



Satakunnan ammattikorkeakoulu

Pasi Peltomaa

PAINEILMAN ENERGIA TEHOKKUUSJÄRJESTELMÄ

Tekniikka Pori
Sähkötekniikan koulutusohjelma
2008

PAINEILMAN ENERGIATEHOKKUUSJÄRJESTELMÄ

Peltomaa, Pasi Kristian
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2008
Lehtio, Ari
UDK: 621.5 , 658.562
Sivumäärä: 68

Asiasanat: paineilma, energiatehokkuus, tuotekehitys, mittaus

Tämä insinööri työ oli osa tuotekehitysprojektia, jonka tarkoituksena on paineilman energiatehokkuusjärjestelmän kehittäminen. Insinööri työn aikana energiatehokkuusjärjestelmä saatettiin prototyypivaiheeseen yhdessä yhteistyöyritysten kanssa. Valmistusta protolaitteistoa testattiin teollisuudessa, jonka tuloksena todettiin laitteiston toimivuus jatkokehitystä ja kaupallistamista varten.

Insinööri työn teoreettisessa osiossa perehdyttiin paineilmajärjestelmien perusteisiin, teollisuuden paineilmajärjestelmien käyttövaatimuksiin ja tehokkuuden parantamismahdollisuuksiin, sekä mittaamisen paineilmajärjestelmässä. Työssä käytiin myös läpi nykyinen mittausjärjestelmä pääpiirteittäin.

Työssä käytiin läpi myös tuotekehitysprojektin lähtökohdat. Lähtökohdat olivat erinäisiä vaatimuksia, joita tuotekehitysprojektissa kehitettävältä energiatehokkuusjärjestelmältä vaaditaan.

Asetettujen vaatimusten pohjalta valmistettiin energiatehokkuusjärjestelmän protolaitteisto. Protolaitteistoon kuuluvan tiedonkeruuyksikön ohjelmoi ja valmistati yhteistyöyritys.

Protolaitteisto asennettiin paikalliseen teollisuusyritykseen, jossa sen toimivuutta testattiin. Protolaitteiston testaus suoritettiin ajalla 18.4 - 6.5.08. Protolaitteiston testaus insinööri työn osalta oli onnistunut. Laitteisto toimi hyvin ja testauksesta saatiin riittävästi mittaustietoa tallennettua. Tallennettua mittaustietoa analysoitiin tässä työssä.

Tämän insinööri työn tärkeimpänä johtopäätöksenä voitiin todeta seuraavasti: protolaitteiston testaus oli onnistunut, joten tuotekehitysprojektia kannattaa jatkaa.

ENERGY EFFICIENCY SYSTEM OF COMPRESSED AIR

Peltomaa, Pasi Kristian

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

May 2008

Lehtio, Ari

UDC: 621.5 , 658.562

Number of Pages: 68

Key Words: compressed air, energy efficiency, product development, measurements

This Bachelor's thesis was a part of a product development project, the purpose of which was to develop the energy efficiency system of compressed air. In this thesis energy efficiency system was developed to prototype stage. The prototype apparatus was tested in industry, and as a result it was discovered that the apparatus worked properly for further development and commercialization.

The theoretical part of this Bachelor's thesis focused on the fundamentals of compressed air system, the requirements of compressed air systems in industry and the measurements of compressed air system.

The starting point of the product development project was also examined in this Bachelor's thesis. The Starting points were the requirements needed in this product development project.

Energy efficiency system prototype apparatus was made to meet the requirements

Energy efficiency system prototype apparatus was installed in a local industrial enterprise and tested during 18 April – 6 May 2008. Prototype apparatus testing was successful and sufficient amount of measuring data was achieved and analyzed. The apparatus worked flawlessly.

The main conclusion of this Bachelor's thesis was that the testing of the prototype apparatus was successful, so product development project is worth continuing.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
2	PAINEILMAJÄRJESTELMIEN PERUSTEET.....	9
2.1	Tuotto.....	9
2.1.1	Dynaamiset kompressorit.....	11
2.1.2	Staattiset kompressorit.....	11
2.2	Jälkijäähdytys.....	11
2.3	Varastointi.....	12
2.4	Jälkikäsitteily.....	12
2.4.1	Suodatus.....	13
2.4.2	Kuivaus- ja vedenerotus.....	14
2.5	Laatuluokitus.....	17
2.6	Käyttö.....	17
2.6.1	Venttiilit.....	18
2.6.2	Toimilaitteet.....	18
3	TEOLLISUUDEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄT.....	20
3.1	Käyttövaatimukset.....	20
3.1.1	Luotettavuuden ja laadun merkitys.....	20
3.1.2	Kustannusten merkitys.....	21
3.2	Tehokkuuden parantamismahdollisuudet.....	22
3.2.1	Käyttöjen parantaminen.....	22
3.2.2	Kompressorin valinta.....	22
3.2.3	Kompressoreiden kehittäminen.....	23
3.2.4	Kehittyneet ohjausjärjestelmät.....	23
3.2.5	Lämmön talteenotto.....	23
3.2.6	Paineilman käsittely.....	24
3.2.7	Vuotojen vähentäminen.....	24
4	MITTAUKSET PAINEILMAJÄRJESTELMÄSSÄ.....	25
4.1	Antureiden ja mittaussignaalien perusteet.....	25
4.2	Mittaamisen tarkoitus.....	26
4.3	Mittauskohteita.....	26
4.3.1	Ilmamäärä ja energian kulutus.....	27
4.3.2	Verkoston paine ja kastepiste.....	27
4.3.3	Kompressorihuoneen tai imuilman lämpötila.....	27

4.3.4	Kompressorihuoneen sisäinen paine	28
4.3.5	Muita mahdollisia mittauksia	28
4.4	Mittausten kesto, näytteenotto- ja tallennusvälit	28
5	NYKYINEN MITTAUSJÄRJESTELMÄ	29
5.1	Paineilman virtauksen mittausjärjestelmä	29
5.1.1	Virtauslähettimet	29
5.1.2	Mittausyksikkö	31
5.2	Paineen ja kastepisteen mittausjärjestelmä	32
5.2.1	Painelähetin	32
5.2.2	Kastepistelähetin	33
5.2.3	Mittausyksikkö	33
6	TUOTEKEHITYSPROJEKTIN LÄHTÖKOHDAT	35
6.1	Mittausjärjestelmän toimintaperiaate	35
6.2	Mittausvaatimukset	36
6.2.1	Paineilman tuotto	36
6.2.2	Paineilman kulutus	37
6.3	Tiedonkeruuyksikön vaatimukset	37
6.3.1	Mittauspisteiden yksilöinti	38
6.4	Käyttöjärjestelmän vaatimukset	38
6.4.1	Käyttjävaatimukset	38
6.4.2	Toiminnalliset vaatimukset	39
6.4.3	Ei-toiminnalliset vaatimukset	40
7	PROTOLAITTEISTO	41
7.1	Tiedonkeruuyksikkö	41
7.1.1	Käyttöönottestaus	42
7.1.2	Mittausalueet, hälytysrajat ja hälytysajat	43
7.2	Energiamittarit	43
7.3	Mittauslähettimet	45
7.3.1	Virtaus	45
7.3.2	Kastepiste	46
7.3.3	Paine	46
7.3.4	Lämpötila	47
8	PROTOLAITTEISTON KÄYTTÖTESTAUS	48
8.1	Testausympäristö	48
8.2	Käyttötestauksen valmistavat toimenpiteet	50
8.2.1	Energiamittareiden asennus	50
8.2.2	Mittauslähettimien asennus	52
8.2.3	Tiedonkeruuyksikön asennus	54

8.3 Käyttöttestaus.....	55
8.4 Käyttökokemukset	55
8.5 Mittaustulokset.....	56
8.5.1 Energiamittaus.....	57
8.5.2 Virtausmittaus	59
8.5.3 Painemittaus	60
8.5.4 Kastepistemittaus	61
8.5.5 Lämpötilamittaus.....	62
9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	63
9.1 Johtopäätökset.....	64
LÄHTEET.....	66
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Nykypäivän teollisuus on alkanut tiedostaa energiansäästön ja energiatehokkuuden merkityksen. Teollisuudessa on silti monia kohteita joita kehittämällä voidaan säästää energiansäästöjä. Yksi tärkeä kohde on teollisuuden paineilmajärjestelmät jossa on suuret säästömahdollisuudet.

