

Ala-Kauppila Johannes

Pneumaattisen kuljetusjärjestelmän modernisointi

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Tekniikan yksikkö

Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Ala-Kauppila Johannes

Työn nimi: Pneumaattisen kuljetusjärjestelmän modernisointi

Ohjaaja: Kärkkäinen Markku

Vuosi: 2012

Sivumäärä: 31

Liitteiden lukumäärä: 1

Tämän työn tarkoitus on suunnitella Kopar Oy:n pneumaattisen kuljetusjärjestelmän testauslaitteiston päivitys sekä suunnitella ilmamäärän mittaus uudistettuun laitteistoon. Työssä tutkitaan laitteiston modernisoinniksi tarvittavia asioita, kuten paineilman teoriaa, automaatiota sekä erilaisia tapoja mitata ilmamäärää. Työssä keskitytään ilmamäärän mittauksen teoriaan sekä eri tapoihin millä se voidaan toteuttaa suunnitellussa laitteistossa. Työssä on käyty läpi viisi eri tapaa mitata ilmamäärää putkistossa. Työn lopussa on myös tekijän omia pohdintoja sopivaksi anturiksi.

Työn lopputuloksena selvisi menetelmä, jolla ilmamäärän mittaus voidaan toteuttaa uudistetussa laitteistossa.

Avainsanat: pneumaattinen, ilmamäärä, automaatio, anturi

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Technology

Specialisation: Machine Automation

Author: Ala-Kauppi Johannes

Title of thesis: Pneumatic conveying system modernization

Supervisor: Kärkkäinen Markku

Year: 2012

Number of pages: 31

Number of appendices: 1

The purpose of this thesis was to design an update for a pneumatic conveying system's test equipment and to design a system to measure air volume from this updated hardware. The thesis was commissioned by Kopar Oy.

The facts that were needed to modernize the hardware, such as the theory of compressed air, automation and different ways to measure the air volume are examined in the thesis. The thesis focuses on the theory of air volume measurement, and how it can be done for the planned hardware. Five different ways of how to measure air volume in the piping system are presented. At the end suggestions are given as to what would be the best sensor for the hardware.

As a result of the thesis a method to measure air volume in the updated hardware was found.

Keywords: pneumatic, air volume, automation, sensor

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
1 JOHDANTO.....	5
1.1 Työn tausta.....	5
1.2 Työn tavoite.....	5
1.3 Työn rakenne.....	5
1.4 Yritysesittely.....	6
2 Teoria.....	7
2.1 Jauheiden siirto.....	11
2.2 Harvasiirto (Diluted phase conveying).....	11
2.3 Tiheäsiirto (Dense Phase conveying).....	13
3 Automaatio.....	15
3.1 Prosessiautomaatio.....	15
4 Testauslaitteiston automatisointi.....	17
4.1 Virtausmittaukset.....	17
5 Mittaustavat ja mittalaitteet.....	19
5.1 Siivikkomittarit.....	19
5.2 Virtausmittaus kuristuselimillä.....	20
5.3 Patopaineeseen perustuvat kuristuselimet.....	23
5.4 Termiset mittausmenetelmät.....	24
5.5 Pyörrevirtausmittaus (Vortex-mittaus).....	25
5.6 Virtausmittaus Coriolisin-voimaan perustuen.....	27
5.7 Vertailua eri mittalaitteiden välillä.....	28
6 Yhteenveto.....	29
LÄHTEET.....	31
LIITTEET.....	32

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Kopar Oy tilasi Seinäjoen ammattikorkeakoululta uuden jauheiden siirtoon tarvittavan testauslaitteiston suunnittelun ja siihen liittyvät tutkimukset. Uudessa laitteistossa tulee olla ilmamäärän mittaus, joka vanhasta testauslaitteistosta puuttui. Tämän työn tarkoitus on tutkia ilmamäärän mittausta, mitä etuja ja millaisia mahdollisuuksia se antaa kyseiselle yritykselle. Myös ilmamäärän mittausantureiden liittäminen testauslaitteiston logiikan/teollisuus PC:n välille tulee tutkia.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on tehdä suunnitelma Kopar oy:n uudesta testauslaitteistosta. Tavoitteena on myös mahdollistaa uuden testauslaitteiston ilmamäärän mittausmahdollisuuksien hyödyntäminen yrityksen käyttöön.

1.3 Työn rakenne

Työ aloitettiin tutustumisella vanhaan mittauslaitteistoon ja perehtymällä sen toimintaan. Kone- ja tuotantotekniikan oppilaat aloittivat vanhan testauslaitteiston mallintamisen mittaamalla laitteiston ja tekemällä siitä CAD-mallin. Tutustuminen erilaiseen pneumatiikalla tehtävään materiaalinsiirtoon sekä siinä käytettävään automaatioon aloitettiin laitteistoon tutustumisen jälkeen.

1.4 Yritysesittely

Kopar Group on suunnittelun- ja valmistuksen hallitseva konepajayritys, jolla on pitkäaikainen kokemus jauhemaisten materiaalien käsittelystä erityisesti vaativissa olosuhteissa. Koparkonserniin kuuluu kolme toisiaan täydentävää yritystä: Kopar, Elmomet ja Siteteollisuus. Kopar Group toimittaa mekaanisia ja pneumaattisia materiaalin käsittelyjärjestelmiä, sulattojen prosessilaitteita ja raakaveden suodatuslaitteita. Kopar Oy:n tuottamia järjestelmiä on käytössä energia-, metallurgia- sekä sementti- ja kemianteollisuudessa. (Kopar [viitattu 16.3.2012].)

2 Teoria

Teollisuuden paineilman käyttö kasvaa nopeasti koko ajan. Mekaniikan sekä automaation yleistyminen uusilla teollisuuden aloilla on lisännyt paineilman käyttöä kaikessa teollisuudessa. Useilla aloilla paineilmajärjestelmät ovat suoraan verrattavissa tuottavuuteen; ilman paineilmaa prosessit ja erilaiset linjastot seisovat. Paineilma helpottaa monia erilaisia työtehtäviä. Se tekee niistä helpompia, nopeampia ja tekijälleen turvallisempia. Paineilmasta on tullut niin tavallinen käyttöhyödyke, että siihen kiinnitetään enää huomiota vain silloin jos sen kanssa on ongelmia. Paineilman tuottaminen vaatii energiaa, useimmiten sähköenergiaa, joka on kallista. (Airila, Hallikainen, Kääpä & Laurila 1983, 7.)

Paineilman hyötysuhde on yksi teollisuuden huonoimmista, joskus jopa vain muutamia prosentteja. Kuitenkin paineilmaa käytetään, koska sillä tehtävät työt korvaavat huonon hyötysuhteen. Huonoa hyötysuhdetta voidaan yrittää parantaa tai ainakin pitää kurissa oikeanlaisella laitteistolla, oikealla käytöllä sekä tuntemalla paineilmatekniikkaa. (Airila ym. 1983, 7.)

