/>

Ower, E, R. C. Pankhurst. The Measurement of Air Flow, 5th Edition.

Sandberg, Esa 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. Talotekniikka julkaisut Oy.

SFS-EN ISO 5801:en 2007. Industrial fans. Performance testing using standardized airways. Suomenstandardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12599 2012. Ventilation for buildings – Test procedures and measurement methods to hand over air conditioning and ventilation systems. Suomenstandardoimisliitto SFS ry.

SFS-Käsikirja 103. Ilmastointitekniikka osa 1. 2 Painos, Helmikuu 1992. Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS. 2015. SFS-käsikirja 50 - 1 Rakennusten ilmanvaihto. Osa 1: Ilmastointikanavat. Ensimmäinen painos. Suomen Standardoimisliitto SFS Ry

Siren, Kai. 1995. Ilmastointitekniikan mittaukset. Tietonova Oy

Stig Wahlström www-sivut 2015. Viitattu 12.10.2015.

www.swoy.fi/images/pdf/TA465_FIN.pdf

Vortab Company:n www-sivut 2015. Viitattu 12.10.2015

<http://www.vortab.com/Flow-Conditioners/VIP-Flow-Conditioner.asp>

LIITTEET

LIITE 1. Ilmankäsittelykoneen ACON piirustukset

LIITE 2. Asennusohjeet

LIITE 3. Suuttimet

LIITE 4. Iris-pellin käyttöohje

LIITE 5. Virtauksen tasaajien piirustukset

LIITE 6. Virtauksen oikaisijoiden tuottaja

LIITE 7. Testikanavien piirustukset

LIITE 8. Lähtökanavien piirustukset

LIITE 9. Poistokanavien piirustukset

LIITE 10. Suutinseinän piirustukset

LIITE 11. Suutinseinän paine-eron mittausyhteen piirustukset

LIITE 12. Kiertopiiri piirustukset

LIITE 13. Testilaitteen jälkeisen staattisen paineen mittausyhteen piirustukset

LIITE 14. Mittauspöytäkirjamalli

LIITE 15. Tulosten käsittely laskujenmalli

LIITE 16. Epävarmuuslaskujen malli

LIITE 17. Painehäviölaskelmat

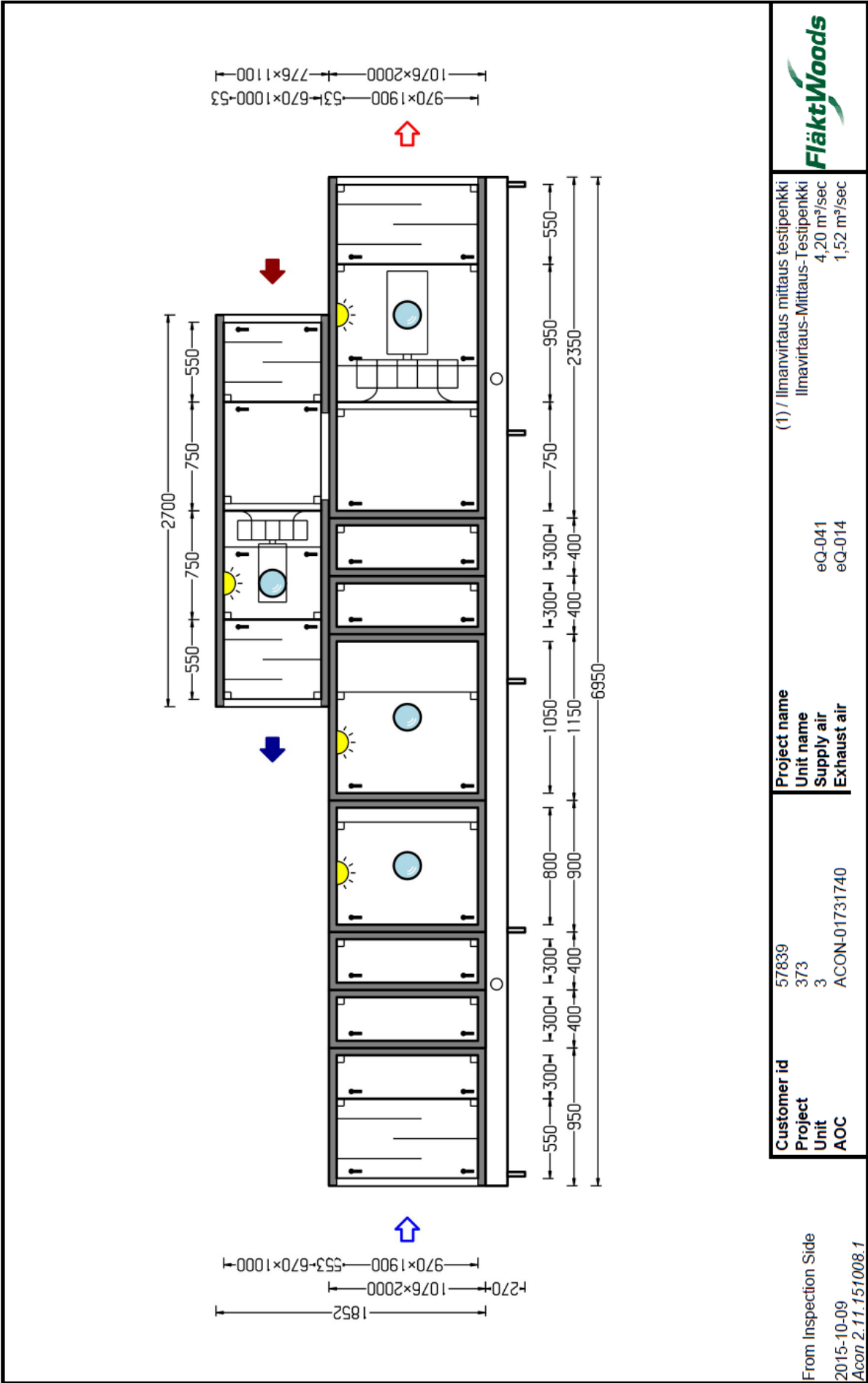
LIITE 18. Tilattavien osien mahdollisia toimittajia

LIITE 19. Toimintakaaviot

HUOMIOITAVAA ILMANKÄSITTELYKONEESTA.

Testipenkin ilmankäsittelykoneen piirustukset on tehty ACON-suunnitteluohjelmalla. Suunnitelmille on annettu käyttöoikeudet niin, että ne ovat Fläkt Woods Oy:n käytettävissä. Alla on lueteltu testipenkin asennuksessa huomioitavia asioita.

1. Ylemmän kerroksen tyhjään osaan, joka liittyy kerrokset toisiinsa tilataan valmiiksi tehty aukko. Alemman kerroksen vastaavaan tyhjään osaan on tehtävä aukko, kun se on toimitettu asennuspaikalle.
2. Ilmankäsittelykoneen kerroksilla on eri leveydet, joten ylemmän kerroksen reunoille tulee asentaa kulma- ja laattarauta asennusohjeiden (liite 2) mukaisesti. Jos laattarauta ja kulmarauta aiheuttavat kerroksien välille suuren välin, niin asennetaan myös aukon ympärille laattarautaa ja tiivistetään se molemmilta puolilta.
3. Virtauksen tasaajista ja suutinseinästä saattaa aiheutua pituuden lisäystä ilmankäsittelykoneelle. Ilmakäsittelykonetta tilatessa kannattaa siis tilata pidempi alusta, kuin mitä kuvissa on esitetty. Alustan voi varmuuden vuoksi tilata esim. 0,5 m pidempänä kuin kuvien alusta.



(1) / ilmanvirtaus mittaus testipenkki
 Ilmanvirtaus-Mittaus-Testipenkki
 4,20 m³/sec
 1,52 m³/sec

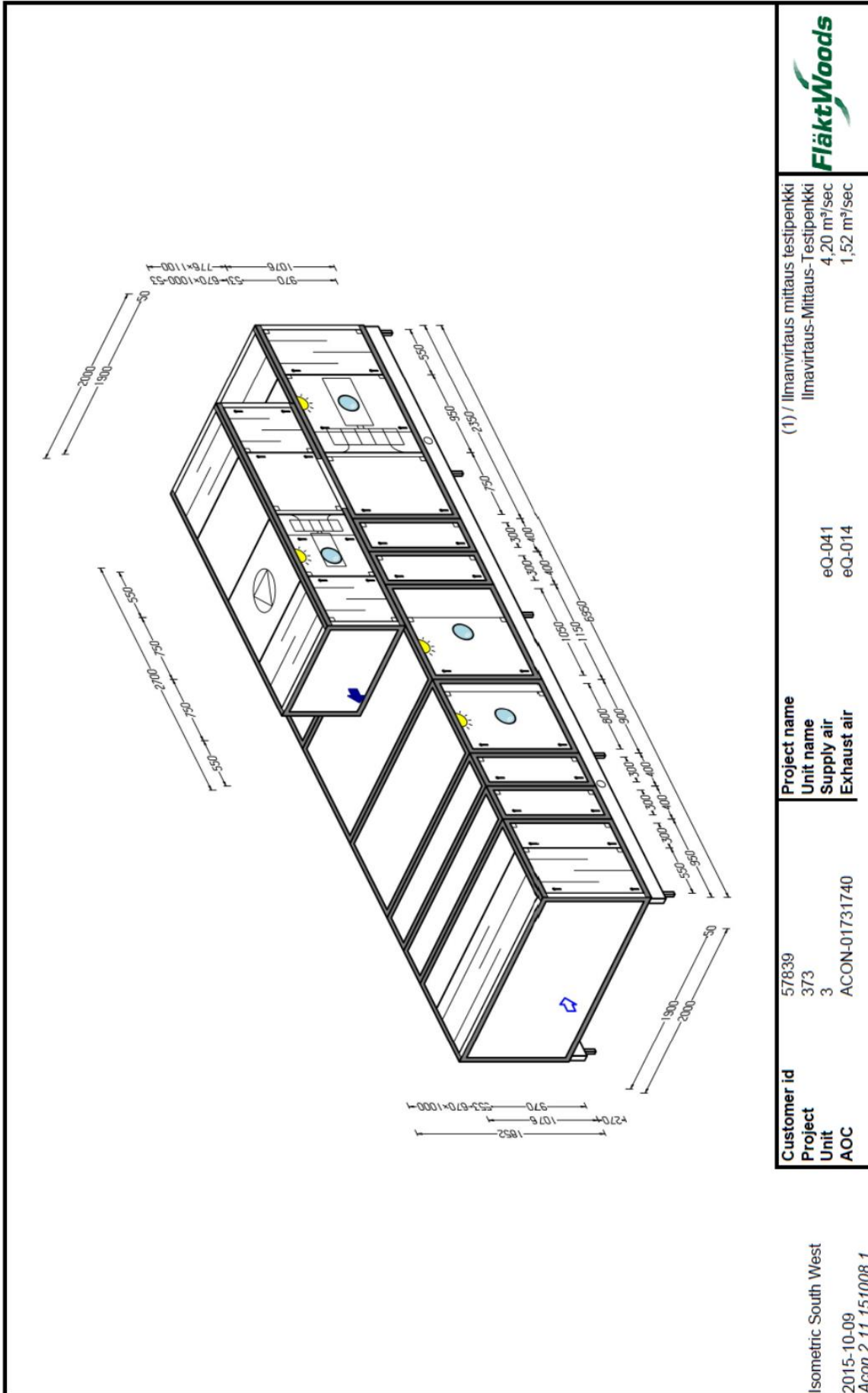
Project name
 Unit name
 Supply air
 Exhaust air

eQ-041
 eQ-014

Customer id
 Project
 Unit
 AOC

57839
 373
 3
 ACON-01731740

From Inspection Side
 2015-10-09
 Acon 2.11.151008.1



Isometric South West
 2015-10-09
 Acon 2.11.151008.1



AIR HANDLING UNIT eQ

Project	373 (1) / Ilmanvirtaus mittaus testipenkki	Acon 2.11.151008.1
AOC	ACON-D1731740	
Unit	3 () / Ilmanvirtaus-Mittaus-Testipenkki	2015-10-09
Size	041 / 014	Page 4/16
Customer	Jari Hokkanen	
Customers ref.		
Our ref.	Aku Rauhala	
Supply air flow	4,20 m ³ /sec	Exhaust air flow 1,52 m ³ /sec
Ext. static pressure	1400 Pa	Ext. static pressure 1400 Pa
Voltage	3 x 400V + N, 50 Hz	Weight 1804 kg
Specific electric power demand	2,99 kW/(m ³ /s)	Dimensioned for wet condition
Ref. density	1,2 kg/m ³	Ref. altitude above sea level 0 m