Monilla teollisuuden aloilla paineilmakompressorit kuluttavat enemmän sähköä kuin mikään muu järjestelmä. Tämänkaltaisissa tilanteissa järjestelmien tehottomuudet voivat olla erittäin merkittäviä asioita /34/.

Motivan arvion mukaan paineilman sähkönkäyttö Suomen teollisuudessa on suuruusluokkaa 1,4TWh/a. Keskimäärin tehtailla voidaan arvioida olevan 20 % taloudellisesti kannattava toteuttamiskelpoinen tehostamispotentiaali paineilman sähkönkäytössä /1/.

Euroopan Unionissa, Yhdysvalloissa ja Australiassa paineilmajärjestelmät käyttävät n. 10 % teollisuuden käyttämästä sähköenergiasta /12, 35, 36/. EU:ssa tämä tarkoittaa yli 80 TWh sähköenergiaa ja 55 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä vuodessa /12/

Erinäisten tutkimusten perusteella on todettu, että paineilmajärjestelmien energiatehokkuudet ovat melko matalia. Tutkimukset osoittavat, että paineilmajärjestelmiä voitaisiin parantaa kohteesta riippuen 5-50 % /12, 35/.

Paineilmajärjestelmien tehokkuuksia voidaan parantaa usealla eri tavalla /12, 34/. Yksi tärkeä toimenpide on paineilmajärjestelmään suoritettavien mittausten tekeminen. Paineilmajärjestelmään tehtävien mittausten tarkoitus on luoda kokonaiskuva ja pohja paineilmajärjestelmän energiakäytön ja energiatehokkuuden arvioimiseksi, sekä mahdollistaa johtopäätösten teko toiminnan tehostamiseksi /25/.

Paineilman energiatehokkuuspalveluihin erikoistunut ROCCA Group Oy on tarjonnut teollisuuden paineilman mittaustarpeisiin AFCS (Air Flow Control System) pai-

neilmakulutuksen mittausjärjestelmää, jolla kerätään tietoa paineilman kulutuksesta määrällisesti ja ajallisesti, sekä tarvittaessa myös paineesta ja kastepisteestä.

Koska AFCS on jo hieman vanhentunutta tekniikkaa, eikä sitä ole tarkoitettu laajassa mittakaavassa kaupallistettavaksi, on perustettu tuotekehitysprojekti uutta järjestelmää varten. AIRSave – tuotekehitysprojektissa on tarkoitus kehittää uusi nykypäivän vaatimuksia vastaava paineilman energiatehokkuuden mittaus- ja seurantajärjestelmä.

Tämä insinööri työ on osa tuotekehitysprojektia. Työn tarkoituksena on saattaa järjestelmä prototyyppi -vaiheeseen yhdessä yhteistyöyritysten kanssa, sekä testata järjestelmää teollisuudessa ja todeta järjestelmän toimivuus jatkokehitystä ja kaupallistamista varten.

2 PAINEILMAJÄRJESTELMIEN PERUSTEET

Paineilmaa on hyödynnetty jo vuosisatoja. Varhaisimmat paineilman käytön sovellukset ovat palkeet joita käytettiin pronssin ja raudan valmistukseen esihistoriallisella ajalla. Paineilman teollinen käyttö alkoi 1800-luvulla, kun kaivokset aloittivat paineilman hyödyntämisen. Nykyään paineilman sovellusalue on hyvin laaja. Sitä voidaan käyttää erilaisten aineiden siirtämiseen ja sekoittamiseen, maalaamiseen ja puhdistukseen. Koneautomaatiossa paineilmaa käytetään lähinnä suoraviivaisen ja pyörivän liikkeen aikaansaamiseksi /2/.

Paineilma on erittäin helppokäyttöinen väliaine. Paineilmaa on aina saatavissa, koska lähes aina tehdasrakennukset varustetaan paineilmaverkostolla. Paineilma on melko vaaratonta ja siistää, ja sitä voidaan myös varastoida. Paineilmajärjestelmän parhaat hyödyt ovat yksinkertaisuus ja edullinen hankintahinta. Näillä hyödyillä yleensä perustellaan merkittävimmät haitat, kuten huono hyötysuhde ja toimilaitteiden pienet voimat /2/.

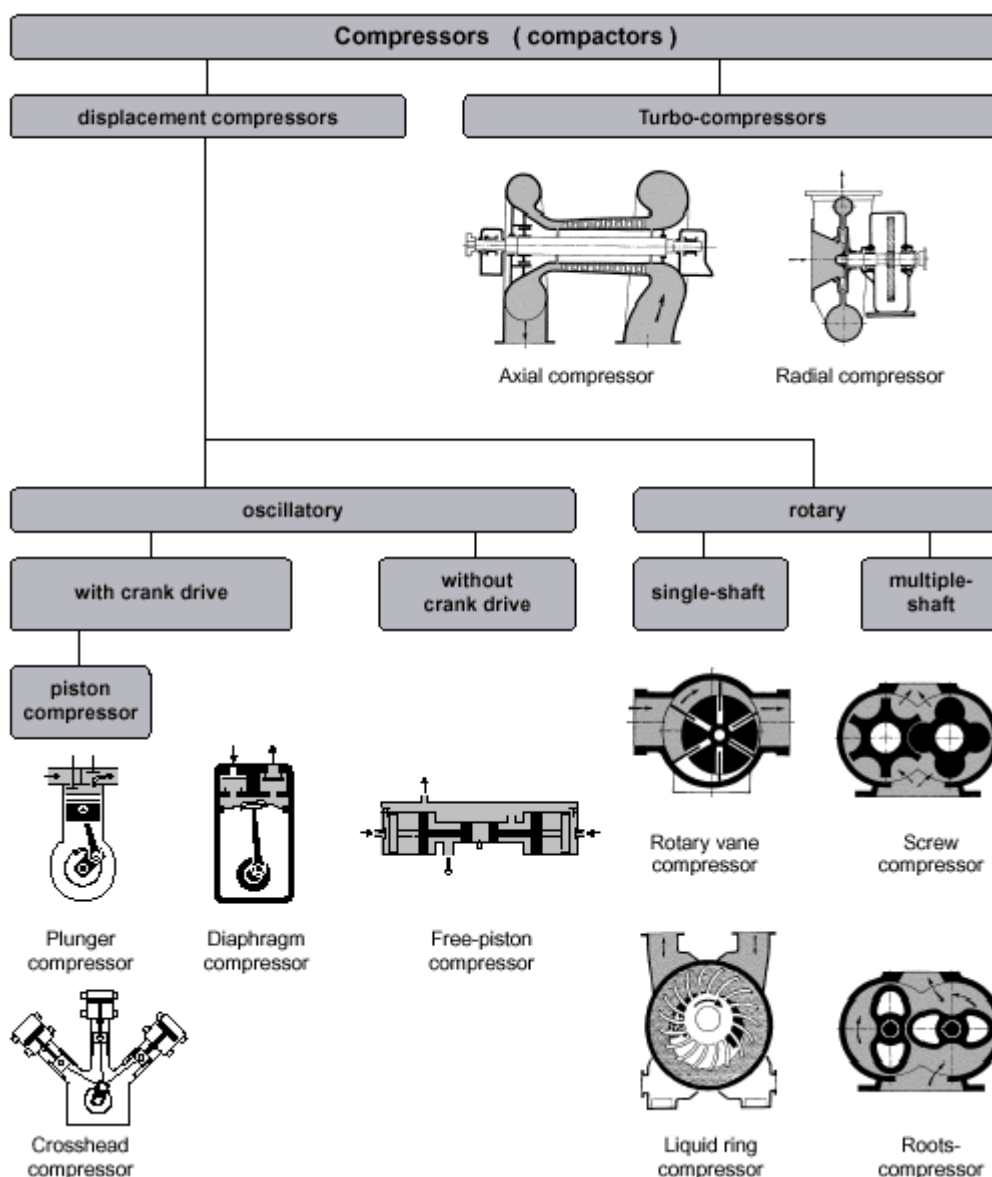
Paineilmajärjestelmä koostuu yleensä useammasta osasta, joita on paineilman tuotto, jäähdytys, varastointi, jälkikäsitteily ja käyttö /2/.

Paineilmajärjestelmässä on aina kysymys kokonaisuudesta, jolloin jokainen komponentti on mitoitettu vastaamaan toisiaan. Luodun järjestelmän tavoitteena on tuottaa mahdollisimman taloudellisesti paineilmaa, joka laadultaan vastaa kulloisiakin tarpeita. Ennen paineilmajärjestelmän hankintaa on määriteltävä tarvittavan ilman parametrit. Kyseisiä suureita ovat ilman määrä, verkkopaine, laatu, käyttövarmuus sekä kulutuksen vaihtelu /3/.

