

# ALIPAINELAITTEIDEN TUTKIMUSTYÖ

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja Tuotantotekniikka  
Tuotantopainotteinen mekatroniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2009  
Jouni Meisaari

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja Tuotantotekniikka

JOUNI MEISAARI: Alipainelaitteiden tutkimustyö

Tuotantotekniikan opinnäytetyö, 29 sivua, 8 liitesivua

Kevät 2009

## TIIVISTELMÄ

---

Tämä opinnäytetyö käsittelee alipainetekniikkaan liittyviä mittauksia komponenteista ja materiaaleista. Alipainetekniikan mittaukset tehdään Orfer Oy:lle Orimatilassa, yrityksen omissa toimitiloissa. Työn tarkoitus on tutkia yrityksen yleisimmässä käytössä olevien komponenttien ominaisuuksia eri tilanteissa. Tavoite on luoda dokumentti, jota voidaan käyttää apuna tulevaisuuden sovelluksia suunniteltaessa.

Alipainelaitteista tutkittiin niiden ilmankulutuksia, hyötysuhteita, nostokykyjä ja materiaaliikohtaisia ominaisuuksia. Tutkimusten helpottamiseksi suunniteltiin alipainekäyttöön tarkoitettu testipöytä, jossa on kiinteästi asennettuna mahdollisimman paljon erilaisia ejektoreita, venttiileitä ja tarvittavia paineilmaletkuja.

Alipainetekniikan komponentit -osiossa selvitetään ejektorien, imukuppien sekä lisäosien toimintaa, osioon on myös lisätty muutama kuva komponenteista.

Opinnäytetyön testipöytäosuudessa käydään läpi pöydän taustalevyn lay-out ja siihen liittyvät asennustekniset ratkaisut.

Mittaustulokset –osiossa esitetään mitatut tulokset ilmankulutuksesta, ejektoreista, imukupeista, solukumeista ja laskennalliset hyötysuhteet ejektoreille. Ejektoreista ei ole käytetty niiden oikeita nimiä toimeksiantajan toiveiden mukaan. Tulokset on mitattu kaikissa osioissa kolmeen kertaan, ja niistä on ilmoitettu keskiarvo.

Opinnäytetyön lopputuloksena voidaan todeta, että materiaalilla on suuri vaikutus imukuppien nostokykyyn. Aina ei kannata käyttää suurinta syöttöpainetta ejektoreissa, sillä se ei takaa kustannustehokasta lopputulosta. Alipainetekniikassa on niin monta muuttuvaa tekijää, että kaikki sovellukset olisi syytä aina testata ennen toteutusta.

Avainsanat: Alipainetekniikka, komponentit, mittaukset

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

JOUNI MEISAARI: The development and research of vacuum equipment

Bachelor's Thesis in Production Oriented Mechatronics, 29 pages, 8 appendixes

Spring 2009

ABSTRACT

---

This thesis deals with vacuum technique measurements involving the changes of component and material differences. Vacuum technique measurements were done at Orfer Oy in Orimattila, at the company's own facility. The purpose of this thesis was to study the features of the company's most used components in different situations. The goal was to create a document which can be used to aid the planning applications in the future.

Air consumptions, lifting capacity and material features were measured, and the efficiency of the vacuum components was calculated. A test table was designed to help the research. The test table includes ejectors, valves and the necessary pressure hoses.

The study involves a clarification of the functions of the ejectors, suction cups, and additional parts with a few photos from the components.

The test table part consists of the back board layout of the test table and the installation solutions.

The measurement part consists of the results received from air consumption, ejectors, suction cups, cell foams and the ejectors calculative efficiency. Due to the commissioner's wishes, the real ejector names will not be reported. The measurements have been made three times and the average has been reported.

Due to the results received from the study, it seems that material has a huge impact to the lifting capacity of the suction cups. It is not good to favour large feeding pressure in the ejectors due to the lack of cost efficiency. There are so many variables in vacuum technique that one should always test all applications before assembling.

Key words: Vacuum technique, components, measurements

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	ALIPAINETEKNIIKAN KOMPONENTIT	2
2.1	Ejektorit	2
2.2	Imukupit	4
2.3	Yleisimmät lisälaitteet	5
2.3.1	Alipainesäätimet	5
2.3.2	Suodattimet	6
2.3.3	Äänenvaimentimet	7
2.3.4	Alipainemittarit	8
3	TESTIPÖYTÄ	9
4	MITTAUSTULOKSET	10
4.1	Ilmankulutus	10
4.2	Ejektorit	11
4.2.1	M98L	14
4.2.2	M60L	16
4.2.3	M15L	18
4.2.4	M990L	20
4.2.5	M69L	22
4.2.6	Yhteenvedo ejektoreista	24
4.3	Imukupit	25
4.4	Solukumit	26
5	YHTEENVETO	28
	LÄHTEET	29
	LIITTEET	
	Liite 1	
	Liite 2	
	Liite 3	

## 1 JOHDANTO

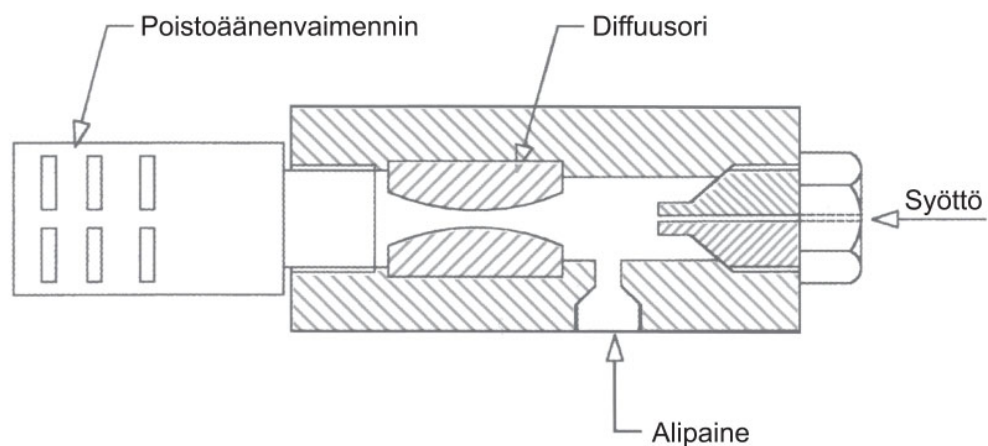
Työn tarkoituksena oli tutkia ja dokumentoida yleisimpiä toimeksiantajan käytävissä olevia alipainelaitteita, jotta saadaan selville laitteiden toiminnalliset ominaisuudet eri tilanteissa. Alipainelaitteista tutkittiin niiden ilmankulutuksia, hyötysuhteita, nostokykyjä ja materiaalikohtaisia ominaisuuksia. Tutkimusten helpottamiseksi suunniteltiin alipaineikäyttöön tarkoitettu testipöytä, jossa on kiinteästi asennettuna mahdollisimman paljon erilaisia ejektoreita, venttiileitä ja tarvittavia paineilmaletkuja. Pöytään asennettiin myös horisontaalisesti liikuteltava kannatinteline, jossa on helppo testata imukuppien nostokykyä. Pöydän läheisyyteen asennettiin kaappi varastoimaan imukuppeja, kuristimia, antureita ja venttiileitä. Testaukseen käytettiin pääasiallisesti PIAB:in tarvikkeita, joista pyrittiin saamaan selville ominaisuudet ja ideaaliset toiminta-alueet vertaamalla niitä keskenään. Aineistona suunnittelussa, asennuksissa, mittauksissa sekä dokumentoinnissa käytettiin PIAB Vacuum Technique catalogue:ta (viimeisin 7.0). Toimeksiantajan toiveiden mukaan tässä työssä ei tulla käyttämään laitteiden oikeita nimiä ilmoitettaessa mittaustuloksia.

## 2 ALIPAINETEKNIIKAN KOMPONENTIT

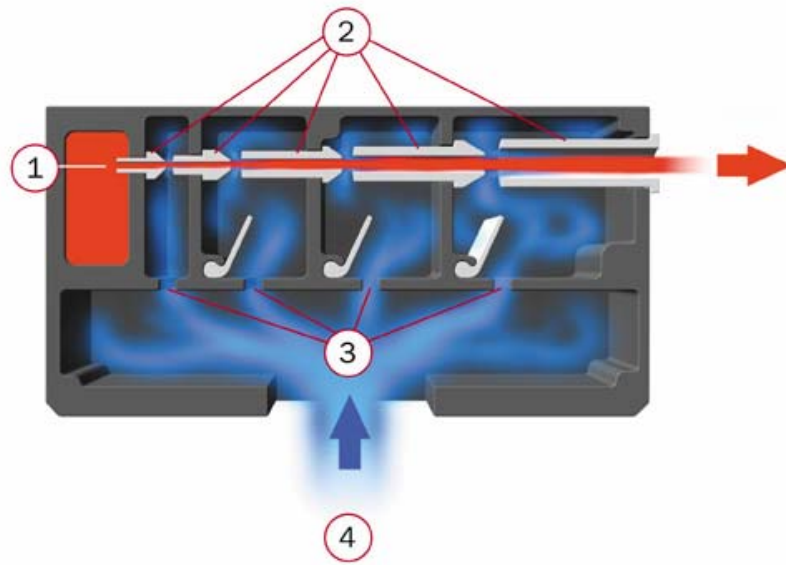
Alipainetta saadaan luotua joko sähköisesti, mekaanisesti, pneumaattisesti tai jopa hydraulisesti, tässä työssä keskitytään ainoastaan pneumaattisesti luotavaan alipainetekniikkaan. Alipainetekniikassa ejektorit ovat järjestelmän sydän, jota käytetään etenkin imukuppien yhteydessä tarvittavan tyhjiön eli alipaineen luomiseen. Ejektoreissa tyhjiö kehitetään paineilman avulla. Ejektorit soveltuvat hyvin muun muassa pakkaus-, elintarvike-, juoma-, lasi-, puu- ja sähköteollisuudessa sileä ja kovapintaisten kappaleiden käsittelyyn – siirtämiseen, kääntämiseen, kuljettamiseen, pakkaamiseen ja lajitteluun. (Fluid Finland 1/2007.)

### 2.1 Ejektorit

Ejektoreista käytetään myös nimitystä pumppu, joka lienee laitteen toimintaan liittyen hieman harhaanjohtava nimi. Paineilma syötetään läpi erikoissuuttimen, jonka avulla ilman nopeus kasvaa. Kun ilma on läpäissyt suuttimen, se laajenee nopeasti ja poistuu diffusorin sekä äänenvaimentimen kautta ulos. Paineenpudotuksen johdosta lisäilma työntyy alipainoporttiin muodostaen halutun alipaineen (Kuvio 1.). (Univer alipaine-ejektorit.)



KUVIO 1. Ejektorin äänenvaimentimella.