SUMMARY

Functional sections in direction of air flow	v0 (m/s)	Et (%)	tw (°C)	ts (°C)	dP* (Pa)
Supply air:					
Silencer	2,3				25
Inspection section					0
Inspection section					0
Inspection section					0
Inspection section					0
Inspection section					0
Inspection section					0
Inspection section					0
Plenum fan		68,3	-29 / -27,5	27 / 28,8	1484
Silencer	2,3				24
General loss					35
Supply outlet					1400
Exhaust air:					
Exhaust inlet					1400
Silencer	2,3				22
Inspection section					0
Plenum fan		64,5			1472
Silencer	2,3				22
General loss					28

*Refers to the fan design case

SOUND POWER LEVELS
(standard: EN13053 ISO/CD 13347-2)

Octave band (Hz)	Lw per octave band (dB)								LwA dB(A)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Fresh air connection	73	75	80	69	66	62	60	59	74
Supply air connection	70	73	77	71	69	68	63	62	75
Extract connection	71	67	76	66	63	64	62	63	72
Exhaust connection	68	70	72	67	66	67	63	63	73
To surroundings	64	66	71	58	55	51	47	39	64

TOLERANCE

According to EN 13053 the LwA tolerance is 4dB. Octave band tolerances are presented in the tolerance table

Octave band (Hz)	Lw per octave band (dB)								LwA dB(A)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
TOLERANCE	8	6	6	6	6	4	4	7	4

Frequency converters and motors mounted external are not included in the sound power levels



AIR HANDLING UNIT eQ

Project	373 (1) / Ilmanvirtaus mittaus testipenkki	Acon 2.11.151008.1
AOC	ACON-01731740	
Unit	3 () / Ilmavirtaus-Mittaus-Testipenkki	2015-10-09
Size	041 / 014	Page 5/16

TECHNICAL SPECIFICATION
(components listed in direction of air flow)

SUPPLY AIR**Silencer**

Unit size : 041
 Length: 500 mm
 Design: baffles withdrawable through the inspection door
 Material: galvanized sheet steel
 Inspection side : right
 Pressure drop, dimensioning
 Insertion loss, regenerated noise included

25 Pa
 1,6,12,16,16,12,11,10 dB

Empty section

Unit size : 041
 Length: 030
 Inspection side : right

Empty section

Unit size : 041
 Length: 030
 Inspection side : right

Empty section

Unit size : 041
 Length: 030
 Inspection side : right

Empty section

Unit size : 041
 Length: 080
 Inspection side : right

Inspection window

Design: standard

Bulkhead light

Type: LED

Delivery form: Lamp fitted with cable to outside of casing if there is a fixed panel.

Empty section

Unit size : 041
 Length: 105
 Inspection side : right

Inspection window

Design: standard

Bulkhead light

Type: LED

Delivery form: Lamp fitted with cable to outside of casing if there is a fixed panel.

Empty section

Unit size : 041
 Length: 030
 Inspection side : right

Empty section

Unit size : 041
 Length: 030



AIR HANDLING UNIT eQ

Project	373 (1) / Ilmanvirtaus mittaus testipenkki	Acon 2.11.151008.1
AOC	ACON-01731740	
Unit	3 () / Ilmanvirtaus-Mittaus-Testipenkki	2015-10-09
Size	041 / 014	Page 6/16

Inspection side : right

Empty section

Unit size : 041
Length: 075
Inspection side : right

Plenum fan Centriflow Plus

Unit size : 041
Fan size : 2
Equipment: normal + pressure tapping for air flow measurement
Anti-vibration mountings : rubber
Position inside the casing : supply air
Outlet direction : forward, towards following function
Material : galvanized sheet steel
Inspection side: right

Dimensioning data

Speed	1921 Rpm
Max speed	2000 Rpm
Total efficiency	68,3 %
Pressure rise, dimensioning	1484 Pa
Grid Power	9,37 kW
Temperature rise	1,8 °C

SFP Calculation

Grid power according to SFP	9,11 kW
Pressure rise	1482 Pa
Speed	1885 Rpm

PM Motor Efficiency equivalent to IE4

Motor output	11 kW
Electric current	20,2 A
Output margin, minimum	10 %

Inspection window

Design: standard

Frequency converter

Housing protection: IP54	
Efficiency	100,0 %

Bulkhead light

Type: LED
Delivery form: Lamp fitted with cable to outside of casing if there is a fixed panel.

Motor accessories

Motor: PM motor
Motor control: Mounted frequency converter
Connection accessories: Safety switch
Type: Standard
Length: 356
Power supply: 3x400 VAC

Pressure/flow indication

Location: Supply fan
Type: Pressure/flow linear
Pressure range: 0-5000 Pa
Display: With
Delivery options: Mounted on current sub

Silencer

Unit size : 041
Length: 500 mm
Design: baffles withdrawable through the inspection door



AIR HANDLING UNIT eQ

Project	373 (1) / Ilmanvirtaus mittaus testipenkki	Acon 2.11.151008.1
AOC	ACON-01731740	
Unit	3 () / Ilmanvirtaus-Mittaus-Testipenkki	2015-10-09
Size	041 / 014	Page 7/16

Material: galvanized sheet steel	
Inspection side : right	
Pressure drop, dimensioning	24 Pa
Insertion loss, regenerated noise included	1,6,12,16,16,12,11,10 dB

EXHAUST AIR

Silencer

Unit size : 014	
Length: 500 mm	
Design: baffles withdrawable through the inspection door	
Material: galvanized sheet steel	
Inspection side : left	
Pressure drop, dimensioning	22 Pa
Insertion loss, regenerated noise included	1,6,12,16,16,12,11,10 dB

Empty section

Unit size : 014
Length: 075
Opening in base : opening without damper
Inspection side : left

Plenum fan Centriflow Plus

Unit size : 014	
Fan size : 3	
Equipment: normal + pressure tapping for air flow measurement	
Anti-vibration mountings : rubber	
Position inside the casing : exhaust air	
Outlet direction : forward, towards following function	
Material : galvanized sheet steel	
Inspection side: left	
Dimensioning data	
Speed	2941 Rpm
Max speed	3100 Rpm
Total efficiency	64,5 %
Pressure rise, dimensioning	1472 Pa
Grid Power	3,58 kW
Temperature rise	1,9 °C
SFP Calculation	
Grid power according to SFP	3,47 kW
Pressure rise	1469 Pa
Speed	2883 Rpm
PM Motor Efficiency equivalent to IE4	
Motor output	4,0 kW
Electric current	9,1 A
Output margin, minimum	10 %
Inspection window	
Design: standard	
Frequency converter	
Housing protection: IP54	
Efficiency	100,0 %
Bulkhead light	
Type: LED	
Delivery form: Lamp fitted with cable to outside of casing if there is a fixed panel.	
Motor accessories	
Motor: PM motor	
Motor control: Mounted frequency converter	



AIR HANDLING UNIT eQ

Project	373 (1) / Ilmanvirtaus mittaus testipenkki	Acon 2.11.151008.1
AOC	ACON-01731740	
Unit	3 () / Ilmanvirtaus-Mittaus-Testipenkki	2015-10-09
Size	041 / 014	Page 8/16

Type: Standard
 Length: 261
 Power supply: 3x400 VAC
Pressure/flow indication
 Location: Exhaust fan
 Type: Pressure/flow linear
 Pressure range: 0-3000 Pa
 Display: With
 Delivery options: Mounted on current sub

Silencer

Unit size : 014
 Length: 500 mm
 Design: baffles withdrawable through the inspection door
 Material: galvanized sheet steel
 Inspection side : left
 Pressure drop, dimensioning
 Insertion loss, regenerated noise included

22 Pa
 1,6,12,16,16,12,11,10 dB



AIR HANDLING UNIT eQ

Project	373 (1) / Ilmanvirtaus mittaus testipenkki	Acon 2.11.151008.1
AOC	ACON-01731740	
Unit	3 () / Ilmavirtaus-Mittaus-Testipenkki	2015-10-09
Size	041 / 014	Page 9/16

PRODUCT LIST

Qty. Product

1	Unit casing (frame, module)
1	Base frame
1	Adjustable feet
1	Docking fittings
1	Silencer
1	Empty section
1	Unit casing (frame, module)
1	Docking fittings
1	Docking fittings
1	Empty section
1	Unit casing (frame, module)
1	Docking fittings
1	Docking fittings
1	Empty section
1	Unit casing (frame, module)
1	Docking fittings
1	Docking fittings
1	Empty section
1	Inspection window
1	Bulkhead light
1	Unit casing (frame, module)
1	Docking fittings
1	Docking fittings
1	Empty section
1	Inspection window
1	Bulkhead light
1	Unit casing (frame, module)
1	Docking fittings
1	Docking fittings
1	Empty section
1	Unit casing (frame, module)
1	Docking fittings
1	Docking fittings
1	Empty section
1	Unit casing (frame, module)
1	Installation instructions
1	Docking fittings
1	Empty section
1	Plenum fan Centriflow Plus
1	PM Motor Efficiency equivalent to IE4
1	Frequency converter
1	Motor accessories
1	Inspection window
1	Bulkhead light
1	Pressure/flow indication
1	Silencer
1	Unit casing (frame, module)
1	Silencer
1	Empty section
1	Plenum fan Centriflow Plus
1	PM Motor Efficiency equivalent to IE4
1	Frequency converter
1	Motor accessories
1	Inspection window



AIR HANDLING UNIT eQ

Project	373 (1) / Ilmanvirtaus mittaus testipenkki	Acon 2.11.151008.1
AOC	ACON-01731740	
Unit	3 () / Ilmanvirtaus-Mittaus-Testipenkki	2015-10-09
Size	041 / 014	Page 10/16

- 1 Bulkhead light
- 1 Pressure/flow indication
- 1 Silencer



AIR HANDLING UNIT eQ

Project	373 (1) / Ilmanvirtaus mittaus testipenkki	Acon 2.11.151008.1
AOC	ACON-01731740	
Unit	3 () / Ilmanvirtaus-Mittaus-Testipenkki	2015-10-09
Size	041 / 014	Page 11/16

CONSULTANT SPECIFICATION
(components listed in direction of air flow)

SUPPLY AIR

01 Unit casing (frame, module)

The casing shall be built on a frame and panel system. The frame shall be manufactured from seamless steel profiles with materials and corrosion classification as described below. The profiles shall be mitred and screwed together at the corners for strength, air tightness and a smooth hygienic finish.

The panels shall be of a 50mm thick sandwich construction with non-flammable mineral wool insulation of type Isover Ultimate, resistance class A1. The mineral wool insulation shall be resistant to temperatures up to 650°C. The design of the panels, in- and outside shall give flat surface without sharp edges and dust accumulating pockets. The casing frame shall not be visible from the inside. The interior of the unit shall be smooth and easy to clean. The doors shall be fitted with adjustable hinges and lockable handles. The corners of the door panels shall be rounded to avoid sharp edges.

It shall be possible to disassemble the unit and assemble it again at the installation site.

The casing performance properties shall meet the following in accordance with EN 1886:

Mechanical Strength class: D2

Air leakage: L2

The casing of the air handling unit shall have frames and panels made of Aluzinc with a minimum coating weight of 185 g/m². The panels shall also be protected with a organic coating to prevent finger prints and offer additional resistance to corrosion.

The casing shall fulfill corrosion class C4 according to ISO 12944-2.

Thermal insulation: T3

Cold bridge factor: TB3

The unit shall be designed for indoor use.

02 Base frame

The unit shall be equipped with a steel base frame.
The height of the base frame shall be 150 mm.
The material shall be galvanized steel.

03 Adjustable feet

The unit shall be equipped with adjustable feet.

04 Silencer

The unit shall have built in absorption silencers. Non-combustible mineral wool with external protective woven fabric, which prevents fibers from the wool being carried along by the air flow. The baffles shall be suitable for wet cleaning. The baffles shall be withdrawable through inspection doors for cleaning. The metal parts shall be galvanized steel.

05 Unit casing (frame, module)

Text see position 01

06 Unit casing (frame, module)

Text see position 01

07 Unit casing (frame, module)

Text see position 01

08 Unit casing (frame, module)

Text see position 01



AIR HANDLING UNIT eQ

Project	373 (1) / Ilmanvirtaus mittaus testipenkki	Acon 2.11.151008.1
AOC	ACON-01731740	
Unit	3 () / Ilmanvirtaus-Mittaus-Testipenkki	2015-10-09
Size	041 / 014	Page 12/16

09 Unit casing (frame, module) Text see position 01

10 Unit casing (frame, module) Text see position 01

11 Unit casing (frame, module) Text see position 01

12 Plenum fan Centriflow Plus**Fan + motor**

The fan should be a direct driven plenum fan.
The fan should be mounted in the casing with anti-vibration mountings.
The fan shall have 4 measuring points for flow control.