2.1 Tuotto

Paineilman tuottamiseen käytetään kompressoreita. Kompressori on laite jonka avulla nostetaan kaasumaisen väliaineen painetta siten, että loppupaine on vähintään kaksinkertainen imupaineeseen verrattuna /2/.

Käyttötarkoitus sanelee tarvittavan paineen, joka kompressorin on kyettävä muodostamaan. Yleensä teollisuudessa käytetään 6...10 bar paineita /3/. Suurempiakin painetasoja on käytössä, aina jopa 200 bar:iin asti /7/. Myös tarvittava ilmamäärä vaihtelee muutaman litran minuuttituotannosta satoihin kuutioihin minuutissa. Näin ollen ei ole olemassa yhtä kompressorityyppiä, jolla voitaisiin tuottaa tehokkaasti ilmaa näin laajalle käyttöalueelle /3/. Kuvassa 1 on kerrottu miten kompressorit jakautuvat erilaisiin ryhmiin paineilman tuoton perusteella.



Kuva 1. Kompressoreiden tyypit /5/.

2.1.1 Dynaamiset kompressorit

Dynaamisessa kompressorissa ilma virtaa pyörivän siivistöllä varustetun juoksupyörän läpi, joka kiihdyttää sen suureen nopeuteen. Seuraavaksi ilma ohjataan johtolaitteeseen, joka muuttaa ilman liike-energian paine-energiaksi /2/.

Dynaamisia kompressoreita ovat radiaali- ja aksiaalikompressorit. Dynaamiset kompressorit tunnetaan myös nimellä turbo-kompressorit /4/. Dynaamiset kompressorit soveltuvat suurten tilavuusvirtojen tuottamiseen suhteellisen pienellä paineella /3/.

2.1.2 Staattiset kompressorit

Staattisessa, eli ilmavirtaa syrjäyttävässä kompressorissa ilma virtaa kammioon, jonka tilavuutta pienentämällä ilman staattinen paine kasvaa. Puristuksen jälkeen ilma ohjataan paineliitintään. Staattisista kompressoreista yleisimmät ovat ruuvi- ja mäntäkompressorit /2/.

Mäntäkompressoreita on esimerkiksi yksi- ja kaksivaiheinen mäntäkompressori ja kalvotyyppinen mäntäkompressori. Ruuvikompressorit kuuluvat pyöriväroottoriin kompressoreihin, joita on myös Z-ruuvikompressori, nesterengaskompressori ja lamellikompressori /2/.

Staattiset kompressorit soveltuvat suhteellisen suurten paineiden tuottamiseen pienellä tilavuusvirralla. Tästä johtuen teollisuudessa on useimmiten käytössä kompressoreita jotka perustuvat staattiseen puristukseen /3/.

2.2 Jälkijäähdytys

Paineilmajärjestelmissä kompressorin jälkeen on melko usein jälkijäähdytin. Jälkijäähdytin voi olla myös integroituna kompressoriyksikköön /7/. Jäähdytin on toiminnaltaan lämmönvaihdin, joka jäähdyttää paineilman puristuksen jälkeen ja erottaa siitä vettä /2/. Jälkijäähdyttimiä käytetään yleensä melko isoissa kompressoriyksiköissä /7/.

Kompressorin jälkeen ilman lämpötila on yleensä vähintään 80 °C, jolloin ilman suhteellinen kosteus on lähes poikkeuksetta 100 %. Suhteellisen kosteuden nouseminen johtuu paineen kasvusta, jolloin ilman kastepiste nousee huomattavasti. Lämpötilan laskiessa jäähdyttimessä lähelle imuilman lämpötilaa voi kosteudesta jopa 70 % tiivistyä vedeksi /3/.

Energiatalouden kannalta jäähdytys ei ole kannattavaa, koska paineilmasta saatava työ on suoraan verrannollinen ilman lämpötilaan. Jäähdytys on kuitenkin yleensä välttämätöntä ilman kuivauksen kannalta /3/

2.3 Varastointi

Paineilmajärjestelmissä on yleisesti järkevää käyttää paineilmasäiliöitä. Säiliöllä voidaan jäähdyttää ilmaa ja säiliötä voidaan hyödyntää veden erotuksessa. Tärkein säiliön ominaisuus on silti se, että ilmaa varastoimalla saadaan tasattua kulutushuippuja ja siten myös vaimennettua painevaihteluita /2/.

Ilman varastointi on erityisen tärkeää energiatehokkuuden kannalta, koska varastoidulla ilmalla saadaan estettyä kompressoreiden turhat käynnistymiset ja siten säästetään sähköä ja ei tule turhia käynnistyksiä kompressoreille. Säiliön tilavuuden olisi hyvä olla n. 20 – 25 % kompressorin tuottamasta ilmamäärästä. Taajuusmuuttajakäyttöisissä kompressoreissa säiliön tilavuudeksi riittää 5 – 10 % /7/.

2.4 Jälkikäsittely

1m³ käsittelemätöntä ilmakehän ilmaa sisältää epäpuhtauksia yli 180 miljoonaa partikkelia, jotka ovat kooltaan 0,01...100 µm. Lisäksi 1m³ ilmaa sisältää vesihöyryä 5-40 g/m³, öljyä 0,01...0,03 mg/m³, sekä raskasmetallihiukkasia.

Kun 1 m³ käsittelemätöntä ilmaa puristetaan 10 barin ylipaineeseen, kasvaa epäpuhtauksien määrä 11 kertaiseksi. Puristuksen jälkeen ilma sisältää epäpuhtauksia jopa kaksi miljardia hiukkasta /4/.

Paineilman sisältämästä vesimäärästä saa käsityksen seuraavasta esimerkistä: 30 kW:n kompressori, jonka tuotto on 5 m³/min 7,5 barin paineella, tuottaa noin 20 litraa vettä yhden työvuoron aikana. Yhden vuoden aikana tuotetun vesimäärän arvoksi tulee noin 7000 litraa /6/.

2.4.1 Suodatus

Paineilmassa olevien epäpuhtauksien suodattamiseen voidaan käyttää syklonierotinta, esisuodatinta, hienosuodatinta, mikrosuodatinta, aktiivihiihluosodatinta ja tarvittaessa steriilisuodatinta /4/.

Syklonierotinta käytetään ensimmäisenä suodattimena kompressorin jälkeen /4/. Syklonierotintimen pääasiallinen tarkoitus on vedenpoisto /7/. Syklonierotintimen toiminta perustuu massan hitauteen. Ilma virtaa suodatinkoteloon, jossa on erityinen pyörteitin, joka kiihdyttää ilman virtausta kotelossa. Kiihtyneen virtauksen johdosta kiinteät ja nestemäiset hiukkaset törmäävät kotelon seinämiin ja puhdistunut ilma virtaa ulos suodatinkotelosta /4/.

Esisuodatinta käytetään suodattimena ennen hienosuodatinta, jos ilma on kovin likaista. Suodatinelementtinä käytetään yleensä sintrattua pronssia, sintrattua keramiikkaa tai selluloosapaperielementtiä /4/. Esisuodattimen suodatusaste on 1 – 3 mikronia.

Hienosuodatinta käytetään, kun vaatimuksena on erittäin korkealaatuinen paineilma. Hienosuodattimen suodatinelementtinä käytetään yleensä borosilikaattikuituja, jotka muodostavat huokoisen labyrinttimaisen suodatuspinnan. Pinta suodattaa hiukkaset erittäin tehokkaasti. Suodattimen jälkeen paineilman suodatusaste on 99, 9999% /4/.

Hienosuodatuksen jälkeen käytännössä öljyvapaa paineilma sisältää edelleen vetykarbonaatteja, sekä erilaisia hajuja ja makuaineita. Aktiivihiihluosodatintimen avulla pystytään suodattamaan vetykarbonaattihajut paineilmosta. Paineilma soveltuu tämän suodatuksen jälkeen esimerkiksi elintarvike-, lääke- ja kemianteollisuuteen /4/. Ak-

tiivihiihisuodatuksen jälkeen paineilma on myös soveltuvaa teollisuuden hengitysilmakäyttöön /7/.