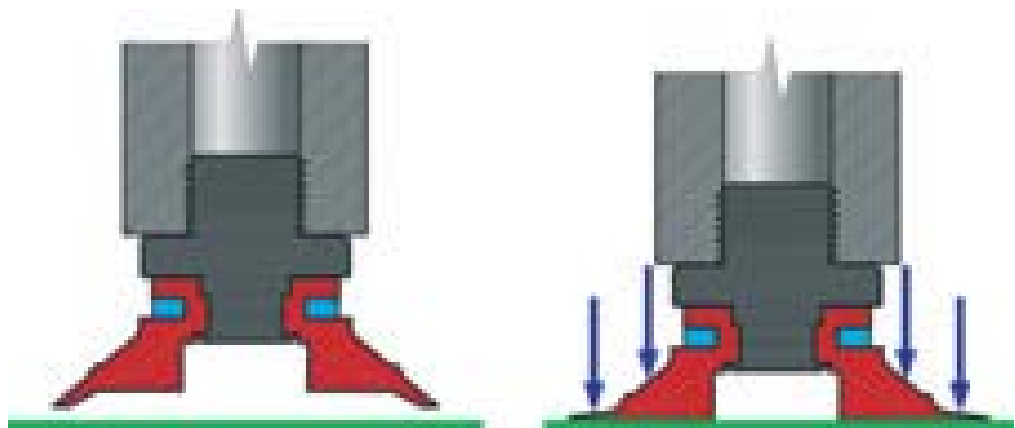
KUVIO 2. Useita ejektoreita yhdessä kokonaisuudessa (PIAB).



KUVIO 3. Ejektor P6040 (PIAB).

## 2.2 Imukupit

Imukupeilla saadaan liikuteltua erimuotoisia, -kokoisia, ja -painoisia kappaleita, myös imukupin ja nostettavan kappaleen materiaali vaikuttavat nostokykyyn. Imukupin toiminta perustuu paine-eroon: kun vallitseva ilmanpaine on korkeampi kuin nostettavan kappaleen ja imukupin välillä, aiheuttaa tämä liikuttamisen mahdollistavan kontaktin (Kuvio 4). Kun kappaleita liikutellaan nopeasti, on imukupin valinnassa syytä käyttää varmuuskerrointa 2,5. Mitä suurempaa alipainetta käytetään, niin sitä suurempi nostokyky. Alipaineen noustessa -60kPa:sta -90kPa:iin, nostokyky paranee 20-40%, energiankulutuksen noustessa kymmenkertaiseksi. Jotta imukuppien käyttöikä saadaan maksimoitua, on vältettävä tarpeettoman suuria alipaineita. Nostokyvyn parantamiseksi imukupeissa suositellaan käytettävän suuren alipaineen sijasta suurempia imukuppeja. (PIAB Vacuum Technique catalogue.)



KUVIO 4. Imukupin ja kappaleen kontaktin muodostaminen (PIAB).





KUVIO 5. Lyhytpalkeinen imukuppi B50 (PIAB).

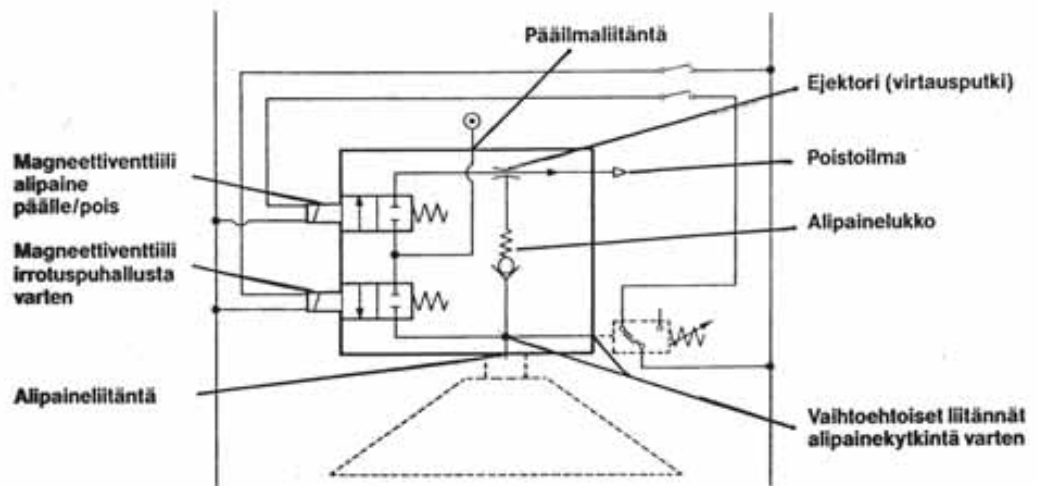
### 2.3 Yleisimmät lisälaitteet

Lisälaitteet ovat laitteita, jotka eivät ole järjestelmän toiminnan kannalta pakollisia mutta saattavat vaikuttaa työturvallisuuteen sekä laitteiden käyttöikään.

#### 2.3.1 Alipainesäätimet

Kuviossa 6 on havainnollistettu eräs malli alipaineen säätämisestä. Säätämällä saadaan haluttuja lisätoimintoja alipainejärjestelmään.

Ilmakuppiin muodostuu tyhjiö, kun se painetaan tiiviisti pintaa vasten ja ylemmälle magneettiventtiilille kytketään jännite. Kun haluttu tyhjiö on saavutettu, alipainekytin katkaisee jännitteen ylemmältä magneettiventtiililtä, jolloin venttiili sulkeutuu ja ilman kulutus lakkaa. Alipainelukko pitää imukupissa tyhjiön (alipaineen). Jos tyhjiön paine nousee yli säädetyn paineen, alipainekytin kytkee jännitteen uudelleen. Irrotuspuhallus tapahtuu kytkemällä jännite alemmalle magneettiventtiilille. (Fluid Finland 1/2007.)



KUVIO 6. Magneettiventtiileillä, alipainelukolla ja alipainekytkimellä varustettu ejektori (Autovac.).

### 2.3.2 Suodattimet

Suodattimilla saadaan suodatettua likaa ja pieniä partikkeleita järjestelmästä sekä vähennettyä kokonaisjärjestelmän seisokkia. Suodattimista on saatavilla useita eri kokoja. Komponentissa yleensä sisään- ja ulostulo liittimet sekä integroitu suodatinkangas, johon lika ja roska tarttuvat. Piab:n suodattimissa on vaihdettava suodatinelementti. Piab:n suodattimen ideaalinen toimintaympäristö on vallitsevan lämpötilan ollessa  $-20$   $-80^{\circ}\text{C}$  ja käyttöpaineen ollessa  $0-0,1\text{MPa}$ .

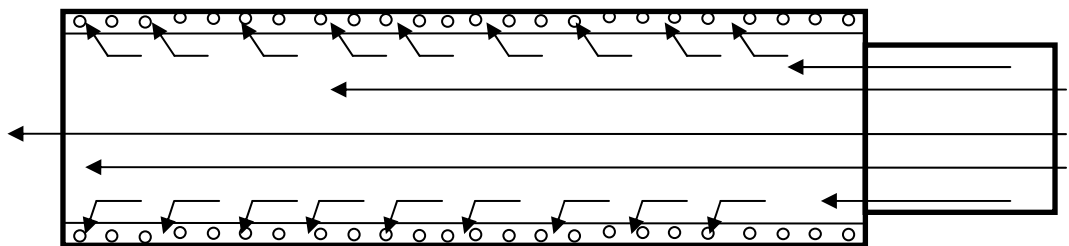
(PIAB Vacuum Technigue catalogue.)



KUVIO 7. Suodatin (PIAB).

### 2.3.3 Äänenvaimentimet

Äänenvaimentimilla saadaan ylläpidettyä työturvallisuutta alentamalla desibelejä ejektorin poistoliitännässä. Äänenvaimennin pyrkii rikkomaan paineen ideaalisen muodon huokoisella rakenteella (Kuvio 8). Piab:n äänenvaimentimilla saadaan melua alennettua jopa 10dB. Piab:n äänenvaimentimien ideaalinen toimintaympäristö on vallitsevan lämpötilan ollessa  $-20$   $-80^{\circ}\text{C}$ . (PIAB Vacuum Technique catalogue.)



KUVIO 8. Äänenvaimentimen yksinkertaistettu toimintaperiaate.



KUVIO 9. Erikokoisia äänenvaimentimia (PIAB).

#### 2.3.4 Alipainemittarit

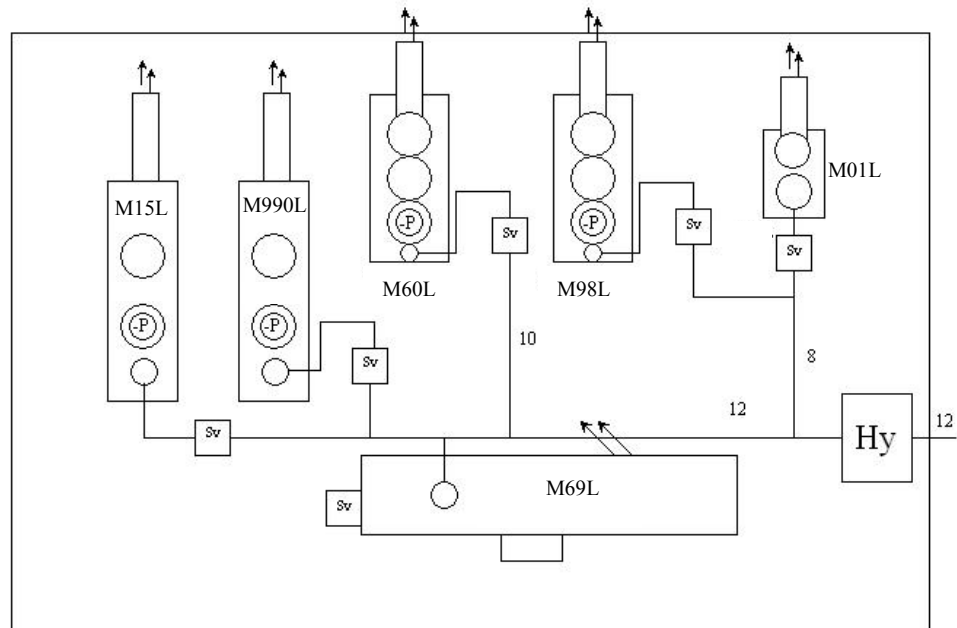
Alipainemittarilla saadaan selville ejektorin luoma alipaine. Mittarin toiminta perustuu jousipalautteiseen, analogiseen paineen ilmoittamiseen. Piab:n alipainemittarin tarkkuus on 2,5%. Piab:n alipainemittarilla pystytään mittaamaan 0-0,1MPa, ja ylipaineen mittaamiseen tarkoitetulla mittarilla 0-1MPa. (PIAB Vacuum Technique catalogue.)



