

Opinnäytetyö (AMK)
Kone- ja tuotantotekniikka
Koneautomaatiotekniikka
2014

Hannu-Pekka Miettinen

TIIVEYSMITTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

– Fläkt Woods Oy



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja Tuotantotekniikka | Koneautomaatiotekniikka

Syyskuu 2014 | 35 + 10

Timo Vaskikari

Hannu-Pekka Miettinen

TIIVEYSMITTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa tuotannon jokapäiväiseen käyttöön nopea ja helppotoiminen tiiveysmittauslaitteisto, jota voitaisiin käyttää alipaineella. Mittauslaitteistolla tulitaisiin mittaamaan CE-merkintöihin liittyen suljetun rungon ja läpän tiiveyksiä palo- ja savukaasupelleistä. Lisäksi sillä mitattaisiin kanavan sekä kanavaosien tiiveyttä tyyppihyväksyntään pohjautuen.

Työssä käydään läpi eri työvaiheita, miten tiiveysmittausjärjestelmä suunniteltiin ja toteutettiin. Työn suunnittelussa käytettiin pääasiassa SolidWorks-suunnitteluohjelmaa. Ohjelman avulla oli mahdollista tehdä hahmotelmia eri tuotteista ja nähdä, miten ne mahdollisesti toimisivat tiiveysmittausjärjestelmässä. Työ pitää sisällään mittalaippojen, tiiveysmittauspöydän ja jigien suunnittelun sekä sen, miten eri kanavaosat ja liitännät saatiin toteutettua toimivaksi kokonaisuudeksi osana tiiveysmittausjärjestelmää.

Työn tuloksena saatiin valmistettua vaatimusten mukainen tiiveysmittausjärjestelmä, jota tullaan tulevaisuudessa kehittämään eteenpäin.

ASIASANAT:

(Fläkt Woods, ilmastointi, suunnittelu, toteutus, alipaine ja tiiveys)

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Machine Automation Technology

September 2014 | 35 + 10

Timo Vaskikari

Hannu-Pekka Miettinen

DESIGNING AND IMPLEMENTING AN AIR VENTILATION DUCT LEAKAGE TESTER

The purpose of this Bachelor's thesis was to design and implement a fast-operating and user-friendly air ventilation duct leakage tester to Fläkt Woods Oy's factory production floor for everyday use. The main function of the tester would be to measure the air tightness of the air ventilation ducts with a generated vacuum. The measuring system of the tester should measure the tightness of closed frames, flaps and the fire and smoke dampers based on the CE marking criteria. In addition, the tester should measure the sealing properties of the channel parts in order to check that the parts meet the type approval.

In the beginning of the design work, Fläkt Woods Oy's air duct product family was studied, the relevant production processes were inspected and the principles and requirements of the tightness theory were examined in order to design and implement a proper testing equipment for Fläkt Woods Oy's needs. The work description also included the commissioning tests, user manuals and training of the personnel for operating the tester.

KEYWORDS:

(Fläkt Woods Oy, ventilation, designing, implement, vacuum and tightness)

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Tavoite ja tausta	7
1.2 Fläkt Woods Oy	8
2 PNEUMATIikka	9
2.1 Mittausmenetelmän valinta	9
2.2 Putkivirtauksen ominaisuuksista	9
2.3 Tilavuusvirta	10
2.4 Mittalaippa	10
2.4.1 Virtauksen laskentayhtälöt	11
2.4.2 Painehäviö	11
2.4.3 Käyttörajoitukset	12
2.5 Kalibrointi	12
3 TIIVEYSMITTAUSJÄRJESTELMÄ	13
3.1 Suunnittelu	13
3.2 Lähtötiedot	13
4 PAINEEN KÄYTTÖ LAITTEISTOSSA	15
4.1 Mittalaipan suunnittelu	15
4.2 Kanavien vuotorajat	15
4.3 Mittalaippojen tilavuusvirrat	16
4.4 Absoluuttinen vuotoraja	17
4.5 Mittalaippojen toteutus	18
5 PÖYDÄN SUUNNITTELU	19
5.1 Pöydän suunnittelu	19
5.2 Pöydän toteutus	19
6 JIGIT	20
6.1 Jigien suunnittelu	20
6.2 Jigien toteutus	20

7 LAITTEISTO	22
7.1 Osien valinta ja asennus	22
7.2 Radiaalipuhallin	22
7.3 Moottorihjattu säätöpelti	23
7.4 Iris-säädin	23
7.5 Kanavat ja liittimet	24
Joustoliitin	25
Muuntoliitin	26
T-kappale	26
Ulkoliitin	26
Käyrä 26	
Tulppa 26	
Ecoduct-kanava	27
7.6 Mittarit	27
7.7 Taajuusmuuttaja	28
7.8 Virtalähde	29
7.9 Venttiilit	30
8 TIIVEYSMITTAUSJÄRJESTELMÄN TESTAUS	32
8.1 Testaus	32
8.2 Tulosten kirjaus	32
9 MITTAUSLAITTEISTON KÄYTTÖOHJEET	33
10 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	35
LIITTEET	36
Liite 1. C-arvo	36
Liite 2. Mittalaipoille lasketut rajat	37
Liite 3. DXF-kuvat mittalaipoista 12.53, 25, 60	39
Liite 4. Tiiveysmittauspöydän havainnointi kuvat	41
Liite 5. Jigi 1	42
Liite 7. Jigi 3	44
Liite 8. Tiiveysmittauspöytäkirja	45

KÄYTETYT LYHENTEET

Lyhenteet

A	pinta-ala	m^2
C	purkauskerroin	
d	putken tai kanavan halkaisija	mm
D	virtausputken sisähalkaisija	m
E	nopeuskerroin	
ρ	ilman tiheys	kg/m^3
qm	massavirta	kg/s
qv	tilavuusvirta	m^3/s
Re	Reynolds'in luku	
r^2	kanavan säde	m^2
S	vuotoraja	
t	aika	s
V	tilavuus	m^3
v	virtauksen keskinopeus	m/s
ν	ilman kinemaattinen viskositeetti	m^2/s
β	halkaisijasuhde	mm
ε	paisuntakerroin	
Δp	paineysteistä mitattu paine-ero	Pa
Δp_h	pysyvä painehäviö	Pa

JOHDANTO

1.1 Tavoite ja tausta

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa tuotannon jokapäiväiseen käyttöön helppo- ja nopeakäyttöinen tiiveysmittausjärjestelmä Fläkt Woods Oy:n Turun tehtaan tiloihin. Lisäksi työssä laadittiin tiiveysmittausjärjestelmän käyttöohjeet ja opastettiin järjestelmän käyttöä.

Tiiveysmittausjärjestelmällä mitattaisiin CE-merkintöihin liittyen suljetun rungon ja läpän tiiveyksiä palo- ja savukaasupelleistä. Lisäksi sillä mitattaisiin kanavan sekä kanavaosien tiiveyttä tyyppihyväksyntään pohjautuen. Mittaukset tapahtuisivat alipainetta käyttämällä.

Tiiveysmittausjärjestelmän taustana oli, että sillä korvattaisiin osittain vanha olemassa oleva laitteisto. Uudella mittausjärjestelmällä tultaisiin helpottamaan ja nopeuttamaan tulosten saamista, ja se olisi käyttäjäystävällisempi.

1.2 Fläkt Woods Oy

Fläkt Woods on maailmanlaajuinen ilmapuhaltusalan edelläkävijä ja liikekumppani. Sen tavoitteena on edistää ihmisten terveyttä ja hyvinvointia sekä tarjota tuottavia ja viihtyisiä tuotantoympäristöjä teollisuudelle sekä yliverstaista osaamista jokaiselle asiakkaalle. (2.)

Fläkt Woods Oy:llä on palveluksessa noin 500 henkilöä, ja sen liikevaihto on lähes 150 miljoonaa euroa. Fläkt Woods valmistaa ilmastointipuhaltimia Turussa, ilmastointikanavia ja kanavaosia Turussa ja Kihniössä, teollisuuspuhaltimia Espoossa sekä ilmastoinnin päätelaitteita Toijalassa. (3.)

Fläkt Woods Oy kuuluu kansainväliseen Fläkt Woods Groupiin, joka toimii yli 30 maassa ja työllistää 3 500 ihmistä. Fläkt Woods Group syntyi helmikuussa 2002 ABB:n ilmapuhaltustuotteiden liiketoiminnan ja englantilaisen puhallinvalmistaja Woods Air Movement Ltd:n yhdistyessä. (3.)

Suomessa Fläkt Woodsin juuret johtavat vuonna 1931 perustettuun Suomen Puhallintehtaaseen, joka osti Nokialta vuonna 1986 Ilmateollisuus Oy:n. Vuonna 1988 Suomen Puhallintehtaasta ja ruotsalaisesta AB Fläktistä tuli osa ABB:tä 1980- ja 1990-luvun vaihteessa. Vuonna 1990 ilmanvaihdon päätelaitteita valmistava Lapinleimu Oy siirtyi Suomen Puhallintehtaan omistukseen. Vuodenvaihteessa 1991–1992 Suomen Puhallintehtas siirtyi ABB Strömberg -konserniin ja yhtiön nimi muuttui ABB Fläkt Oy:ksi. Tytäryhtiönä toiminut Lapinleimu Oy fuusioitiin vuonna 1997 ABB Fläkt Oy:hyn. Joulukuussa 2001 ABB myi ilmapuhaltustuotteiden liiketoiminnan Global Air Movementille, ja helmikuussa 2002 syntyi uusi yhtiö, Fläkt Woods Group, kun ABB:n ilmapuhaltustuotteiden liiketoiminta ja englantilainen puhallinvalmistaja Woods Air Movement Ltd. yhdistyivät uudeksi Fläkt Woods Group- yhtiöksi. (3.)

PNEUMATIikka

2.1 Mittausmenetelmän valinta

Ilmanvaihto- ja ilmastointilaitosten toiminnassa ja toiminnan arvioinnissa on tilavuusvirralla keskeinen rooli. Laitosta suunniteltaessa määritellään tilakohtaiset ja laitoskohtaiset tulo – ja poistoilmavirrat. Laitosta käyttökuntoon saatettaessa ja vastaanotettaessa tilavuusvirrat mitataan ja asetetaan mahdollisimman hyvin vastaamaan suunnitteluarvoja.

Mittauksen kohteena olevat tilavuusvirrat vaihtelevat muutamasta litrasta sekunnissa useaan kuutiometriin sekunnissa. Lisäksi mittausten luonne vaihtelee sen mukaan, mistä mittaaminen tapahtuu. Konekohtaiset ilmavirrat määritetään pääasiassa kanavasta, kun taas tilakohtaiset ilmavirrat mitataan useimmiten päätelaitteesta. Lisäksi päätelaitteesta mittaaminen jakaantuu kahteen tapaukseen sen mukaan onko kyseessä tuloilma vai poistoilman tilavuusvirran mittaaminen. Kuhunkin tapaukseen on osattava valita siihen sopiva mittausmenetelmä ja samalla on tunnettava kyseisen menetelmän oikea käyttö ja mahdolliset rajoitukset. (1, s. 211.)

2.2 Putkivirtauksen ominaisuuksista

Mitattaessa tilavuusvirtaa putkesta tai kanavasta, täytyy olla selvillä putkivirtauksen ominaisuuksista, lähinnä nopeuden ja paineen jakaumista, jotta osaa valita mittauspaikan oikealla tavalla. Putkivirtauksen nopeusjakauma ei koskaan ole tasainen, vaan tietyssä poikkipinnassa virtausnopeuden arvo vaihtelee paikan mukaan. Aivan kanavan seinämässä nopeus on aina nolla. Seinämän läheisyydessä on niin sanottu rajakerros, jossa nopeuden muutos saattaa pienelläkin matkalla olla suuri. Jos virtaus saa kulkea suorassa kanavassa riittävän pitkän matkan, noin 30..50 kanavan halkaisijaa, saavuttaa nopeusjakauma muodon, jota kutsutaan täysin kehittyneeksi nopeusjakaumaksi. (1, s. 212)

Täysin kehittyneen nopeusjakauman muotoon vaikuttaa virtauksen Reynolds'in luku, joka määritellään yhtälöllä

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

jossa v on virtauksen keskinopeus, d on putken tai kanavan halkaisija ja ν ilman kinemaattinen viskositeetti. Kun $Re < 2000$, on kyseessä laminaarivirtaus. Virtausnopeuden kasvaessa Reynold'in luku kasvaa ja virtaus muuttuu turbulentsiksi. (1, s. 213.)