Vaadittaessa täysin steriiliä ja bakteerivapaata paineilmaa, voidaan vielä käyttää sterilisointilaitteita. Suodatuksen jälkeen ilman puhtausaste on 100 % /4/.

Paineilman suodatuksessa pitää huomioida myös se tosiasia, että suodattimet aiheuttavat paine-eroa, jonka seurauksena kompressorilta vaaditaan mahdollisesti korkeampaa painetta. Lisäksi tukkeutuneet suodattimet lisäävät paine-eroa yhä entisestään, joten suodattimien säännöllinen vaihtaminen ja tarkkailu ovat tärkeitä toimenpiteitä /7/.

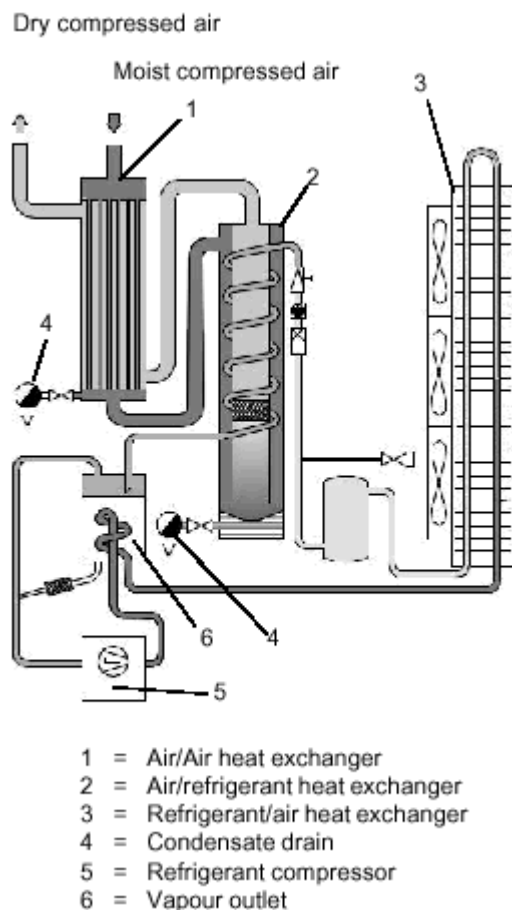
Paine-eron kasvun toteamiseksi käytetään yleensä suodattimissa paine-ero mittareita, joiden avulla nähdään milloin suodatin pitää vaihtaa /8/. Turhaa ylisuodattamista ei siis kannata harrastaa, koska se kuluttaa turhaa energiaa.

2.4.2 Kuivaus- ja vedenerotus

Paineilman kuivaamiseen ja vedenerotukseen voidaan käyttää joko jäähdytyskuivainta tai adsorptiokuivainta /2/. Pienille paineilman tilavuusvirroille voidaan myös käyttää membraanikuivainta /8/.

Membraanikuivaimessa on suodatinkotelo, jonka sisään paineilma virtaa ja sieltä edelleen membraanimuoduliin. Membraanimuoduli sisältää erityisiä kuituja, jotka aiheuttavat sen, että ilman virratessa niiden läpi, höyrystyy ilmaan sitoutunut vesi ja ainoastaan ilma läpäisee kuidut /9/.

Jäähdytyskuivain on periaatteessa kylmäkone. Kuivaimessa on kaksi kiertopiiriä. Kuivattava ilma kulkee lämmönvaihtimen ja vedenerottimen läpi. Jäähdyttävä kylmäaine kulkee omassa jäähdytyspiirissään /2/. Jäähdytyskuivaimelle ominainen kastepiste on +3...+5 °C /8/. Kuvassa 2 esitetään jäähdytyskuivaimen toimintaperiaate.



Kuva 2. Jäähdytyskuivaimen toimintaperiaate /5/.

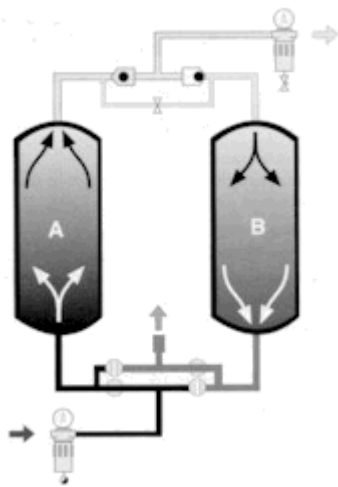
Adsorptiokuivaus perustuu kiinteän tai nestemäisen aineen kykyyn sitoa vesimolekyylejä pinnalleen. Riippuen kuivausaineesta adsorptiokuivaimella on mahdollista saavuttaa todella alhainen, jopa -70 °C kastepiste /2/. Adsorptiokuivaimen kuivausaineita on esimerkiksi alumiinioksidi tai silica-geeli. Adsorptiokuivaimelle ominainen kastepiste on yleensä $-30\text{...}-50\text{ °C}$ /8/.

Taulukossa 1 on esitetty joitain ilman kastepisteitä ja niiden sisältämiä vesimääriä. Kastepisteellä tarkoitetaan lämpötilaa, jossa ilmassa oleva vesihöyry alkaa tiivistyä pisaroiksi. Punaiset luvut ovat yleisiä paineilmajärjestelmissä käytettyjä kastepisteitä. Ilman kastepisteen laskiessa $-40\text{ °C}\text{...}-60\text{ °C}$:een, pienenee veden määrä kymmenkertaaisesti paineilmassa.

Kastepiste (°C)	Veden määrä (g/m ³)	Kastepiste (°C)	Veden määrä (g/m ³)
60	129,02	0	4,868
50	82,257	-10	2,156
40	50,672	-20	0,88
30	30,078	-40	0,117
20	17,148	-60	0,11
10	9,356	-70	0,0033
5	6,79	-80	0,0006
3	5,953	-90	0,0001

Taulukko 1. Paineilman kastepisteen vaikutus paineilman sisältämän veden määrään /10/.

Adsorptiokuivaimesta pitää tiedostaa se, että mitä kuivempaa paineilmaa halutaan tuottaa, niin sitä enemmän joudutaan kyllästynyttä kuivausainetta elvyttämään. Elvyttämisellä saadaan kuivausaine saatettua takaisin käyttöön. Elvyttäminen voidaan suorittaa esimerkiksi sähkövastuksilla tai ilmavirtauksella /2/. Kuvasta 3 nähdään, että tankissa A paineilmaa kuivataan ja tankkia B elvytetään



Kuva 3. Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate /5/.

Yleensä adsorptiokuivaimia ei voida pitää varteenotettavina vaihtoehtoina jäähdytyskuivaimille, jos lähtökohdaksi otetaan taloudellisuus ja ympäristötase. Jäähdytyskuivaimet käyttävät vain 3 % siitä energiasta, jonka kompressorin tarvitsee paineilman tuotantoon /6/. Adsorptiokuivain sitä vastoin 10-20 % /7/. Jäähdytyskuivaimet ovat normaalitapauksissa suositeltavin vaihtoehto /6/. Adsorptiokuivaimet ovat silloin

suositeltavia, kun tarvitaan erittäin kuivaa paineilmaa tai, kun putkistot ovat kosketuksissa ulkoilmaan /7/.

2.5 Laatuluokitus

Paineilman laatuluokitukset on spesifioitu standardissa DIN ISO 8573–1. Standardissa määritellään luokitukset paineilman suodatusasteelle, öljypitoisuudelle ja kastepisteelle. Standardi määrittää 6-luokkaa paineilmalle. Kaikissa luokissa on annettu viralliset arvot suodatukselle, öljypitoisuudelle ja kastepisteelle jota paineilma tietystä luokassa saa sisältää /4/.

Kuvassa 4 on standardin luokat, joissa jokaisessa on määritelmät ko. luokan paineilman laadulle. Standardissa on olemassa myös paineilman laatuluokka-0, joka alun perin on ollut valmistajien itse määriteltävissä /4/. Vuonna 2006 TÜV –laboratorio antoi ensimmäisen kerran virallisen 0-laatuluokituksen erään valmistajan öljyttömän ruuvikompressorin tuottamalle paineilmalle /11/.

Class	max. oil content [mg/m ³]	max. residual dust content		max. residual water content	
		particle size [μm]	particle density [mg/m ³]	res. water [g/m ³]	press. dew point [°C]
1	0,01	0,1	0,1	0,003	-70
2	0,1	1	1	0,117	-40
3	1	5	5	0,88	-20
4	5	15	8	5,953	+3
5	25	40	10	7,732	+7
6	—	—	—	9,356	+10

Kuva 4. DIN ISO 8573-1 standardi /4/.