Paineilmaa käytetään hyvin erilaisissa teollisuuden palveluksissa ja prosesseissa tarvittavat laitteet ovat erilaisia. Pienimmät paineilmaa tuottavat laitteet eli kompressorit kuluttavat sähköä muutamia watteja ja suurimmat kymmeniä tuhansia kilowatteja. Käyttötarkoitus määrittelee osaltaan myös paineilmasta käytettävää nimeä. Niitä voi olla esim:

- työilma
- automaatioilma
- instrumentti-ilma
- käynnistysilma
- hengitysilma
- sairaalailma
- elintarvikeilma

- prosessi-ilma. (Airila ym. 1983, 7.)

Näiden lisäksi paineilmaa käytetään myös pneumaattiseen siirtoon, pintakäsittelyyn sekä moniin muihin teollisuuden tehtäviin. Kaikki nämä tehtävät antavat omat vaatimuksensa paineilmalle. Tämän takia on kehitetty paljon erilaisia kompressoreita ja jälkikäsitteilymenetelmiä. (Airila ym. 1983, 7.)

Paineilmalaitteiston käyttöikä on monia vuosia eli kyse on pitkän aikavälin investoinnista. Laitteistokustannukset nousevat niiden tarpeen mukaan: jatkuvalla käytöllä olevan kompressorin kustannukset nousevat vuodessa yhtä suureksi kuin laitteiston hankintahinta. Näin ollen paineilmajärjestelmää ostettaessa tulee huomioida, että laitteiston käyttökustannuksilla on suurempi merkitys kuin laitteiston hinnalla. (Airila ym. 1983, 8)

Erilaiset paineilmalaitteet ja kompressorit kuluttavat energiaa eri määriä riippuen käyttötavasta, vaikka paineilman tarve olisi yhtä suuri. Tähän vaikuttavat kompressoreiden automatiikka sekä laitteistossa olevan paineilmasäiliön tilavuus. Myös tapa millä paineilma jaetaan eri käyttötarpeisiin vaikuttavaa loppukustannuksiin. Käyttötarpeen mukainen ja oikein suunniteltu laitteisto voi säästää yritykseltä käyttö- sekä ylläpitokustannuksissa suuria määriä. (Airila ym. 1983, 8.)

Paineilmalla tehdään monia erilaisia töitä jotka vaativat paineilmajärjestelmältä erilaisia asioita. Tärkeimpiä näistä ovat:

- ilmamäärä
- ilman laatu
- tarvittava paine
- kulutuksen vaihtelut
- käyttövarmuus. (Airila ym. 1983, 9.)

Ilmamäärä erilaisissa tehtävissä vaihtelee todella paljon ja se vaikuttaa valittavaan kompressoriin olennaisesti. Tarkasteltaessa kokonaisilmamäärää pitää huomioida laitteen käyttöaste sekä se kuinka monta erilaista tehtävää paineilmalla tehdään yhtä aikaa. (Airila ym. 1983, 9.)

Ilman laatu on myös tärkeä tekijä järjestelmässä. Teollisuudessa voidaan harvoin käyttää käsittelemätöntä paineilmaa. Paineilma sisältää erilaisia epäpuhtauksia kuten öljyä ja kosteutta, joten tällaiset epäpuhtaudet täytyy poistaa osittain tai kokonaan riippuen paineilman käyttötarkoituksesta. Paineilman puhdistusta kutsutaan jälkikäsitteilyksi ja siihen kuluu lisäenergiaa. Yksittäinen suodatin tai puhdistuslaite kasvattaa koko laitteiston painehäviötä, mutta oikein jälkikäsitelty paineilma tuo säästöä ja kasvattaa laitteiden käyttöikä. Väärin suunniteltu laitteisto voi aiheuttaa tilanteen, jossa jälkikäsitteilyn kustannukset ovat korkeammat kuin siitä saatava hyöty. Laitteisto, johon on liitetty mahdollisimman paljon erilaisia ilmaa puhdistavia laitteita sekä suodattimia, ja jonka lopputuote on todella puhdasta paineilmaa, voidaan rakentaa lisäämällä erilaisia puhdistuslaitteita järjestelmään. Laitteistoa suunniteltaessa pitää kuitenkin miettiä onko näin puhtaalle paineilmalle todella tarvetta, koska käyttökustannukset voivat olla kymmeniä prosentteja korkeammat. (Airila ym. 1983, 9)

Kun tiedetään prosessiin tarvittava ilmamäärä sekä ilman laatuvaatimukset, voidaan siirtyä tarvittavan paineen tutkimiseen. Järjestelmän työpaineen tulisi olla mahdollisimman alhainen, minkä takia tulisi valita riittävän suuri kompressori laitteistolle. Työpaineen ollessa korkea suhteessa laitteiston kokoon, kompressorin tuotto laskee ja tämä heikentää hyötysuhdetta. Jos jokin laite tai prosessin tehtävä toimii alemmalla paineella kuin järjestelmä antaa myöden, nousee ilmankulutus sekä energiantarve, sillä se ei riitä siitä saatavaan hyötöyn nähden. Tällaisten laitteiden eteen voidaan asentaa paineenalennusventtiili. Kasvavan ilmankulutuksen haitta on suurempi kuin siitä johtuva painehäviö. (Airila ym. 1983,11.)

Kulutuksen vaihtelut vaativat laitteistolta erilaisia asioita. Joissain tapauksissa paineilmaa tarvitaan ainoastaan muutamia tunteja päivässä, toisessa taas paineilmaa

tarvitaan vuorokauden ympäri. Erilaisiin tilanteisiin pitää valita erilainen kompressori. (Airila ym 1983, 11.)

Käyttövarmuus on yksi merkittävä tekijä järjestelmässä, sillä prosessin keskeytyminen aiheuttaa kustannuksia yritykselle. Käyttövarmuutta voidaan lisätä esimerkiksi mahdollistamalla varalaitteen liittäminen järjestelmään. Varalaitetta liitettäessä tulee ottaa huomioon alkuperäisen järjestelmän vaatimukset. Öljyttömään laitteistoon ei voi liittää voideltua kompressoria, koska se likaa järjestelmän käyttökelvottomaksi. (Airila ym 1983, 12.)

Ilmaa käytetään samalla tavoin kuin muitakin tavallisia käyttöhyödykkeitä, esimerkiksi sähkö-, vesi- ja lämpöenergiaa. Ilman käyttäminen teollisuudessa maksaa sen vaatiman energian takia. Paineilma on kallis energiamuoto, sillä sen tuottamiseen kuluu teollisuudessa ja tuotantolaitoksissa suuri määrä sähköenergiaa. Näiden kustannusten minimointiin on kehitetty erilaisia mittalaitteistoja ja antureita, joiden avulla voidaan optimoida ilman käyttö. Mittalaitteistoilla voidaan havaita erilaisia vuotoja sekä säätää laitteistoja niiden käyttötarpeisiin sopiviksi. Näillä havainnoilla voidaan laskea tarvittavan energian määrää ja leikata käyttökustannuksia. (Hantor Oy , [Viitattu 14.2.2012].)