KUVIO 10. Alipainemittareita (PIAB)

### 3 TESTIPÖYTÄ

Pöytään on asennettu kuusi erilaista, toimeksiantajan eniten käytettävissä olevaa ejektoria ja jotta mittauksista saataisiin realistiset, on ejektoreita käytettävä yksi kerrallaan. Yksilöllinen mittaus on mahdollistettu ejektorien painesyöttöihin asennetuilla omilla sulkuventtiileillä. M69L –ejektorissa on integroitu sulkuventtiili. Testipöytä on rakennettu jatkuvaa käyttöä varten, joten käytännöllisyyteen ja helppo käyttöisyyteen tuli kiinnittää huomiota. Työturvallisuuden vuoksi pois-toilma on ohjattu ylöspäin. Jokaisessa ejektorissa, paitsi M01L:ssä on integroitu alipainemittari, ko. laitteessa se on asennettu syöttöletkuun.



KUVIO 11. Testipöydän seinälevyn Lay-Out.

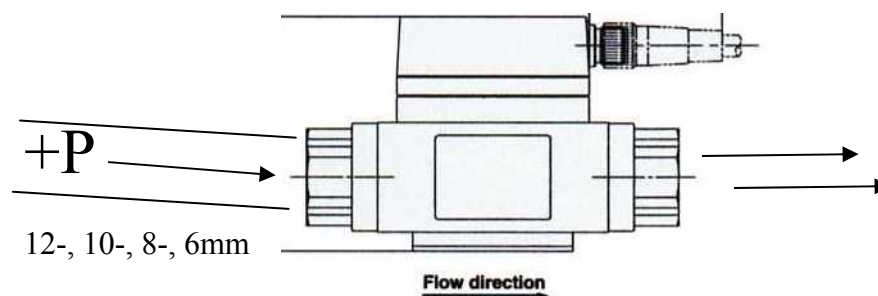
## 4 MITTAUSTULOKSET

Tarkoituksena oli tutkia ja dokumentoida yleisimpiä toimeksiantajan käytettävissä olevia alipainelaitteita, jotta saadaan selville laitteiden toiminnalliset ominaisuudet. Tässä osiossa mitataan virtauksia vapaasti virtaavasta järjestelmästä eli ilmankulutusta, ejektoreiden ominaisuuksia eri syöttöpaineilla sekä tehdään huomioita ja havaintoja mittauksista. Mittaukset on suoritettu kolmeen kertaan, ja niistä on laskettu keskiarvo, kaikki mittaukset pääsivät  $\pm 5\%$  sisään toisistaan. Mittauksissa ei ole huomioitu mahdollisia letkusta aiheutuvia painehäviöitä, käytössä olleet letkut olivat maksimissaan yhden metrin pituiset. Mittaukset suoritettiin sisätiloissa, jossa vallitseva lämpötila oli n.  $15\text{-}20^\circ\text{C}$ . Virhearviointina on käytetty yleisesti  $\pm 5\%$ , joka on laskettu alipainemittarin valmistajan ilmoittamasta  $2,5\%$  tarkkuudesta (Liite 2), lisäten siihen varmuuskertoimen 2.

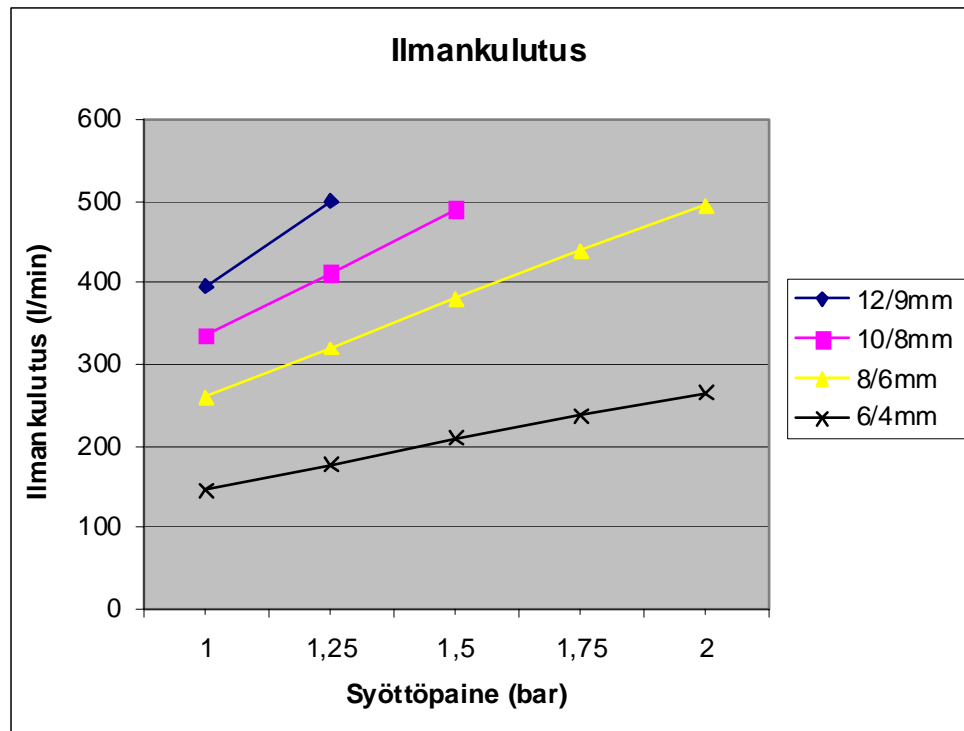
### 4.1 Ilmankulutus

Mittauksissa käytettiin SMC Flow Switch PF2A751 virtausmittaria, jolla maksimivirtaus on  $500\text{ l/min}$  (Liite 1). Ilmankulutus -mittaukset suoritettiin seuraaville  $200\text{mm}$  pitkille paineilmaletkuille:

- $12/9\text{mm}$  (ulko- /sisähalkaisija)
- $10/8\text{mm}$
- $8/6\text{mm}$
- $6/4\text{mm}$



KUVIO 12. Virtausten mittaus.

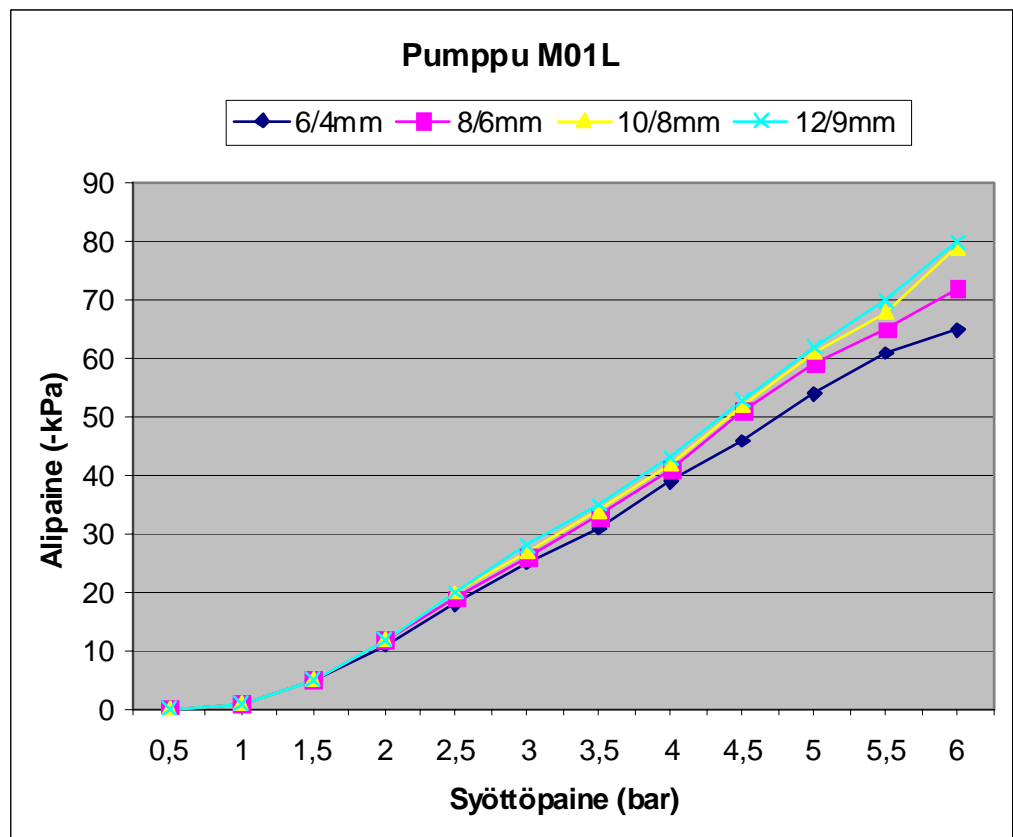


KUVIO 13. Vapaasti virtaavasta järjestelmästä mitatut ilmankulutukset.

#### 4.2 Ejektorit

Ejektorien mittaustulokset on tehty toimeksiantajan kuudelle yleisimmälle ejektorille. Ejektoreita on käytetty yksi kerrallaan. Mittalaitteena käytettiin PIAB:in alipainemittareita (Liite 2). Mittaustilanne on tapahtunut kuvion 11 mukaisesti. Mittaukset on suoritettu kolmeen kertaan, ja niistä on laskettu keskiarvo. Mittauksissa ei ole huomioitu mahdollisia letkusta aiheutuvia painehäviöitä, käytössä olleet letkut olivat maksimissaan yhden metrin pituiset. Mittaukset suoritettiin sisätiloissa, jossa vallitseva lämpötila oli n. 15-20°C. Virhearviointina on käytetty yleisesti  $\pm 5\%$ . Alipaineen yksikkö ilmoitetaan yleisen tavan mukaan kiloPascalleina ja syöttöpaine bar:eina ja kun 1 bar = 100 kPa (Liite 3), saadaan hyötysuhde prosentteina jakamalla alipaine syöttöpaineella.

M01L



KUVIO 14. Ejektorin luoma alipaine (-kPa) eri syöttöpaineilla (bar) ja letkuilla.



TAULUKKO 1. Hyötysuhteet erikokoisilla alipaineletkuilla syöttöletkun koon ollessa 8/6mm:ä ( $-P/P_{\text{syöttö}}$ ).