2.6 Käyttö

Paineilman käyttöön voidaan laskea kuuluvan venttiilit ja toimilaitteet, sekä erilaiset puhalluskuivaukset ja paineilmatyökalut /2/. Ennen kuin paineilma on käyttökohteeseen sopivaa, pitää sitä tarvittaessa käsitellä. Käsitteilylaitteita on esimerkiksi suodatin/vedenerotin, paineensäädin ja voitelulaite /7/.

2.6.1 Venttiilit

Venttiilit voidaan jakaa neljään ryhmään: suuntaventtiilit, virta- ja vastaventtiilit, paineventtiilit sekä muut venttiilit /2/.

Suuntaventtiili nimensä mukaisesti ohjaa ilmavirran suuntaa toimilaitteiden eri kammioihin ja siten ohjaa toimilaitteiden suuntaa. Venttiilin rakenteen muodostaa runko ja sen sisällä oleva luisti tai istukka /2/.

Virta- ja vastaventtiileitä käytetään ohjaamaan ilmavirtauksen tilavuusvirtaa ja sitä kautta toimilaitteen nopeutta. Toimilaitteen nopeutta voidaan säätää yksinkertaisimmin vastusventtiilin avulla, jolla kuristetaan virtauksen nopeutta /2/. Yksinkertaisin virtaventtiili on vastusvastaventtiili, joka sallii ilman virtauksen vain yhteen suuntaan.

Muita venttiileitä on esimerkiksi vaihtovastaventtiili, kaksipaineventtiili ja pikapoistoventtiili.

Vaihtovastaventtiiliä käytetään, kun ohjauslogiikka halutaan toteuttaa pneumaattisesti. Vaihtovastaventtiilistä käytetään myös nimitystä looginen TAI /2/.

Kaksipaineventtiiliä, toiselta nimeltään looginen JA, käytetään myös pneumaattisen ohjauslogiikan toteuttamiseen /2/.

Pikapoistoventtiiliä käytetään kun halutaan toteuttaa toimilaitteen liike mahdollisimman nopeasti /2/.

2.6.2 Toimilaitteet

Toimilaitteita on montaa eri tyyppiä rakenteeltaan ja toiminnaltaan: vakiosylinterit, männänvarrettomat sylinterit, kääntölaitteet ja erikoistoimilaitteet /2/.

Vakiosylinterit muuttavat pneumaattisen energian suoraviivaiseksi mekaaniseksi liikkeeksi. Paineilman jouston vuoksi niitä ei voida tarkasti pysäyttää, vaan ne ajetaan ääriasennosta toiseen tai mekaanista estettä vasten /2/.

Männänvarrettomassa sylinterissä ei ole lainkaan männänvartta. Männän voima välitetään sylinterin kyljessä liikkuvaan laakeroituun kelkkaan. Männänvarrettoman sylinterin hyötyjä vakiosylinteriin verrattuna on esimerkiksi se, että sylinterin kokonaispituus vakiosylinteriin verrattuna on vain puolet, myöskään männän pyörimistä ei tapahdu /2/. Haittana vakiosylinteriin verrattuna on se, että pystysuuntaista liikettä on vaikea toteuttaa.

Kääntölaitteita on esimerkiksi rajallisen pyörimisliikkeen aikaansaavat pneumaattiset toimilaitteet ja vääntösylinterit. Pneumaattisen toimilaitteen yleisimpiä käyttökohteita ovat säätöventtiileiden karojen aseman muuttaminen. Kappaletavara-automaatiossa niitä käytetään tarttujien toimilaitteena, sekä kääntölaitteena. Vääntösylinterillä voidaan saada yli 360° kiertokulma /2/.

Erikoistoimilaitteita tarvitaan kun käyttö on normaalista poikkeavaa. Toimilaitteita on esimerkiksi jarrusylinteri, kompaktisylinteri, paljesylinteri, lineaariyksikkö, tarttuja ja moniasentosylinteri /2/.

3 TEOLLISUUDEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄT

Kuten edellä olevan kappaleen 2 alussa todettiin, on paineilman käyttö teollisuudessa hyvin yleistä, koska paineilman tuotanto, käsittely ja käyttö ovat turvallista ja helppoa. Paineilman tuotantoon käytetty sähköenergia on noin 10 % koko teollisuuden käyttämästä sähköenergiasta Euroopan Unionissa. Numeroarvoina 10 % tarkoittaa 80 TWh:a sähköenergiaa ja 55 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä vuodessa /12/.

Monilla teollisuuden aloilla paineilmakompressorit kuluttavat enemmän sähköä kuin mikään muu järjestelmä. Tämänkaltaisissa tilanteissa järjestelmien tehottomuudet voivat olla erittäin merkittäviä asioita /34/. Yleisesti ottaen paineilmajärjestelmien energiatehokkuudet ovatkin melko alhaisia. Säästömahdollisuudet ovat kohteesta riippuen 20% - 40%:a ja joissain kohteissa jopa 50 % - 70%:a /7/.

3.1 Käyttövaatimukset

Paineilmaa käyttävän teollisuuden mukaan luotettavuus on ehdottomasti tärkein ominaisuus paineilmajärjestelmissä. Sen jälkeen tulee paineilman laatu ja kustannukset /12/.

3.1.1 Luotettavuuden ja laadun merkitys

Luotettavuus on tärkeää siksi, että paineilma on keskeinen osa tuotantoprosesseja useimmilla teollisilla paineilman käyttäjillä. Järjestelmän hajoaminen johtaa yleensä tuotannon katkeamiseen /12/.

Paineilman laatu on taas tärkeää kahdesta syystä. Ensimmäkin paineilman epäpuhtaudet voivat aiheuttaa rikkoutumisia tuotantolaitteissa, jotka käyttävät paineilmaa /12/.

Toiseksi joissain järjestelmissä paineilma on kosketuksissa tuotannon lopputuotteiden kanssa esim. ruoat, lääkkeet ja elektroniikka. Näissä tapauksissa huono ilman laatu voi johtaa tuotteiden laadun alenemiseen /12/.

3.1.2 Kustannusten merkitys

Paineilman kustannukset näyttävät olevan vähiten merkitsevä ominaisuus paineilmajärjestelmissä. Tämä on sikäli tärkeä tieto, koska kannustettaessa yrityksiä energiatehokkuuden parantamiseen, tärkein kannustin on yleensä juuri kustannusten pieneminen. On olemassa kuitenkin joitain selkeitä syitä miksi paineilman kustannuksille ei juuri anneta paljoa merkitystä, jopa erittäin kustannustehokkaillakin teollisuuden aloilla:

- Paineistetun ilman kustannuksia ei lasketa. Monissa tapauksissa käyttäjät eivät ole tietoisia paineistetun ilman käyttökustannuksista tai paineilman tuottoon tarvittavan energian kustannuksista. Kustannukset on yleensä sisällytetty yrityksen yleisiin kustannuksiin /12/. Muutaman viime vuoden aikana paineilman kustannusten merkityksen ymmärtäminen on Suomessa kuitenkin alkanut merkittävästi lisääntyä /7/.
- Mahdollisia säästömahdollisuuksia ei tunneta. Joissain tapauksissa, vaikka yrityksellä olisi paineilman kustannuksista tietoa saatavilla, niin silti päätöksiä tekevä yrityksen johto ei ole riittävän tietoinen olemassa olevista kustannustehokkaista energiaa säästävistä toimenpiteistä /12/.
- Johtamiseen käytetty aika on rajoittunutta. Yrityksen johtajat eivät koe, että energiatehokkuuden parantaminen olisi riittävän arvokasta toimintaa heille. Ajatus siitä, että paineilman tuottamisen kustannus on vähäinen, on joskus väärä /12/.
- Yritysten johtamisjärjestelmät ovat monimutkaisia. Paineilman kustannusten luonteesta johtuen vastuu kustannusten vähentämisestä jakaantuu usein huollon, tuotannon, hankinnan ja talouden välille. Yhteistyö näiden toimintojen välillä on usein hankalaa kaikissa yrityksissä /12/.

3.2 Tehokkuuden parantamismahdollisuudet

Paineilmajärjestelmien tehokkuus riippuu kaikkien järjestelmään kuuluvien osien suorituskyvystä, eli paineilman tuotannosta, käsittelystä, verkostosta ja paineilman käyttökohteesta, mutta yhä enenevässä määrin järjestelmän yleisestä suunnittelusta ja käytöstä /12/.