Pneumaattinen materiaalin siirto keksittiin noin 150 vuotta sitten ja nykyisin se on yksi yleisimmistä tavoista siirtää jauhemaisia aineita. Paineilmalla siirretään kaikenlaisia esineitä monilla eri teollisuuden aloilla. Pneumaattisella materiaalin siirrollä on monia etuja:

- Pneumaattinen materiaalin siirtojärjestelmä on pölyvapaa.
- Se on helppo ylläpitää ja huoltaa
- Järjestelmä on helppo automatisoida ja liittää muihin järjestelmiin. (Karlsen, [viitattu 14.2.2012].)

2.1 Jauheiden siirto

Seuraavassa kerrotaan kahdesta eri tavasta siirtää jauheita pneumaattisesti paikasta toiseen. Näitä ovat harvasiirto (diluted phase conveying) ja tiheäsiirto (dense phase conveying). Molemmat tavat voidaan jakaa alipaine- ja painesiirtoon. Kahta erilaista tapaa vertailtaessa tulee ottaa huomioon monta eri yksityiskohtaa.

- Minkälaista tuotetta siirretään
- Tuotanto kustannukset
- Jauheen siirtokustannukset
- Siirtoputkien hankaaminen
- Siirrettävän materiaalin kuluminen
- Sekoitettun tuotteen erottelu. (Karlsen, [viitattu 14.2.2012].)

Pneumaattisessa siirrossa tuotteen hiukkaset altistuvat siirtilanteessa erilaisille rasituksille, törmäilylle ja kitkalle joko siirtoputkiin tai muihin hiukkasiin. Tämä voi aiheuttaa muutoksia raekokoon sekä siirretyn tuotteen laatuun. (Karlsen, [viitattu 14.2.2012].)

2.2 Harvasiirto (Diluted phase conveying)

Laimeassa siirrossa materiaali (jauhe tai rae) on sekoitettuna ilmaan. Laimea siirto vaatii riittävän suuren siirtonopeuden materiaalille, jotta se sekoittuisi ilman kanssa. Nopeus riippuu hiukkasten koosta sekä niiden tiheydestä. Hiukkasten pitäminen järjestyksessä vaatii oikean määrän siirrettävää materiaalia suhteessa ilmaan. Jauheen määrä ei saa olla kovin suuri, koska jokaisen hiukkasen tulee käyttäytyä samalla tavalla eivätkä hiukkaset saa törmäillä toisiinsa. Tällä tavalla siirrettäessä materiaalin kuluminen johtuu hiukkasten törmäilystä siirtoputken seinämiin ja toi-

siinsa. Kaikenlaisia kuivia jauheita ja rakeita voidaan siirtää tällä tavalla. Tällä tavalla siirrettäessä myös käytettävän ilman pitää olla kuivaa. Tällaisessa järjestelmässä on hyvä käyttää ilmankuivainta ennen kuin ilma ja siirrettävä materiaali kohtaavat toisensa. (Karlsen, [viitattu 14.2.2012].)

Laimeaa siirtotapaa voidaan käyttää joko alipaineella tai paineilmalla, molemmilla tavoilla on omat hyötynsä sekä haittansa. Paineilmaa käytettäessä yksi suurimmista eduista on laitteiston helpompi rakentaminen laitokseen, missä jauhe pitää sijoittaa eri loppusijoituspaikkoihin. Alipaineella toimivassa laitteistossa pitää sijoittaa tyhjiöpumppuja jokaiseen paikkaan, mihin jauheen halutaan päätyvän, kun taas paineilmalla toimivassa järjestelmässä tarvitaan kaksisuuntaisia venttiilejä, jotka toimivat silloin kun tarvitaan. (Karlsen, [viitattu 14.2.2012].)

Paineilmaa käytettäessä haittana on ilma, joka aiheuttaa ongelmia. Paine sekä tilavuus voi muuttua erilaisista asioista johtuen. Myös ilman lämpötila saattaa muuttua ja tämä vaikuttaa ilmankosteuteen nostavasti, jolloin siirrettävä tuote saattaa muuttua rakeisemmaksi kosteudesta johtuen. Tällainen ongelma voidaan ratkaista liittämällä järjestelmään kosteudenpoistajia mutta ne lisäävät laitteiston rakennuskustannuksia. (Karlsen, [viitattu 14.2.2012].)

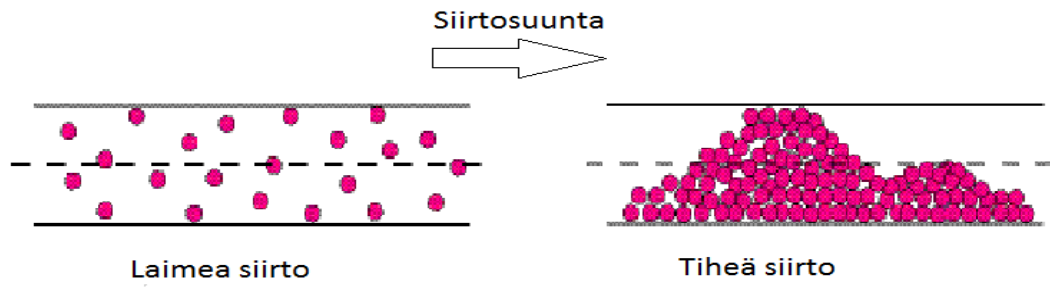
Ongelmatilanteissa kuten putkiston vuototilanteessa, paineilmaa käyttävä järjestelmä saattaa jättää jälkeensä pölypilven, joka leijuu ympäristössä. Alipainetta käytettäessä vuoto tekee siitä tehottomamman, mutta ympäristölle ei tule niin suuria haittoja. (Karlsen, [viitattu 14.2.2012].)

2.3 Tiheäsiirto (Dense Phase conveying)

Tiheällä tavalla siirrettäessä ei tarvita niin suuria ilmannopeuksia kuin laimealla tavalla siirrettäessä. Suurin ero näiden kahden siirtotavan välillä on tuotteen kuluminen johtuen kitkasta joko siirtoputkistoon tai toisiin hiukkasiin. Tiheän siirtotavan laitteistot maksavat enemmän kuin laimean siirtotavan, mutta tuotteen kuluminen kitkasta johtuen on vähäisempää kuin laimealla tavalla. Kaikki materiaalit eivät sovi tiheän tavan siirtoon. Materiaalit, jotka eivät leiju hyvin ilman seassa sekä materiaalit, jotka ovat tahmeita tai kokkareisia eivät sovi tiheän tavan siirtoon. Tällaiset materiaalit aiheuttavat tukoksia siirtoputkiin. (Karlsen, [viitattu 14.2.2012].)

Hyviä materiaaleja tiheän tavan siirtämiseen ovat jauheet, joissa on vakio raekoko. Tällaisissa jauheissa ei ole pieniä partikkeleita, jotka pääsevät pakkautumaan isojen partikkeleiden väliin aiheuttaen tukoksia. (Karlsen, [viitattu 14.2.2012].)