2.3 Tilavuusvirta

Tilavuusvirta on tietystä virtauspoikkipinnasta läpi kulkeva väliaineen tilavuus aikayksikköä kohti.

$$q_v = \frac{V}{t}$$

jossa V tilavuus ja t aika, jonka kyseinen tilavuus tarvitsee tarkasteltavan poikkipinnan läpi virrataakseen. Erityisesti on huomattava, että kun väliaine on kaasu, esimerkiksi ilma, tilavuuteen vaikuttaa ilman tiheys ja tiheyteen puolestaan paine ja lämpötila. Näin tilavuusvirta ei haarautumattomassakaan kanavassa ole vakio, vaan muuttuu jatkuvasti paineen ja lämpötilan muuttuessa. (1, s.214.)

2.4 Mittalaippa

Mittalaippa on muodoltaan pyöreä levy, jonka keskellä on pyöreä aukko. Laippa sijoitetaan keskeisesti virtausputkeen, jolloin virtaus kulkee laipassa olevan aukon läpi. Aukon läpi kulkiessaan virtauksen nopeus kasvaa ja laipan yli muodostuu paine-ero. Tämä paine-ero mitataan. Itse laipan muodot, mitat ja pintojen laatu on tarkasti määritelty. Laipan paksuus saa olla enintään $0,05D$, jossa D on virtausputken sisähalkaisija. Aukon minimihalkaisija on 12,5 mm ja hal-

kaisijasuhteen, joka on aukon halkaisija suhde virtausputken sisähalkaisijaan $\beta=d/D$, tulee olla $\beta<0,75$. (1, s.219.)

2.4.1 Virtauksen laskentayhtälöt

$$qm = CE\varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\rho\Delta p}$$

jossa C on purkauskerroin, E on nopeuskerroin, ε on paisuntakerroin, d on laipan aukon halkaisija, Δp on paineyhteistä mitattu paine-ero. Tiheys ρ ja paisuntakerroin ε määritetään joko ylävirran puoleisen paineyhteen kohdalla molemmat (ρ_1, ε_1) tai alavirran puoleisen paineyhteen kohdalla molemmat (ρ_2, ε_2).

Purkauskerroin C riippuu mittalaipan tapauksessa neljästä tekijästä: halkaisijasuhteesta β , paineyhteiden rakenteesta määräytyvistä kertoimista L_1 ja L_2 sekä virtauksen Reynolds'in luvusta Re . (1,s.221.)

2.4.2 Painehäviö

Mittalaipan aiheuttama virtauksen kuristuminen ja pyörteily muuttaa paineenergiaa lämpöenergiaksi, jolloin laippa normaalin kertavastuksen tavoin aiheuttaa tietyn pysyvän painehäviön. Tämä voidaan arvioida likimääräisyhtälöllä

$$\Delta p_h \approx \frac{1 - CE\beta^2}{1 + CE\beta^2} \Delta p$$

jossa Δp_h on pysyvä painehäviö ja Δp on laipan paineyhteistä mitattu paine-ero. Painehäviöön voidaan vaikuttaa vain halkaisijasuhdetta muuttamalla. (1,s.222.)

2.4.3 Käyttörajoitukset

Laipan mittoihin, halkaisijasuhteen ja virtausmäärään liittyy eräitä ylä- ja alaraja-arvoja, joiden ulkopuolella standardi ei enää ole voimassa. (1, s. 223.)

Opinnäytetyössä käytettiin Corner-yhteitä (ks. taulukko 1). Taulukon avulla saadaan selvitettyä tietyt raja-arvot mittalaipoille.

Taulukko 1. Eräitä laipan käyttöä rajoittavia tekijöitä

Rajoittavat tekijät	Paine-yhteen tyyppi		
	Corner-yhteet	Flange-yhteet	D ja D/2-yhteet
d [mm]	$d \geq 12 \text{ mm}$	$d \geq 12 \text{ mm}$	$d \geq 12 \text{ mm}$
D [mm]	$50 \text{ mm} \leq D \leq 1000 \text{ mm}$	$50 \text{ mm} \leq D \leq 1000 \text{ mm}$	$50 \text{ mm} \leq D \leq 1000 \text{ mm}$
β	$0,20 \leq \beta \leq 0,75$	$0,20 \leq \beta \leq 0,75$	$0,20 \leq \beta \leq 0,75$
Re_D	$5000 \leq Re_D$ kun $0,20 \leq \beta \leq 0,45$ $1000 \leq Re_D$ kun $0,45 < \beta \leq 0,75$	$1260\beta^2 D \leq Re_D$ missä halkaisija D mittayksikkö on mm	$1260\beta^2 D \leq Re_D$ missä halkaisija D mittayksikkö on mm

2.5 Kalibrointi

Kalibrointi käsittää toimenpiteet, joiden avulla määritetyissä olosuhteissa saadaan tietoon mittauslaitteen tai mittausjärjestelmän näyttämien tai kiintomitan tai vertailuaineen edustamien suureiden arvojen ja vastaavien mittanormaaleilla eli standardeilla toteutettujen arvojen välinen yhteys.

Kalibroinnissa etsitään yhteys sovittuun vertailumittaan eli jäljitettävyyden mittanormaaliin. Useissa mittauksissa riittää kuitenkin suhteellinen tarkkuus, jolloin käytännössä tehdään eri mittalaitteiden tahdistaminen. (4.)

TIIVEYSMITTAUSJÄRJESTELMÄ

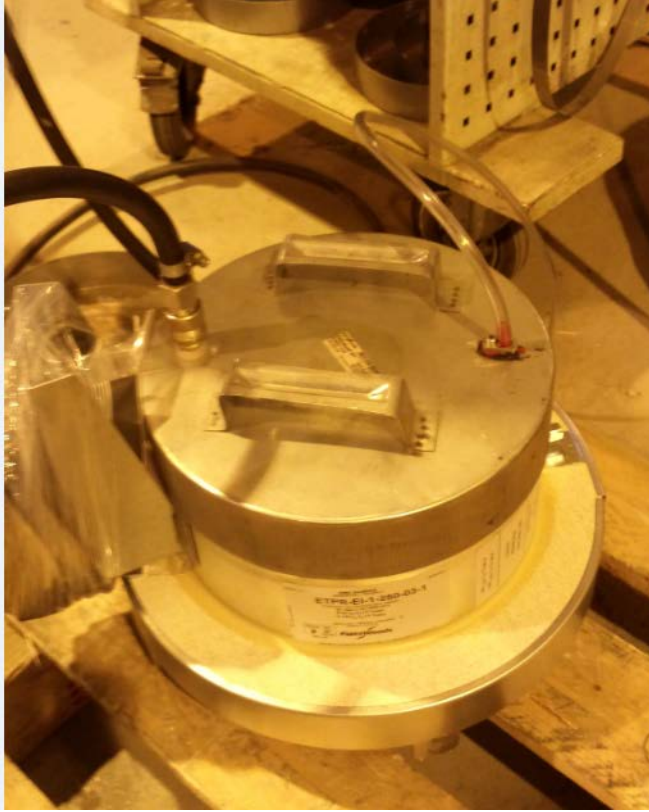
3.1 Suunnittelu

Suunnittelu aloitettiin käymällä Fläkt Woods Oy:n Toijalan toimipisteellä. Pala-verissa käydyssä keskustelussa selkeni, millaista tiiveysmittausjärjestelmää Turun tehtaalle halutaan ja miten sitä tulisi lähteä suunnittelemaan. Vaatimuksi-na oli suunnitella tuotannon jokapäiväiseen käyttöön nopea ja helppotoiminen tiiveysmittauslaitteisto, jota voitaisiin käyttää alipaineella. Mittauslaitteistolla tul-taisiin mittaamaan CE-merkintöihin liittyen suljetun rungon ja läpän tiiveyksiä palo- ja savukaasupelleistä. Lisäksi sillä mitattaisiin kanavan sekä kanavaosien tiiveyttä tyyppihyväksyntään pohjautuen.

Työn suunnittelussa käytettiin SolidWorks-ohjelmaa. Ohjelman avulla piirrettiin erilaisia kappaleita Fläkt Woods Oy:n kotisivuilta saatujen tuoteselosteiden avul-la, sekä hahmoteltiin tiiveysmittausjärjestelmän muita mahdollisesti tarvittavia osia. Tällä tavoin saatiin paremmin hahmoteltua tiiveysmittausjärjestelmän ra-kennetta ja toimintaa.

3.2 Lähtötiedot

Lähtötietoina oli, että tiiveysmittausjärjestelmällä korvataan osittain vanha käy-tettävissä oleva tiiveysmittauslaitteisto Turun tehtaalla. Vanhalla tiiveysmittaus-laitteella mitattaisiin tiiveyksiä, mutta sitä käytettäisiin eri kanavatuotteiden mit-tauksissa. Vanhaa tiiveysmittauslaitteistoa käytetään ylipaineella ja sitä käytet-täessä tarvitsee käyttää mitattavalle kanavalle oikean kokoista tulppaa (ks. kuva 1).



Kuva 1. Tiiveyden mittaaminen vanhassa tiiveysmittausjärjestelmässä käyttämällä kappaleelle sopivaa tulppaa.

Tulpassa on kaksi päätä ylipainetta varten. Päihin liitetään paineletkut, mitä kautta saadaan selvitettyä kappaleen rungon ja läpän tiiveys.

PAINEEN KÄYTTÖ LAITTEISTOSSA

4.1 Mittalaipan suunnittelu

Tiiveysmittausjärjestelmän suunnittelu ja toiminta perustuu lähes täysin mittalaipan mitoituksessa saatuihin tietoihin. Mittalaipan suunnittelu vei suurimman osan ajasta, koska sen avulla saatiin muodostettua koko työn runko. Mittalaipan avulla saatiin tietää minkälaista putkistoa, asennuspöytää, puhallinta ja logiikkaa tiiveysmittausjärjestelmässä tulnaisiin käyttämään. Suunnittelussa käytettiin Excel- sekä SolidWorks-ohjelmaa. Excelin avulla nopeutettiin laskujen laatimista (Liite 2), ja SolidWorksilla havainnollistettiin saatujen mitta-arvojen perusteella kuvat mittalaipoista. Mittalaipan mitoitukset toteutettiin ISO 5167-2 standardia noudattaen.

4.2 Kanavien vuotorajat

Mittalaippojen suunnittelua varten oli aluksi selvitettävä erikokoisien kanavien sallittavat vuotorajat. Vuotorajojen avulla pystyttäisiin arvioimaan tarkemmin mittalaipan sisä- ja ulkohalkaisijat, sekä montako mittalaippaa tiiveysmittausjärjestelmässä tarvittaisiin.

Vuotorajojen laskennassa oli selvitettävä, paljonko eri kokoiset kappaleet vuotavat l/s.

Esimerkkilasku kanavakoolla 100 mm

$$\pi * r^2 * \frac{S}{3,6m/s}$$

$$r^2 = \text{kanavan säde}$$

$$S = \text{vuotoraja, [m}^3/\text{h/m}^2]$$

lähtötiedot

$$r = 0,05m$$

$$S = 200, [m^3/h/m^2]$$

$$\pi * 0,05m^2 * \frac{\frac{200m^3}{h}}{\frac{m^2}{3,6 m/s}} = 0,436 \frac{l}{s} \approx 0,44 \frac{l}{s}$$

Kappalekoon ollessa 100 mm vuotorajaksi saatiin 0,44l/s. Tämän jälkeen pystyttiin arvioimaan tarvittava tilavuusvirta mittalaitteille.

4.3 Mittalaitteiden tilavuusvirrat

Excel-ohjelmaa käyttämällä oli mahdollista arvioida paljonko mittalaitteita tarvittaisiin laitteistossa, ja mikä olisi mittalaitteille sopiva tilavuusvirta.

$$qv = CE\varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

$$qv = \text{tilavuusvirta, l/s}$$

$$C = \text{purkauskerroin}$$

$$E = \text{nopeuskerroin}$$

$$\varepsilon = \text{paisuntakerroin}$$

$$d = \text{reiän halkaisija, m}$$

$$\Delta p = \text{paine - ero, Pa}$$

$$\rho = \text{ilman tiheys, kg/m}^3$$

Tilavuusvirran laskennassa on jätetty huomioimatta paisuntakerroin ja nopeuskerroin. Oikea C-arvo valittiin taulukosta (Liite 1).

lähtötiedot

$$C = 0,598$$

$$d = 0,01253m$$

$$\Delta p = 17Pa$$

$$\rho = 1,205kg/m^3$$

$$qv = 0,39l/s$$

$$qv = 0,598 \frac{\pi}{4} 0,01253^2 \sqrt{\frac{2 * 17Pa}{1,205 kg/m^3}} = 0,00039168m^3/s$$

Tilavuusvirta saadaan muunnettua muotoon litraa sekunnissa, kertomalla saatu arvo 1000, jolloin arvoksi saadaan 0,39l/s.