The fan shall be isolated from the unit casing by means of rubber anti-vibration mountings fixed securely to the floor of the unit.

The fan shall have PM-motor with an efficiency corresponding to IE4 class. PM motors shall have IEC standard frame design.

The unit shall be delivered with suitable frequency inverters programmed specifically for the motors and factory tested
The fan shall be driven by a PM-motor with speed control by means of a frequency inverter. Corresponds to efficiency class IE 4

The air handling unit shall be equipped with frequency inverter(s) to control the speed of the fans.

the Inverter shall be for 3x400 VAC

the Inverter shall be for 3-phase

the Inverter shall be IP54

The frequency inverter shall be mounted on the outside of the unit, and connected to the motor. The inverter shall be easy accessible and possible to connect to power supply from outside of the unit. The inverter shall be equipped with a display to access parameters.

13 Silencer Text see position 04

EXHAUST AIR

01 Unit casing (frame, module) Text see supply air position 01

02 Silencer Text see supply air position 04

03 Plenum fan Centriflow Plus Text see supply air position 12

04 Silencer Text see supply air position 04



AIR HANDLING UNIT eQ

Project	373 (1) / Ilmanvirtaus mittaus testipenkki	Acon 2.11.151008.1
AOC	ACON-01731740	
Unit	3 () / Ilmanvirtaus-Mittaus-Testipenkki	2015-10-09
Size	041 / 014	Page 13/16

BLOCK LIST

	LENGTH (mm)	WIDTH (mm)	HEIGHT (mm)	VOLUME (m ³)	WEIGHT (kg)
EQGB-041-095-11-1-1-2-1-2-1-1 Unit casing (frame, module) Material: AlZn sheet steel Thermal insulation: T3 Condensation insulation: TB3 Leakage class: L2 Casing strength: CEN D2 Silencer Empty section	1000	2150	1246	2,68	382
EQGB-041-040-11-1-1-2-1-3-1-1 Unit casing (frame, module) Material: AlZn sheet steel Thermal insulation: T3 Condensation insulation: TB3 Leakage class: L2 Casing strength: CEN D2 Empty section	450	2150	1246	1,21	69
EQGB-041-040-11-1-1-2-1-3-1-1 Unit casing (frame, module) Material: AlZn sheet steel Thermal insulation: T3 Condensation insulation: TB3 Leakage class: L2 Casing strength: CEN D2 Empty section	450	2150	1246	1,21	69
EQGB-041-090-11-1-1-2-1-3-1-1 Unit casing (frame, module) Material: AlZn sheet steel Thermal insulation: T3 Condensation insulation: TB3 Leakage class: L2 Casing strength: CEN D2 Empty section	950	2150	1246	2,54	129
EQGB-041-115-11-1-1-2-1-3-1-1 Unit casing (frame, module) Material: AlZn sheet steel Thermal insulation: T3 Condensation insulation: TB3 Leakage class: L2 Casing strength: CEN D2 Empty section	1200	2150	1246	3,21	159
EQGB-041-040-11-1-1-2-1-3-1-1 Unit casing (frame, module)	450	2150	1246	1,21	69



AIR HANDLING UNIT eQ

Project
AOC
Unit
Size

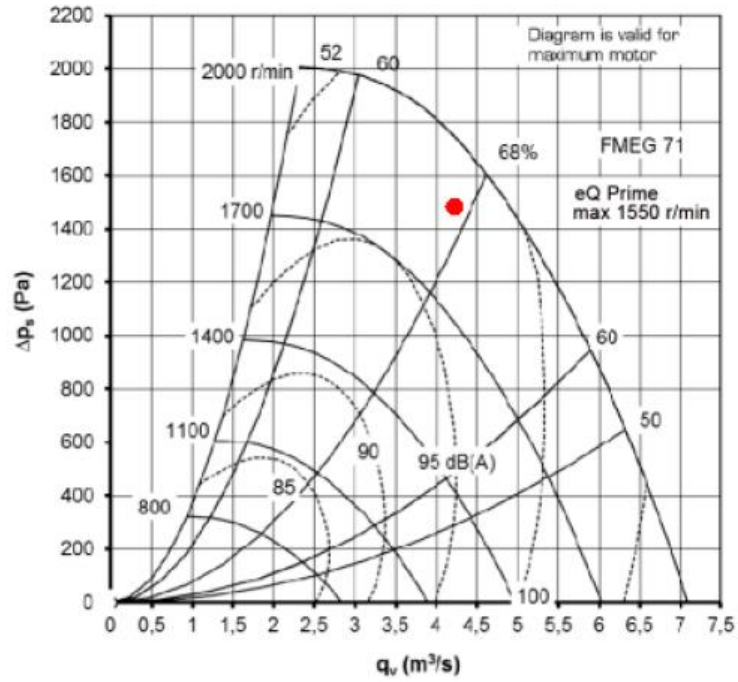
373 (1) / Ilmanvirtaus mittaus testipenkki
ACON-01731740
3 () / Ilmanvirtaus-Mittaus-Testipenkki
041 / 014

Acon 2.11.151008.1

2015-10-09
Page 15/16

Fan chart - Supply air - EQLK-041-2-6-1-1-6-1-1-2-1-1-2

EQLK-041-2





AIR HANDLING UNIT eQ

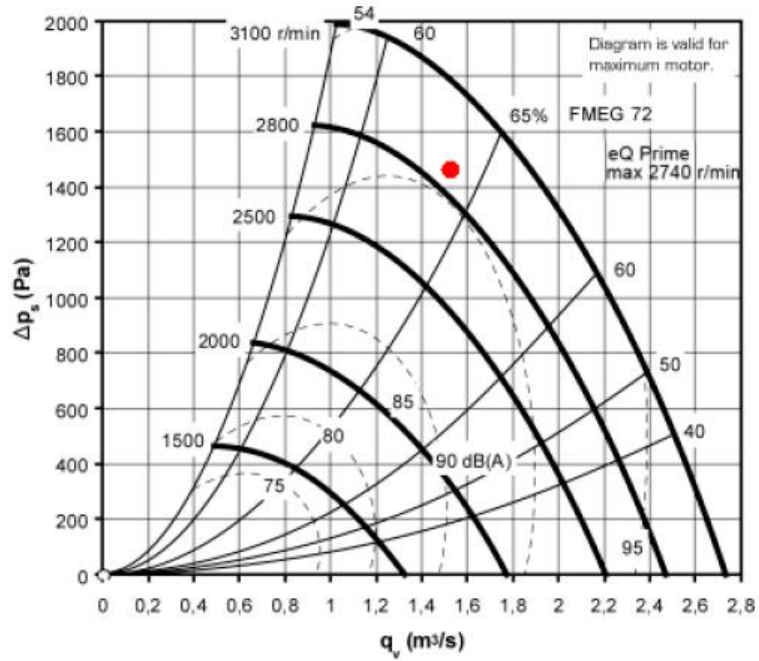
Project
AOC
Unit
Size

373 (1) / Ilmanvirtaus mittaus testipenkki
ACON-01731740
3 () / Ilmanvirtaus-Mittaus-Testipenkki
041 / 014

Acon 2.11.151008.1

2015-10-09
Page 16/16

Fan chart - Exhaust air inlet - EQLK-014-3-2-1-1-6-1-2-2-1-2-2
EQLK-011-3/014-3/018-2/020-2



Ilmankäsittelykoneen asennusohje löytyy alla olevasta linkistä. Asennuksessa on otettava huomioon alla luetellut asiat. Viitattu 19.11.2015

<http://www.flaktwoods.fi/dfbd0886-c415-4b67-bc19-37773f3aa862>

HUOMIOITAVAA ILMANKÄSITTELYKONEESTA.

1. Ylemmän kerroksen tyhjään osaan, joka liittyy kerrokset toisiinsa tilataan valmiiksi tehty aukko. Alemman kerroksen vastaavaan tyhjään osaan on tehtävä aukko, kun se on toimitettu asennuspaikalle.
2. Ilmankäsittelykoneen kerroksilla on eri leveydet, joten ylemmän kerroksen reunoille tulee asentaa kulma- ja laattarauta asennusohjeiden (liite 2) mukaisesti. Jos laattarauta ja kulmarauta aiheuttavat kerroksien välille suuren välin, niin asennetaan myös aukon ympärille laattarautaa ja tiivistetään se molemmilta puolilta.
3. Virtauksen tasaajista ja suutinseinästä saattaa aiheutua pituuden lisäystä ilmankäsittelykoneelle. Ilmakäsittelykonetta tilatessa kannattaa siis tilata pidempi alusta, kuin mitä kuvissa on esitetty. Alustan voi varmuuden vuoksi tilata esim. 0,5 m pidempänä kuin kuvien alusta, jos tarkkaa pituuden lisäystä ei tunneta.

Taulukko 3.1. Suutinryhmä 1

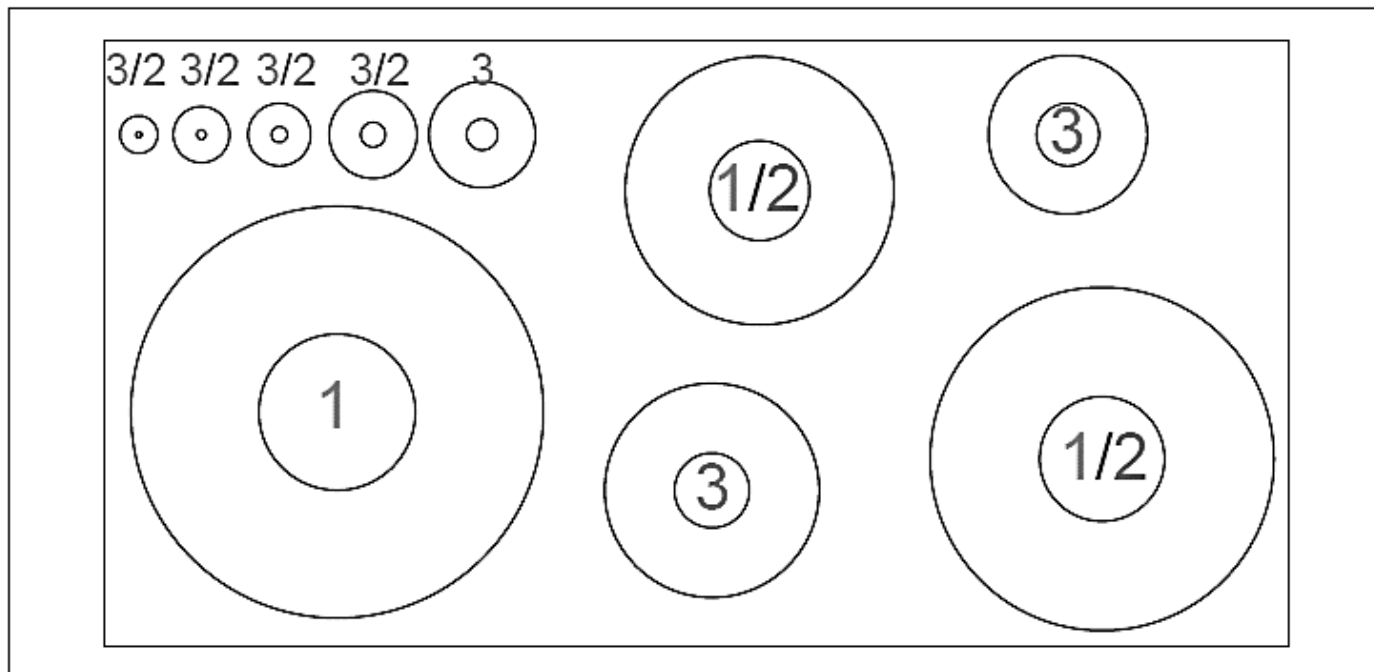
Suutinryhmä 1 Ilmavirtarajat								
Laajenemis- kerroin	Max paine- ero	Min paine- ero	Mitta-pisteen ilmantiheys	Purkau-tumis- kerroin	Suuttimien kurkkujen halkaisijat	Max ilma- virta	Min ilma- virta	
Y	Δp_{max}	Δp_{min}	ρ_5	C	d_k	qv	qv	
[-]	[Pa]	[Pa]	[kg/m ³]	[-]	[mm]	[l/s]	[l/s]	
0,992	900	300	1,2	0,95	160	734	424	
					200	1147	662	
					250	1792	1034	
Ilmavirta yhteensä:						3672	2120	[l/s] [m ³ /s]
						3,7	2,1	