On selvää, että jotkut materiaalit ovat sopivampia pneumaattiseen siirtoon kuin toiset. Ongelmatilanteissa voi auttaa siirtonopeuden suurentaminen. Kuten kaikissa paineilmalla siirrettävissä ongelmatilanteissa, materiaalin siirtotesti kertoo kuinka pienellä siirtonopeudella jauhetta voidaan kuljettaa. Jos vertaillaan laimean sekä tiheän tavan siirtoa, suurimpia eroja on valmiiksi sekoitetuissa materiaaleissa. Tiheällä tavalla siirrettäessä etuna on, ettei jauhe jakaannu eri osiin uudestaan, koska materiaali siirtyy yhtenä annoksena. Laimealla tavalla siirrettäessä raekoko, partikkelien muoto sekä materiaalien tiheys vaikuttaa jauheen jakaantumiseen siirrossa. (Karlsen, [viitattu 14.2.2012].)



Kuva 1. Siirtotavat (perustuu Karlsenin [viitattu 14.2.2012]kuvioon)

3 Automaatio

Automaatio on yleistynyt kaikille elämän osa-alueille ja sitä voidaan ymmärtää monin eri tavoin. Teollisuudessa automaatiota pidetään itsestään tapahtuvana toimintana, joka ohjaa tai valvoo automatisoitua konetta, laitetta tai tuotantolinjaa. Automaatio voi myös olla mittauksiin perustuvaa säätöä, jolloin ohjausjärjestelmä ohjaa prosessia sille määritellyllä tavalla. Monimutkaisimmillaan automaatio on kokonaisten tehtaiden ohjaamista ja valvontaa ilman, että ihmisen tarvitsee puuttua prosessin kulkuun. Yksinkertaisimmillaan se voi olla jonkin tietyn lämpötilan pitämistä yllä. (Kippo & Tikka 2008, 7-14.)

Automaatiotekniikan yleistyminen on seurausta tietotekniikan yleistymisestä. Kaikki tietotekniikassa tarvittavat komponentit kuten muistit, liitännät tiedonsiirto sekä toimilaitteet ovat kehittyneet valtavin askelin. Automaatio on apukeino tehdä sellaisia asioita, jotka ovat ihmiselle liian vaativia tai liian paljon aikaa vieviä. Automaatio on teollisuudelle keskeinen kilpailutekijä, vaikka se onkin vähentänyt työpaikkoja. Suuri automaatioaste on yksi tapa säilyttää teollisuutta sekä työpaikkoja Suomen kaltaisissa teollisuusmaissa, joissa henkilökustannukset ovat suuret. Automaatiossa voidaan ajatella asia niin, että jos jokin tehtävä tai prosessi voidaan kustannustehokkaasti ja työtä helpottavasti automatisoida, se ei ole ihmiselle tärkeä tehtävä. (Kippo & Tikka 2008, 7-14.)

Automaation suunnittelussa pyritään tekemään ergonominen työkokonaisuus työntekijälle. Pitää pyrkiä jakamaan tehtävät oikealla tavalla sekä ihmiselle että automaatiolle. Siihen vaaditaan sekä ihmisten että automaation tuntemusta. Nykyaikainen automaatio on komponenttien liittämistä toisiinsa, jotka yhdistetään toimivaksi kokonaisuudeksi. Komponentteja voivat olla käyttöliittymät, säätimet ja ohjainyksiköt ja näitä yhdistelemällä voidaan suuriakin kokonaisuuksia ohjata automaattisesti. (Kippo & Tikka 2008, 7-14.)

3.1 Prosessiautomaatio

Prosessiteollisuutta on pidetty ihmisen tekemänä tehdastyönä, joka on yksinkertaista sekä raskasta. Nykyisin prosessiteollisuus on automatisoitua ja sen tekniikka

on korkealla tasolla. Prosessiteollisuuden tuotteita pidetään usein halpoina massatuotteina, mutta ne ovat usein asiakkaalle tarkasti suunniteltuja. Prosessiautomaatio on teollisuuslaitoksissa ja tehtaissa käytettävää automaatiota, joka koostuu yleisesti mittalaitteista, toimilaitteista sekä tietokonepohjaisista automaatiojärjestelmistä. Prosessiautomaatiota sovelletaan yleisesti nesteiden, kaasujen sekä jauhemaisten materiaalien käsittelyssä. Automaatio helpottaa tuotteiden laadunvalvontaa sekä ylläpitoa ja lisäksi se voi vähentää raaka-aineiden kulutusta, teollisuuden päästöjä sekä laskea hylätyksi menevän materiaalin määrää. Edellä mainittujen virtaavien materiaalien työstäminen on samanlaista eri alasta riippumatta. Niissä pyritään keräämään tietoa ja hallitsemaan samoja asioita, kuten virtausnopeutta, painetta, lämpötilaa, ilmamäärää tai jotain pitoisuutta kyseisistä asioista. Prosessiteollisuuden automaatio on yleisesti mittaustietojen keräämistä, mitä vertaillaan haluttuihin arvoihin. Mittaustietojen perusteella prosessia voidaan myös säätää tehokkaammin toimivaksi. (Kippo & Tikka 2008, 7-14.)

Prosessiteollisuuden automaatiojärjestelmä sisältää monia tehtäviinsä räätälöityjä tietokoneita, ohjauslaitteita, mittalaitteita sekä toimilaitteita. Nämä kaikki laitteet ovat kytkettynä toisiinsa, jolloin prosessi toimii halutulla tavalla. Mittalaitteet keräävät halutun tiedon prosessista ja ne ovat merkittävässä asemassa kaikessa automaatiossa. Ilman niitä prosessista ei saada tarvittavia tietoja. Tietoa siirretään mittalaitteelta ohjauslaitteelle, jolla saadaan ohjattua erilaisia toimilaitteita. Toimilaitteita voi olla monenlaisia riippuen siitä mitä niillä halutaan ohjata. Esimerkiksi jos halutaan pienentää ilmavirran määrää putkistossa, sinne voidaan asentaa toimilaitteeksi virtauksen säätöventtiili, jota ohjauslaite ohjaa mittalaitteen antamien tietojen perusteella. (Kippo & Tikka 2008, 7-14.)

4 Testauslaitteiston automatisointi

Automatisoitaessa erilaisia laitteistoja tulee ottaa huomioon monia eri asioita. Täytyy huomioida se, minkälaiseen käyttöön laitteisto tulee, minkälaista tietoa siitä pitää saada ulos, kuinka laitteiston halutaan toimivan sekä kuinka sitä halutaan ohjata. Kopar Oy:lle tehtävässä suunnitelmassa ilmamäärän mittaus lisätään testauslaitteistoon. Työ aloitettiin tutustumalla eri tapoihin mitata ilmamäärää putkistossa. Oikean virtausmittarin löytäminen eri aineille vaatii perehtymistä. Mittauslaitteen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat ulkoiset ominaisuudet, prosessiolosuhteet, paine- ja lämpötilavaihtelut sekä väliaineen ominaisuuksista riippuvat tekijät (Säätö [viitattu 18.4.2012]).