4.4 Absoluuttinen vuotoraja

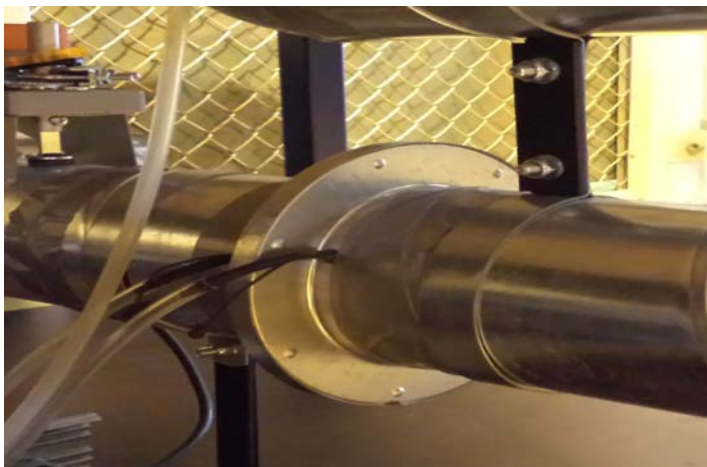
Vuotorajan ja tilavuusvirran selvittämisen jälkeen tarkistettiin mittalaipan absoluuttinen vuotoraja. Näin voitiin arvioida sopiva paine-ero, joka saatiin jakamalla vuotoraja tilavuusvirralla. Tämän jälkeen oli mahdollista laskea prosentuaalinen arvo vuotorajasta.

4.5 Mittalaippojen toteutus

Saatujen mittojen avulla laadittiin DXF-kuvat mittalaipoista (Liite 3). Kuvien avulla mittalaipat leikattiin Fläkt Woods Oy:n Turun tehtaalla (ks. kuva 2).



Kuva 2. Teräksestä leikatut mittalaipat, jotka lähetettiin kalibroitavaksi.



Kuva 3. Iris-säädin, jossa on mittalaippa liitettynä.

Valmistusmateriaalina käytettiin terästä. Leikkauksen jälkeen mittalaipat lähetettiin Fläkt Woods Oy:n Toijalan tehtaalle kalibrointia varten. Kalibroinnin jälkeen mittalaipat liitettiin Iris-säätimeen (ks. kuva 3) O-rengastiivisteellä, painesorvasta ja kuumaliimaa käyttämällä. Tällä tavoin varmistettiin, että mittalaippa pysyi tiiviinä.

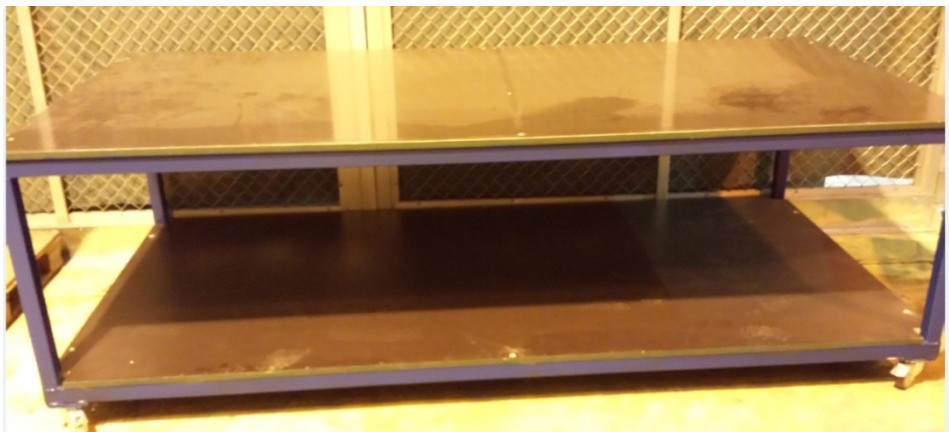
PÖYDÄN SUUNNITTELU

5.1 Pöydän suunnittelu

Mittalaipoista saatujen tulosten perusteella aloitettiin pöydän suunnittelu. Tiedossa oli, että mitattavat kanavatuotteet ovat halkaisijaltaan 100–1000 mm ja mittalaippoja on kolme kappaletta. Pöydän sisälle tulisi mahtua puhallin, kanavisto ja muut kanavistoon liitettävät osat (iris-säätimet, säätöpellit ja liittimet). Pöydän tulisi olla helposti liikuteltavissa, eikä se saisi olla liian korkea.

5.2 Pöydän toteutus

Edellä mainittujen tietojen avulla laadittiin pöydän piirustukset SolidWorks-ohjelmalla (Liite 4). Pöydän mitoiksi saatiin 2700x1300x870 mm (ks. kuva 4).



Kuva 4. Tiiveysmittauspöytä.

Pöytälevyn materiaalina käytettiin 30 mm paksua vaneria, ja pöydän jaloissa sekä tuessa käytettiin terästä. Pöytä valmistettiin Fläkt Woods Oy:n Caverionin tiloissa.

JIGIT

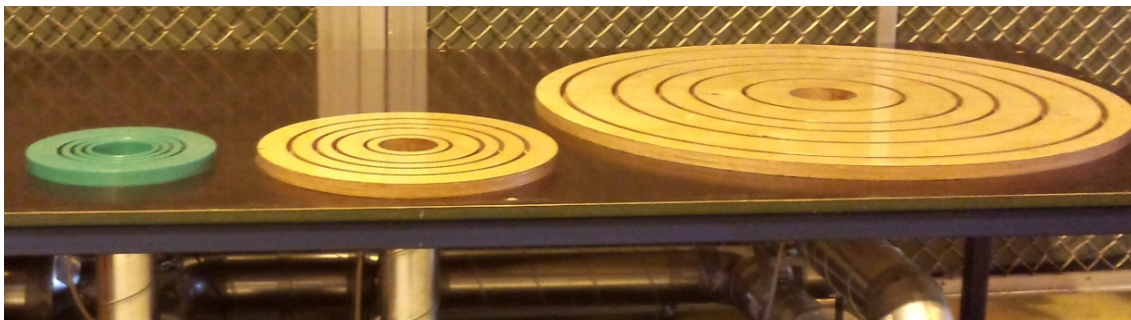
Jigien avulla saadaan mitattava kanavatuote asetettua tukevasti paikoilleen tiiveysmittauspöytään, ja tällä tavoin saadaan suoritetuksi tarkat mittaukset. On tärkeää, että kappaleet eivät liiku mittausten aikana. Suurimmat mitattavat tuotteet painavat yli 60 kg, joten turvallisuuden kannalta on hyvä, että kappaleet ovat tukevasti kiinni jigissä.

6.1 Jigien suunnittelu

Jigien suunnittelu alkoi palaverilla, jossa käytiin erilaisia jigi-vaihtoehtoja läpi. Tarkkoja vaatimuksia ei jigeille asetettu, joten oli mahdollista valita, millaiset jigit sopisivat parhaiten tiiveysmittauslaitteistoa varten. Jigien suunnittelussa hyödynnettiin SolidWorksia. Tällä tavoin pystyttiin havainnoimaan, millaiset jigit olisivat varteenotettavia työssä. Työn edetessä projektissa mukana oleville jaettiin kuvia erilaisista jigeistä, ja yhdessä päätettiin parhaasta mahdollisesta vaihtoehdosta tiiveysmittausjärjestelmän kannalta.

6.2 Jigien toteutus

Piirustusten jälkeen tiedustelin hintatarjousta Teollisuuden Työkaluvalmistus Nikkola Tmi:ltä, jossa jigit myöhemmin valmistettiin. Alun perin oli tarkoitus, että jigit olisi valmistettu muovista, mutta liian suurien valmistuskustannusten takia päädyttiin vaihtoehtoihin, joissa pienin jigi (Liite 5) valmistettaisiin muovista ja kaksi suurempaa (Liite 6, 7) jigiä vanerista. Jigien valmistuttua ruuvien paikat jätettiin alkuperäisestä suunnitelmasta pois, ja jigeistä tehtiin 50 mm:n paksuisia. Myös jigeihin lisättiin urat, 300 mm ja 150 mm kanavahalkaisijaa varten.



Kuva 5. Pöytään asennetut jiggit.

Jigien valmistamisessa käytettiin pistosahaa ja pystyvannesahaa. Niiden avulla saatiin vanerista ja muovista leikattua sopivan kokoinen kappale jysinkonetta varten. Jysinkoneella saatiin jigeihin muodostettua urat. Vanerista tehdyistä jigeistä lakattiin aluksi huokoset täyteen puolilaimennetulla lakalla ja jiggit viimeisteltiin kaksinkertaisella täyspinnoitelakalla. Lopuksi jiggit asetettiin niille merkityille kohdille tiiveysmittauspöydässä (ks. kuva 5) ja liimattiin tukevasti paikoilleen.

LAITTEISTO

7.1 Osien valinta ja asennus

Osien valinnassa pyrittiin siihen, että osat olisivat Fläkt Woods Oy:ltä saatavissa. Tällä tavoin nopeutettaisiin osien saamista ja tiiveysmittausjärjestelmän kasaamista. Osien asennuksen suoritti Caverion Oy, laadittujen asennusohjeiden mukaisesti.

7.2 Radiaalipuhallin

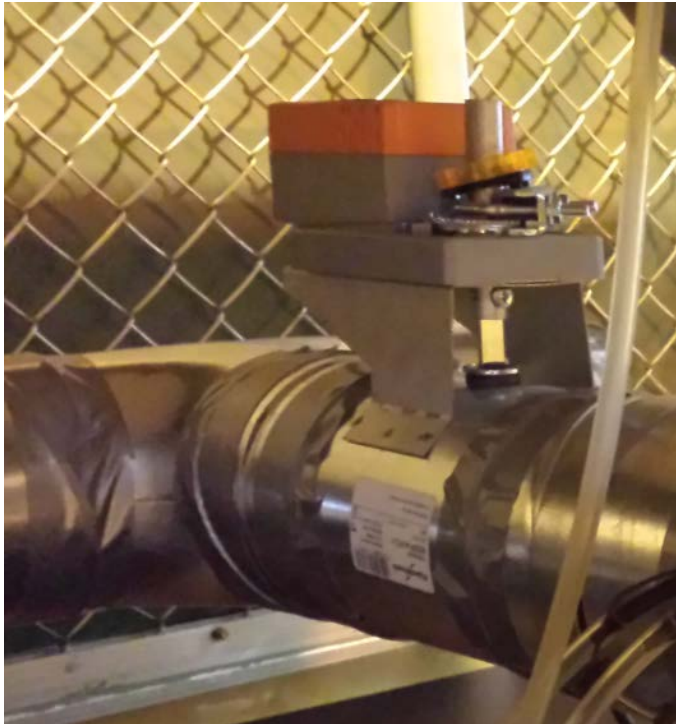
Koepaineen tulisi olla noin 300 Pa, joten puhaltimen ei tarvitsisi olla kovinkaan suuri tehoinen. Puhaltimeksi valittiin Fläkt Woods Oy:n valmistama radiaalipuhallin (ks. kuva 6). Radiaalipuhallin oli tyyppimerkiltään GTLB-1-022-1-13-00. Radiaalipuhaltimen moottori oli 2-napainen, nimellisteho 0,37 kW ja pyörimisnopeus 2840 r/min.



Kuva 6. Radiaalipuhallin.

7.3 Moottoriohjattu säätöpelti

Moottoriohjatus säätöpellin (ks. kuva 7) tarkoituksena on ohjata ilmavirran kulua mitattavalle tuotteelle. Säätöpeltien haluttiin toimivan nopeasti, joten moottorit tilattiin erikseen Belimon tehtaalta. Moottoriksi valittiin erikoisnopea LMQ24A.



Kuva 7. Moottoriohjattu säätöpelti.