Syöttöpaine (bar)	Hyötysuhteet erikokoisilla alipaineletkuilla			
	6/4mm	8/6mm	10/8mm	12/9mm
0,5	0%	0%	0%	0%
1	1%	1%	1%	1%
1,5	3%	3%	3%	3%
2	5,5%	6%	6%	6%
2,5	7,5%	7,5%	8%	8%
3	8,5%	8,5%	9%	9%
3,5	9%	9,5%	9,5%	10%
4	10%	10%	10,5%	11%
4,5	10,5%	11%	11,5%	12%
5	11%	12%	12%	12,5%
5,5	11%	12%	12,5%	12,5%
6	11%	12%	13%	13,5%

Huomioitavia asioita:

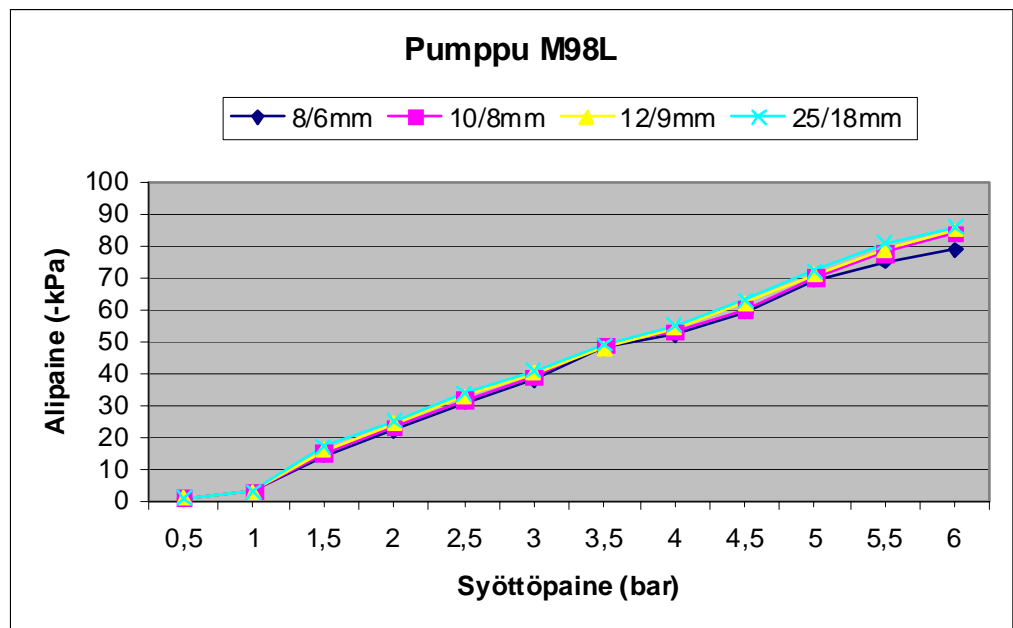
- Mittausten virhearvio on noin  $\pm 5\%$ .
- Syöttöpainetta valittaessa on kuitenkin otettava huomioon ilmankulutus, joka lisääntyy syöttöpaineletkun sisähalkaisijan kasvaessa.
- Mittauksissa ei käytetty suodatinta, koska ejektorin rakenteesta johtuen se ei ole tarpeellinen.

Havaintoja mittauksista:

- Alipaineletkun kasvaessa yli 10/8mm:n, alipaineeseen syntyy ainoastaan nimellinen ero.
- Paras hyötysuhde ejektorilla on syöttöpaineen ollessa 6bar:ia ja alipaineletkun koon ollessa 12/9mm ( $-P/P_{\text{syöttö}} \sim 13,5\%$ ).

- Mittausten mukaan ideaalinen syöttöpainealue ejektorille on 4- 6bar:ia (~0,4- 0,6MPa).  $\eta = -P/P_{\text{syöttö}} \sim 10- 13\%$ .
- Alipainemittaukset on suoritettu 8/6mm:n syöttöletkulla, analogisessa mittarissa ei havaittu eroja 6/4mm:n ja 8/6mm:n syöttöletkujen välillä.

#### 4.2.1 M98L



KUVIO 15. Ejektorin luoma alipaine (-kPa) eri syöttöpaineilla (bar) syöttöletkun koon ollessa 8/6mm:ä.

TAULUKKO 2. Hyötysuhteet erikokoisilla alipaineletkuilla syöttöletkun koon ollessa 8/6mm:ä ( $-P/P_{\text{syöttö}}$ ).

Syöttöpaine (bar)	Hyötysuhteet erikokoisilla alipaineletkuilla			
	8/6mm	10/8mm	12/9mm	25/18mm
0,5	2%	2%	2%	2%
1	3%	3%	3%	3%
1,5	9,5%	10%	10,5%	11,5%
2	11%	11,5%	12%	12,5%
2,5	12,5%	13%	13%	13,5%
3	12,5%	13%	13,5%	13,5%
3,5	13,5%	13,5%	13,5%	14%
4	13%	13,5%	13,5%	14%
4,5	13%	13,5%	14%	14%
5	14%	14%	14%	14,5%
5,5	13,5%	14%	14,5%	14,5%
6	13%	14%	14%	14,5%

Huomioitavia asioita:

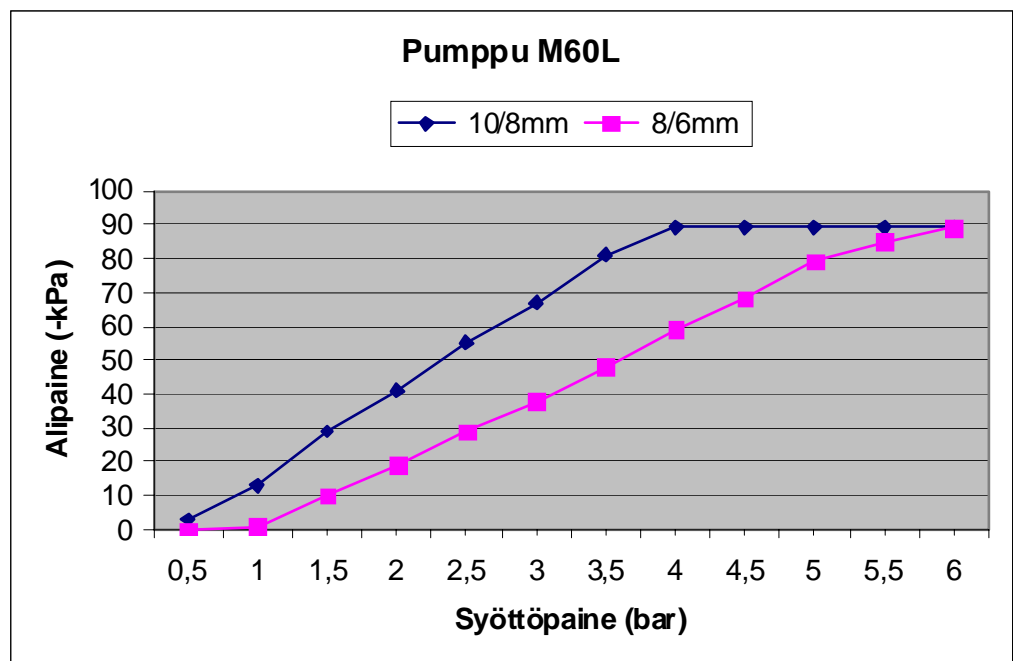
- Mittausten virhearvio on noin  $\pm 5\%$ .
- Syöttöpainetta valittaessa on kuitenkin otettava huomioon ilmankulutus, joka lisääntyy syöttöpaineletkun sisähalkaisijan kasvaessa.
- Mittauksissa käytettiin suodatinta, mittauksien yhteydessä on tarkasteltu suodattimen luomaa vaikutusta, eikä mittauksissa havaittu suodattimen vähentävän alipainetta

Havaintoja mittauksista:

- Alipaineletkuissa ei syntynyt suuria eroja alle 5bar:in paineella, kunnes syöttöpaine nousi yli 5bar:iin, jossa 8/6mm:n alipaineletkun hyötysuhde ei pysynyt muiden letkujen tasolla.

- Paras hyötysuhde ejektorilla on syöttöpaineen ollessa 5-6bar:ia ja alipaineletkun koon ollessa 25/18mm ( $-P/P_{\text{syöttö}} \sim 14,5\%$ ).
- Verrattaessa M20L -ejektoriin on selkeästi havaittavissa keskialueella paremmat hyötysuhteet ja laajempi hyödyllinen syöttöpainealue. Syöttöpaineen ollessa yli 2bar:ia on hyötysuhde ejektorilla yli 12,5% ( $-P/P_{\text{syöttö}} \sim 12,5-14\%$ ).
- Alipainemittaukset on suoritettu 8/6mm:n syöttöletkulla, analogisessa mittarissa ei havaittu alipaine-eroja 6/4mm:n ja 8/6mm:n syöttöletkujen välillä.

#### 4.2.2 M60L



KUVIO 16. Ejektorin luoma alipaine (-kPa) eri syöttöpaineilla ja sen muutos syöttöletkun koon kasvaessa.

TAULUKKO 3. Hyötysuhteet erikokoisilla syöttöletkuilla ja syöttöpaineilla (-P / P<sub>syöttö</sub>).

Syöttöpaine (bar)	Hyötysuhteet eri syöttöletkuilla	
	10/8mm	8/6mm
0,5	6%	0%
1	13%	1%
1,5	19%	7%
2	20%	9,5%
2,5	22%	11,5%
3	22,5%	12,5%
3,5	23%	13,5%
4	22,5%	15%
4,5	20%	15%
5	18%	16%
5,5	16%	15,5%
6	15%	15%

Huomioitavia asioita:

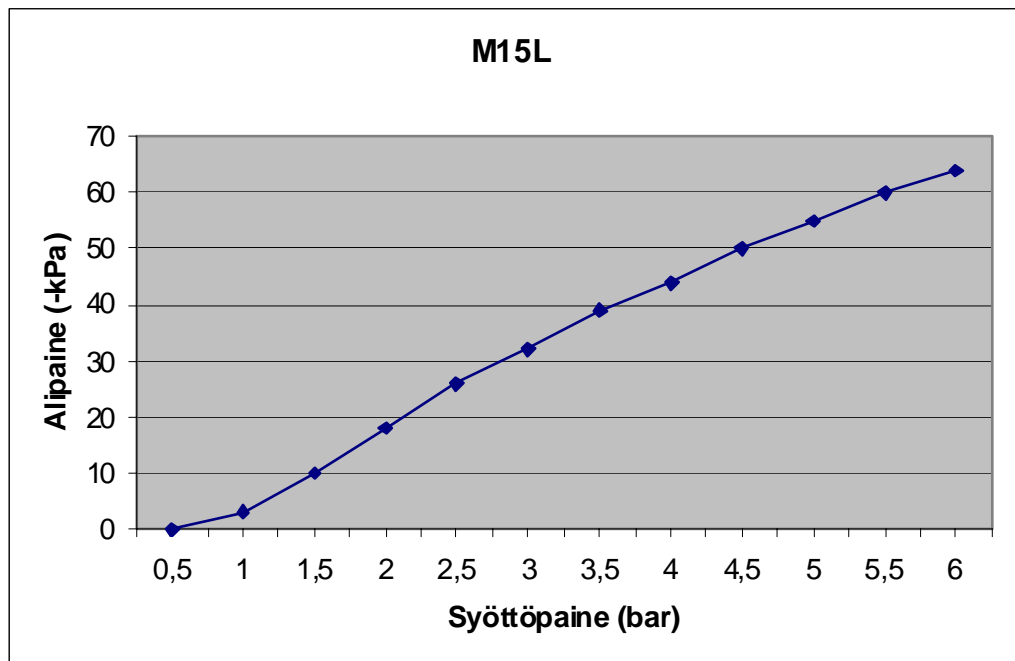
- Mittausten virhearvio on noin  $\pm 5\%$ .
- Syöttöpainetta valittaessa on kuitenkin otettava huomioon ilmankulutus, joka lisääntyy syöttöpaineletkun sisähalkaisijan kasvaessa.
- Mittauksissa käytettiin suodatinta, mittausten yhteydessä on tarkasteltu suodattimen luomaa vaikutusta, eikä mittauksissa havaittu suodattimen vähentävän alipainetta.