Taulukko 3.2. Suutinryhmä 2

Suutinryhmä 2 Ilmavirtarajat								
Laajenemis- kerroin	Max paine- ero	Min paine- ero	Mittapisteen ilmantiheys	Purkautumis- kerroin	Suuttimien kurkkujen halkaisijat	Max Ilmavirta	Min Ilmavirta	
Y	Δp_{max}	Δp_{min}	ρ_5	C	d_k	qv	qv	
[-]	[Pa]	[Pa]	[kg/m ³]	[-]	[mm]	[l/s]	[l/s]	
0,992	900	300	1,2	0,95	9,5	3	1	
					15	6	4	
					25	18	10	
					40	46	26	
					160	734	424	
					200	1147	662	
Ilmavirta yhteensä:						1953	1128	[l/s] [m ³ /s]
						2,0	1,1	

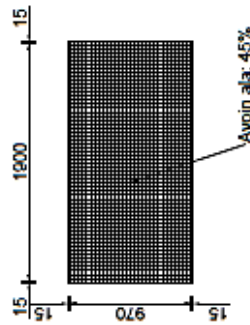
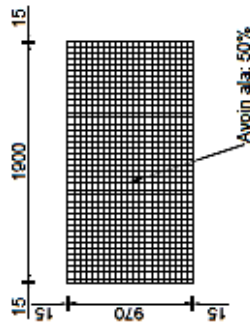
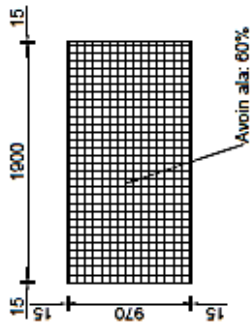
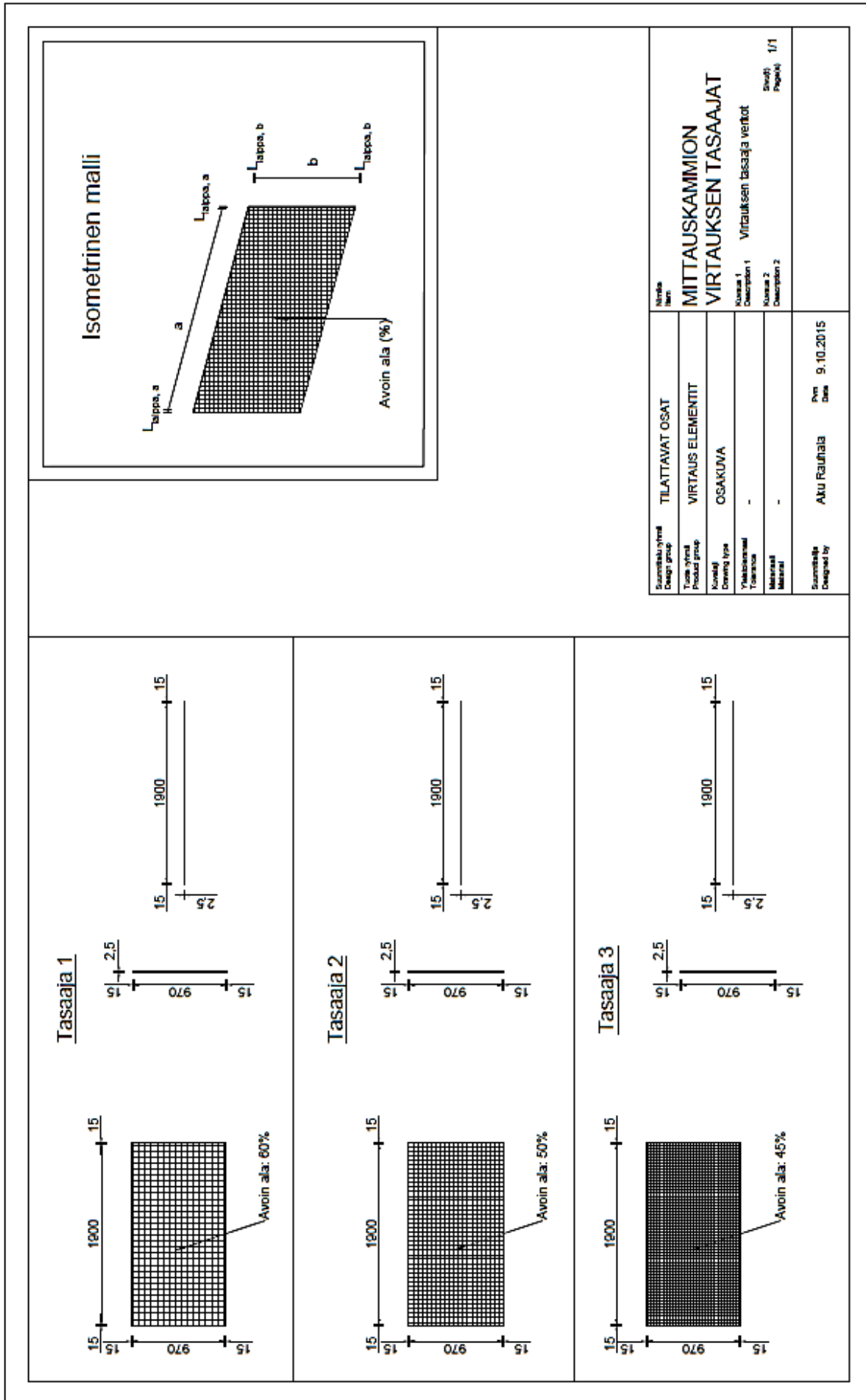
Taulukko 3.3. Suutinryhmä 3

Suutinryhmä 3 Ilmavirtarajat								
Laajenemis- kerroin	Max paine- ero	Min paine- ero	Mittapisteen ilmantiheys	Purkautumis- kerroin	Suuttimien kurkkujen halkaisijat	Max Ilmavirta	Min Ilmavirta	
Y	Δp_{max}	Δp_{min}	ρ_5	C	d_k	qv	qv	
[-]	[Pa]	[Pa]	[kg/m ³]	[-]	[mm]	[l/s]	[l/s]	
0,992	900	300	1,2	0,95	9,5	3	1	
					15	6	4	
					25	18	10	
					40	46	26	
					50	72	41	
					100	287	166	
					120	413	238	
Ilmavirta yhteensä:						844	487	[l/s] [m ³ /s]
						0,8	0,5	



IRIS-pellin tekninen ohje löytyy alla olevalta sivulta. Viitattu 19.11.2015

<http://www.flaktwoods.fi/f0d83e62-93fd-4b6a-b348-d2bc193f9872>



VIP-oikaisijoiden kanavien sisähalkaisijat:

800 mm, 630 mm, 500 mm, 400 mm, 315 mm, 250 mm, 200 mm, 160 mm, 100mm.

VIP-oikaisijoiden laipat:

Kaikkien asennustavaksi valitaan laipallinen. Laippojen koot BDEA-sivulliittimien (pyörätetyn mallisten) mukaan, eli ainakin 12 mm. Laipat saavat toki olla suuremmat, kunhan ovat ainakin 12 mm. Tärkeintä, että sisähalkaisijat ovat oikeanlaisia.



1755 La Costa Meadows Drive | San Marcos, California 92078 USA
 760-736-6114 Toll Free (US): 800-854-9959 Fax: 760-736-6250
 www.vortab.com

Order Information Sheet (OIS)

Model VIP

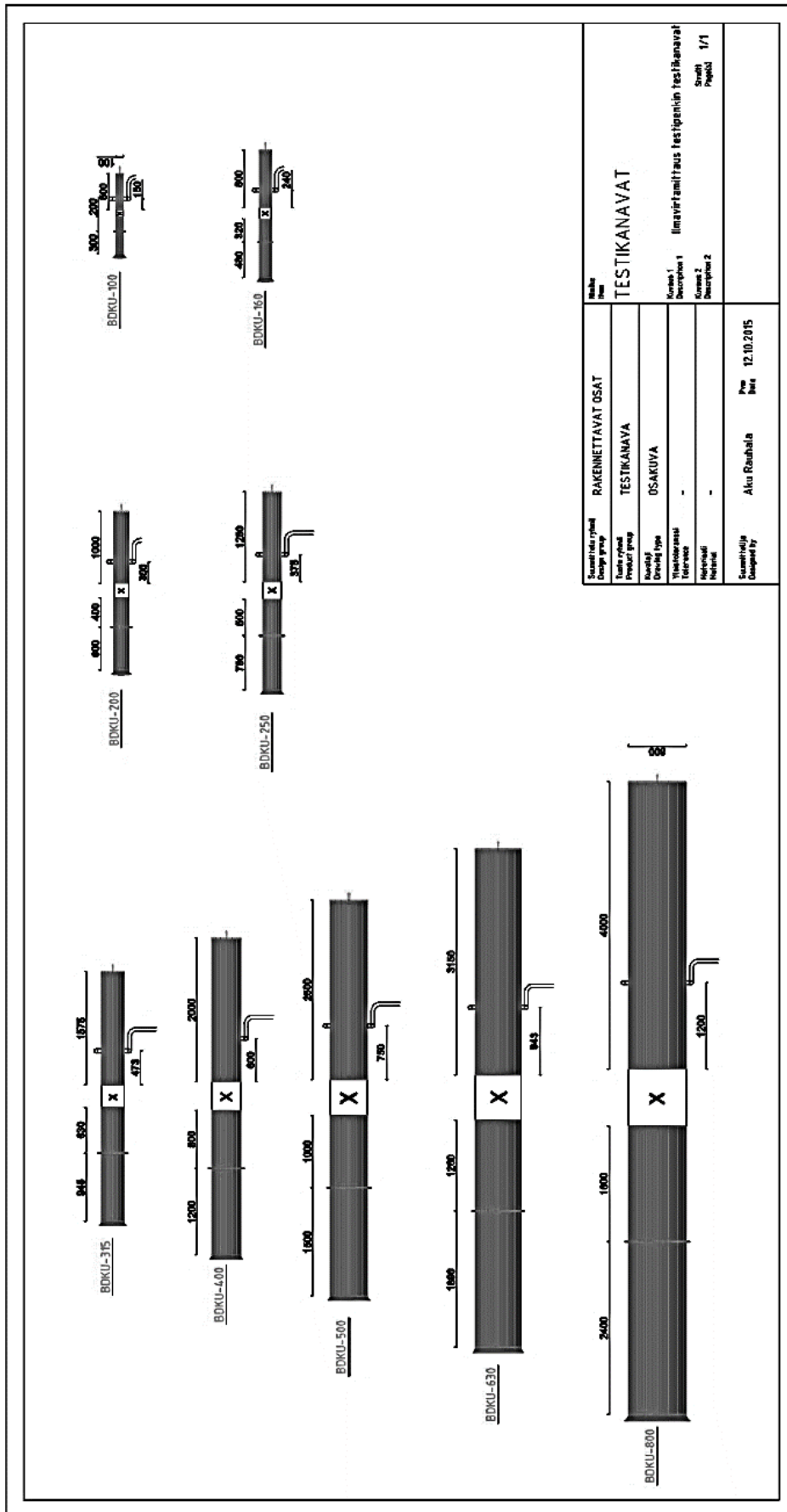
Vortab® Insertion Panel Flow Conditioner

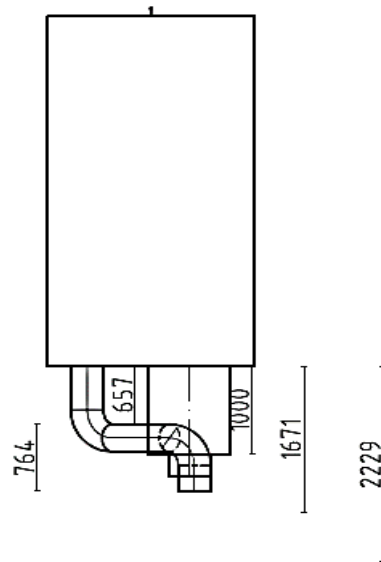
INSTRUCTIONS: To order a VIP, please fill in each numbered block above by selecting required codes from the corresponding categories below. Use of "*" codes requires prior approval from Vortab Company. For special data, documentation, test reports or required quality reports, refer to Vortab's Engineering and Quality Assurance Order Information Sheets (OIS).