7.4 Iris-säädin

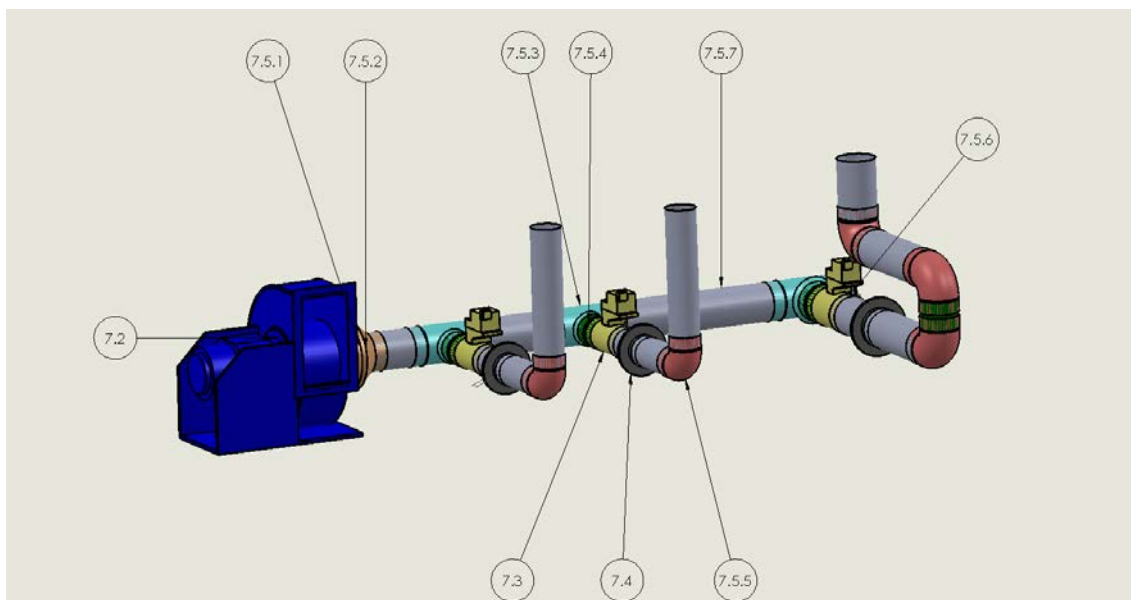
Iris-säädintä käytetään ilmastointijärjestelmissä ilmavirtojen tasapainotukseen. Sen aukkoa voi portaattomasti säätää. Säätimen vakiorakenteeseen kuuluu paineyhteet. Tällöin se toimii kuin säädettäväaukkoisen laippa. (1,s. 234.)

Iris-säätimiä käytettiin tiiveysmittausjärjestelmässä mittalaippojen asentamisen takia. Iris-säätimiä ei voitu asentaa järjestelmään ilman mittalaippaa, koska se on hieman epätarkka ja mittausvirheet olisivat voineet kasvaa liian suuriksi.

7.5 Kanavat ja liittimet

Ilmavirran sujuva kulkeminen mittauspisteelle toteutettiin kanavatuotteiden avulla. Kanavat ja kanavaosat oli valmistettu kuumasinkitystä ohutteräslevystä, ja ne olivat helposti liitettävissä muiden järjestelmässä olevien laitteiden ja kanavaliitosten kanssa. Liittäminen onnistui painamalla kanavaosat yhteen ja kiinnittämällä ne pop-niiteillä. Kanavien tuli olla oikein mitoitettuja, koska mittalaipoille oli asetettu standardin mukaiset suorat etäisyydet.

Alla olevassa kuvassa 8 on havainnoituna tiiveysmittausjärjestelmän kokoonpanokuva ja numeroilla ilmoitettu käytettävän tuotteen nimi.



Kuva 8. Tiiveysmittausjärjestelmän kokoonpanokuva.

Kuristusmittareiden purkaukertoimille ilmoitettujen virherajojen voimassaolo edellyttää, että mittareille tulevan virtauksen nopeusjakauma on suhteellisen häiriötön. Jotta näin olisi, täytyy mittarin ylävirran puolella olla tietty vähimmäismäärä suoraa putkea tai kanavaa häiriöiden tasaantumista varten (ks. taulukko 2). Ilman sulkuja olevat arvot ovat normaaliarvoja. Suluissa olevia arvoja sovellettaessa tulee purkaukertoimelle ilmoitettuihin virherajoihin lisätä $\pm 0,5\%$ aritmeettisella yhteenlaskulla, lyhyemmän etäisyyden aiheuttamasta lisäepävarmuudesta johtuen. (1,s. 228.)

Taulukko 2. Vaadittavia suoria etäisyyksiä laipalle.

Halkaisijasuhde β	Ylävirran puolella						Alavirran puolella
	Yksi 90° mutka tai T-kappale	Kaksi tai useampi 90° mutkaa samassa tasossa	Kaksi tai useampi 90° mutkaa eri tasossa	Supistuskappale, keskuskulma 20-38°	Laajennuskappale, keskuskulma 14-28°	Palloventtiili, täysin auki	
0,20	10 (6)	14 (7)	34 (17)	5,00	16 (8)	12 (6)	4 (2)
0,30	10 (6)	16 (8)	34 (17)	5,00	16 (8)	12 (6)	5 (2,5)
0,40	14 (7)	18 (9)	36 (18)	5,00	16 (8)	20 (10)	6 (3)
0,50	14 (7)	20 (10)	40 (20)	6 (5)	18 (9)	22 (11)	6 (3)
0,60	18 (9)	26 (13)	48 (24)	9 (5)	22 (11)	26 (13)	7 (3,5)
0,70	28 (14)	36 (18)	62 (31)	14 (7)	30 (15)	32 (16)	7 (3,5)
0,80	46 (23)	50 (25)	80 (40)	30 (15)	54 (27)	44 (22)	8 (4)

Joustoliitin

Joustoliitin (ks. kuva 8, s 24, kohta 7.5.1) asennettiin radiaalipuhaltimen imuaukkoon, millä mahdollistettiin muuntoliittimen asennus. Työssä käytettiin GTLZ-11-1-022-1-0 joustoliitintä. Imuaukon nimellishalkaisija oli 220 mm.

Muuntoliitin

Muuntoliittimen (ks. kuva 8, s 24, kohta 7.5.2) avulla saadaan liitettyä kanava toiseen kanavaan. Työssä käytettiin BDED-3-022-012 muuntoliitintä. Isomman pään nimellishalkaisija oli 220 mm ja pienemmän pään halkaisija 125 mm.

T-kappale

T-kappaletta (ks. kuva 8, s 24, kohta 7.5.3) käytetään kanavan haaroittamista varten. Työssä käytettiin 2 kpl BDE(T,X)-1-012-010 ja 1 kpl BDE(T,X)-1-012-012. Lävistävän kanavan nimellishalkaisija oli 100 ja 125 mm ja risteävän kanavan halkaisija 125 mm.

Ulkoliitin

Ulkoliittimellä (ks. kuva 8, s 24, kohta 7.5.4) mahdollistetaan kahden kanavaosan liittäminen toisiinsa. Työssä käytettiin 2 kpl BDEM-1-010 ja 1 kpl BDEM-1-012 ulkoliitintä. Ulkoliittimen halkaisijat olivat 100 mm ja 125 mm.

Käyrä

Käyrän (ks. kuva 8, s 24, kohta 7.5.5) avulla saadaan muutettua kanavisto halettuun kulmaan (30°, 45°, 90°). Työssä käytettiin 2 kpl BDEB-90-010-4 ja 3 kpl BDEB-90-012-4 käyriä. Käyrien kulmat olivat 90° ja nimellishalkaisijat 100 mm ja 125 mm.

Tulppa

Tulpan (ks. kuva 8, s 24, kohta 7.5.6) avulla saadaan pidettyä kanavisto puhtaana sekä tiiviinä. Tulppa asennettiin kanaviston pätyyn. Tällä tavoin tiiveysmittausjärjestelmää on mahdollista kehittää tulevaisuudessa, sillä tulppa voi-

daan irrottaa ja jatkaa kanaviston rakentamista eteenpäin. Työssä käytettiin BDEG-4-012-K tulppaa, jonka nimellishalkaisija oli 125 mm.

Ecoduct-kanava

Ecoduct-kanavaa (ks. kuva 8, s 24, kohta 7.5.7) käytetään silloin, kun halutaan ilman kulkevan pidempiä matkoja suoraa kanavistoa pitkin sekä liittää muita kanavaosia keskenään toisiinsa. Ecoduct-kanava on myös helposti muokattavissa haluttuun pituuteen. Työssä käytettiin 100 mm ja 125 mm nimellishalkaisija kanavia.

7.6 Mittarit

Mittareiksi valittiin 4 kpl HK Instruments Oy:n valmistamaa DPT2500-R8-AZ-D paine-erolähetintä (ks. kuva 9). Mittarit olivat helppo valita työhön, koska vanhemmassa tiiveysmittausjärjestelmässä käytettiin samantyyllisiä mittareita. Mittareissa käytetään 24 V:n jännitettä, sekä 4-20 mA:n virtaa. Mittareissa on kahdeksan jumpperille valittavaa mittausaluetta sekä mahdollisuus mitata maksimissaan 2500 Pa:n paineita. Mittari soveltuu hyvin pienten paine-erojen mittaamiseen, ja se on helppokäyttöinen. Mittareiden avulla saadaan tarkistettua tiiveysmittausjärjestelmästä mittalaipan paine sekä käytettävä koepaine. Mittarilla on mahdollista myös mitata eri mittayksiköitä (Pa, kPa, mbar).

Mittareiden asennus tapahtui kiinnittämällä mittarit sähkökaapin etupaneeliin ruuveilla. Mittaustuloksia varten tarvitsi asentaa PVC-letkut kiinni magneetti-venttiileihin, jotka olivat yhteydessä Iris-säätimien kanssa.



Kuva 9. HK Instruments -paine-erolähetin.

7.7 Taajuusmuuttaja

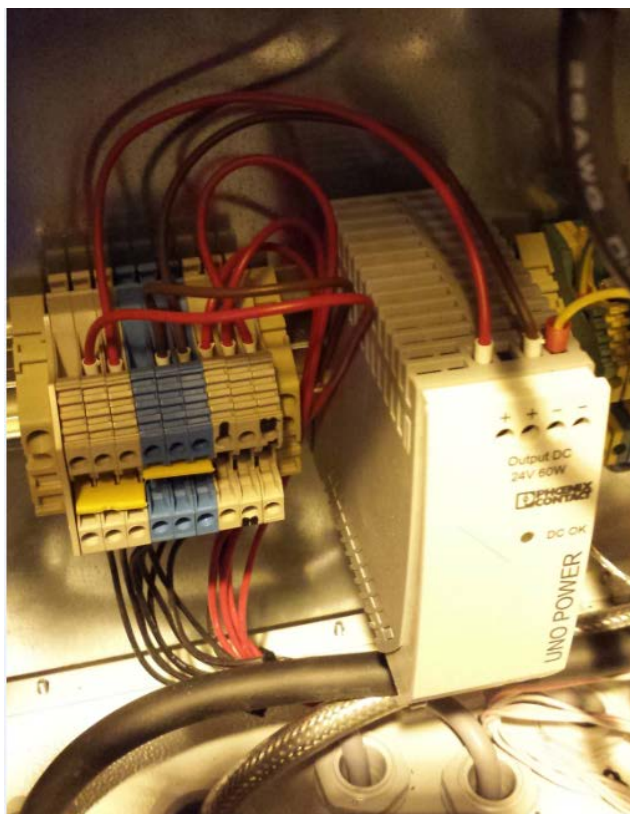
Radiaalipuhaltimen käyttöä varten piti olla taajuusmuuttaja (ks. kuva 10). Taajuusmuuttajan avulla saatiin portaattomasti säädettyä puhaltimen kierroslukuja, ja näin voitiin muodostaa sopiva koepaine mittauksia varten. Tiedettiin, että radiaalipuhallin käyttää 0,37 kW:n tehoa, joten sopivaksi taajuusmuuttajaksi valittiin Danfoss Oy:n VLT Micro Drive -taajuusmuuttaja. Kyseinen malli toimii 230 V:n käyttöjännitteellä ja teholtaan se on 0,75 kW.



Kuva 10. Danfoss-taajuusmuuttaja.

7.8 Virtalähde

Virtalähteen tarkoituksena on jakaa sähkö muille laitteille sopivaksi ja jakaa virta eri laitteiden kesken. Virtalähteeksi valittiin UNO-PS/1AC/24DC/ 60W – 2902992 (ks. kuva 11). Se käyttää 24 V:n jännitettä ja muodostaa 60 W.