Havaintoja mittauksista:

- Ejektorin luoma alipaine on pienempiin ejektoreihin verrattuna enemmän riippuvainen oikeasta syöttöpaineletkun koosta.
- Käytettäessä erikokoisia alipaineletkuja samoilla syöttöpainealueilla, ei alipaineessa syntynyt havaittavia eroja.

- Paras hyötysuhde ejektorilla on syöttöpaineen ollessa 3,5bar:ia ja syöttöpaineletkun koon ollessa 10/8mm:ä. ( $-P/P_{\text{syöttö}} \sim 23\%$ ).
- Verrattaessa M50L -ejektoriin on selkeästi havaittavissa paremmat hyötysuhteet ja laajempi hyödyllinen syöttöpainealue. Tämä kuitenkin edellyttää käytettävän painesyöttönä 10/8mm:n letkua. Syöttöpaineen ollessa yli 2bar:ia on hyötysuhde ejektorilla yli 20% ( $-P/P_{\text{syöttö}} \sim 19-23\%$ ).
- Käytettäessä liian pientä syöttöpaineletkua ko. ejektorilla, voivat hyötysuhteet olla jopa puolet pienemmät.

#### 4.2.3 M15L



KUVIO 17. Ejektorin luoma alipaine (-kPa) eri syöttöpaineilla (bar) syöttöletkun koon ollessa 12/9mm.

TAULUKKO 4. Hyötysuhteet eri syöttöpaineilla, syöttöletkun koon ollessa 12/9mm:ä ja alipaineletkun koon ollessa vakio 48/37mm:ä ( $-P / P_{\text{syöttö}}$ ).

Syöttöpaine (bar)	Hyötysuhde
	48/37mm
0,5	0%
1	3%
1,5	6,5%
2	9%
2,5	11,5%
3	10,5%
3,5	11%
4	11%
4,5	11%
5	11%
5,5	11%
6	10,5%

Huomioitavia asioita:

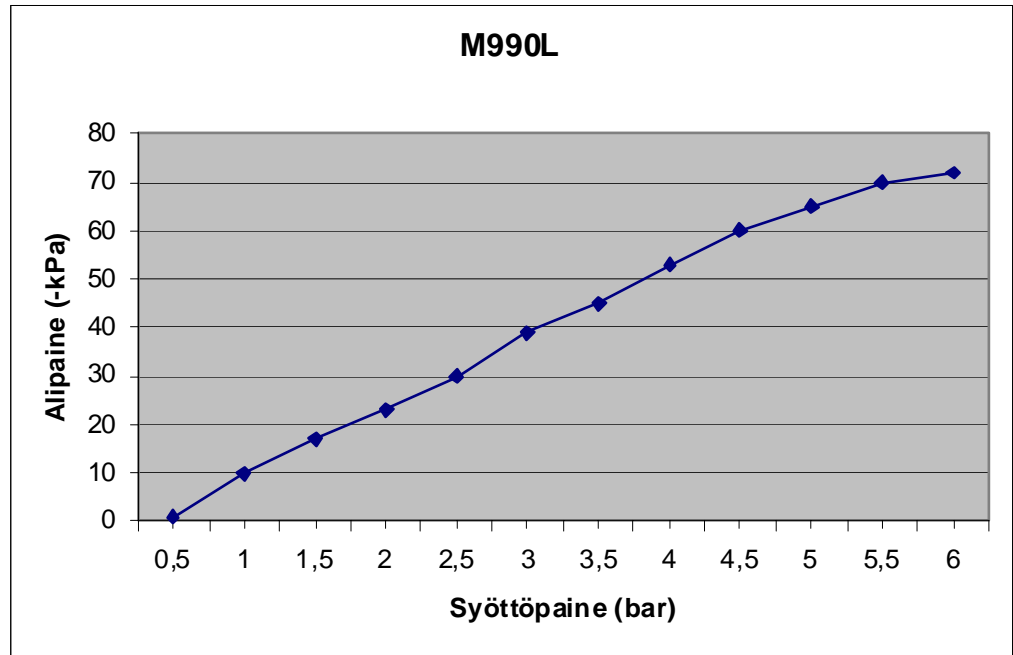
- Mittausten virhearvio on noin  $\pm 5\%$ .
- Syöttöpainetta valittaessa on otettava huomioon ilmankulutus, joka lisääntyy syöttöpaineletkun sisähalkaisijan kasvaessa.
- Mittauksissa ei käytetty suodatinta, koska rakenteellisista syistä se ei ollut mahdollista.

Havaintoja mittauksista:

- Mittausten mukaan paras hyötysuhdealue ejektorilla on melko laaja, syöttöpaineen ollessa 2,5-6bar:ia ( $-P / P_{\text{syöttö}} \sim 11\%$ ).
- Maksimi alipaineet eivät yllä pienempien ejektorien tasolle

- Alipainemittaukset on suoritettu 12/9mm:n syöttöletkulla, ejektorin omassa analogisessa mittarissa ei havaittu eroja 12/9mm:n ja 10/8mm:n syöttöletkujen välillä.

#### 4.2.4 M990L



KUVIO 18. Ejektorin luoma alipaine (-kPa) eri syöttöpaineilla (bar) syöttöletkun koon ollessa 12/9mm.



TAULUKKO 5. Hyötysuhteet eri syöttöpaineilla, syöttöletkun koon ollessa 12/9mm:ä ja alipaineliittimen koon ollessa vakio 27/21mm:ä ( $-P/P_{\text{syöttö}}$ ).

Syöttöpaine (bar)	Hyötysuhde
	27/21mm
0,5	2%
1	10%
1,5	11,5%
2	11,5%
2,5	12%
3	13%
3,5	13%
4	13,5%
4,5	13,5%
5	13%
5,5	12,5%
6	12%

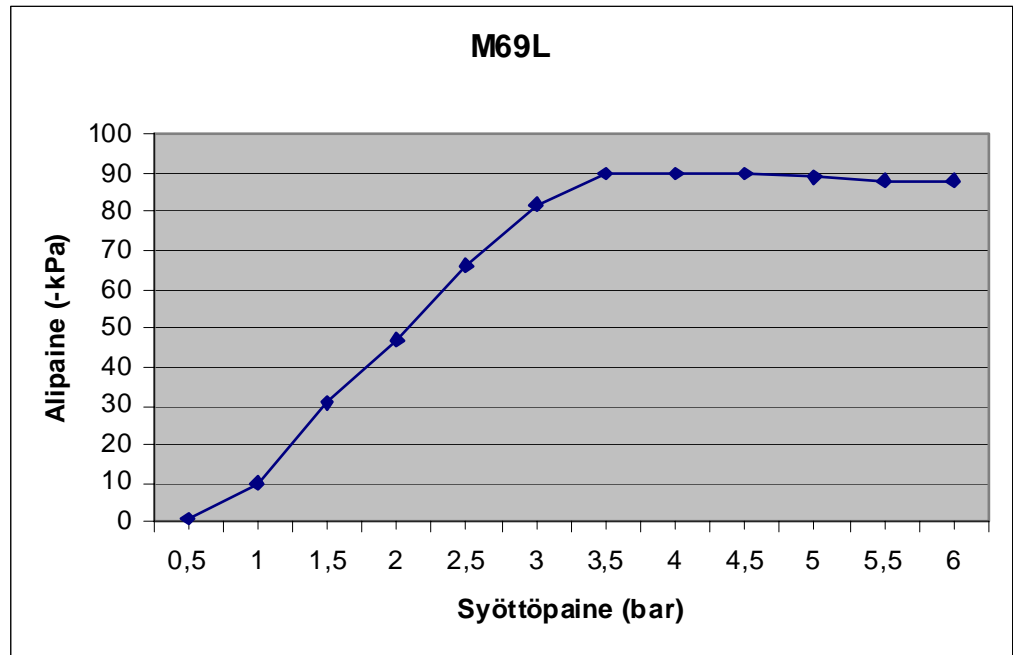
Huomioitavia asioita:

- Mittausten virhearvio on noin  $\pm 5\%$ .
- Syöttöpainetta valittaessa on otettava huomioon ilmankulutus, joka lisääntyy syöttöpaineletkun sisähalkaisijan kasvaessa.

Havainnot mittaustuloksista:

- Mittausten mukaan paras hyötysuhdealue ejektorilla on melko laaja, syöttöpaineen ollessa 2,5-6bar:ia ( $=-P/P_{\text{syöttö}} \sim 12-13,5\%$ ).
- Maksimi alipaineet eivät yllä edellisten ejektorien tasolle, pl. M15L.
- Alipainemittaukset on suoritettu 12/9mm:n syöttöletkulla, ejektorin omassa analogisessa mittarissa ei havaittu eroja 12/9mm:n ja 8/6mm:n syöttöletkujen välillä.

## 4.2.5 M69L



KUVIO 19. Ejektorin luoma alipaine (-kPa) eri syöttöpaineilla (bar) syöttöletkun koon ollessa 12/9mm.

TAULUKKO 6. Hyötysuhteet eri syöttöpaineilla, syöttöletkun koon ollessa 12/9mm:ä ja alipaineliittimen koon ollessa vakio 27/21mm:ä ( $-P/P_{\text{syöttö}}$ ).

Syöttöpaine (bar)	Hyötysuhde
	27/21mm
0,5	2%
1	10%
1,5	20%
2	23,5%
2,5	26,5%
3	27,5%
3,5	25,5%
4	22,5%
4,5	20%
5	18%
5,5	16%
6	14,5%

Huomioitavia asioita:

- Mittausten virhearvio on noin  $\pm 5\%$ .
- Syöttöpainetta valittaessa on otettava huomioon ilmankulutus, joka lisääntyy syöttöpaineletkun sisähalkaisijan kasvaessa.