4.1 Virtausmittaukset

Ilmamäärän mittaaminen kuuluu virtausmittausten piiriin. Virtausmittaus on kanavassa tai putkessa tapahtuvaa kaasun, höyryn tai nesteen mittaamista. Näistä eri aineista voidaan mitata tilavuutta, massaa tai nopeutta. Joissain tapauksissa virtaus voi kulkea eri suuntiin, jolloin halutaan tietää, kumpaan suuntaan aine liikkuu. Myös joihinkin kiinteisiin aineisiin voidaan käyttää virtausmittauksen periaatetta. Nämä erikoistapaukset ovat yleensä jauheita tai rakeita. Virtausmittauksiin käytettäviä laitteita on monia erilaisia, ja tapoja mitata on yhtä monta kuin laitettakin. Valittaessa käytettävää laitteistoa sekä tapaa, tulee ottaa huomioon eri tekijöitä jotka vaikuttavat tulokseen. Näitä ovat:

- ympäristö missä mittaus tapahtuu (putki vai avokanava)
- mitattavan materiaalin olomuoto (kaasu, neste vai höyry)
- mitattavan aineen ominaisuudet
- onko mitattavassa aineessa erilaisia partikkeleita
- mittauksen tarkkuusvaatimukset

- tulosten luotettavuusvaatimukset. (Halko, Härkönen, Lähteenmäki & Välimaa 1998, 87.)

Virtausnopeutta voidaan mitata koko aineen kulkemalta matkalta tai tietyistä pisteistä laitteistossa. Virtausnopeuden yksikkö on m/s. Tilavuus on laitteistosta läpi virranneen materiaalin määrän tilavuus. Tilavuusvirran yksikkö on m³/s. Massavirta on tietyssä ajassa laitteistosta läpi virranneen materiaalin ainemäärän massa. Massavirran yksikkö on kg/s. (Halko ym 1998, 89, 93.)

5 Mittaustavat ja mittalaitteet

Mittalaitteita on markkinoilla hyvin paljon ja monet niistä toimivat eri periaatteella. Yhteistä kaikille mittalaitteille on siitä saatava tieto. Kaikissa mittalaitteissa aine, joko neste tai kaasu, kulkee mittalaitteen läpi, jolloin siitä saadaan kerättyä tarvittava tieto talteen. Mittalaitteet on pääasiallisesti kehitetty nesteiden mittaamiseen, mutta niiden periaatetta voidaan käyttää myös erilaisten kaasujen mittaamiseen. (Halko ym 1998, 89, 93.)

5.1 Siivikkomittarit

Siivikkomittari on laakeroitu roottori, joka on varustettu siivekkeillä. Virtaus pyörittää roottoria, joka on verrannollinen virtauksen nopeuteen. Tällaiset mittarit voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin, aksiaaliseen tai tangentiaaliseen. Jakaminen perustuu siihen kuinka virtaus kohtaa siivekkeen. Siivikkomittareille tyypillisiä käyttökohteita ovat pienen viskositeetin nesteet sekä kaasut. Siivikkomittareita on kolme erilaista, joista kahteen tutustutaan seuraavaksi. (Halko ym 1998, 94.)

Woltman-mittarissa siivikko on asetettu akselin suuntaisesti, joten se kuuluu aksiaaliseen ryhmään. Mittari on ensisijaisesti nesteiden määrälaskentaa varten ja sen tarkkuus on noin 2 %. Mittaustarkkuus heikkenee virtauksen pienentyessä. (Halko ym 1998, 94.)



Kuva 2. Woltman-mittari (Saint-Gobain Pipe Systems Oy [viitattu 17.4.2012.])

Turbiinimittarin siivikko on kiinnitetty roottoriin ja se on laakeroitu virtauksen kanssa saman akselin suuntaisesti. Turbiinimittari kuuluu myös aksiaaliseen ryhmään. Jos turbiinimittarin häiriötekijät, kuten kitka, on saatu minimoitua, se toimii virtauksen kanssa verrannollisesti. Turbiinimittarit toimivat nesteiden ja kaasujen mittaamiseen. Mittaustarkkuus on hyvä, noin $\pm 0,5 \dots 1$ %. Tarkkuuteen vaikuttaa kitka, joka kasvaa pienillä nopeuksilla sekä nestemittauksissa nesteen viskositeetti. Turbiinimittareiden saatavuus on erikokoisille laitteistoille hyvä, nimellishalkaisija alkaa DN 15:sta aina DN600-kokoluokan turbiinimittareihin. (Halko ym 1998, 94-95.)



Kuva 3. Turbiinimittari (Säätö [viitattu 17.4.2012.]

Kolmantena siivikkomittareiden luokassa on siipipyörämittari, mutta koska sen pääasiallinen käyttötarkoitus on nestemittaukset, seohitetaan tässä työssä.

5.2 Virtausmittaus kuristuselimillä

Virtausmittauksia voidaan tehdä myös kuristuselimiä käyttäen, joista yleisimpiä ovat mittalaippa, suutin ja venturiputki. Kuristuselimen hyviä puolia on sen luotettavuus ja kestävyys. Tämän tyyppinen mittalaite on tekniikaltaan hyvin yksinkertainen, sillä siinä ei ole liikkuvia osia eikä elektroniikkaa. Toiminta perustuu kuris-

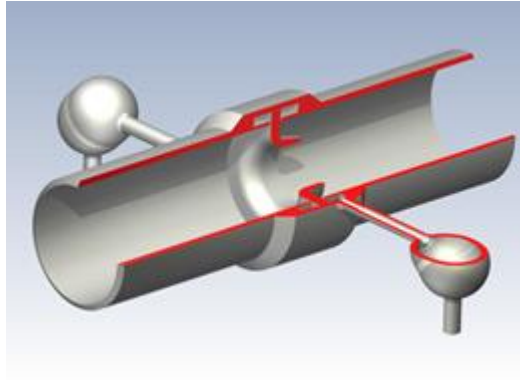
tuselimien aiheuttamaan paine-eroon. Kuristuselin pitää liittää paine anturiin tai lähettimeen, jolloin siitä saadaan mittaustulokset tarkasteltaviksi. (Pihkala 2004, 69.)

Mittalaippa on yleisin käytetty kuristuselin prosessiteknikassa. Mittalaippa on putkiston virtauksen kanssa kohtisuoraan asennettu laippa, jossa on keskellä ympyrän muotoinen reikä. Sen etuna on hinta ja tarkkuus sekä soveltuminen neste ja kaasumittauksiin. Mittaustarkkuus riippuu asennuksesta. Kummallakin puolella mittalaippaa tulee olla riittävän pitkä pätkä suoraa putkistoa, johon mittalaippa asennetaan. Haitoiksi voidaan lukea mittalaipan synnyttämä painehäviö putkistossa, joka tulee ottaa huomioon suunnittelussa. (Pihkala 2004, 69-70.)