Oikein käytettynä paineilmajärjestelmällä voidaan säästää energiaa, vähentää huolto- ja, vähentää joutokäyntiä, lisätä tuotannon kapasiteettia ja parantaa tuotteiden laatua /34/. Paineilmajärjestelmän elinkaarikustannukset jakautuvat yleensä seuraavasti:

15 – 20 % Investoinnit

- Kompressorit, kuivaimet, suodattimet, ohjausjärjestelmät yms.

5 % Huollot ja huolto-osat

- Öljyt, huolto-osat, huollot

75 – 80 % Sähköenergia

- Sähkötaloudelliset

Seuraavaksi on esitelty joitain toimenpiteitä jolla on mahdollista parantaa paineilmajärjestelmän yleistä tehokkuutta.

3.2.1 Käyttöjen parantaminen

Käytetään korkean hyötysuhteen moottoreita parantamaan energiatehokkuutta. Lisäksi säädettyjen taajuuskäyttöjen käyttäminen kompressoreissa voi johtaa energiatehokkuuden parantumiseen, riippuen kuormitusolosuhteista /12/. Taajuuskäytöissä pitää kuitenkin huomioida se, että väärinkäytettyinä ne voivat olla suuria energiankuluttajia.

3.2.2 Kompressorin valinta

Kompressoreita on olemassa useilla erilaisilla toimintaperiaatteilla: mäntä, ruuvi, lamelli, turbiini yms. Jokaisesta toimintaperiaatteesta on myös olemassa erikoissovel-

lutuksia. Valittaessa kompressoria käyttökohteeseen, pitää valinta tehdä käyttökohteen vaatimukset huomioon ottaen /12/.

3.2.3 Kompressoreiden kehittäminen

Kompressoreiden kehitys on nykyään aktiivista. Olemassa olevia kompressoreita jatkokehitetään, sekä pyritään kehittämään uusia yleensä erityisille markkinoille tarkoitettuja kompressoreita /12/. Uusia kompressoreita kehitettäessä pitäisi energiataloudelliset ratkaisut olla aina etusijalla /7/.

3.2.4 Kehittyneet ohjausjärjestelmät

Kompressoreiden ohjaamiseen voidaan käyttää kehittyneitä ohjausjärjestelmiä sovitamaan paineilman käyttö ja tuotto. Ohjausjärjestelmillä saadaan säästettyä energiaa optimoimalla kompressorin käytöt, tyhjäkäynnit ja pysähdykset. Ohjausjärjestelmiä voidaan käyttää uusissa koneissa ja monissa jo olemassa olevissa koneissa /12/.

3.2.5 Lämmön talteenotto

Kompressorit tuottavat runsaasti lämpöenergiaa tuottaessaan paineilmaa /13/. Käyttämästään energiasta kompressorit muuttavat lämmöksi jopa 75 % /7/. Mahdollisuuksien mukaan kompressoreiden tuottama hukkalämpö kannattaa ottaa talteen ja käyttää se muissa toiminnoissa /12/.

Tyypillinen sovellus hukkalämmön käytössä on joidenkin tilojen lämmitys, jos ne ovat lähellä kompressoreiden sijoituspaikkaa /12/. Lämpö voidaan ottaa talteen joko lämpimänä ilmana tai vetenä. Ilmaan perustuvassa lämmön talteenotossa puhallin siirtää lämmitetyn ilman viereiseen lämmitettävän huoneeseen putkiston avulla /13/.

Lämmön talteenoton kustannustehokkuus riippuu siitä, että mikä lämmitys on vaihtoehtona lämmön talteenotolle. Kustannustehokkain on tilanne jossa vaihtoehto on sähkölämmitys /12/.

3.2.6 Paineilman käsittely

Myös paineilman käsittelyä voidaan kehittää. Jäähdytys, kuivaus ja suodatus aiheuttavat paineen laskemista järjestelmässä. Lisäksi kuivauslaitteet käyttävät paineilmaa tai sähköä suodatuksen regenerointiin. Suodatuksen ja kuivauksen optimointi käyttökohteen mukaan on tärkeää energiansäästämisessä /12/.

3.2.7 Vuotojen vähentäminen

Vuotokohtien vähentäminen on ehkäpä yksi tärkein yksittäinen energiaa säästävä toimenpide /12/. Vuodot aiheuttavat suuria kustannuksia, sillä ilma virtaa vuotokohdasta niin kauan kun verkostossa on painetta /13/.

Esimerkiksi jos vuotavan reiän halkaisija on 10mm ja painetaso on 6bar, vuotaa reiästä ilmaa n. 105 litraa sekunnissa /13/. Yhden minuutin aikana vuotoilman suuruus on n. 6000 litraa.

Vuotokohtien säännöllisen kartoituksen tärkeyden ymmärtäminen on kuitenkin yleensä heikkoa, koska vuotokohdat ovat yleensä näkymättömiä ja eivät aiheuta vahinkoa /12/.

Henkilöstöä pitäisi kouluttaa siihen, että havaituista vuodoista ja muista mahdollisista paineilmajärjestelmän vahingoittumisista kerrottaisiin niille jotka paineilmajärjestelmästä ovat vastuussa /4/.

4 MITTAUKSET PAINEILMAJÄRJESTELMÄSSÄ

Mittaaminen on elämään moninaisesti liittyvää toimintaa. Jos haluamme tietää jostakin esineestä tai ilmiöstä, tieto on useimmiten hankittava mittaamalla. Mittauslaitteita ja instrumentointijärjestelmiä käytetään ilmaisemaan, muuntamaan, välittämään, tallentamaan sekä ohjaamaan ja säätämään fysikaalisia suureita. Instrumenttien toiminta saadaan helposti keskeytymättömäksi ja siten mittaussignaalit voidaan saattaa vaikuttamaan esimerkiksi teollisuusprosesseihin /14/.

Mittausjärjestelmä koostuu yleensä mittauskohteesta, anturista ja signaalinmuodotuksesta, signaalin siirrosta, tietojen keruusta ja käsittelystä sekä tietojen käytöstä eri tarkoituksia varten /14/.

4.1 Antureiden ja mittaussignaalien perusteet

Anturin tärkein ominaisuus on, että se antaa kohdesuuretaan kuvaavan, käsiteltäväksi sopivan signaalin /15/. Anturi pyritään valitsemaan siten, että se on spesifinen, tarkka ja kestävä. Tärkeää on myös, että signaali soveltuu hyvin siirrettäväksi ja käsiteltäväksi /14/. Koska antureita on hyvin monenlaisia, niiden antamia signaalimuotojakin on useita /15/.

Signaali on analoginen, jos signaaliparametri kuvaa mittaussuuretta jatkuvalla asteikolla. Analogiasignaalin häiriösietoisuus edellyttää riittävän signaalitehon käyttöä. Analogisen jännitesignaalin olisi oltava mieluummin voltteja kuin millivoltteja, sillä johtimiin indusoituu tai siirtyy kapasitiivisesti häiriöitä, jotka helposti ovat kymmeniä millivoltteja, jotkin transienttiluonteiset häiriöt jopa sadan voltin luokkaa. Virtasignaalin tulisi samoista syistä olla milliampeerien tasoa /15/.

Jos mittausjärjestelmä on laaja, on paljon etua siitä, että kaikkien antureiden signaalit ovat sekä muodoltaan, että alueeltaan samanlaiset. Silloinhan voidaan signaalien käsittelylaitteet rakentaa samanlaisiksi anturityypistä riippumatta. Tärkein standardisignaali on tasavirtasignaali, jonka alue on 4...20mA. Alaraja on valittu nolasta poikkeavaksi, jotta signaalivirtaa voidaan käyttää myös anturin tehon syöttämiseen /15/.

Jonkin verran käytetään myös muita signaalialueita 0...20mA, 1...5 V, 0...5 V tai -10...10 V /14/.

Elektronisia mittalaitteita jotka antavat standardisignaalia, sanotaan mittauslähettimiksi /14/.

4.2 Mittaamisen tarkoitus

Kappaleessa 3.2 käytiin läpi asioita joiden avulla voidaan parantaa paineilmajärjestelmän tehokkuutta.

Paineilmajärjestelmän mittaukset ovat myös erittäin tärkeä osa energiatehokkuuden parantamista. Paineilmajärjestelmän mittaukset, sekä niiden seuranta eivät itsessään paranna energiatehokkuutta, mutta ne ovat yleensä ensimmäisiä toimenpiteitä energiatehokkuutta parannettaessa /12/.