Havaintoja mittauksista:

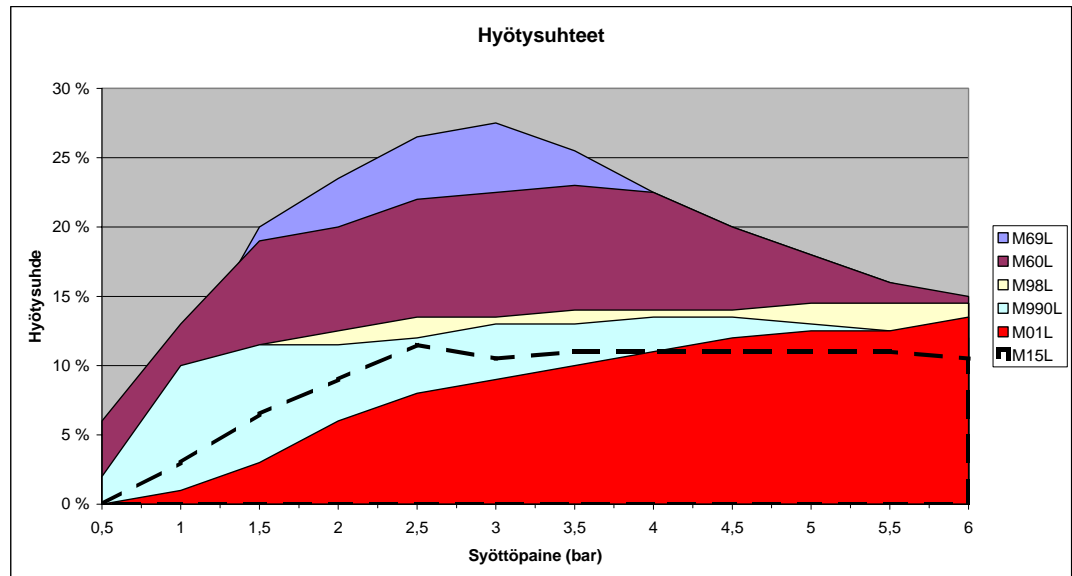
- Mittausten mukaan paras hyötysuhdealue ejektorilla on melko laaja, syöttöpaineen ollessa 1,5-5bar:ia ( $-P/P_{\text{syöttö}} \sim 20-27,5\%$ ).
- Paras hyötysuhde ejektorilla on syöttöpaineen ollessa 3bar:ia ja syöttöpaineletkun koon ollessa 12/9mm:ä. ( $-P/P_{\text{syöttö}} \sim 27,5\%$ ).
- Ejektorin hyötysuhteet ovat verratuista ejektoreista kaikkein parhaimmat.

- Alipainemittaukset on suoritettu 12/9mm:n syöttöletkulla, ejektorin omassa analogisessa mittarissa havaittiin lieviä eroja 12/9mm:n ja 8/6mm:n syöttöletkujen välillä, mutta ne eivät ylitä virhearviota.

#### 4.2.6 Yhteenveto ejektoreista

Yhteenvetona ejektoreista voidaan todeta seuraavaa:

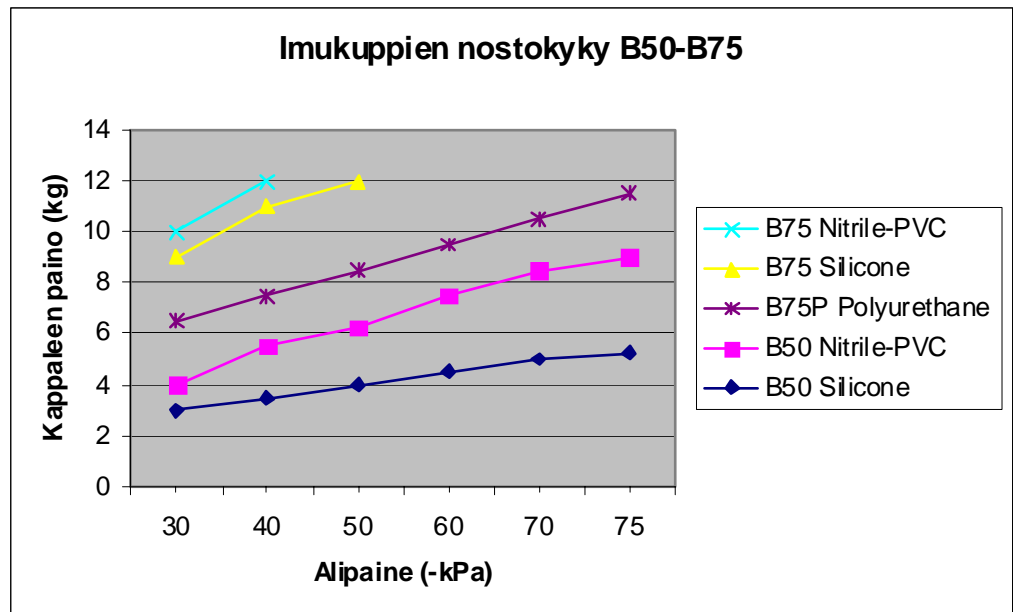
- Suodattimella ei ole vaikutusta testatuilla alipainealueilla.
- Suuria alipaineita saadaan luotua myös pienemmillä ejektoreilla.
- Poistoilma-aukon mutka ei vaikuta ejektorien alipaineeseen, kunhan poistoilma vapautuu esteettä.
- Syöttöletkun koko 10/8mm:
  - M60L
  - M69L
  - M15L
- Syöttöletkun koko 8/6mm:
  - M01L (6/4mm)
  - M98L (6/4mm)
  - M990L



KUVIO 20. Ejektorien hyötysuhteet ( $-P/P_{\text{syöttö}}$ ).

#### 4.3 Imukupit

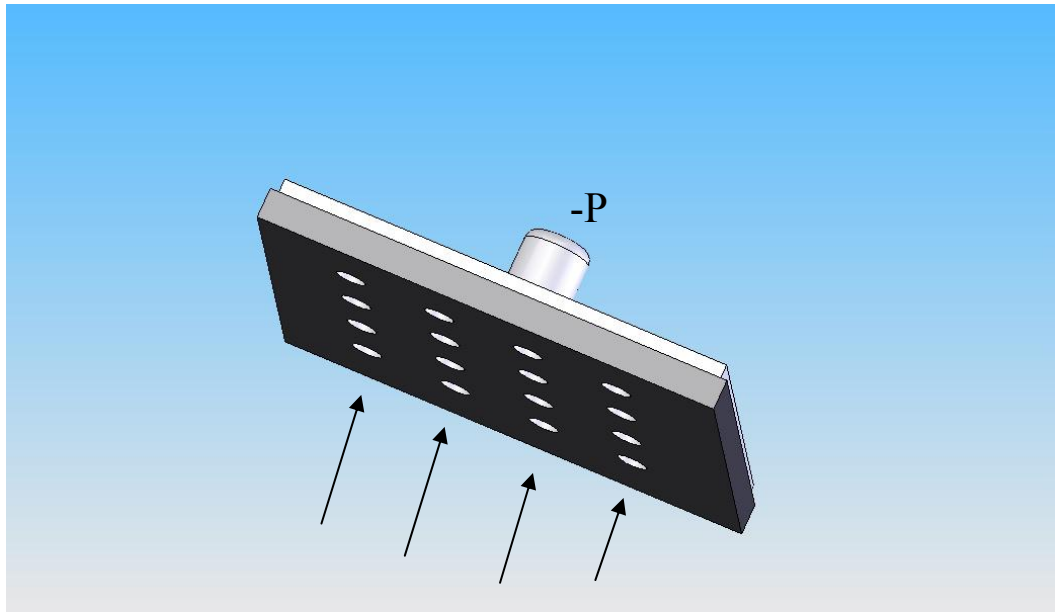
Imukuppien ohjeistetut nostokyvyt löytyvät PIAB:n katalogista, mutta se ei selvinnyt, miten materiaali vaikuttaa imukupin nostokykyyn. Ohjeistetut nostokyvyt pätevät nitrile-PVC -materiaaliin. Maksimipaino tuli vastaan 12 kg:n kohdalla, koska sileä pahvi ei kestänyt suurempaa painoa kyseisillä imukupeilla. Erot nitrilen ja silikonin välillä kasvoivat nostettavan kappaleen painon kasvaessa. Suuret taakat aiheuttivat pehmeän silikonin ideaalimuodon murtumisen, minkä vuoksi nostettavan kappaleen ja imukupin välille muodostui alipainetta vähentävä ilmaraako.



KUVIO 21. Materiaalin vaikutus imukupin nostokykyyn.

#### 4.4 Solukumit

Solukumeja oli kahta erilaista, ja niitä vertailtiin alipaineen muutoksilla ja luomalla erityyppisiä rakenteita. Havaittiin, että kohtuullisiin nostokykyihin vaaditaan pehmeämpi solukumi. Ongelmaksi pehmeämmässä mallissa kuitenkin muodostui sen hidas palautuminen normaaliin muotoonsa ja kriittisimmäksi ongelmaksi nostokyvyn epävarmuus. 60kPa alipaineella saatiin jopa 175% ero (4kg /7kg). Solukumi vaati ko. painealueella jopa viiden sekunnin tiukan kontaktiajan, jotta päästään lähelle neljää kiloa, mutta sen palautuminen normaaliin muotoonsa vaati saman ajan. Ongelma johtuu materiaalin pehmeästä, ontelomaisesta rakenteesta, joiden tyhjentymisen ja täyttymisen vaatii aikaa. Verrattaessa esimerkiksi B50 -imukuppiin, joka on kooltaan kolmasosan testatusta solukumista, 40kPa alipaineella saatiin näiden nostokykyjen välille jopa 250% ero (2kg /5kg). Solukumin nostokykyä saatiin parannettua lisäämällä kumin seinäpaksuutta. On kuitenkin selvää, kumpi on parempi: imukuppi on asennettavuudeltaan, käytettävyydeltään, nostokyvyltään ja huollettavuudeltaan parempi ja varmempi. Solukumi saattaa olla suhteellisesti parempi ratkaisu suurissa sovelluksissa, joissa vaaditaan usean kevyen kappaleen noston, mutta se vaatii yksilöllisemmän vertailun.



KUVIO 22. Solukumin 3D-mallinnus.

## 5 YHTEENVETO

Työssä käytiin läpi alipainetekniikan komponentteja, kuten imukuppeja, lisälaitteita sekä ejektoreita. Alipainelaitteista tutkittiin niiden ilmankulutuksia, hyötysuhteita, nostokykyjä ja materiaalikohtaisia ominaisuuksia. Tulokset olivat joiltain osin yllättäviä, kuten materiaalin vaikutus imukupin nostokykyyn, josta syntyi jopa kaksinkertaisia eroja. Ejektoreissa kannattaa ottaa huomioon realistinen syöttöpaineen tarve. Tutkimuksesta voidaan todeta, että kustannus- sekä toimintatehokkuuksissa päästään suuriin säästöihin pitkällä tähtäimellä, mikäli käytetään sovelluksiin niille parhaiten soveltuvia komponentteja. Koska alipainetekniikassa on monta muuttuvaa tekijää, olisi hyvä pitää toimitetuista sovelluksista tietokantaa, josta käyvät ilmi kaikki toimituksissa käytetyt komponentit ja asennustekniset asiat. Tämä mahdollistaa selkeän jälkimarkkinoinnin mahdollisten päivitysten, laitteiden ja tuotekehitysten edistyessä.