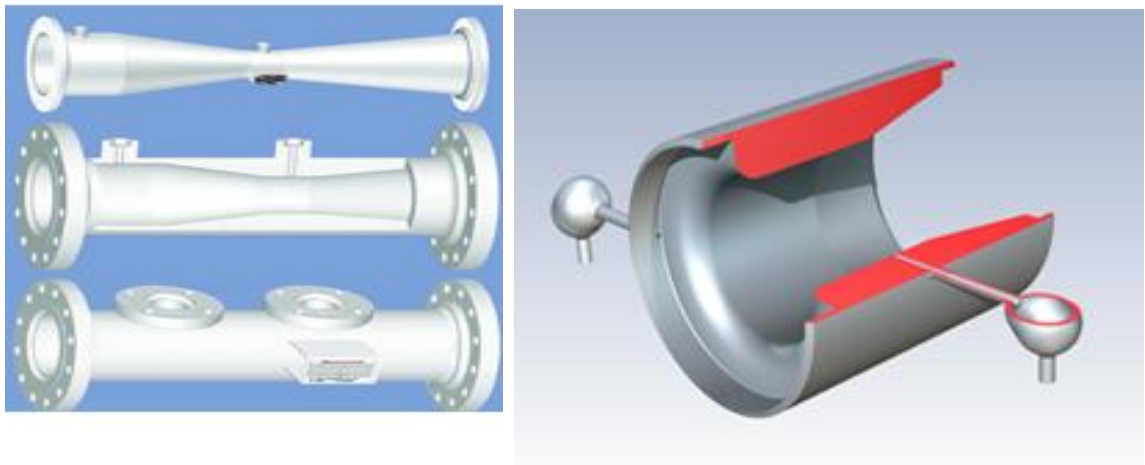
Kuva 4. Erilaisia mittalaippoja (Säätö [viitattu 18.4.2012.]

Mittaussuutin on hyvin samanlainen kuristuselin kuin mittalaippa. Sen asennus tapahtuu putkistoon mittalaipan tavoin. Mittaussuutin sovelluksia on eniten suurta painetta ja lämpöä käsittelevissä laitteistoissa. Mittaussuutin ei aiheuta yhtä paljon pyörteilyä laitteistoon kuin mittalaippa, joten painehäviö on pienempi. Sen mittaustarkkuus kärsii, jos kuristuselimien eteen kertyy kaasuissa kulkevia hiukkasia tai nesteessä olevia kuplia. (Pihkala 2004, 71.)



Kuva 5. Mittaussuutin (Säätö [viitattu 18.4.2012.]

Venturiputki ja venturisuutin ovat kuristuselimistä vähiten painehäviötä aiheuttavat. Ne on muotoiltu virtauksen mukaisesti, joten niiden kuristuselimen normaalisti aiheuttamat pyörteilyt on saatu kitettyä pois. Näiden laitteiden valmistus on huomattavasti kalliimpaa kuin mittalaipan ja mittaussuuttimen. Yleinen käyttökohde on laitteistossa, jossa halutaan mahdollisimman pientä painehäviötä ja jossa on suuri virtausnopeus. (Halko ym 1998, 100-102.)



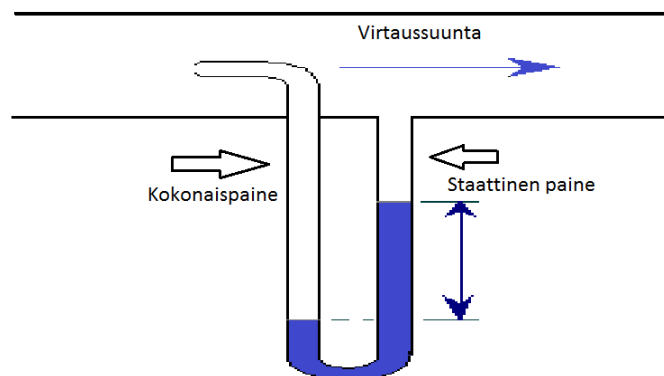
Kuva 6. Venturiputki ja venturisuutin (Säätö [viitattu 18.4.2012.]

5.3 Patopaineeseen perustuvat kuristuselimet

Patopaineeseen perustuvassa mittaustavassa käytetään hyväksi virtauksessa syntyvää dynaamista painetta eli niin sanottua patopainetta. Tällaisia menetelmiä ovat Pitot-putki sekä Annubar-putki. Patopaine-kuristuselimet asennetaan putken keskelle virtassuunnan kanssa kohtisuoraan. Kumpikaan mittaustavoista ei aiheuta järjestelmään huomattavia paine-eroja. (Halko ym 1998, 103-104.)

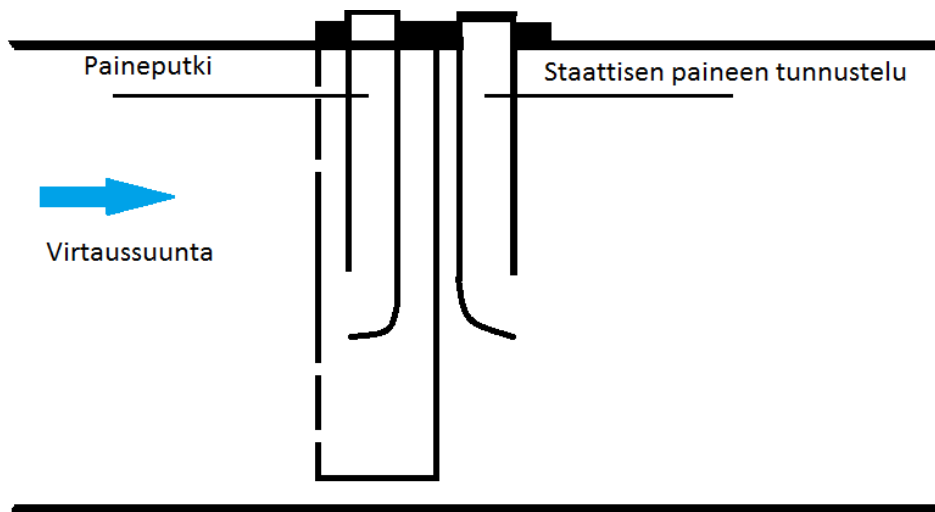
Pitot-putken päässä on reikä, jossa virtaus muodostaa kokonaispaineen putken alkupäähän ja staattisen paineen putken loppupäähän. Näistä paine-eroista voidaan laskea virtausnopeus siitä kohdasta johon putki on asennettu. Pitot-putki on edullinen sekä yksinkertainen rakenteeltaan. Käytettäessä Pitot- sekä Annubar-putkea tulee ottaa huomioon tietyt asioita mittauksessa:

- asentaminen virtaussuunnan kanssa kohtisuoraan
- mitattavan aineen rakenne ei saa muuttua virtauksessa
- pitot-putki tulee asentaa niin, ettei virtaus aiheuta siihen värähtelyä
- asennus tulee olla häiriöttömässä kohdassa putkistossa
- sitä ei saa asentaa lähelle putkiston seinämää. (Halko ym 1998, 103-104.)



Kuva 7. Pitot-putken teoriakuva.