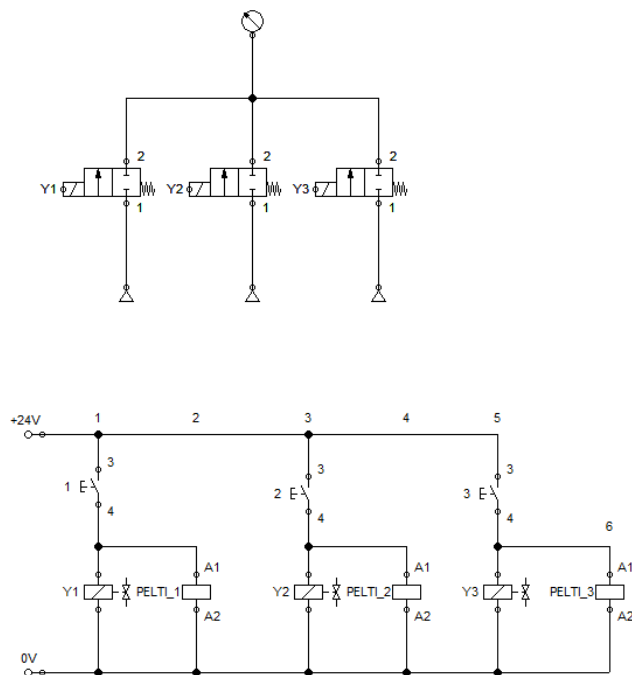


Kuva 11. Uno power virtalähde.

7.9 Venttiilit

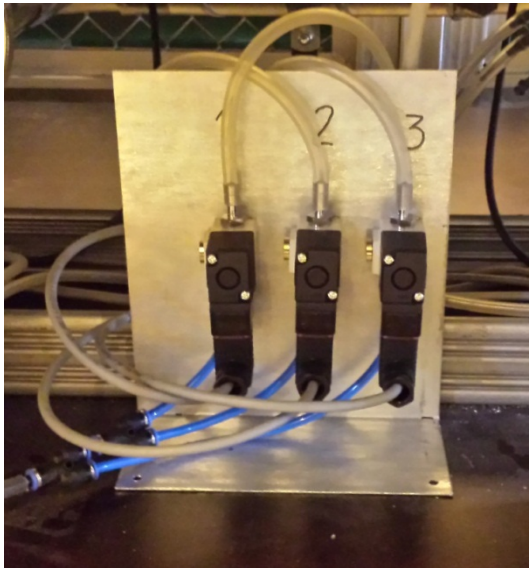
Pneumaattinen venttiili on yleisnimitys niille komponenteille, joilla ohjataan ja säädetään pneumaattista järjestelmää. Ne sijaitsevat painelähteen, yleensä huoltolaitteen ja toimilaitteiden, eli moottorien ja sylinterien välissä. Venttiilit jaetaan standardin SFS 2247 mukaan neljään ryhmään: suuntaventtiilit, vastaventtiilit, paineventtiilit, virta- ja sulkuventtiilit. (5,s.60.)

Oikeanlaisen venttiilin löytäminen tiiveysmittausjärjestelmään oli aluksi hankalaa, koska ei tiedetty varmuudella miten laitteiston tulisi toimia. Työn edetessä pidemmälle todettiin, että säätöpeltien ja mittareiden olisi hyvä toimia samanaikaisesti vipua kääntämällä. Sopivaksi venttiiliksi sopisi tällöin magneettiventtiili. Tämän pohjalta laadittiin kytkentäkaavio (ks. kuva 12) hyödyntämällä FluidSIM-ohjelmaa.



Kuva 12. Kytentäkaavio.

Sopivaksi venttiilivaihtoehdoksi löytyi SMC Pneumatics Finland Oy:n valmistama VT307-5DZ1-01F-Q magneettiventtiili (ks. kuva 13).



Kuva 13. Kuvassa on kolme magneettiventtiiliä, joihin on kiinnitetty PVC-letkut ja liitoskappaleet.

Magneettiventtiili käyttää 24 V:n jännitettä ja 1/8 portin kanavaa.

TIIVEYSMITTAUSJÄRJESTELMÄN TESTAUS

8.1 Testaus

Tiiveysmittausjärjestelmän koekäyttöön otossa testattiin aluksi laitteen toiminta ilman mitattavia kanavatuotteita. Testaus ei sujunut ongelmitta, vaan aluksi radiaalipuhaltimen moottorissa ilmeni ongelmia. Moottori käynnistyi aina normaalisti, mutta sammui täysin yllättäen, joten se jouduttiin korvaamaan uudella moottorilla. Uusi moottori saatiin nopeasti vaihdettua, koska puhallin oli tehtaan tiloista hankittu. Testit saatiin uudelleen aloitetuksi, mutta tällä kertaa häiriötä esiintyi painemittareissa. Mittareissa tapahtui suurta heittoa 0-300 Pa:n välillä, kun mitattavan kohteen päälle laittoi ilmatiiviin kappaleen. Ongelma korjaantui vaihtamalla painemittareista PVC-letkujen paikkaa ja muuttamalla mittareiden jumbpereiden paikkoja. Korjausten jälkeen tarkastettiin vielä magneettiventtiilien toiminta, säätöpeltien avautuminen ja sulkeutuminen katkaisimesta. Kaikki toimi moitteettomasti, ja testiajot pystyttiin toteuttamaan kanavatuotteella. Mittareiden lukemat pysyivät 0-1 Pa:n välillä mitattaessa erikokoisia kanavatuotteita, joten kappaleet olivat sallittujen vuotorajojen sisällä.

8.2 Tulosten kirjaus

Jatkossa painemittaustulokset on tarkoitus kirjata tarkastuspöytäkirjaan tietokoneen avulla. Tietokoneessa käytettäisiin Excel-taulukkoa, johon tulokset merkitäisiin (Liite 8). Taulukossa on kolmelle mittalaipalle lasketut yhtälöt, joiden avulla saadaan selvitettyä halutun kanavakoon sallittu vuoto. Mittaajaan on valittava aluksi Excel-taulukosta haluttu kanavakoko ja tämän jälkeen on tarkistettava painemittareista laipanpaine ja käytettävä koepaine. Tämän jälkeen nähdään taulukosta sallittu vuoto ja suljetun laitteen tiiveys. Jos kappale on tiiveysvaatimusten sisällä, Excel-taulukko näyttää "ok", tai jos kappale vuotaa liikaa, Excel-taulukko näyttää "hylätty".

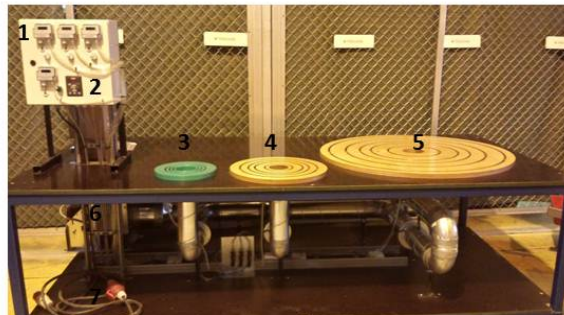
MITTAUSLAITTEISTON KÄYTTÖOHJEET

Opinnäytetyöhön sisältyi myös käyttöohjeiden laatiminen. Tehtävänä oli laatia yksinkertainen käyttöohje, josta eri työntekijät saisivat selvää.

Mittauslaitteiston käyttöohjeet suunniteltiin, kun laitteisto oli kokonaan valmis ja käyttökunnossa. Ohjeiden laatimisessa käytettiin PowerPoint-ohjelmaa, jolla sai helposti toteutettua selvän ja käyttäjäystävällisen ohjeistuksen. Alla olevassa kuvassa 14 on mittauslaitteiston käyttöohjeiden ensimmäinen sivu. Kuvassa on numeroituna 1-7 eri laitteet ja niiden nimet. Oikeanpuoleisessa kuvassa numerot ovat sijoitettuna niihin kohtiin, joissa laite sijaitsee.

Sisältö

1. Sähkökaappi
2. Taajuusmuuttaja
3. Jigi 1
4. Jigi 2
5. Jigi 3
6. Puhallin
7. Virtajohto



Kuva 14. Havaintokuva mittauslaitteiston käyttöohjeesta.

Ohjeiden laatimisen jälkeen tarkastettiin ohjeistuksen toimivuus eri työntekijöiden kanssa. Ohjeet osoittautuivat toimiviksi, eikä niihin tarvinnut tehdä muutoksia.

YHTEENVETO

Tiiveysmittausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus oli erittäin haastava ja samalla mielenkiintoinen projekti. Aikaisempi työkokemus Fläkt Woods:Oy:n tiloissa helpotti paljon työni toteuttamista. Koulussa opituista asioista oli eniten hyötyä koneenpiirustuksen kurssista. Sain havainnollistettua SolidWorksin avulla työtäni, mistä oli erittäin paljon apua työn edetessä. Erilaisissa ilmastointilaskuissa jouduin hakemaan apua kirjastosta ja internetistä, koska tiiveysmittausjärjestelmän laadinnassa käytettiin paljon paineilmamittauksia. Työn edetessä opin paljon uusia asioita ilmastoinnista, kuten esimerkiksi mittaukset, tuotteet ja ilmastoinnin toiminnan. Pyrin jatkuvasti työni edetessä kehittämään tietoutta ilmastointitekniikasta. Haastavinta työssäni oli mittalaipan toteutus, joka vei suurimman osan ajastani. Erilaiset matemaattiset kaavat laskuissa olivat uusia, ja kun sain laskun suoritettua mielestäni oikein, puuttui jokin toinen lasku, joka piti ottaa huomioon. Aikaa työn toteuttamiseen kului suunniteltua enemmän, koska erilaisten laskujen, suunnittelujen ja osien hankinnat veivät paljon aikaa.

Työn vaatimukset täytettiin mielestäni hyvin. Tiiveysmittausjärjestelmästä tuli helppokäyttöinen, ja siihen tarvittavat osat pystyttiin suurimmaksi osaksi hankkimaan Fläkt Woods Oy:n omista varastoista. Tiiveysmittausjärjestelmä on jatkuvan kehityksen kohteena, ja sitä on tarkoitus tulevaisuudessa muuttaa siten, että laskut tulisivat automaattisesti tietokoneelle.

LÄHTEET

1. Siren, Kai: Ilmastointi tekniikan mittaukset. Helsinki 1995. Cosmoprint Oy. ISBN 951-22-2421-6.
2. Fläkt Woods Oy 2014. Yrityksen yleiskuva. Viitattu 21.7.2014 <http://www.flaktwoods.fi/>
3. Fläkt Woods Oy 2012. Yrityksen historiikki. Viitattu 21.7.2014 http://fi.wikipedia.org/wiki/Fläkt_Woods
4. Kalibrointi 2014. Viitattu 23.7.2014 <http://fi.wikipedia.org/wiki/Kalibrointi>
5. Keinänen, Toimi & Kärkkäinen, Pentti: Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumaattikka. 1. painos, 2005 Helsinki. Werner Söderström Osakeyhtiö. ISBN 951-0-29881-6.