Model Number							Description	
Block No.	1	2	3	4	5	6	7	
VIP -	<input type="text"/>	- <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	- <input type="text"/>	
A	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	[BLOCK 1] Installation and Mounting Type
B								Flange mounting, ANSI B16.5 compatible
C								Flange mounting, compatible with DIN PN6 Form B1
D								Flange mounting, compatible with DIN PN10 Form B1
E								Flange mounting, compatible with DIN PN16 Form B1
F								Flange mounting, compatible with DIN PN25 Form B1
P								Flange mounting, compatible with DIN PN40, PN63 or PN100 Form B1
*								Weld in place
								Other customer specified mounting
								[BLOCKS 2-6] Pipe Size (I.D.)
A	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Specify pipe I.D. in inches to hundredths (e.g. 07.76 inches ¹)
M	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Specify pipe I.D. in millimeters to tenths (e.g. 215.1 mm ¹)
								[BLOCKS 7] VIP Material of Construction
S								316L stainless steel
*								Other customer specified material (carbon steel not available)

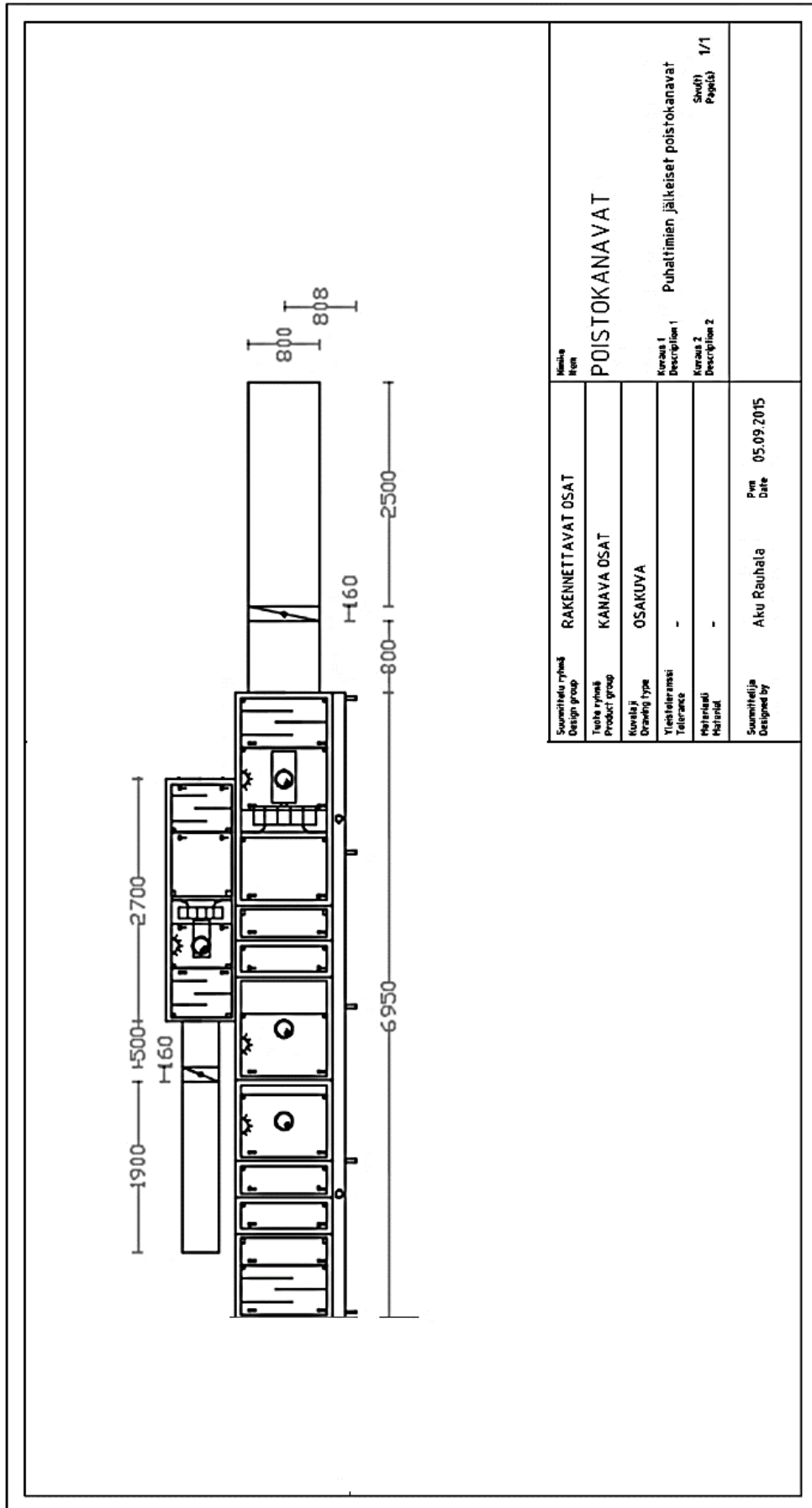
Notes

1. Minimum pipe I.D. size is 02.00" [050.0 mm]; maximum pipe I.D. size is 39.99" [999.9 mm]. For smaller or larger line sizes, contact Vortab Company.

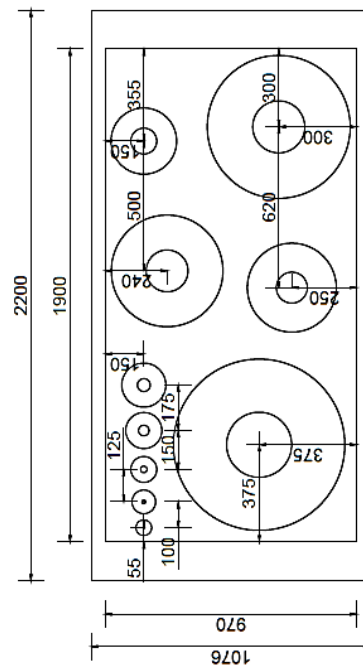
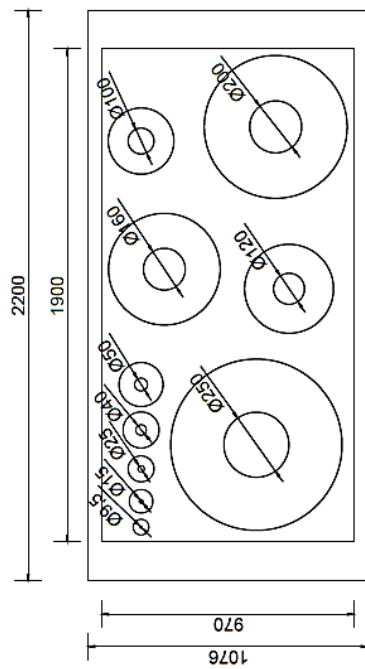




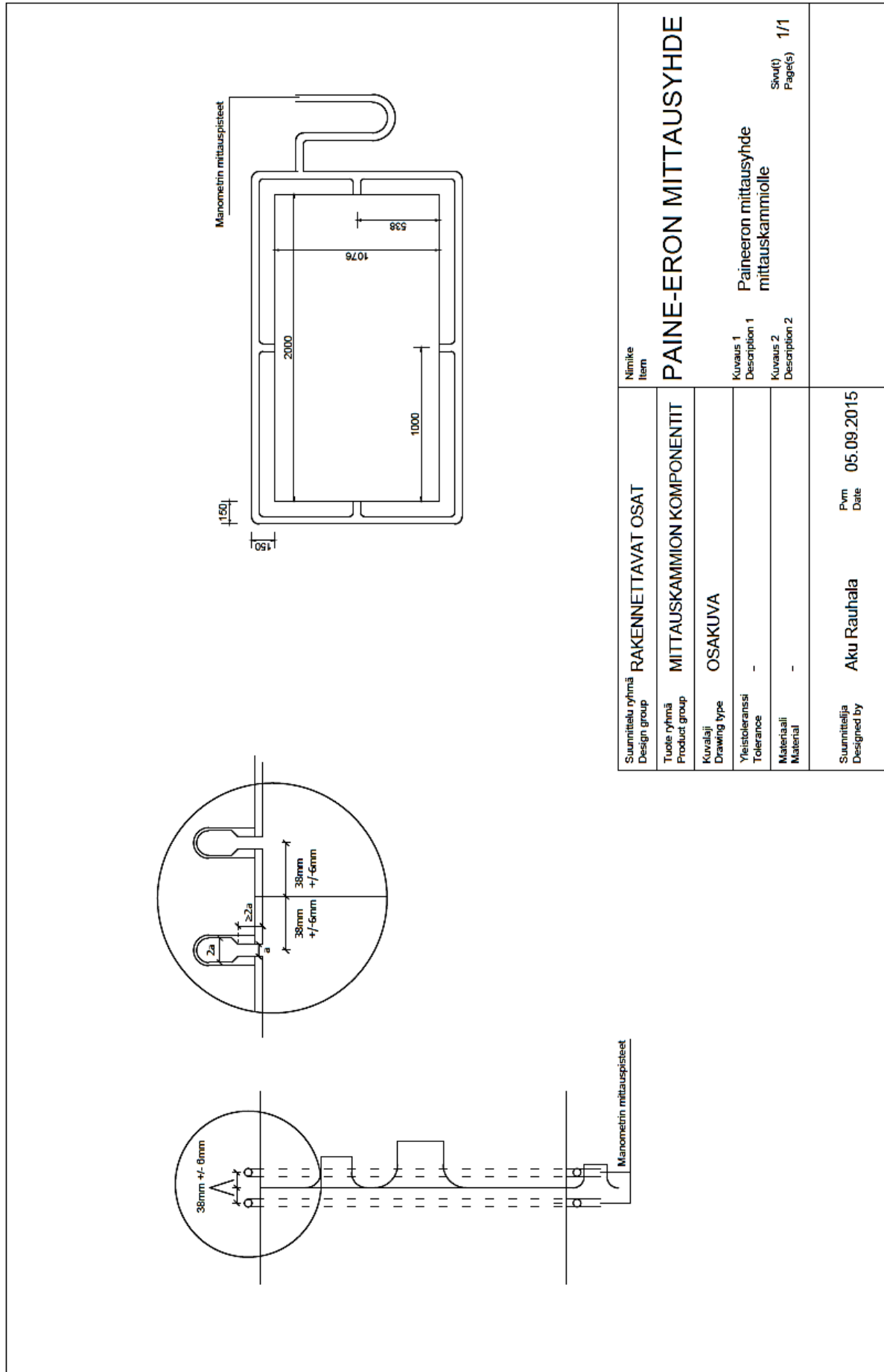
Suunnittelu ryhmä Design group	RAKENNETTAVAT OSAT	Nimi Item	
Tuote ryhmä Product group	KANAVA OSAT	LÄHTÖKANAVAT	
Kuvio Drawing type	OSAKUVA	Kuvaus 1 Description 1	Ilmankäsittelykoneeseen liitettävät lähtökanavat festikanavia varten
Yleishieronta Tolerance	-	Kuvaus 2 Description 2	
Materiaali Material	-	Sivut Pages	1/1
Suunnittelija Designed by	Aku Rauhala	Pvm Date	05.09.2015



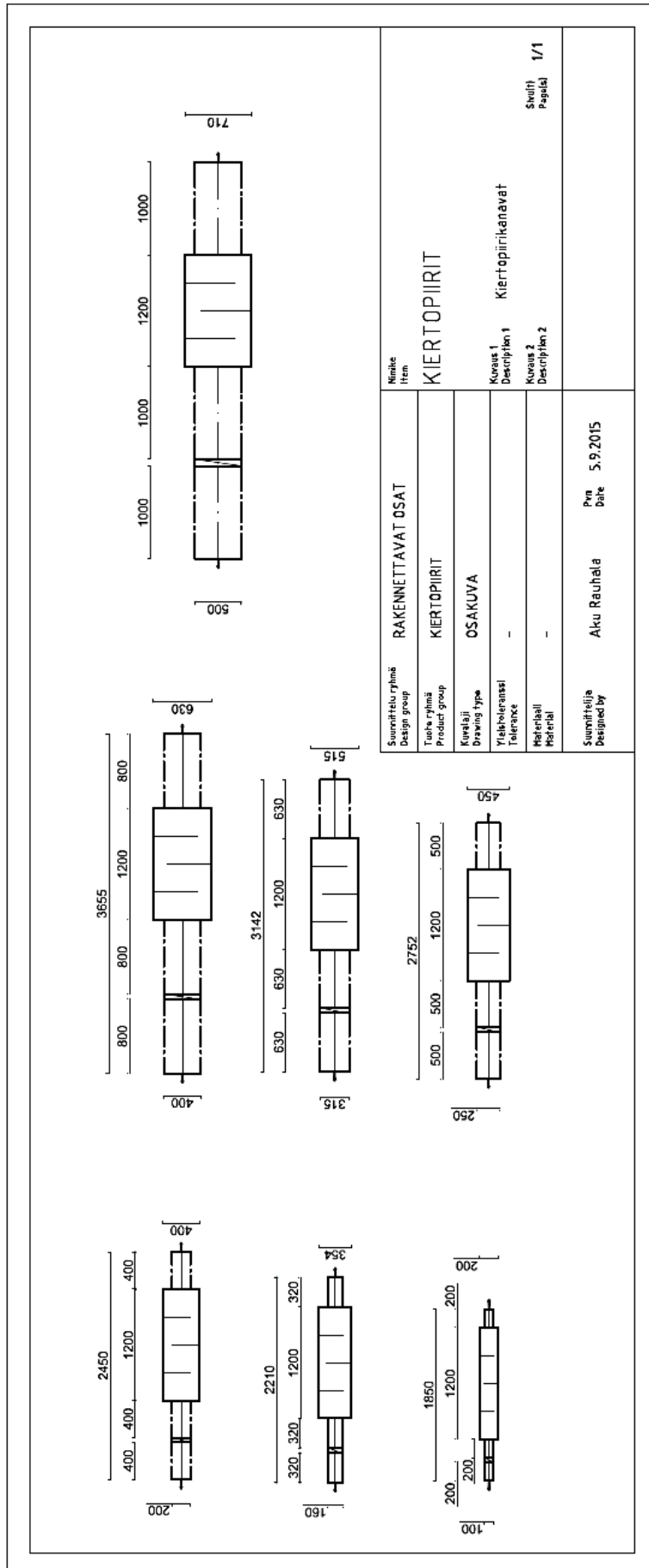
Suunnitelu ryhmä Design group	RAKENNETTAVAT OSAT	Nimi Item	POISTOKANAVAT
Tuote ryhmä Product group	KANAVA OSAT	Kuvaus 1 Description 1	Puhaltimien jälkeiset poistokanavat
Kuvailu Drawing type	OSAKUVA	Kuvaus 2 Description 2	
Yksikötolmat Tolerance	-		
Materiaali Material	-		
Suunnittelija Designed by	Aku Rauhalu	Päivä Date	05.09.2015
			Sivu / Page(s) 1/1