Annubar-putki on kehitetty Pitot-putken periaatetta käyttäen. Pitot-putken yleisin käyttötarkoitus on määrittää virtausnopeus putken tietyssä pisteessä, Annubar-putken tarkoitus on mitata keskimääräistä virtausnopeutta putkistossa. Muodoiltaan putket ovat erilaisia. Annubar-putkeen on porattu neljä reikää. Reikien kohdat on mitoitettu putkiston koon mukaan ja ne on sijoitettu niin, että jokainen reikä on virtausalueen keskeisellä kohdalla. Putkessa on myös paineenvälitysputki, joka muodostaa näiden neljän reiän paineen keskiarvon. Virtausnopeutta laskettaessa tarvittavan vertailupaineen eli staattisen paineen mitta-aukko on Annubar-putken takareunalla. Myös Annubar-putki tulee asentaa putkistossa häiriöttömään kohtaan Pitot-putken tavoin. (Halko ym 1998, 104-105.)



Kuva 8. Annubar-putken teoriakuva.

5.4 Termiset mittausmenetelmät

Nämä mittausmenetelmät perustuvat virtaavan aineen jäädyttävään vaikutukseen tai aineen lämmittämiseen. Termiset mittarit soveltuvat hyvin matalalla virtausnopeudella tapahtuvan kaasuvirtauksen mittaamiseen. Aineen jäädyttävään vaiku-

tukseen perustuvaa mittalaitteita kutsutaan anemometriksi. Anemometrejä on kah- ta eri luokkaa, kuumalanka- tai kuumakalvoanemometrejä. (Halko ym 1998, 107.)

Kuumalanka-anemometrissä on sähköisesti kuumeneva vastuslanka, joka sijoite- taan putkessa olevaan virtaukseen. Vastuslanka pidetään sähköisesti vakioläm- pöisenä. Vastuslanka kylmenee sitä enemmän mitä suurempi virtaus siihen koh- distuu. Vastuslangan resistanssimittaus antaa tiedon virtausnopeudesta, koska langan resistanssi riippuu siinä olevasta lämmöstä. Rakenteesta johtuen kuuma- lanka-anemometrillä on tiettyjä ominaisuuksia, josta tulee ottaa huomioon. Nämä asiat ovat myös valmistajasta riippuvaisia.

- Ohutlankainen anemometri on kestävydeltään heikko
- Langan likaantuminen muuttaa sen ominaisuuksia
- Suuret partikkelit voivat vahingoittaa lankaa
- Langan asento putkistossa voi vaikuttaa mittaustulokseen. (Halko ym 1998, 107-108.)

Kuumakalvoanemometri toimii samalla periaatteella kuin kuumalanka-anemometri, mutta se on muotoilultaan erilainen. Vastuksena toimii pienelle lasilevyllä asennet- tu platinakalvo. Rakenteesta johtuen kuumakalvoanemometri on kestävämpi kuin lankaversio. (Halko ym 1998, 108.)

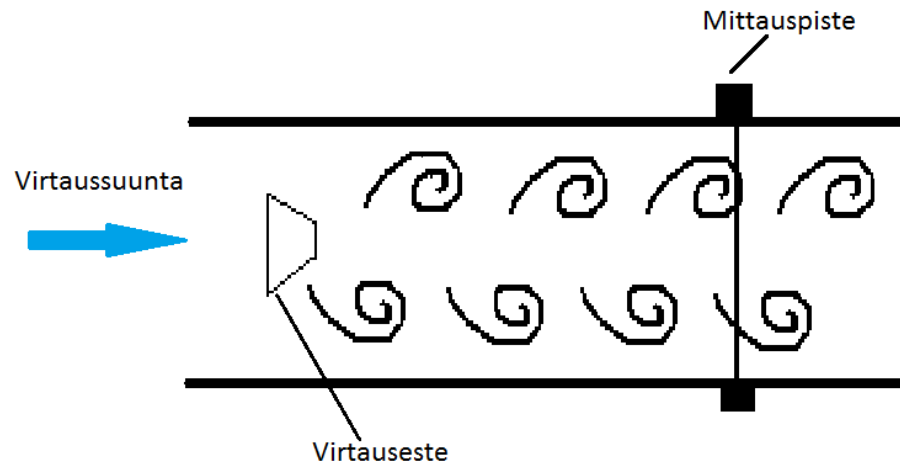
Ainetta lämmittävät menetelmät on suunniteltu nestemittauksia ajatellen, joten täs- sä työssä ei perehdytä niiden toimintatapaan.

5.5 Pyörrevirtausmittaus (Vortex-mittaus)

Hyväksi kaasujen sekä nesteiden yleismittariksi on osoittautunut pyörrevirtausmit- taus. Pyörrevirtausmittauksen periaate perustuu niin sanottuun Karman-ilmiöön. Putken virtaussuuntaan asetetaan virtauseste siinä liikkuville kaasuille, nesteille tai

höyrylle. Esteen jälkeen virtaukseen muodostuu pyörremäinen vana, joka on verrannollinen putkessa liikkuvan aineen virtausnopeuteen. Pyörteet liikkuvat putkessa olevan aineen mukana, joten virtausta voidaan tarkastella esteen jälkeen olevassa pisteessä, koska pyörteiden esiintyminen on verrannollinen putkistossa liikkuvan aineen nopeuteen. Tällaisen mittausmenetelmän hyviä puolia ovat sen riippumattomuus aineen ominaisuuksista sekä sen parempi tarkkuus ja laajemmat mitta-alueet kuin tavallisia kuristuselimiä käytettäessä. Huonoina puolina voidaan pitää sen aiheuttamaa painehäviötä laitteistoon. Häiriöitä mittaustarkkuuteen aiheuttaa virtauksessa oleva pyörteily ennen estettä. Tästä syystä monessa laitteistossa käytetään virtauksen oikaisijaa ennen estettä. Myös mitattavan virtauksen erilaiset muutokset, kuten nopeuden muutos, aiheuttavat mittavirheitä. (Pihkala 2004, 78-79.)

Eri mittarivalmistajat antavat pyörrevirtausmittareille mittaustarkkuudeksi $\pm 0,5 \dots 2$ %. Virtausmittaukselle on tyypillistä hyvä toistuvuus. (Halko ym 1998, 116.)



Kuva 9. Virtausmittauksen periaate

5.6 Virtausmittaus Coriolisin-voimaan perustuen

Coriolisin-voimaan perustuva massavirran mittaus soveltuu kaasujen sekä nesteiden mittaukseen. Coriolisin-voimaan perustuvassa mittauksessa virtaus kulkee virtausputken kautta. Markkinoilla on valmistajasta riippuen erilaisia virtausputkia. Mittauksessa virtausputkia värisytetään tietyllä taajuudella, jolloin virtaava aine aiheuttaa siihen vaihe-eron, joka mitataan antureilla. Tämän tyypisessä mittauksessa virtauksesta saadaan monenlaista tietoa, kuten tilavuusvirta, tiheys sekä lämpötila. Mittaustarkkuus Coriolisin-voimaan perustuvassa mittauksessa on hyvä, noin $\pm 0,5$ % luokkaa. Aineen ominaisuuksilla ei ole merkitystä mittaustavasta johtuen. Myöskään paine, lämpötila, hiukkaset tai tiheyden muutokset eivät vaikuta mittauksen tarkkuuteen. (Halko ym 1998, 123-124.)