LIITTEET

Liite 1. C-arvo

Diameter ratio β	Discharge coefficient, C , for Re_D equal to											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,10	0,600 6	0,599 0	0,598 0	0,597 6	0,597 2	0,597 0	0,596 9	0,596 6	0,596 5	0,596 4	0,596 4	0,596 4
0,12	0,601 4	0,599 5	0,598 3	0,597 9	0,597 5	0,597 3	0,597 1	0,596 8	0,596 6	0,596 5	0,596 5	0,596 5
0,14	0,602 1	0,600 0	0,598 7	0,598 2	0,597 7	0,597 5	0,597 3	0,596 9	0,596 8	0,596 6	0,596 6	0,596 6
0,16	0,602 8	0,600 5	0,599 1	0,598 5	0,598 0	0,597 8	0,597 6	0,597 1	0,596 9	0,596 8	0,596 8	0,596 8
0,18	0,603 6	0,601 1	0,599 5	0,598 9	0,598 3	0,598 1	0,597 8	0,597 4	0,597 1	0,597 0	0,597 0	0,596 9
0,20	0,604 5	0,601 7	0,600 0	0,599 3	0,598 7	0,598 4	0,598 1	0,597 6	0,597 4	0,597 2	0,597 2	0,597 1
0,22	0,605 3	0,602 3	0,600 5	0,599 8	0,599 1	0,598 7	0,598 5	0,597 9	0,597 6	0,597 4	0,597 4	0,597 4
0,24	0,606 2	0,603 0	0,601 0	0,600 2	0,599 5	0,599 1	0,598 8	0,598 2	0,597 9	0,597 7	0,597 6	0,597 6
0,26	0,607 2	0,603 8	0,601 6	0,600 7	0,599 9	0,599 6	0,599 2	0,598 6	0,598 2	0,598 0	0,597 9	0,597 9
0,28	0,608 3	0,604 6	0,602 2	0,601 3	0,600 4	0,600 0	0,599 7	0,599 0	0,598 6	0,598 3	0,598 2	0,598 1
0,30	0,609 5	0,605 4	0,602 9	0,601 9	0,601 0	0,600 5	0,600 1	0,599 4	0,598 9	0,598 6	0,598 5	0,598 4
0,32	0,610 7	0,606 3	0,603 6	0,602 6	0,601 6	0,601 1	0,600 6	0,599 8	0,599 3	0,599 0	0,598 8	0,598 7
0,34	0,612 0	0,607 3	0,604 4	0,603 3	0,602 2	0,601 7	0,601 2	0,600 3	0,599 8	0,599 3	0,599 2	0,599 1
0,36	0,613 5	0,608 4	0,605 3	0,604 0	0,602 9	0,602 3	0,601 8	0,600 8	0,600 2	0,599 7	0,599 6	0,599 4
0,38	0,615 1	0,609 6	0,606 2	0,604 9	0,603 6	0,603 0	0,602 4	0,601 3	0,600 7	0,600 1	0,599 9	0,599 8
0,40	0,616 8	0,610 9	0,607 2	0,605 8	0,604 4	0,603 7	0,603 1	0,601 9	0,601 2	0,600 6	0,600 3	0,600 1
0,42	0,618 7	0,612 2	0,608 3	0,606 7	0,605 2	0,604 4	0,603 8	0,602 5	0,601 7	0,601 0	0,600 7	0,600 5
0,44	0,620 7	0,613 7	0,609 4	0,607 7	0,606 1	0,605 2	0,604 5	0,603 1	0,602 2	0,601 4	0,601 1	0,600 8
0,46	0,622 8	0,615 2	0,610 6	0,608 7	0,607 0	0,606 1	0,605 3	0,603 7	0,602 7	0,601 9	0,601 5	0,601 2
0,48	0,625 1	0,616 9	0,611 8	0,609 8	0,607 9	0,606 9	0,606 1	0,604 3	0,603 3	0,602 3	0,601 9	0,601 5
0,50	0,627 6	0,618 6	0,613 1	0,610 9	0,608 8	0,607 8	0,606 9	0,605 0	0,603 8	0,602 7	0,602 2	0,601 8
0,51	0,628 9	0,619 5	0,613 8	0,611 5	0,609 3	0,608 2	0,607 3	0,605 3	0,604 0	0,602 9	0,602 4	0,601 9
0,52	0,630 2	0,620 4	0,614 4	0,612 1	0,609 8	0,608 7	0,607 7	0,605 6	0,604 3	0,603 0	0,602 5	0,602 0
0,53	0,631 6	0,621 3	0,615 1	0,612 6	0,610 3	0,609 1	0,608 0	0,605 9	0,604 5	0,603 2	0,602 6	0,602 1
0,54	0,633 0	0,622 3	0,615 8	0,613 2	0,610 8	0,609 5	0,608 4	0,606 1	0,604 7	0,603 3	0,602 7	0,602 1
0,55	0,634 4	0,623 2	0,616 5	0,613 8	0,611 2	0,609 9	0,608 8	0,606 4	0,604 9	0,603 4	0,602 8	0,602 2
0,56	—	0,624 2	0,617 2	0,614 3	0,611 7	0,610 3	0,609 1	0,606 6	0,605 0	0,603 5	0,602 8	0,602 2
0,57	—	0,625 2	0,617 9	0,614 9	0,612 1	0,610 7	0,609 5	0,606 9	0,605 2	0,603 6	0,602 8	0,602 2
0,58	—	0,626 2	0,618 5	0,615 5	0,612 6	0,611 1	0,609 8	0,607 0	0,605 3	0,603 6	0,602 8	0,602 1
0,59	—	0,627 2	0,619 2	0,616 0	0,613 0	0,611 4	0,610 1	0,607 2	0,605 4	0,603 6	0,602 8	0,602 0
0,60	—	0,628 2	0,619 8	0,616 5	0,613 4	0,611 7	0,610 3	0,607 3	0,605 4	0,603 5	0,602 7	0,601 9
0,61	—	0,629 2	0,620 5	0,617 0	0,613 7	0,612 0	0,610 6	0,607 4	0,605 4	0,603 4	0,602 5	0,601 7
0,62	—	0,630 2	0,621 1	0,617 5	0,614 0	0,612 3	0,610 8	0,607 5	0,605 4	0,603 3	0,602 3	0,601 4
0,63	—	0,631 2	0,621 7	0,617 9	0,614 3	0,612 5	0,610 9	0,607 5	0,605 2	0,603 0	0,602 1	0,601 1
0,64	—	0,632 1	0,622 2	0,618 3	0,614 5	0,612 6	0,611 0	0,607 4	0,605 1	0,602 8	0,601 7	0,600 7
0,65	—	0,633 1	0,622 7	0,618 6	0,614 7	0,612 7	0,611 0	0,607 3	0,604 8	0,602 4	0,601 3	0,600 2
0,66	—	0,634 0	0,623 2	0,618 9	0,614 8	0,612 8	0,611 0	0,607 1	0,604 5	0,602 0	0,600 8	0,599 7
0,67	—	0,634 8	0,623 6	0,619 1	0,614 9	0,612 7	0,610 8	0,606 8	0,604 1	0,601 4	0,600 2	0,599 0
0,68	—	0,635 7	0,623 9	0,619 3	0,614 9	0,612 6	0,610 6	0,606 4	0,603 6	0,600 8	0,599 5	0,598 3
0,69	—	0,636 4	0,624 2	0,619 3	0,614 7	0,612 4	0,610 4	0,605 9	0,603 0	0,600 1	0,598 7	0,597 4
0,70	—	0,637 2	0,624 4	0,619 3	0,614 5	0,612 1	0,610 0	0,605 3	0,602 3	0,599 2	0,597 8	0,596 4
0,71	—	0,637 8	0,624 5	0,619 2	0,614 2	0,611 7	0,609 4	0,604 6	0,601 4	0,598 2	0,596 7	0,595 3
0,72	—	0,638 3	0,624 4	0,618 9	0,613 8	0,611 1	0,608 8	0,603 8	0,600 5	0,597 1	0,595 5	0,594 0
0,73	—	0,638 8	0,624 3	0,618 6	0,613 2	0,610 4	0,608 0	0,602 8	0,599 3	0,595 8	0,594 2	0,592 6
0,74	—	0,639 1	0,624 0	0,618 1	0,612 5	0,609 6	0,607 1	0,601 6	0,598 0	0,594 3	0,592 6	0,591 0
0,75	—	0,639 4	0,623 6	0,617 4	0,611 6	0,608 6	0,606 0	0,600 3	0,596 5	0,592 7	0,590 9	0,589 2

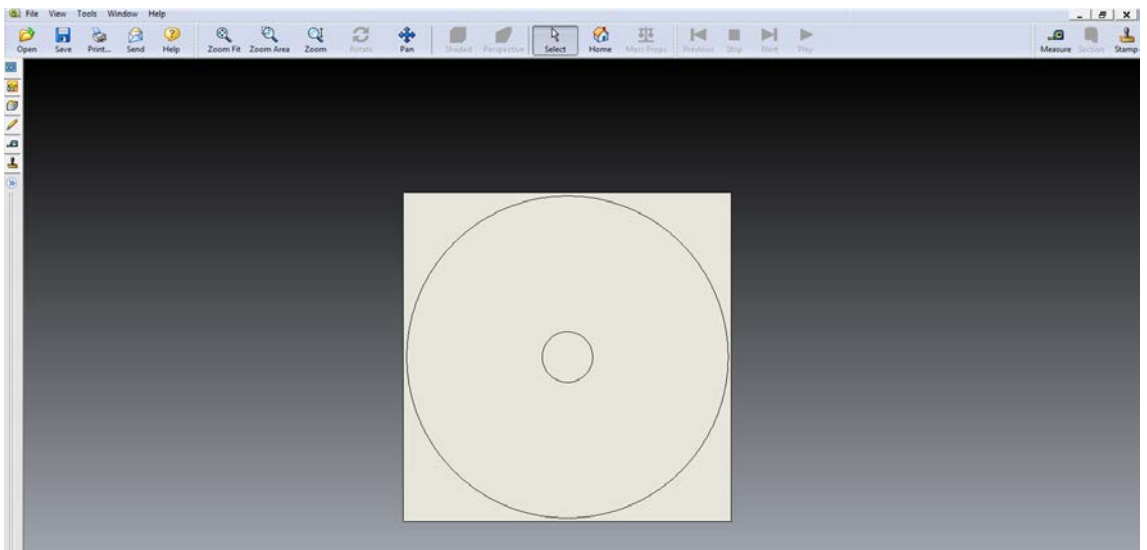
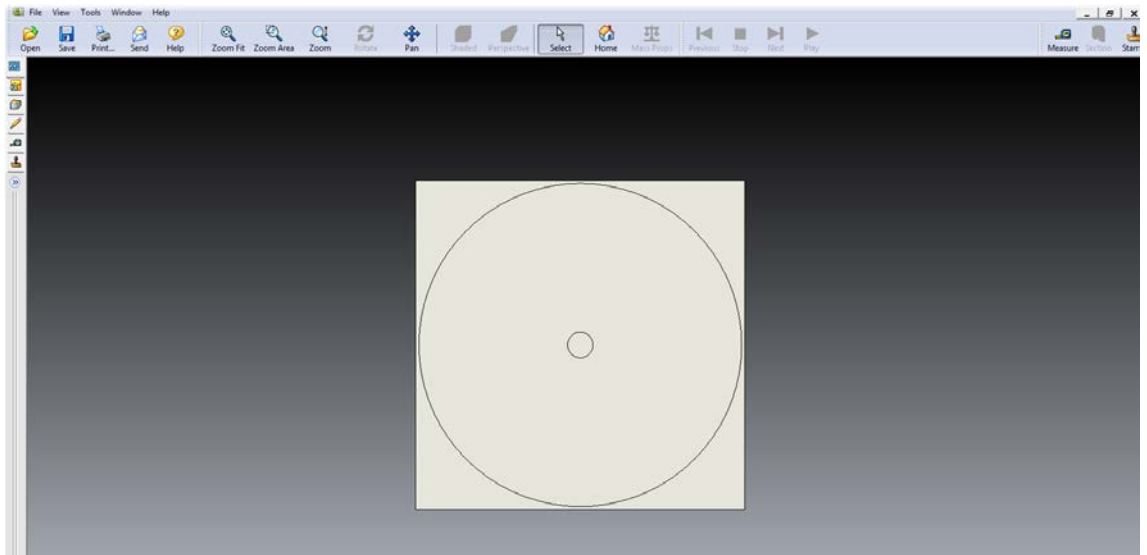
Liite 2. Mittalaitteille lasketut rajat