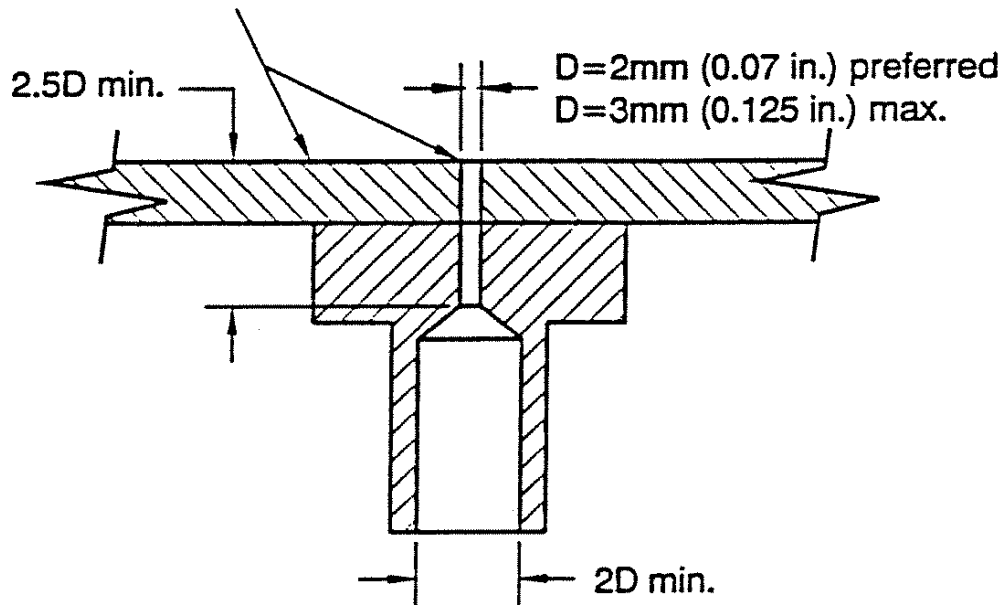
Suunnitelu ryhmä Design group	TILATTAVAT OSAT	Nimi/ku Item	SUUTINSEINÄ
Tuote ryhmä Product group	MITTAUSKAMMIO KOMPONENTIT	Kuvaus 1 Description 1	Mittauskammion suutinseinä
Korjaus Drawing type	OSAKUVA	Kuvaus 2 Description 2	-
Yleistoleranssi Tolerance	-		
Materiaali Material	-		
Suunnittelija Designed by	Aku Rauhala	Pvm Date	05.09.2015
		Sivu(t) Page(s)	1/1



Suunnitelu ryhmä Design group	RAKENNETTAVAT OSAT	Nimike Item	PAINERON MITTAUSYHDE
Tuote ryhmä Product group	MITTAUSKAMMION KOMPONENTIT	Kuvaus 1 Description 1	Paineeron mittausyhde mittauskammionle
Kuvalaji Drawing type	OSAKUVA	Kuvaus 2 Description 2	1/1
Yleistoleranssi Tolerance	-		
Materiaali Material	-		
Suunnittelija Designed by	Aku Rauhala	Pvm Date	05.09.2015



Surface shall be smooth and free from irregularities within $20D$ of hole. Edge of hole shall be square and free from burrs.



To Pressure Indicator

NOTE: A 2 mm (0.07 in.) HOLE IS THE MAXIMUM SIZE WHICH WILL ALLOW SPACE FOR A SMOOTH SURFACE $20 D$ FROM THE HOLE WHEN INSTALLED 38 mm (1.5 in.) FROM A PARTITION, SUCH AS IN FIGURES 9, 10, 11, 12, 15.

Figure 2A Static Pressure Tap

APPENDIX G

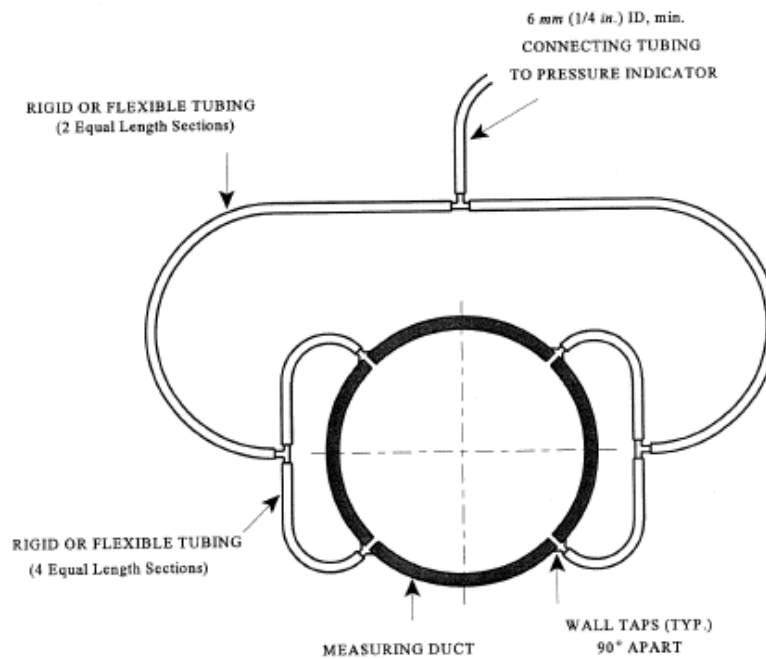
This Appendix is not a part of ANSI/AMCA Standard 210 or ANSI/ASHRAE Standard 51 but is included for information purposes.

APPENDIX G. TUBING

Large tubing should be used to help prevent blockage from dust, water, ice, etc. Accumulations of dirt are especially noticeable in the bottom of round ducts; it is recommended that duct piezometer fittings be located at 45° from the horizontal. Tubing longer than 1.5 m

(5 ft) should be a minimum of 6 mm (1/4 in.) inside diameter to avoid long pressure response times. When pressure response times are long, inspect for possible blockage. Hollow flexible tubing used to connect measurement devices to measurement locations should be of relatively large inside diameter. The larger size is helpful in preventing blockage due to dust, water, ice, etc.

Piezometer connections to a round duct are recommended to be made at points 45° away from the vertical centerline of the duct. See Figure G-1 for an example.



- NOTES:
1. Manifold tubing internal area shall be at least 4 times that of a wall tap.
 2. Connecting tubing to pressure indicator shall be 6 mm (1/4 in.) or larger in ID.
 3. Taps shall be within ± 13 mm (1/2 in.) in the longitudinal direction.

Figure G-1 Piezometer Ring Manifolding

Mittauspöytäkirja, testipenkki

Mittaja(t): _____

Päivämäärä: _____ Aika: _____

Paikka: Fläkt Woods Oy, Toijala

Testattavalaite: _____ Laitteen koko: _____ Säätoasento: _____

Muuta: _____

Mittalaitteet

Paine-ero: _____

Lämpötila: _____

Kosteus: _____

Ilmanpaine: _____

Staatinnainen paine: _____

Testikanava osat:

Testikanava koko: _____

Muuntoliitimet: _____

Lähtökäulus: _____

Kaava 1. Kylläisen vesihöyry osapaine	
$p_e = 3,25 * t_{wo}^2 + 18,6 * t_{wo} + 692$	
Ympäristön märkälämpötila	Kylläinen höyrynpaine, t_{wo}
t_{wo} [C]	p_e [Pa]
20	2364

Kaava 2. Vesihöyryn osapaine				
$p_p = p_e - p_b * (t_{d0} - t_{wo}) / 1500$				
Kylläinen höyrynpaine, t_{wo}	Barometrinen paine	Ympäristön Kuivalämpötila	Ympäristön märkälämpötila	Vesihöyryn osapaine
p_e [Pa]	p_b [Pa]	t_{d0} [°C]	t_{wo} [°C]	p_p [Pa]
2364	101325	27,5	20	1857

Kaava 3. Ympäristön ilman tiheys					
$\rho_0 = (p_b - 0,378 * p_p) / (R * (t_{d0} + 273,15))$					
Barometrinen paine	Vesihöyryn osapaine	Kaasuvakio	Ympäristön kuivalämpötila	Absoluuttinen nollapiste	Ympäristön ilman tiheys
p_b [Pa]	p_p [Pa]	R [J/kg*K]	t_{d0} [°C]	t_{abs} [C]	ρ_0 [kg/m3]
101325	1857	287,1	27,5	273,15	1,17

Kaava 4. Ilman tiheys testikanavassa						
$\rho_3 = (t_{d0} + 273,15) / (t_{d3} + 273,15) * ((p_{st3} + p_b) / p_b)$						
Ympäristön ilman tiheys	Ympäristön kuivalämpötila	Kuivalämpötila testikanavassa	Absoluuttinen nollapiste	Staattinen paine testikanavassa	Barometrinen paine	Tiheys testikanavassa
ρ_0 [kg/m3]	t_{d0} [°C]	t_{d3} [°C]	t_{abs} [C]	p_{st3} [Pa]	p_b [Pa]	ρ_3 [kg/m3]
1,17	27,5 27,5	23 23	273,15	700 300	101325	1,022 1,018

Kaava 4. Mittapisteen ilman tiheys						
$\rho_5 = (t_{d0} + 273,15) / (t_{d5} + 273,15) * ((p_{st5} + p_b) / p_b)$						
Ympäristön ilman tiheys	Ympäristön kuivalämpötila	Kuivalämpötila mittauspisteellä	Absoluuttinen nollapiste	Mittauspisteen staattinen paine	Barometrinen paine	Mittauspisteen ilman tiheys
ρ_0 [kg/m3]	t_{d0} [°C]	t_{d5} [°C]	t_{abs} [C]	p_{st5} [Pa]	p_b [Pa]	ρ_5 [kg/m3]
1,17	27,5	26	273,15	1000	101325	1,015

Kaava 5. Ilman dynaaminen viskositeetti			
$\mu = (17,23 + 0,048 * t_{d0}) * 10^{-6}$			
Kaavan kerroin	Kaavan kerroin	Ympäristön Kuivalämpötila	Ilman dyn. Viskositeetti
x [-]	y [-]	t_{d0} [°C]	μ [Pa*s]
17,23	0,048	27,5	0,00001855 18,55

Kaava 6. Ilmavirtakerroin					
$a = 1 - (\Delta p / (\rho_5 * R * (t_{d5} + 273,15)))$					
Paine-ero	Mittapisteen ilmantiheys	Kaasuvakio	Ilmankuivalämpötila mittauspisteessä	Absoluuttinen nollapiste	Ilmavirtakerroin
Δp [Pa]	ρ_5 [kg/m ³]	R	t_{d5} [°C]	t_{abs} [°C]	a
750	1,015	287,1	26	273,15	0,99

Kaava 7. Laajentumiskerroin		
$Y = (0,548 + 0,71 * (B^4)) * (1-a)$		
Beetta	Ilmavirtakerroin	Laajentumiskerroin
B	a	Y
[-]	[-]	[-]
0	0,99	0,995