Paineilmajärjestelmään tehtävien mittausten tarkoitus on luoda kokonaiskuva ja pohja paineilmajärjestelmän energiakäytön ja energiatehokkuuden arvioimiseksi sekä mahdollistaa johtopäätösten teko toiminnan tehostamiseksi /25/.

Tarjoamalla yrityksen johdolle helppo ja ytimekäs yleiskatsaus yrityksen paineilman ja energiankulutukseen, olisi yrityksen johdon paljon helpompaa tehdä päätöksiä energiaa säästävistä toimenpiteistä /12/.

4.3 Mittauskohteita

Paineilmajärjestelmän suorituskykyä arvioitaessa tulisi tehdä ainakin kolme perusmittausta: ilmamäärä, ilman paine ja energian kulutus /12/. Myös muita mittauksia on mahdollista tehdä. Seuraavaksi käydään läpi erilaisia paineilmajärjestelmään tehtäviä mittauksia.

4.3.1 Ilmamäärä ja energian kulutus

Tuotettu ilmamäärä ja sitä vastaava kompressorin sähköenergian kulutus on erityisen tärkeää mitata, koska niiden avulla saadaan mitatuksi energian kulutus tuotettua ilmamäärää kohden aikayksikössä /7/. Ilmamäärä mitataan päärunkoputkista ja tarvittaessa keskeisistä päälinjoista /25/.

Mittaustuloksista nähdään mm, tuotannon tarvitsema paineilmamäärä, sekä tehtaan vuotojen osuus. Lisäksi kulutuskäyrien perusteella pystytään analysoimaan kompressoreiden tilaa järjestelmän kokonaisuoptimoimista varten. Kulutetun ilmamäärän mittaaminen on myös oleellinen mittauskohde paineilmajärjestelmässä /7/.

4.3.2 Verkoston paine ja kastepiste

Paineilmaverkoston paine on tärkeää mitata jälkikäsittelylaitteiden jälkeen, sekä suurempien kompressorien osalta heti kompressorien jälkeen. Paineita kannattaa myös mitata oletetuista kriittisistä pisteistä, joissa paineen alenemisen voidaan olettaa aiheuttava häiriötä /25/.

Kastepisteen mittaamisen tarkoituksena on seurata paineilman vesipitoisuutta. Kastepisteen nousu aiheuttaa veden lisääntymistä putkistossa /7/. Toisaalta kastepisteen seuraamisella varmistetaan myös siitä, ettei ilmaa kuivata liikaa /25/.

4.3.3 Kompressorihuoneen tai imuilman lämpötila

Kompressorin imuilman lämpötilaa on hyvä mitata, koska imuilman lämpötilalla on merkitystä energiatehokkuuden kannalta.

Joissain tutkimuksissa on osoitettu, että imuilman lämpötilan laskeminen 4 °C:lla parantaa järjestelmän energiatehokkuutta 1 %:lla /26/.

4.3.4 Kompressorihuoneen sisäinen paine

Kompressorihuoneen ja ulkoilman välisen paine-eron mittaamisella voidaan todeta kompressorihuoneen ilmasuodattimien tukkeutuminen. Tukkeutuneet suodattimet aiheuttavat kompressorihuoneeseen alipainetta /7/.

4.3.5 Muita mahdollisia mittauksia

Muita mahdollisia mittauksia on esimerkiksi kuivaimen sähköenergiankäyttö ja kuivaimelle menevän paineilman lämpötila /25/. Sekä nestejäähdytteisen kompressorin jäähdytysveden kulutus ja lämpötila /7/.

4.4 Mittausten kesto, näytteenotto- ja tallennusvälit

Mittausjakson on katettava tyypilliset käyttötilanteet ja sen on oltava vähintään yksi vuorokausi. Mittausjaksoon on mieluiten sisällytettävä tyypillisiä arkivuorokausia ja myös viikonloppu. Jakso kattaa tuotannon eri vaiheissa esiintyvät vaihtelut, seisokki- ja taukoajat /25/.

Mittausten näytteenotto- ja tallennusvälit on valittava siten, että mittaustuloksia voidaan arvioida luotettavasti /25/.

5 NYKYINEN MITTAUSJÄRJESTELMÄ

Nykyisellä paineilmakulutuksen virtausmittausjärjestelmällä pystyy keräämään tietoa paineilman kulutuksesta määrällisesti ja ajallisesti. Tarvittaessa järjestelmällä pystytään keräämään tietoa myös paineesta ja kastepisteestä. Järjestelmä koostuu periaatteessa kahdesta erillisestä mittauslaitteistosta: paineilman virtauksen mittauslaitteistosta sekä paineen ja kastepisteen mittauslaitteistosta.

5.1 Paineilman virtauksen mittausjärjestelmä

Mittausjärjestelmä sisältää paineilman virtauksen mittauslähettimen ja mittausyksikön. Mittausyksikkö kerää mittautulokset, jotka on luettavissa paikallisnäytöllä.

Mittauslähettiminä on käytetty Fluid Components Internationalin valmistamia ST98B-CA FlexMASter® ja ST50, sekä ifm electronics:n valmistamaa efector metris SD6000 –mittaria, joka on tarkoitettu paineilman mittaukseen teollisuuskäytössä. Mittausyksikkönä on Unitronics® Vision230™ PLC (Programmable Logic Controller).

5.1.1 Virtauslähettimet

ST98B-CA FlexMASter® ja ST50 ovat lämpötilaeroon perustuvia massavirtausmittareita. ST98:a voidaan käyttää paineilman virtausmittaamiseen ja ST50:a voidaan käyttää ilman, paineilman ja typen virtausmittaamiseen /16/.

Molemmat mittauslähettimet sisältävät virtauselementin, virtauslähettimen ja koteloinnin. Molempia mittauslähettämiä voidaan käyttää joko VAC tai VDC syötöllä ja mittaus signaali voi olla joko virta- (4-20mA) tai jännitepohjainen (0-5, 1-5 tai 1-10VDC) /16/. Kuvassa 5 on ST50 virtauslähetin.



Kuva 5. ST50 virtauslähetin.

Lämpötilaeroon perustuvassa mittauksessa kaksi resistiivistä lämpötila ilmaisinta RTD (Resistance Temperature Detector) mittaavat lämpötilaeroa lämmitettävän elementin ja referenssinä olevan toisen elementin välillä. Massavirtauksen kasvaminen pienentää lämpötilaeroa elementtien välillä. Saatu lämpötilaerosignaali muutetaan virtauksen mittaussignaaliksi /24/. Lämmittämättömän elementin signaalia käytetään mitattavan paineilman lämpötilan mittaamiseen /16/. Kuvassa 6 on ST98 virtauslähetin.



Kuva 6. ST98B-CA FlexMASter®.

Efactor metris on kalorimetriaan perustuva paineilman massavirtamittari. Mittaria käytetään VDC -jännitteellä ja mittaussignaali on virtapohjainen (4-20mA). Efactor metris sisältää kaksi mittauselementtiä, joista toista lämmitetään. Putkessa virtaava paineilma jäädyttää lämmitettävää elementtiä. Lämmitystehon perusteella saadaan mitatuksi massavirta. Lämmittämättömän elementin signaalia käytetään mitattavan paineilman lämpötilan mittaamiseen /17/. Kuvassa 7 on efactor metris – virtausmittari.



Kuva 7. Efactor metris –virtausmittari.

5.1.2 Mittausyksikkö

Mittausyksikkönä on Unitronics® Vision230™ PLC, joka on erittäin tehokas ohjelmoitava logiikka sisäänrakennetulla käyttöpaneelilla ja käyttökohteen mukaan räätälöityvällä näppäimistöllä /18/.



Kuva 8. Mittausyksikkö Unitronics® Vision230™ PLC.

5.2 Paineen ja kastepisteen mittausjärjestelmä

Paineen ja kastepisteen mittausjärjestelmä koostuu paine- ja kastepistelähtimistä, sekä mittausyksiköstä. Mittausyksikkö kerää mittauks tulokset jotka on luettavissa paikallisnäytöllä. Kastepistelähtimenä on käytetty Vaisalan valmistamaa DMT142:a ja painelähtiminä Tecsisin 3296 ja 3396 malleja. Mittausyksikkönä on Unitronics® M90™ PLC.