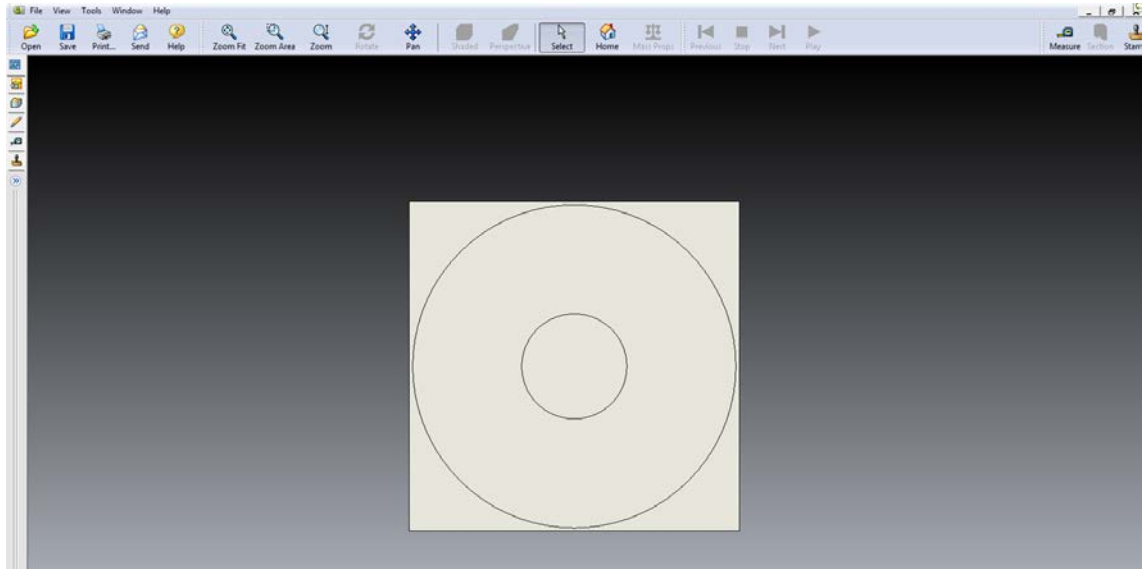
koepaine		300 Pa							
vuotoraja S		200 m ³ /h/m ²							
koko	A [m ²]	vuoto [m ³ /h]	vuoto [l/s]	Δp	l/s	% absoluuttisesta S-rajasta			
1000	0,785398163	157,0796327	43,63	250	35,24	80,8 %			
800	0,502654825	100,5309649	27,93	120	24,41	87,4 %			
630	0,311724531	62,34490621	17,32	45	14,95	86,3 %			
500	0,196349541	39,26990817	10,91	19	9,71	89,1 %			
400	0,125663706	25,13274123	6,98	270	6,25	89,5 %			
315	0,077931133	15,58622655	4,33	105	3,89	90,0 %			
250	0,049087385	9,817477042	2,73	42	2,46	90,3 %			
200	0,031415927	6,283185307	1,75	276	1,57	90,0 %			
160	0,020106193	4,021238597	1,12	113	1,01	90,0 %			
150	0,017671459	3,534291735	0,98	87	0,88	89,8 %			
125	0,012271846	2,454369261	0,68	42	0,61	89,9 %			
100	0,007853982	1,570796327	0,44	17	0,39	89,3 %			

100			160		
Δp	paine-ero	17 Pa	Δp	paine-ero	113 Pa
Qv	tilavuusvirta	0,39 l/s	Qv	tilavuusvirta	1,01 l/s
do	reiän halk	0,0125 m	do	reiän halk	0,0125 m
Ao	reiän ala	0,000122718 m ²	Ao	reiän ala	0,000123 m ²
ρ	tiheys	1,205 kg/m ³	ρ	tiheys	1,205 kg/m ³
Dduct	kanavahalk	0,1 m ²	Dduct	kanavahalk	0,1 m ²
β	Do/Dduct	0,125	β	Do/Dduct	0,125
Cf	taulukko ISO 5167-2	0,598	Cf	taulukko I	0,598
125			200		
Δp	paine-ero	42 Pa	Δp	paine-ero	276 Pa
Qv	tilavuusvirta	0,61 l/s	Qv	tilavuusvirta	1,57 l/s
do	reiän halk	0,0125 m	do	reiän halk	0,0125 m
Ao	reiän ala	0,000122718 m ²	Ao	reiän ala	0,000123 m ²
ρ	tiheys	1,205 kg/m ³	ρ	tiheys	1,205 kg/m ³
Dduct	kanavahalk	0,1 m ²	Dduct	kanavahalk	0,1 m ²
β	Do/Dduct	0,125	β	Do/Dduct	0,125
Cf	taulukko ISO 5167-2	0,598	Cf	taulukko I	0,598
150			250		
Δp	paine-ero	87 Pa	Δp	paine-ero	42 Pa
Qv	tilavuusvirta	0,88 l/s	Qv	tilavuusvirta	2,46 l/s
do	reiän halk	0,0125 m	do	reiän halk	0,025 m
Ao	reiän ala	0,000122718 m ²	Ao	reiän ala	0,000491 m ²
ρ	tiheys	1,205 kg/m ³	ρ	tiheys	1,205 kg/m ³
Dduct	kanavahalk	0,1 m ²	Dduct	kanavahalk	0,1 m ²
β	Do/Dduct	0,125	β	Do/Dduct	0,25
Cf	taulukko ISO 5167-2	0,598	Cf	taulukko ISO 5167-2	0,601

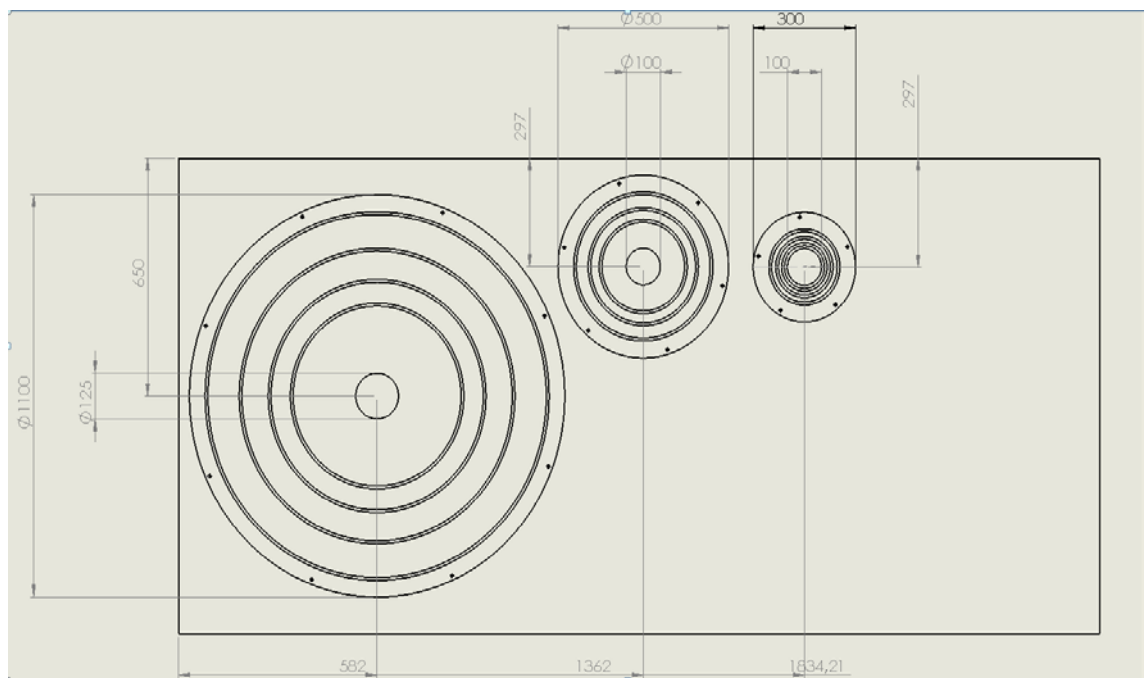
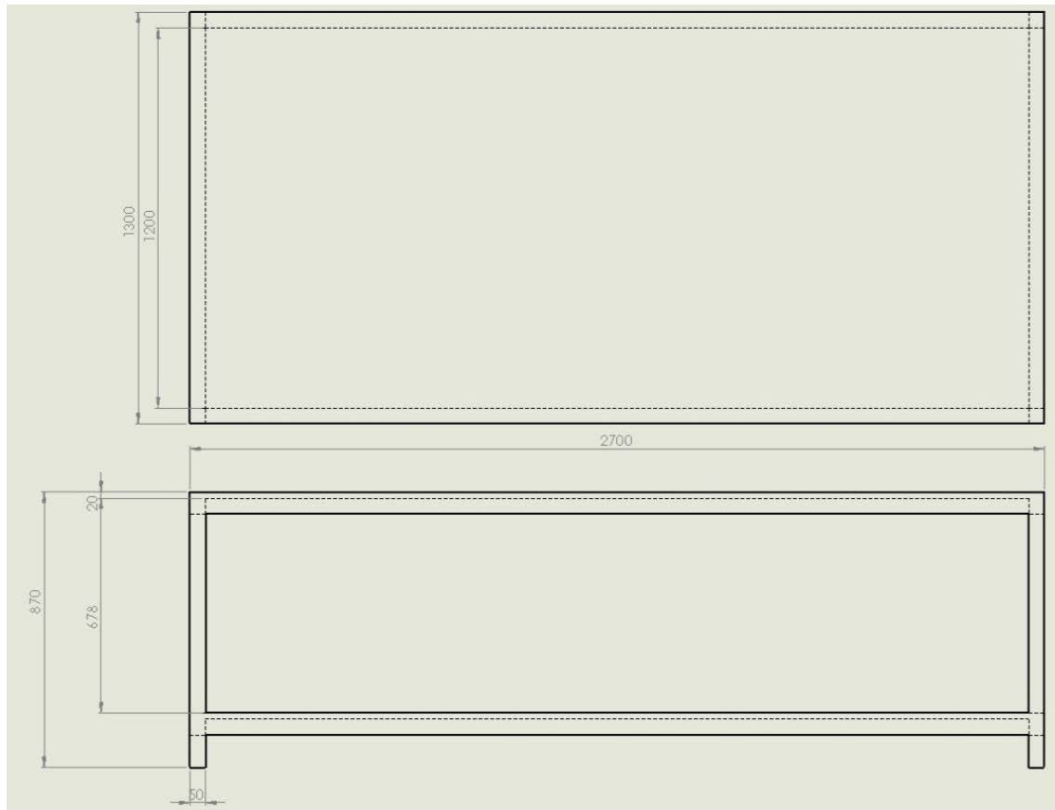
315			400		
Δp	paine-ero	105 Pa	Δp	paine-ero	270 Pa
Qv	tilavuusvirta	3,89 l/s	Qv	tilavuusvirta	6,25 l/s
do	reiän halk	0,025 m	do	reiän halk	0,025 m
Ao	reiän ala	0,000491 m ²	Ao	reiän ala	0,000491 m ²
ρ	tiheys	1,205 kg/m ³	ρ	tiheys	1,205 kg/m ³
Dduct	kanavahalk	0,1 m ²	Dduct	kanavahalk	0,1 m ²
β	Do/Dduct	0,25	β	Do/Dduct	0,25
Cf	taulukko ISO 5167-2	0,601	Cf	taulukko ISO 5167-2	0,601
500			630		
Δp	paine-ero	19 Pa	Δp	paine-ero	45 Pa
Qv	tilavuusvirta	9,71 l/s	Qv	tilavuusvirta	14,95 l/s
do	reiän halk	0,06 m	do	reiän halk	0,06 m
Ao	reiän ala	0,002827 m ²	Ao	reiän ala	0,002827 m ²
ρ	tiheys	1,205 kg/m ³	ρ	tiheys	1,205 kg/m ³
Dduct	kanavahalk	0,125 m ²	Dduct	kanavahalk	0,125 m ²
β	Do/Dduct	0,48	β	Do/Dduct	0,48
Cf	taulukko ISO 5167-2	0,6118	Cf	taulukko ISO 5167-2	0,6118
800			1000		
Δp	paine-ero	120 Pa	Δp	paine-ero	250 Pa
Qv	tilavuusvirta	24,41 l/s	Qv	tilavuusvirta	35,24 l/s
do	reiän halk	0,06 m	do	reiän halk	0,06 m
Ao	reiän ala	0,002827 m ²	Ao	reiän ala	0,002827 m ²
ρ	tiheys	1,205 kg/m ³	ρ	tiheys	1,205 kg/m ³
Dduct	kanavahalk	0,125 m ²	Dduct	kanavahalk	0,125 m ²
β	Do/Dduct	0,48	β	Do/Dduct	0,48
Cf	taulukko ISO 5167-2	0,6118	Cf	taulukko ISO 5167-2	0,6118