## LÄHTEET

PIAB Vacuum Technigue catalogue (7.0). PIAB 10.01.2007 [viitattu 20.02.2009].  
Saatavissa: <http://www.piab.com/upload/GB/Documents/ContactSupport/Literature/ProductCatalogues/1Vacuum%20Technique%207.0%20complete.pdf>

Fluid Finland 1/2007. Fluid klinikka no 6. Veli Hulkkonen [viitattu 20.02.2009].  
Saatavissa: <http://www.fluidfinland.fi/content/download/225/1376/file/ejektorit.pdf>

Univer alipaine-ejektorit. Univer tuoteluettelo 2008 [viitattu 20.02.2009]. Saatavissa: [http://www.universervice.fi/Portals/137/Esitteet/Tuoteluettelo%202008/Univer\\_alipaine-ejektorit.pdf](http://www.universervice.fi/Portals/137/Esitteet/Tuoteluettelo%202008/Univer_alipaine-ejektorit.pdf)

# Series Variation

## SERIES PF2A-PF2W

### For Air Series PF2A P. 16-11-7



Integrated display type	Remote type		Flow rate measurement range l/min	Output specifications			Port size (Rc, NPT, G)							
	Display unit	Sensor unit		Switch output	Analog output	Accumulated pulse output	1/8	1/4	3/8	1/2	1	1 1/2	2	
PF2A710	PF2A30 □	PF2A510	1 to 10	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○
750		550	5 to 50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
711	31 □	511	10 to 100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
721		521	20 to 200	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
751		551	50 to 500	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
703H	-	-	150 to 3000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
706H		-	300 to 6000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
712H		-	600 to 12000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ : Output from integrated display type and remote display unit type  
 ● : Output from remote sensor unit type

### For Water Series PF2W P. 16-11-17



Integrated display type	Remote type		Flow rate measurement range l/min	Output specifications			Port size (Rc, NPT, G)			
	Display unit	Sensor unit		Switch output	Analog output	Accumulated pulse output	3/8	1/2	3/4	1
PF2W704	PF2W30 □	PF2W504	0.5 to 4	○	○	○	○	○	○	○
720		520	2 to 16	○	○	○	○	○	○	○
740	33 □	540	5 to 40	○	○	○	○	○	○	○
711		511	10 to 100	○	○	○	○	○	○	○

○ : Output from integrated display type and remote display unit type  
 ● : Output from remote sensor unit type

### For High Temperature Fluid (Water 90 °C) Series PF2W P. 16-11-26



Integrated display type	Remote type		Flow rate measurement range l/min	Output specifications			Port size (Rc, NPT, G)		
	Display unit	Sensor unit		Switch output	Analog output	Accumulated pulse output	3/8	1/2	3/4
PF2W704T	PF2W30 □	PF2W504T	0.5 to 4	○	○	○	○	○	○
720T		520T	2 to 16	○	○	○	○	○	○
740T	-	540T	5 to 40	○	○	○	○	○	○

○ : Output from integrated display type and remote display unit type  
 ● : Output from remote sensor unit type

CE For details about certified products conforming to international standards, visit us at [www.smcworld.com](http://www.smcworld.com).

# Digital Flow Switch For Air Series PF2A

## How to Order

**Integrated display type** PF2A7 10 — [ ] 01 — 27 [ ] [ ]

**Flow rate range**

10	1 to 10 $\mu$ min
50	5 to 50 $\mu$ min
11	10 to 100 $\mu$ min
21	20 to 200 $\mu$ min
51	50 to 500 $\mu$ min

**Thread type**

NII	Rc
N	NPT
F	G

**Port size**

Symbol	Port size	Flow rate ( $\mu$ min)	Applicable model
01	1/8	● ●	PF2A710, PF2A750
02	1/4	● ●	
03	3/8	● ●	PF2A711, PF2A721
04	1/2	●	PF2A751

**Wiring specifications**


NII	3 m lead wire with connector
N	Without lead wire

**Unit specifications**

NII	With unit switching function
M	Fixed SI unit (Note)

**Output specifications**

Symbol	Output specifications	Applicable model
27	NPN open collector 2 outputs	PF2A710, PF2A750 PF2A711, PF2A721, PF2A751
67	PNP open collector 2 outputs	PF2A710, PF2A750 PF2A711, PF2A721/PF2A751



- ZSE
- ISE
- PSE
- SE3
- PS
- SE2
- ZSP
- ISA2
- IS
- ZSM
- PF2
- IF
- Data

## Specifications

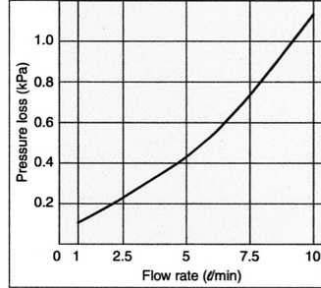
Model	PF2A710	PF2A750	PF2A711	PF2A721	PF2A751
Measured fluid	Air, Nitrogen				
Flow rate measurement range	0.5 to 10.5 $\mu$ min	2.5 to 52.5 $\mu$ min	5 to 105 $\mu$ min	10 to 210 $\mu$ min	25 to 525 $\mu$ min
Set flow rate range	0.5 to 10.5 $\mu$ min	2.5 to 52.5 $\mu$ min	5 to 105 $\mu$ min	10 to 210 $\mu$ min	25 to 525 $\mu$ min
Flow rate measuring range	1 to 10 $\mu$ min	5 to 50 $\mu$ min	10 to 100 $\mu$ min	20 to 200 $\mu$ min	50 to 500 $\mu$ min
Minimum set unit	0.1 $\mu$ min	0.5 $\mu$ min	1 $\mu$ min	2 $\mu$ min	5 $\mu$ min
Accumulated pulse flow rate exchange value (Pulse width: 50 ms)	0.1 $\mu$ pulse	0.5 $\mu$ pulse	1 $\mu$ pulse	2 $\mu$ pulse	5 $\mu$ pulse
Display unit <sup>Note 1, 2)</sup>	Real-time flow rate		Real-time flow rate		
	$\mu$ min, CFM x 10 <sup>-2</sup>		$\mu$ min, CFM x 10 <sup>-1</sup>		
Accumulated flow		Accumulated flow			
$\mu$ min, CFM x 10 <sup>-2</sup>		$\mu$ min, CFM x 10 <sup>-1</sup>			
Operating fluid temperature	0 to 50°C				
Linearity	$\pm$ 5% F.S. or less				
Repeatability	$\pm$ 1% F.S. or less				
Temperature characteristics	$\pm$ 3% F.S. or less (15 to 35°C, based on 25°C), $\pm$ 5% F.S. or less (0 to 50°C, based on 25°C)				
Current consumption (No load)	150 mA or less		160 mA or less		170 mA or less
Weight <sup>Note 3)</sup>	250 g		290 g		290 g
Port size (Rc, NPT, G)	1/8, 1/4		3/8		1/2
Detection type	Heater type				
Display	3-digit, 7-segment LED				
Operating pressure range	-50 kPa to 0.5 MPa		-50 kPa to 0.75 MPa		
Proof pressure	1.0 MPa				
Accumulated flow range	0 to 999999 $\mu$				
Output <sup>Note 4)</sup> specifications	Switch output		Switch output		
	NPN open collector		NPN open collector		
Accumulated pulse output	NPN or PNP open collector (same as switch output)				
Indicator light	Lights up when output is ON OUT1: Green; OUT2: Red				
Response time	1sec. or less				
Hysteresis	Hysteresis mode: Variable (can be set from 0), Window comparator mode: 3-digit fixed <sup>Note 5)</sup>				
Power supply voltage	12 to 24 VDC (Ripple $\pm$ 10% or less)				
Resistance	Enclosure				
	IP65				
	Operating temperature range				
	Operating: 0 to 50°C, Stored: -25 to 85°C (No condensation or freezing)				
	Withstand voltage				
	1000 VAC for 1 min. between external terminal and case				
Insulation resistance					
50 M $\Omega$ (500 VDC) between external terminal and case					
Vibration resistance					
10 to 500 Hz at whichever is smaller: 1.5 mm amplitude or 98 m/s <sup>2</sup> acceleration, in X, Y, Z directions for 2 hrs. each (De-energized)					
Impact resistance					
490 m/s <sup>2</sup> in X, Y, Z directions 3 times each					
Noise resistance					
1000 Vp-p, Pulse width 1 $\mu$ s, Rise time 1 ns					

Note 1) For digital flow switch with unit switching function. (Fixed SI unit [ $\mu$ min, or  $\mu$ , m<sup>3</sup> or m<sup>3</sup> x 10<sup>3</sup>]) will be set for switch type without the unit switching function.)  
 Note 2) Flow rate display can be switched between the basic condition of 0°C, 101.3 kPa and the standard condition (ANR) of 20°C, 101.3 kPa, and 65% RH.  
 Note 3) Without lead wire.  
 Note 4) Switch output and accumulated pulse output can be selected during initial setting.  
 Note 5) Window comparator mode — Since hysteresis will reach 3 digits, keep P\_1 and P\_2 or n\_1 and n\_2 apart by 7 digits or more. (In case of output OUT2, n\_1, 2 to be n\_3, 4 and P\_1, 2 to be P\_3, 4.)  
 Note 6) The flow switch is conformed to CE mark.

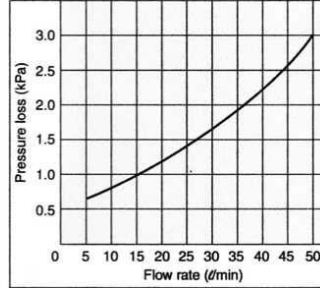
## Series PF2A

### Flow Characteristics (Pressure loss)

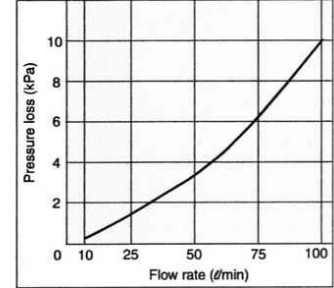
PF2A710/510



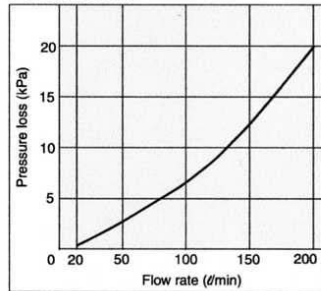
PF2A750/550



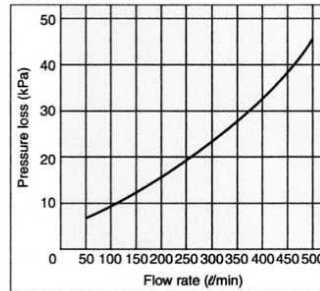
PF2A711/511



PF2A721/521

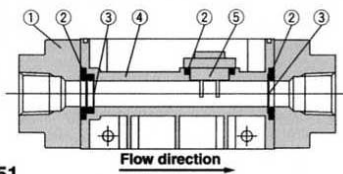


PF2A751/551



### Sensor Unit Construction

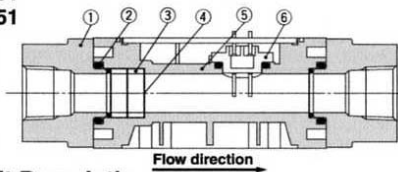
PF2A710/750  
PF2A510/550



#### Component Parts

No.	Description	Material
①	Attachment	ADC
②	Seal	NBR
③	Mesh	Stainless steel
④	Body	PBT
⑤	Sensor	PBT

PF2A711/721/751  
PF2A511/521/551



#### Component Parts

No.	Description	Material
①	Attachment	ADC
②	Seal	NBR
③	Spacer	PBT
④	Mesh	Stainless steel
⑤	Body	PBT
⑥	Sensor	PBT

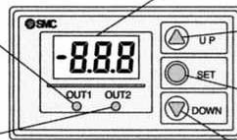
### Operating Unit Descriptions

#### RESET Buttons

Press the ▲ and ▼ buttons simultaneously to activate the RESET function. This clears the unit when an abnormality occurs and resets the accumulated flow display to "0".