Kaava 8. Reynoldsin arvio 1						
$Re_1 = ((\text{SQRT}(2)) / \mu) * C_0 * d_{kurkku} * Y * (\text{SQRT}(\Delta p * \rho_5 / 1))$						
Ilman dyn. Visk.	Purkautumikerto- men oletusarvo	Kurkun halkaisija	Laajenemiskerroin	Paine-ero	Mittapisteen ilmantiheys	Reynoldsin arvio 1
μ [-]	C_0 [-]	d_{kurkku} [mm]	Y	Δp [Pa]	ρ_5 [kg/m ³]	Re_1 [-]
0,00001855	0,95	9,5	0,995	750	1,015	18894
		15				29832
		25				49720
		40				79552
		50				99440
		100				198880
		120				238656
		160				318208
		200				397760
		250				497200

Kaava 9. Purkautumiskerroin arvio 1		
$C_1 = 0,9986 - (7,006 / \text{SQRT}(Re_1)) + (134,6 / Re_1)$		
Kaavan kerroin	Reynolds 1	Purkautumiskerroin 1
X	Re_1	C_1
[-]	[-]	[-]
0,999	18894	0,941
	29832	0,954
	49720	0,964
	79552	0,972
	99440	0,975
	198880	0,982
	238656	0,984
	318208	0,986
	397760	0,987
	497200	0,988

Kaava 10. Reynoldsin arvio 2, C1 mukaan						
Re 2 = ((SQRT (2)/μ) * C1 * d _{kurkku} * Y * (SQRT(Delta p * Rho ₅ / 1)						
Dyn. Vis.	Purkautumiskerroin 1	Kurkun halkaisija	Laajenemiskerroin	Paine-ero	Mittapisteen ilmantiheys	Reynoldsin arvio 2
μ [-]	C ₁ [-]	d _{kurkku} [mm]	Y [-]	Δp [Pa]	ρ ₅ [kg/m ³]	Re ₂ [-]
0,00001855	0,941	9,5	0,995	750	1,015	18705
	0,954	15				29943
	0,964	25				50478
	0,972	40				81400
	0,975	50				102060
	0,982	100				205624
	0,984	120				247121
	0,986	160				330185
	0,987	200				413316
0,988	250	517294				

Kaava 11. Purkautumiskertoimen arvio 2		
C2 = 0,9986 - (7,006/SQRT(Re2))+{134,6/Re2}		
Kaavan kerroin	Reynoldsin arvio 2	Purkautumiskertoimen arvio 2
X [-]	Re ₂ [-]	C ₂ [-]
0,9986	18705	0,940
	29943	0,954
	50478	0,965
	81400	0,972
	102060	0,975
	205624	0,982
	247121	0,984
	330185	0,986
	413316	0,987
517294	0,989	

Kaava 12. Purkautumiskertoimen valinta				
Delta C = c2 - c1 < 0,001				
Purkautumisarvio 2	Purkautumiskertoimen arvio 1	Erotus	Vertailuarvo	Valittu purkautumiskerroin
C ₂ [-]	C ₁ [-]	ΔC [-]	C _{reference} [-]	C _{chosen} [-]
0,940	0,941	-0,000328523	0,001	0,940
0,954	0,954	9,17307E-05	0,001	0,954
0,965	0,964	0,00027726	0,001	0,965
0,972	0,972	0,000321992	0,001	0,972
0,975	0,975	0,000321761	0,001	0,975
0,982	0,982	0,00028196	0,001	0,982
0,984	0,984	0,000267075	0,001	0,984
0,986	0,986	0,000242681	0,001	0,986
0,987	0,987	0,000223785	0,001	0,987
0,989	0,988	0,000205402	0,001	0,989

Kaava 13. Ilmavirta suuttimista										
$q_v = Y * \text{SQRT}(2 * \Delta p / \text{Rho } 5) * \text{Summa}(c_2 * A \text{ kurkku})$										
Laajenemisker- roin	Paine-ero Δp [Pa]	Mittapisteen ilmantiheys P_5 [kg/m ³]	Purkautumiskerroin C_2 [-]	Suuttimien kurkkujen halkaisijat d_{kurkku} [mm]	Suuttimien kurkkujen pinta- ala A_{kurkku} [mm ²]	Kaavan osa 1 $Y * \sqrt{2 * \Delta p / \rho_5}$	Kaavan osa 2 $C_2 * A \text{ kurkku}$	Käytetyt suuttimet	Ilmavirta	
Y [-]						0-1 [0-1]		0-1 [0-1]	q_v [l/s]	
			0,940	9,5	7,08822E-05		6,7E-05	1	3	
			0,954	15	0,000176715		1,7E-04	1	6	
			0,965	25	0,000490874		4,7E-04	1	18	
			0,972	40	0,001256637		1,2E-03	1	47	
0,995	750	1,015	0,975	50	0,001963495	38,26	1,9E-03	1	73	
			0,982	100	0,007853982		7,7E-03	0	0	
			0,984	120	0,011309734		1,1E-02	0	0	
			0,986	160	0,020106193		2,0E-02	0	0	
			0,987	200	0,031415927		3,1E-02	0	0	
			0,989	250	0,049087385		4,9E-02	0	0	
Ilmavirta yhteensä:									147	l/s]
									0,1	m ³ /s]

Kaava 14. Ilmanpaineen epävarmuus		
$eb = 0,2 / pb$		
Kerroin	Ilmanpaineen mittatulos	Epävarmuus
x	pb	eb
[-]	[Pa]	[-]
0,2	96,5	0,002072539

Kaava 15. Kuivalämpötilan epävarmuus			
$ed = 1,0 / (td + 273,15)$			
Kerroin	Kuivalämpötila	Absoluuttinen nollassuhte	Kuivanlämpötilan epävarmuus
x	td	tabs	ed
[-]	[°C]	[°C]	[°C]
1	15,5	273,2	0,003463803

Kaava 16. Märkälämpötilan epävarmuus			
$ew = 1,0 / (td - tw)$			
Kerroin	Kuivalämpötila	Märkälämpötila	Märkälämpötilan epävarmuus
x	td	tw	ew
[-]	[°C]	[°C]	[°C]
3	15,5	10	0,545454545

Kaava 20. Paine-eron epävarmuus			
$ef = \{(0,01^2) + [0,01 * (qv_{max} / qv)^2]\}^{1/2}$			
Kerroin	Suurin ilmavirta	Ilmavirta	Paine-eron epävarmuus
x	qv _{max}	qv	ef
[-]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[Pa]
0,01	4,05	3,95	0,014509227

Kaavan 23 muuttuja				
$ev^2 = [(0,00002349 * tw - 0,0003204) * (td - tw)]^2$				
Kerroin	Märkälämpötila	Kerroin	Lämpötilojen erotus	Kaavan 23 muuttuja
x	tw	y	Td - tw	ev
[-]	[°C]	[-]	[°C]	[-]
0,00002349	10	0,0003204	5,5	2,81132E-06

Kaava 23. Tiheyden epävarmuus			
$ep = (eb^2 + ev^2 + ed^2)^{1/2}$			
Ilmanpaineen epävarmuus	Kaavan 23 muuttuja	Kuivalämpötilan epävarmuus	Tiheyden epävarmuus
eb	ev	ed	ep
[Pa]	[Pa]	[°C]	[kg/m ³]
0,002072539	2,81132E-06	0,003463803	0,004036503

Kaava 24. Ilmavirran epävarmuus				
$Eqv = [ec^2+ea^2+(ef/2)^2+(ep/2)^2]^{1/2}$				
Purkautumiskertoimen epävarmuus	Suuttimen pinta-alan epävarmuus	Paine-eron epävarmuus	Tiheyden epävarmuus	Ilmavirran epävarmuus
ec	ea	ef	ep	eqv
[-]	[m2]	[Pa]	[kg/m3]	[l/s]
0,012	0,005	0,014509227	0,004036503	0,015023407

Kaava 25. Testilaitteen suoritusarvojen epävarmuus		
$Etest = (eqv^2+est^2)^{1/2}$		
Ilmavirran epävarmuus	Testilaitteen staattinen paine	Suoritusarvojen epävarmuus
eqv	est	etest
[l/s]	[Pa]	[-]
0,015023407	0,03	0,033551494

Lähtötiedot					Testikanava					
Ilmavirta	Kanava koko	Nopeus	Ilman- tiheys	Kitkavastusk erroin	Imukartio	Kanava	Virtauksen oikaisija	Kanava	Testilaite	Kanava
[m ³ /s]	[mm]	[m/s]	[kg/m ³]	[Pa/m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
4	800	8,0		2	20,0	4,8	60	3	100	8,0
2,5	630	8,0		2	20,0	3,8	60	3	100	6,3
1,55	500	7,9		2	20,0	3,0	60	2	100	5,0
1	400	8,0		2	20,0	2,4	60	2	100	4,0
0,6	315	7,7	1,2	2	20,0	1,9	60	1	100	3,2
0,4	250	8,1		3	20,0	2,3	60	2	100	3,8
0,25	200	8,0		3	20,0	1,8	60	1	100	3,0
0,16	160	8,0		3	20,0	1,4	60	1	100	2,4
0,06	100	7,6		4	20,0	1,2	60	1	100	2,0

Lähtökäulus							Poistokanava						
Kitkavastusk erroin	Muunto- liitin 800/400	Kanava	Kulma	Kanava	Kulma	Kanava	Liitos ilmankäsittely- koneeseen	Kanava koko	Kitkavast uskerroin	Kanava	Nopeus	Sulku	Liitos ilmankäsit telykonee
[Pa/m]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[mm]	[Pa/m]	[Pa]	[m/s]	[Pa]	[Pa]
2,0	0	0	0	0,0	0	2	20		2,0	1,6	8,0	25	14
1,0	2,5	0	0	0,0	0	1	27	800	1,0	0,8	5,0	25	5
1,0	5	0	0	0,0	0	1	30		1,0	0,8	3,1	25	2
1,0	9	0	0	0,0	0	1	33		1,0	0,8	2,0	25	1
2,0	0	0,6	7	1,4	7	1	33		2,0	1	4,8	25	6
1,0	3	0,3	7	0,7	7	0,5	38		1,0	0,5	3,2	25	3
1,0	5	0,3	7	0,7	7	0,5	37	400	1,0	0,5	2,0	25	1
1,0	8	0,3	5	0,7	5	0,5	37		1,0	0,5	1,3	25	0
1,0	10	0,3	7	0,7	7	0,5	35		1,0	0,5	0,5	25	0

Kanava	Virtauksen tasaajat			Suutinseinä	Aukko	Ilmankäsittelykone	Total		
	Nopeus kammiossa	45	50	60	Painehäviö	Painehäviö	Painehäviö	Kokonais- painehäviö	Puhaltimella tuotettava max paine
[Pa]	[m/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
5	2,6	20	20	20	900			1484	
2,5	1,6	20	20	20	900	100	100	1476	1650
2,5	1,0	20	20	20	900			1476	
2,5	0,7	20	20	20	900			1480	
4	0,4	20	20	20	900			1486	
2	0,3	20	20	20	900	100	100	1491	1700
2	0,2	20	20	20	900			1491	
2	0,1	20	20	20	900			1489	
2	0,0	20	20	20	900			1492	

Ower. E. Pankhurst. The Measurement of Air Flow. 5th edition for SI-Units.
Kaava verkoille s. 193, Formula 51:

$$1. \zeta = 6,5 * \frac{1-B}{B^2} * \left(\frac{v*d}{v*\mu}\right)^{-\frac{1}{3}}$$

$$\zeta = 6,5 * \frac{(1 - 0,6)}{(0,6^2)} * \left(\frac{\left(2,17 \frac{m}{s} * 0,0025m\right)}{\left(0,0000174 \frac{m^2}{s} * 0,6\right)}\right)^{-\frac{1}{3}} = 0,898$$

$$2. \Delta p_{tasaaja} = \frac{1}{2} * v^2 * \rho * \zeta$$

$$\Delta p_{tasaaja} = \frac{1}{2} * \left(2,17 \frac{m}{s}\right)^2 * 1,2 \frac{kg}{m^3} * 0,898 = 2,5 Pa$$