Liite 3. DXF-kuvat mittalaipoista 12.53, 25, 60

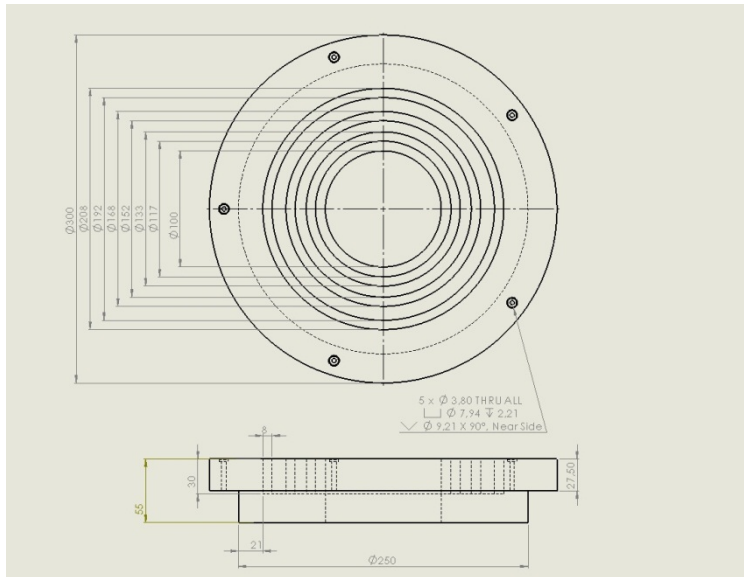




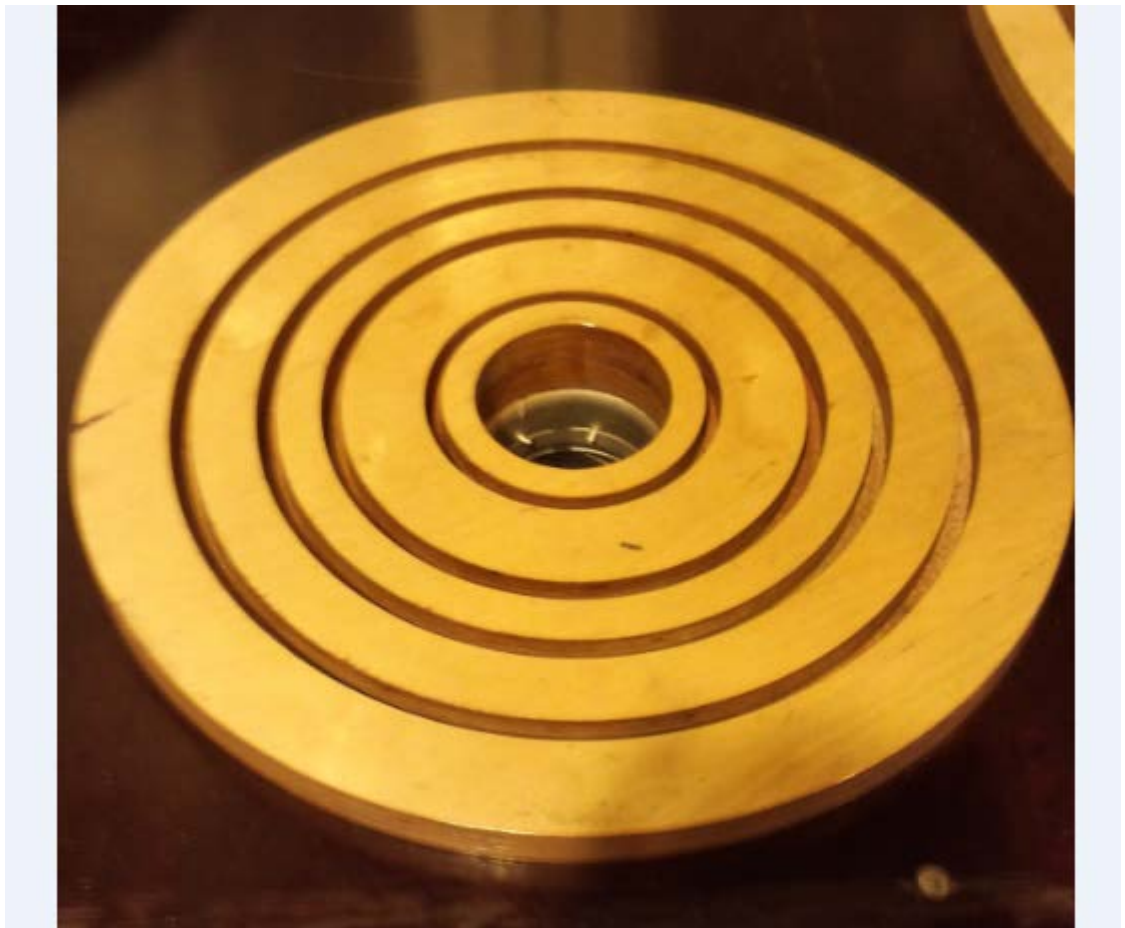
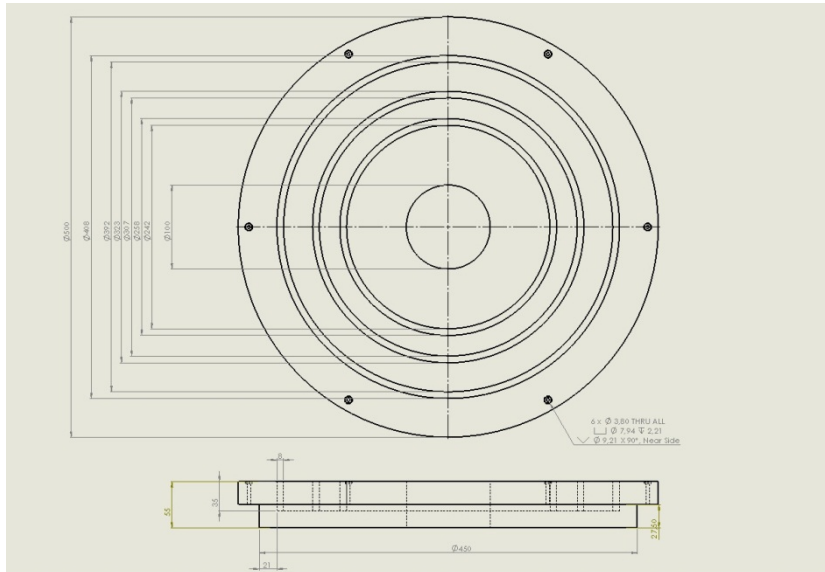
Liite 4. Tiiveysmittauspöydän havainnointi kuvat



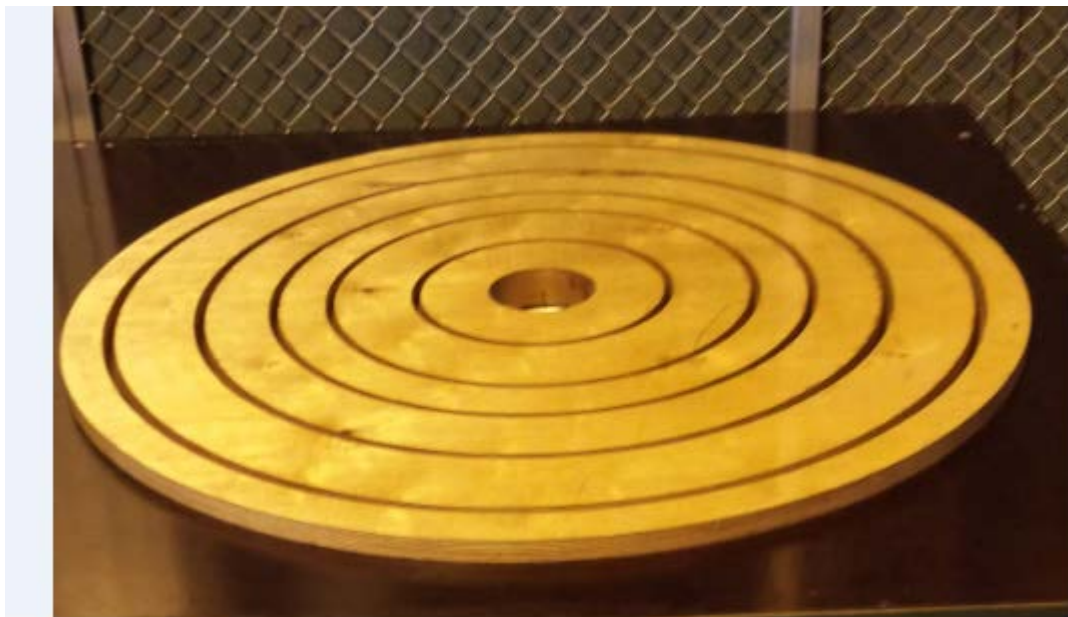
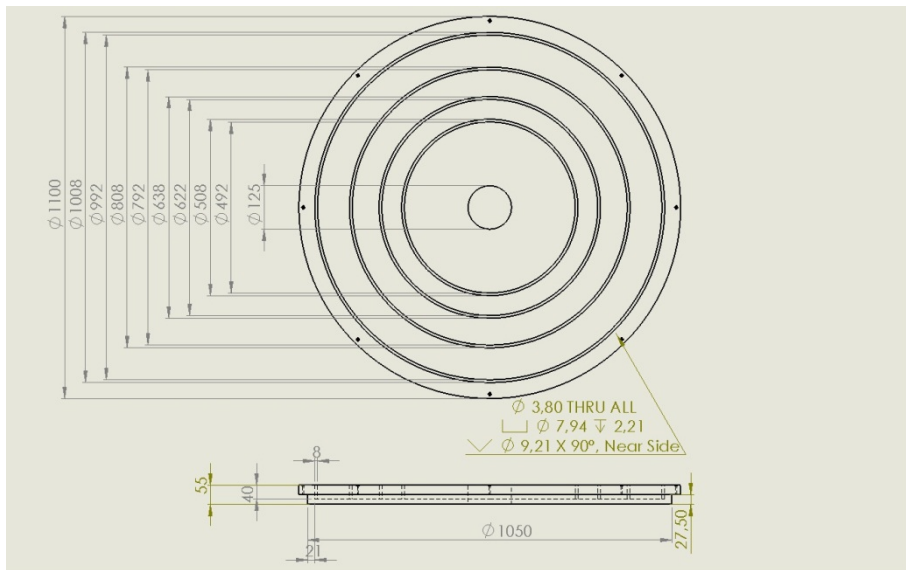
Liite 5. Jigi 1



Liite 6. Jigi 2



Liite 7. Jigi 3



Liite 8. Tiiveysmittauspöytäkirja

TIIVEYSMITTAUSJÄRJESTELMÄN TARKASTUSPÖYTÄKIRJA								
Mittattavat kanavakoot: 100-200								
Testaus 1 kpl/ päivä tai 1 % päivän tuotannosta (suurempi)								
Tarkastusohjeen viitekohta								
Päivämäärä (pp.kk.vvvv)	Tarkastaja	Tilausnumero	Tuotteen koko [mm]	Laipanpaine [Pa]	Koepaine (300-330 Pa)	Vuoto [l/s]	Suljetun laitteen tiiveys 300 Pa/ vaatimus S-luokka 56	Hyväksytty/ hylätty
14.5.2014	Testi	12345	100	1	303	0,09	12,1	ok
	Testi 1		100	25	300	0,47	60,3	hylätty
			125	1	300	0,09	7,7	ok
			125	55	300	0,70	57,3	hylätty
			150	1	300	0,09	5,4	ok
			150	115	300	1,02	57,5	hylätty
			160	1	320	0,09	4,7	ok
			160	140	305	1,12	55,8	hylätty
			200	1	300	0,09	3,0	ok
			200	400	316	1,90	60,3	hylätty
			100		307	0,00	0,0	ok
			125		315	0,00	0,0	ok
			125		318	0,00	0,0	ok
			125		303	0,00	0,0	ok
			100		311	0,00	0,0	ok
			200		310	0,00	0,0	ok
			125		300	0,00	0,0	ok
			125		300	0,00	0,0	ok
			125		314	0,00	0,0	ok
			125		303	0,00	0,0	ok
			125		340	0,00	0,0	ok
			125		301	0,00	0,0	ok
			125		300	0,00	0,0	ok
			100		300	0,00	0,0	ok
			100		300	0,00	0,0	ok
			125		320	0,00	0,0	ok
			150		310	0,00	0,0	ok
			100		330	0,00	0,0	ok
			100		320	0,00	0,0	ok
			100			0,00	0,0	ok
			100		309	0,00	0,0	ok
			100		314	0,00	0,0	ok
			100		306	0,00	0,0	ok
			100		304	0,00	0,0	ok
			100		310	0,00	0,0	ok
			200		300	0,00	0,0	ok
			125		300	0,00	0,0	ok
			160		310	0,00	0,0	ok
			200		300	0,00	0,0	ok
			125		310	0,00	0,0	ok
			100		300	0,00	0,0	ok
			100		305	0,00	0,0	ok
			160		310	0,00	0,0	ok