Kuva 10. Coriolisin-voimaan perustuva mittari (Säätö [viitattu 18.4.2012.]

5.7 Vertailua eri mittalaitteiden välillä

Taulukko 1. Vertailutaulukko. (perustuu Kukkonen [viitattu 25.4.2012] kuvioon)

Ominaisuus	Massavirtauspaketti	Coriolis-massavirtamittari	Paineeromittaus	Pyörrevirtausmittari	Terminen massavirtamittari
Tarkkuus	Huono/ Kohtalainen	Hyvä	Huono	Kohtalainen	Huono
Laitehinta	Suuri	Suuri	Pieni	Kohtalainen	Pieni
Asennuksen hankaluus	Suuri	Pieni	Kohtalainen	Suuri	Pieni
Huolto- ja käyttökust.	Suuri	Pieni	Kohtalainen	Pieni	Pieni
painehäviö	Kohtuullinen	suuri	pieni	pieni	pieni

Taulukossa 1 nähdään erilaisten mittauslaitteiden vertailutaulukko. Massavirtauspaketti tarkoittaa kuristuselimillä tapahtuvaa mittalaitetta, johon on yhdistetty paine- ja lämpötilamittaus sekä massavirtauslaskuri. Muut vertailtavat anturit käydään läpi tämän työn kohdassa mittaustavat ja mittalaitteet.

6 Yhteenveto

Erilaisten virtausmittausmenetelmien sekä mittalaitteiden tutkimisen jälkeen, muutama menetelmä valikoitui vertailtavaksi uudistetulle testauslaitteelle. Nämä olivat termisellä mittaustavalla toimivat virtausmittarit, turbiinimittarit sekä pyörrevirtaus-tapaa käyttävät virtausmittarit. Pääkriteerit käytettävälle anturille olivat sen kytkentämahdollisuudet, toimintavarmuus sekä mittaustarkkuus. Myös soveltuvuus testauslaitteiston toimintaan oli ensisijaista.

Testauslaitteistossa ei ole erillisiä ilmanpuhdistussuodattimia, vaan puhtausaste on tavallisen ruuvikompressorin tuottama työilma. Putkistossa liikkuu erilaisia epäpuhtauksia kuten kosteutta sekä erilaisia hiukkasia, joten valittavan anturin tulee toimia tämän tyyppisissä olosuhteissa. Termisellä mittaustavalla sekä turbiinimittarilla ilmanlaatu voi aiheuttaa ongelmia, koska epäpuhtaudet voivat muuttaa niiden antamia mittaustuloksia. Esimerkiksi kuumalanka-anemometri voi likaantuessaan muuttaa mittaustuloksia. Pyörrevirtausmittaukseen perustuvat mittalaitteet ovat immuuneja mittavirheille, koska ne ovat riippumattomia mitattavan aineen ominaisuuksista. Siksi mittaustarkkuus voi kahdella ensiksi mainitulla olla huonompi kuin pyörrevirtausmittauksella.

Mitta-anturin kytkentämahdollisuudet olivat myös tärkeä tekijä valinnassa. Käytettävässä anturissa tulisi olla kytkentäväylä, jolla sen saisi yhdistettyä mittauksissa käytettävään tietokoneeseen.

Tutkittaessa eri liitännämahdollisuuksia selvisi, että markkinoilla olevissa pyörrevirtausmittareissa on kytkentämahdollisuus Profibus-kenttäväylää käyttämällä, mikä sopii käytettäväksi testauslaitteistolle. Markkinoilta löytyy myös termisiä mittalaitteita, joissa on Profibus-liitännämahdollisuus mutta toimintaperiaatteensa takia pyörrevirtausmittaus on parempi vaihtoehto. Myös Profibus-väylää käyttäviä turbiinimittareita on markkinoilla, mutta toimintavarmuus ei ole turbiinimittarissa yhtä hyvä kuin pyörrevirtausmittauksissa, tästä syystä pyörrevirtausmittaus on mielestäni parempi vaihtoehto.

Edellä mainittujen asioiden takia oma mielipiteeni testauslaitteiston virtausmittariksi olisi pyörrevirtausmittari. Sen etuja ovat edulliset käyttöönotto, asennus sekä

ylläpitokulut. Liitännämahdollisuudet eri ohjauslaitteille ovat laajat, sekä mittari kestää hyvin erilaisia mittausolosuhteita. Pyörrevirtausmittarit ovat huoltovapaita rakenteensa vuoksi, tämä on etu esimerkiksi jos laitteisto on käyttämättömänä pitkiä aikoja.

Mielestäni työ oli tasoltaan haastava. Aiheena pneumaattinen materiaalinsiirto oli itselleni vieras. Materiaalia aiheeseen ei ollut kovin paljon tarjolla sekä oma kokemukseni kyseisestä aiheesta ei ollut työn alussa kovin vahvaa. Työn edetessä tieto asioista jotka liittyvät pneumatiikkaan, pneumaattisesti siirrettäviin materiaaleihin sekä siinä käytettävään automaation kasvoi todella paljon.

LÄHTEET

- Airila, M., Hallikainen, K., Käätä, J. & Laurila, T. 1983. Kompressorikirja. Vantaa: Korpivaara Oy
- Halko, P., Härkönen, S., Lähteenmäki, I. & Välimaa, T. 1998. Teollisuuden mittaustekniikka: Perusmittauksia. 6. – 7. p. Helsinki: Edita.
- Hantor. 2009. Ilma ei ole ilmaista. [PDF-tiedosto]. Hantor-sanomat. Hantor-mittaus oy:n asiakaslehti. [Viitattu 14.2.2012]. Saatavana: http://hantor.fi/wp-content/uploads/2011/02/Hantor-Sanomat_nr_6_2009.pdf
- Karlsen, E. Ei päiväystä. Pneumatic powder transport. [PDF-tiedosto]. TEKFA A/S. [Viitattu 14.2.2012]. Saatavana: <http://www.tekfa.dk/data/files/Pulvertransport/pneu-powder.pdf>
- Kippo, A. & Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita.
- Kopar Oy. 2010. Kopar. [www-dokumentti]. Kopar Oy. [viitattu 16.3.2012]. Saatavana: <http://www.kopar.fi/fi/tarina.html>
- Kukkonen, A. 23.09.2002. Virtausmittasumenetelmiä. [PDF-tiedosto]. Akutek Oy. [Viitattu 25.4.2012]. Saatavana: www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/4_1_2_04.pdf
- Pihkala, J. 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. 2. uud. p. Helsinki: Opetushallitus.
- Saint-Gobain Pipe Systems Oy. Ei päiväystä. [viitattu 17.4.2012] Saatavana: <http://www.sgps.fi/captum.asp?tid=2186&id=40&taso=2&sivu=>
- Säätö. Ei päiväystä. [viitattu 17.4.2012] Saatavana: http://www.saato.fi/index.php?mother=&group=00000167&level=&prod_id=00000147&mag_nr=2

LIITTEET

Liite 1: endress_prowirl_73_spec