**Output (OUT1) Indicator: Green**  
Lights up when OUT1 is ON. Blinks when an overcurrent error occurs on OUT1.

**Output (OUT2) Indicator: Red**  
Lights up when OUT2 is ON. Blinks when an overcurrent error occurs on OUT2.



#### LED Display

Displays the real-time flow rate, accumulated flow, and set value. The ■ mark blinks when the accumulated flow is being measured.

**UP Button (▲ Button)**  
Use this button to increase a set value.

**SET Button (● Button)**  
Use this button to change a set value or any of the modes.

**DOWN Button (▼ Button)**  
Use this button to decrease a set value.

### Connectors

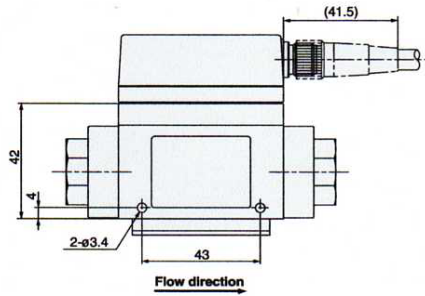
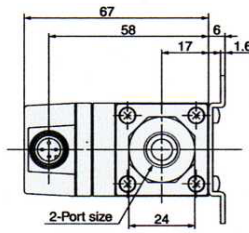
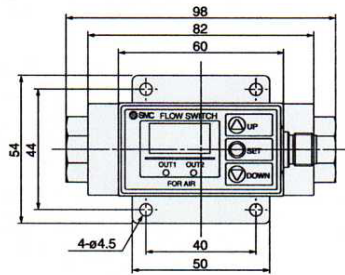
Connectors shown below are applicable (female contact). Contact each manufacturer for details.

Connector size	Number of pins	Manufacturer	Applicable series
M12	4	Correns Corporation	VA-4D
		OMRON Corporation	XS2
		Yamatake Corporation	PA5-41
		Hirose Electric Co., Ltd.	HR24
		DDK Ltd.	CM01-8DP4S

Digital Flow Switch  
For Air **Series PF2A**

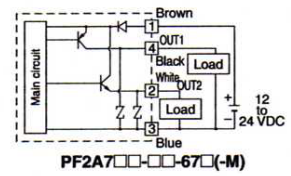
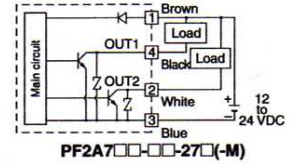
**Dimensions: Integrated Display Type for Air**

**PF2A710/750**



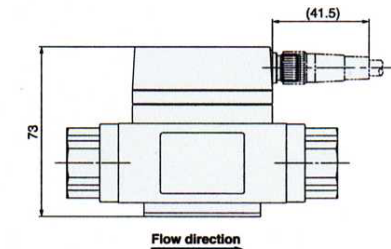
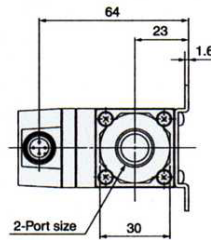
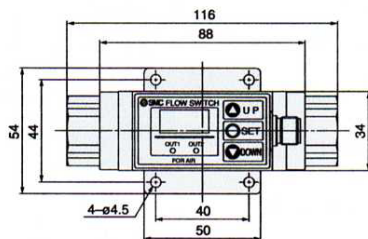
**Internal circuit and wiring example**

① to ④ are terminal numbers.

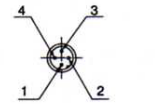


- ZSE
- ISE
- PSE
- SE3
- PS
- SE1
- ZSP
- ISA2
- IS
- ZSM
- PF2
- IF
- Data

**PF2A711/721/751**



**Connector pin numbers**



Pin no.	Pin description
1	DC (+)
2	OUT2
3	DC (-)
4	OUT1

**ACCESSORIES**



**VACUUM GAUGE AND MANOMETERS**



- ▶ Analogue indicator, springjoint – lever system
- ▶ The instruments include nut for installation on a panel

**TECHNICAL DATA**

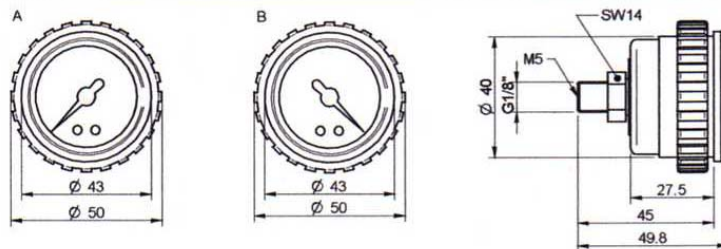
Description	Unit	Value
Accuracy, of full scale	%	2.5
Material		CuZn, ABS, PMMA

**TECHNICAL DATA, SPECIFIC**

Description	Unit	3101602	3101603	3101626
Weight	g	90	55	50
Signal range	MPa	0-0.1	0-1	0-0.25
Medium		Vacuum	Over pressure	

**ORDERING INFORMATION**

	Description	Art. No.
B	Vacuum gauge 100 -kPa	3101602
A	Manometer 1 MPa	3101603
A	Manometer 250 kPa	3101626



**TABLES**

In everyday speech, many different expressions and units are used for both pressure and flow. It is important to agree on what is meant by them.

**PRESSURE**

$P=F/A$  (Force/Area).

SI unit (Système International d'Unités): Pascal (Pa). 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>.

Common multiple units: MPa and kPa.

Pa (N/m <sup>2</sup> )	bar	kp/cm <sup>2</sup>	torr	psi (lbf/in <sup>2</sup> )
1	0.00001	10.1972x10 <sup>-6</sup>	7.50062x10 <sup>-3</sup>	0.145038x10 <sup>-3</sup>
100 000	1	1.01972	750.062	14.5038
98 066.5	0.980665	1	735.559	14.2233
133.322	1.33322x10 <sup>-3</sup>	1.35951x10 <sup>-3</sup>	1	19.3368x10 <sup>-3</sup>
6 894.76	68.9476x10 <sup>-3</sup>	0.145038x10 <sup>-3</sup>	51.7149	1

Table No. 1  
 1 torr = 1 mm HG à 0°C,  
 1 mm column of water = 9.81 Pa

**PRESSURE ABOVE ATMOSPHERIC**

kPa	bar	psi	kp/cm <sup>2</sup>
1,013	10.13	146.9	10.3
1,000	10	145	10.2
900	9	130.5	9.2
800	8	116	8.2
700	7	101.5	7.1
600	6	87	6.1
500	5	72.5	5.1
400	4	58	4.1
300	3	43.5	3.1
200	2	29	2
100	1	14.5	1
0	0	0	0

Table No. 2

**PRESSURE BELOW ATMOSPHERIC**

	kPa	mbar	torr	-kpa	-mmHg	-inHg	% vacuum
Sea level	101.3	1,013	760	0	0	0	0
	90	900	675	10	75	3	10
	80	800	600	20	150	6	20
	70	700	525	30	225	9	30
	60	600	450	40	300	12	40
	50	500	375	50	375	15	50
	40	400	300	60	450	18	60
	30	300	225	70	525	21	70
	20	200	150	80	600	24	80
	10	100	75	90	675	27	90
Absolute vacuum	0	0	0	101.3	760	30	100

Table No. 3



**CHANGE IN ATMOSPHERIC PRESSURE IN RELATION TO ALTITUDE (HEIGHT ABOVE SEA LEVEL)**

A vacuum gauge is normally calibrated with normal atmospheric pressure at sea level as a reference, 1013.25 mbar, and is influenced by the surrounding atmospheric pressure in accordance with the table below.

The vacuum gauge shows the differential pressure between atmospheric pressure and absolute pressure. This means that the gauge shows what vacuum level is available at different heights.

**ATMOSPHERIC PRESSURE**

mmHg	Barometric pressure		The reading on the vacuum gauge at 1,013.25 mbar				
	mbar	Equivalent m above sea level	60 -kPa	75 -kPa	85 -kPa	90 -kPa	99 -kPa
593	790.6	2,000	37.7	52.7	62.7	67.7	76.7
671	894.6	1,000	48.1	63.1	73.1	78.1	87.1
690	919.9	778	50.7	65.7	75.7	80.7	89.7
700	933.3	655	52.0	67.0	77.0	82.0	91.0
710	946.6	545	53.3	68.3	78.3	83.3	92.3
720	959.9	467	54.7	69.7	79.7	84.7	93.7
730	973.3	275	56.0	71.0	81.0	86.0	95.0
740	986.6	200	57.3	72.3	82.3	87.3	96.3
750	999.9	111	58.7	73.7	83.7	88.7	97.7
760	1,013.25	0	60.0	75.0	85.0	90.0	99.0

Table No. 4  
\*) at normal barometric pressure.

**FLOWS**

Flows, volume per unit of time. Quantity designations: Q, q, = V/t (volume/time).

SI Unit: cubic metres per second (m³/s).

Common multiple units: l/min, l/s, m³/h.

m³/s	m³/h	l/min	l/s	ft³/min (cfm) *
1	3,600	60,000	1,000	2,118.9
0.28x10³	1	16.6667	0.2778	0.5885
16.67x10⁶	0.06	1	0.0167	0.035
1x10³	3.6	60	1	2.1189
0.472x10³	1.6992	28.32	0.4720	1

Table No. 5  
\*) 1 ft = 0.305 m

**LEAKAGE FLOWS**

The table below shows the leakage flow at different levels and through an opening of 1 mm².

Vacuum level -kPa	Leakage flow l/s and mm²
10	0.11
20	0.17
30	0.18
40	0.2 *)

Table No. 6  
\*) From about 47 to 100 -kPa the flow is constant.



**PRESSURE DROP IN COMPRESSED AIR HOSES**

When installing compressed air hoses it is important that the dimension (diameter) and length do not lead to excessive pressure drops. PIAB vacuum pumps are supplied with recommended hose dimensions

that will not cause excessive pressure drops at lengths below 2 m.

In cases when the pressure drop has to be calculated, the formula below can be used.

$$\Delta P = \frac{1,6 \times 10^{12} \times qv^{1,85} \times L}{d^5 \times P1}$$

$$\Delta d = \left( \frac{1,6 \times 10^{12} \times qv^{1,85} \times L}{\Delta P \times P1} \right)^{0,2}$$

$\Delta P$  = Pressure drop in kPa

$qv$  = Flow in m<sup>3</sup>/s

$d$  = Inner diameter in mm

$L$  = Length of compressed air hoses in m

$P1$  = The absolute starting pressure in kPa