Virtauksen tasaajan avoin ala B [-]	Tasaajan verkon paksuus d verkko [m]	Ilma- virta qv [m ³ /s]	Ilman tiheys ρ [kg/m ³]	Mittaus- kammion pinta-ala A [m ²]	Ilman nopeus mittaus- kammiossa v [m/s]	Kinemaattinen viskositeetti η [m ² /s]	Painehäviön kertavastus ζ [-]	Dynaaminen paine pd [Pa]	Painehäviö tasaajan verkolle Δp tasaaja [Pa]
0,6	0,0025	4	1,2	1,843	2,17	0,0000174	0,898	2,8	2,5
0,5	0,0025	4	1,2	1,843	2,17	0,0000174	1,522	2,8	4,3
0,45	0,0025	4	1,2	1,843	2,17	0,0000174	1,995	2,8	5,6
0,6	0,0025	2	1,2	1,843	1,09	0,0000174	1,132	0,7	0,8
0,5	0,0025	2	1,2	1,843	1,09	0,0000174	1,917	0,7	1,4
0,45	0,0025	2	1,2	1,843	1,09	0,0000174	2,514	0,7	1,8
0,6	0,0025	1,55	1,2	1,843	0,84	0,0000174	1,232	0,4	0,5
0,5	0,0025	1,55	1,2	1,843	0,84	0,0000174	2,087	0,4	0,9
0,45	0,0025	1,55	1,2	1,843	0,84	0,0000174	2,736	0,4	1,2
0,6	0,0025	0,7	1,2	1,843	0,38	0,0000174	1,606	0,1	0,1
0,5	0,0025	0,7	1,2	1,843	0,38	0,0000174	2,720	0,1	0,2
0,45	0,0025	0,7	1,2	1,843	0,38	0,0000174	3,567	0,1	0,3
0,6	0,0025	0,5	1,2	1,843	0,27	0,0000174	1,797	0,0	0,1
0,5	0,0025	0,5	1,2	1,843	0,27	0,0000174	3,043	0,0	0,1
0,45	0,0025	0,5	1,2	1,843	0,27	0,0000174	3,990	0,0	0,2
0,6	0,0025	0,35	1,2	1,843	0,19	0,0000174	2,023	0,0	0,0
0,5	0,0025	0,35	1,2	1,843	0,19	0,0000174	3,427	0,0	0,1
0,45	0,0025	0,35	1,2	1,843	0,19	0,0000174	4,494	0,0	0,1
0,6	0,0025	0,2	1,2	1,843	0,11	0,0000174	2,438	0,0	0,0
0,5	0,0025	0,2	1,2	1,843	0,11	0,0000174	4,130	0,0	0,0
0,45	0,0025	0,2	1,2	1,843	0,11	0,0000174	5,415	0,0	0,0
0,6	0,0025	0,15	1,2	1,843	0,08	0,0000174	2,684	0,0	0,0
0,5	0,0025	0,15	1,2	1,843	0,08	0,0000174	4,546	0,0	0,0
0,45	0,0025	0,15	1,2	1,843	0,08	0,0000174	5,960	0,0	0,0
0,6	0,0025	0,06	1,2	1,843	0,03	0,0000174	3,642	0,0	0,0
0,5	0,0025	0,06	1,2	1,843	0,03	0,0000174	6,170	0,0	0,0
0,45	0,0025	0,06	1,2	1,843	0,03	0,0000174	8,089	0,0	0,0

1. Vortab Company VIP Flow Conditioner kava

$$\Delta p_{VIP} = 0,000106 * \frac{qv^2}{D^4}$$

2. qv lasketaan kuutiojalkoina per minuutti. Esim.

$$qv 4m^3/s * 2119 = 8467 cfm$$

3. Kanavan halkaisija lasketaan tuumina. Esim.

$$d = \frac{800mm}{25,4mm/in} = 31,5 in$$

4. Kaavan tulos saadaan psi. Esim.

$$\Delta p_{VIP} = 0,000106 * \frac{(8467cfm)^2}{(31,5in)^4} = 0,0077psi$$

5. Muutetaan Pascaleiksi. Esim.

$$\Delta p_{VIP} = 0,0077psi * \frac{6895Pa}{psi} = 53 Pa$$

Vortab VIP lasku- kerroin	Ilmavirta	Ilman nopeus	Kanava koko	Painehäviö
[-]	[m³/s]	[m/s]	[mm]	[Pa]
0,000106	4	8	800	53
	2,5	8	630	54
	1,55	8	500	53
	1	8	400	53
	0,6	8	315	50
	0,4	8	250	56
	0,25	8	200	53
	0,16	8	160	53
	0,06	8	100	49

Painemittaus osia

Letku, Koko: 4mm/6mm. Määrä: 37m

http://www.toppi.fi/index.php?page=shop.product_details&flypage=shop.flypage&product_id=57&category_id=24&manufacturer_id=0&option=com_virtuemart&Itemid=43

<http://tuotteet.etra.fi/fi/g21287078/nylonputki-pa11p40-nylonputki-pneumatiikkaan-ja-paineilmaan>

T-haara, Koko: 4mm/6mm. Määrä 50kpl

<http://tuotteet.etra.fi/fi/g20318248/t-liitin-kq2t-samoille-putkihalkaisijoille>

Suuttimet

Suuttimet: 9,5 / 15 / 25 / 40 / 50 / 100 / 120 / 160 / 200 / 250

Piirustukset liitteessä 11.

<http://www.helandermetal.com/standard-air-flow-nozzle-products.html>

<http://www.prisma-instruments.com/en/measurement-and-regulation-instruments/flow-instruments/flow-nozzles>

Virtauksen oikaisijat

Tilauslista liitteessä 6.

www.vortab.com/Flow-Conditioners/VIP-Flow-Conditioner.as.

Virtauksen oikaisijoiden tiivistet

Koot: 100 mm, 160 mm, 200 mm, 250 mm, 315 mm, 400 mm, 500 mm, 630 mm, 800 mm.

www.ramirok.fi/fi/tuotteet/36/o-renkaat

Virtauksen tasaaja verkkoja

Tasaaja 1: ~ 60 % avoin-ala, H = 1 m, L = 2m.

Tasaaja 2: ~ 50 % avoin-ala, H = 1 m, L = 2m.

Tasaaja 3: ~ 45 % avoin-ala, H = 1 m, L = 2m.

<http://wirecloth.bwire.com/category/woven-wire-cloth>

<http://www.twpinc.com/wire-mesh-material/stainless-steel>

<http://www.sswm.com.au/Stainless-steel-woven-wire>

Muovitulppia

Tulpat suuttimille: 9,5 / 15 / 25 / 40 / 50

<http://www.korjakumi.fi/>

https://asiakas.kotisivukone.com/files/korjakumi.kotisivukone.com/tiedostot/101_Muottituotteet2.pdf

<http://www.teknikum.com/>

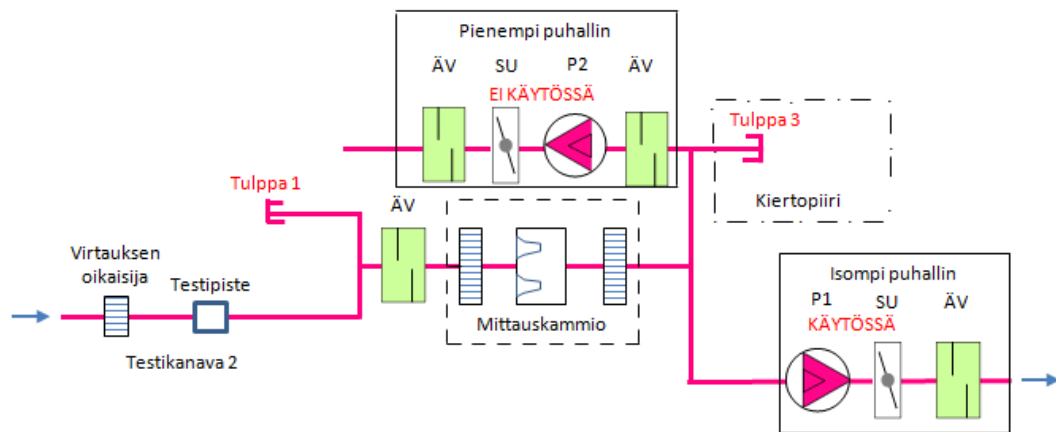
<http://teknikum-com->

bin.aldone.fi/@Bin/fd7ea4b31e1ba841660137107e44e8be/1441630921/application/pdf/60021/Muottituotteet_kumilevyt_matot.pdf

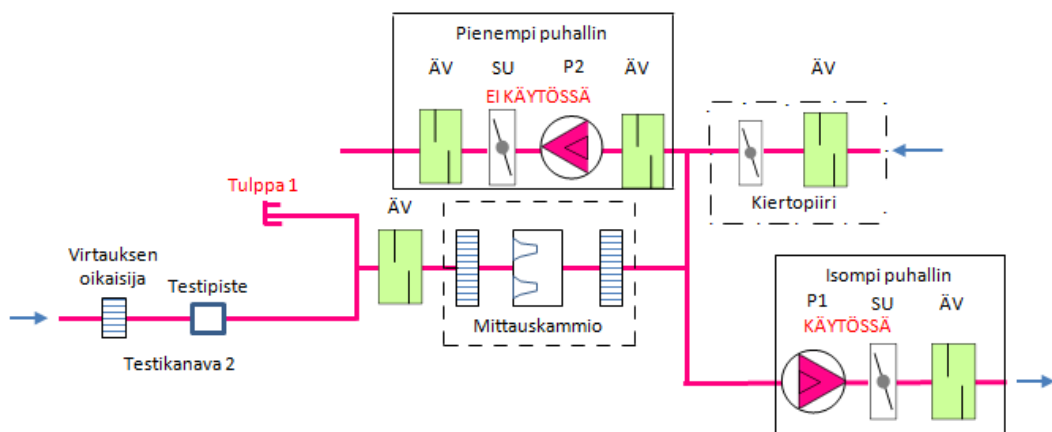
Mittalaite

Monitoimimittari (Manometri, lämpötila-anturi, kosteusanturi)

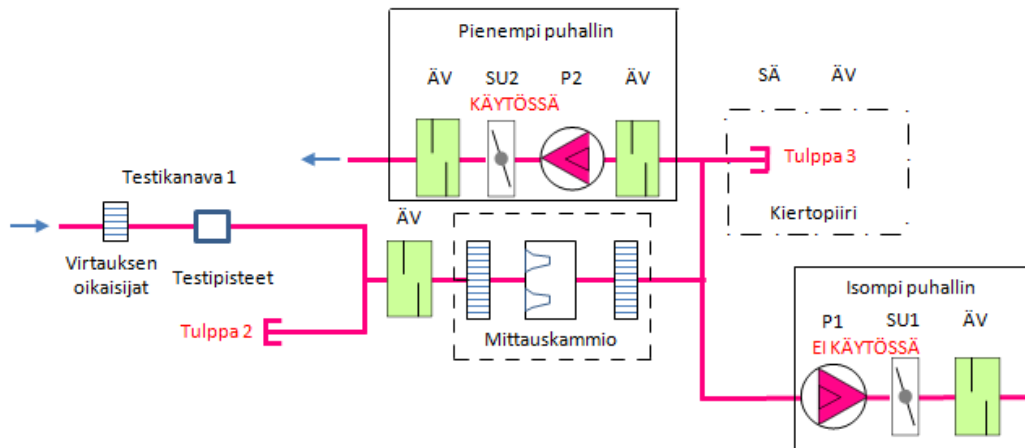
<http://www.kimrok.fi/sivut/ilmavirtaus-ilmamaeeraemittarit/airflow-ta460-monitoimimittari>



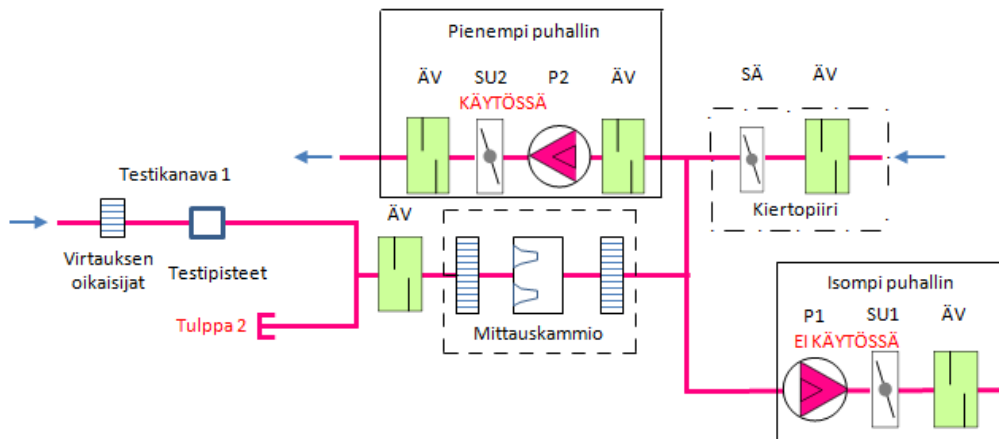
Iso puhallin, iso testikanava, ei kiertopiiriä.



Iso puhallin ja iso testikanava, kiertopiiri.



Pieni puhallin ja pieni testikanava, ei kiertopiiriä.



Pieni puhallin, pieni testikanava, kiertopiiri.