5.2.1 Painelähtin

Tecsis 3296 ja 3396 ovat teollisuuskäyttöön tarkoitettuja painelähtimiä (prosessiteollisuus, nosturit, ajoneuvot), joilla on hyvä ylipaineen ja korroosionkesto. Lähtin 3296 on tarkoitettu painealueelle $\leq 10\text{bar}$ ja sen mittaus perustuu piezoresistiiviseen anturiin. Lähtin 3396 on tarkoitettu painealueelle $\geq 16\text{bar}$ ja sen toimintaperiaatteena on venymäliuska-anturi. Lähtimiä voidaan käyttää kahdella eri DC jännitteellä: 10-30VDC, kun mittaussignaali on virtapohjainen (4-20mA) ja 14-30VDC, kun mittaussignaali on jännitepohjainen (0-10VDC) /20/.



Kuva 9. Tecsis 3296.

5.2.2 Kastepistelähetin

Vaisala DRYCAP® Dewpoint Transmitter DMT142 on kastepisteen mittausinstrumentti teollisuuden OEM sovellutuksiin. Mittauslähettimen korkea suorituskyky perustuu patentoituun DRYCAP® polymeerisensoriteknologiaan. Mittauslähettimessä on automaattinen kalibrointi ja mittausensorin puhdistus, jotka takaavat mittauksen pitkän ajan tasaisuuden. Mittausensorin lämmityksellä saadaan sensori pidettyä kuivana erittäin kosteissa jopa 100%:n suhteellisen kosteuden olosuhteissa /19/.

Mittauslähettäjä käytetään 18...28 VDC:n jännitteellä ja mittausignaali on virtapohjainen (4-20mA). Mittausympäristölle on asetettu seuraavanlaisia vaatimuksia: lämpötila -40...+60 °C, suhteellinen kosteus 0...100 %, paine 0...50 bar /19/.



Kuva 10. Vaisala DMT142.

5.2.3 Mittausyksikkö

Mittausyksikkönä on Unitronics® M90™ PLC, joka on innovatiivinen ohjelmoitava logiikka sisäänrakennetulla käyttöpaneelilla. Käyttöpaneelissa on näppäimistö ja LCD -näyttö, jossa on kaksi 16-merkin tekstiriviä /21/.



Kuva 11. Mittausyksikkö Unitronics® M90™ PLC ja mittausyksikön kotelo.

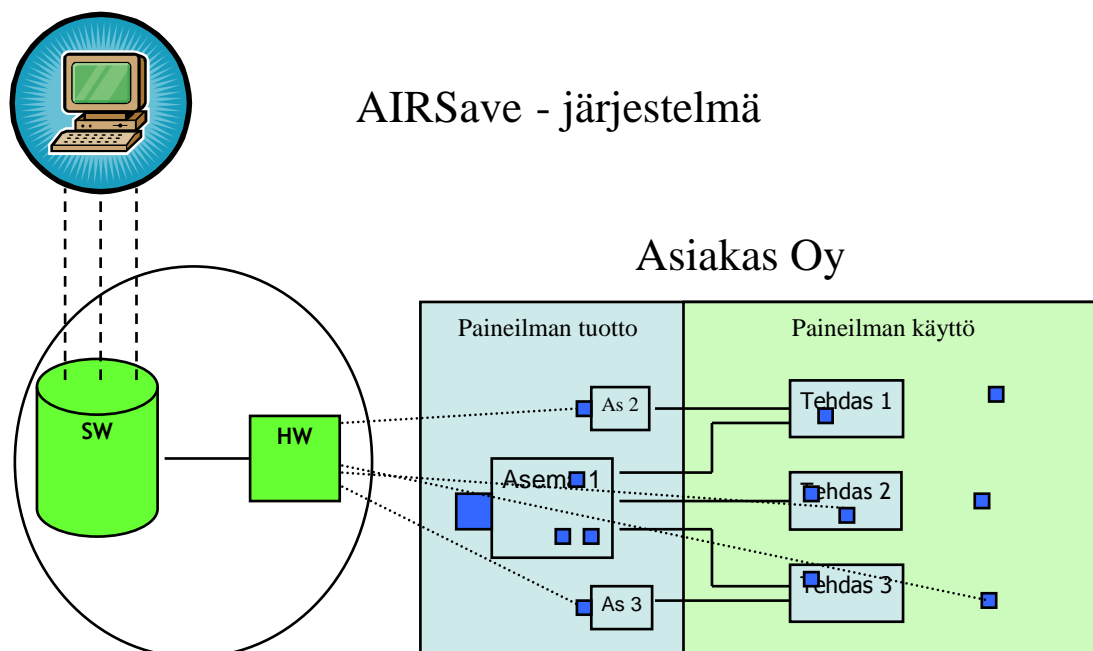
6 TUOTEKEHITYSPROJEKTIN LÄHTÖKOHDAT

Tuotekehitysprojektin lähtökohtana on tarve saada kehitettyä nykyistä mittausjärjestelmää teknisesti, sekä selvittää tuotteen kaupallistamismahdollisuudet kotimaassa ja ulkomailla.

6.1 Mittausjärjestelmän toimintaperiaate

Kuvassa 12 on nähtävissä järjestelmältä vaadittava yleinen toimintaperiaate. Kuvasta nähdään, että mittauksia tullaan tekemään paineilman tuotto- ja käyttökohteissa. Mittauskohteissa olevat mittauslähettimet lähettävät mittausvirtasignaalia tiedonkeruuyksikköön (HW).

Tiedonkeruuyksikkö tallentaa mittauslähettimien antamaa mittausvirtasignaalia ja tallennetuista mittausarvoista lähetetään esim. tunnin keskiarvot käyttöjärjestelmään (SW). Käyttöjärjestelmän avulla järjestelmänkäyttäjä voi reaaliajassa seurata tallennettuja mittautietoja erittäin monipuolisesti.



Kuva 12. AIRSave -järjestelmän toimintaperiaate.

6.2 Mittausvaatimukset

Järjestelmään on tarkoitus lisätä erilaisia mittausmahdollisuuksia nykyisten virtaus-, paine-, ja kastepistemittausten lisäksi. Mittauksissa tullaan huomioimaan paineilman tuotto- ja käyttöpuolien erilaisuudet. Seuraavaksi käydään läpi vaatimuksia mittausalueista, hälytysrajoista ja hälytysajoista, joita vaaditaan paineilman tuotto- ja käyttökohteilta.

6.2.1 Paineilman tuotto

Tärkeimmät mittauskohteet ovat tuotettu ilmamäärä ja sitä vastaava kompressorin sähköenergian kulutus, koska niiden avulla saadaan mitatuksi energian kulutus tuotettua ilmamäärää kohden aikayksikössä.

Ilmamäärää mitataan yksikössä m^3/min ja sähköenergiaa kWh:na. Ilmamäärän kulutuksen keskiarvoa seurataan vuorokausi-, kuukausi- ja vuositasolla. Ilmamäärän mitaus sisältää hälytystoiminnon virtauksen kasvaessa yli raja-arvon. Raja-arvon hetkellinen ylitys ei vielä laukaise hälytystä, vaan rajan ollessa ylitettynä 15-30min, hälytys kytkeytyy toimintaan. Tuotantoasemien lukumäärän ollessa enemmän kuin yksi, seurataan myös asemien yhteistä tuottoa kuukausi- ja vuositasolla.

Tuotetun ilman paine ja kastepiste ovat seuraavat oleelliset mittauskohteet. Painetta mitataan bareissa ja kastepistettä Celsius-asteina. Painemittaus on jatkuvatoiminen, eli painetta voi seurata jatkuvasti. Painetasolle määritetään raja-arvot, joiden ylitys laukaisee hälytyksen. Raja-arvot pitää olla ylitettynä tietyn aikaa esimerkiksi 5min ennen kuin hälytys kytkeytyy.

Kastepistettä mitataan myös jatkuvasti, tallennus on mahdollisesti yhden tai 10 minuutin välein. Kastepisteelle tulee myös hälytykset. Kastepisteen noustua yli raja-arvon ja oltua siellä määrätty aika, hälytys kytkeytyy.

Paineilmaa kuivataan kahdella eri menetelmällä, jäähdytyskuivaus ja adsorptiokuivaus. Jäähdytyskuivatulle ilmalle yleinen kastepiste on $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja adsorp-

tiokuivatulle $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tämä asia pitää huomioida lähettimien asetuksissa (lähettimet 4-20mA).

Järjestelmällä tullaan myös mahdollisesti mittamaan seuraavanlaisia mittaushetkiä; kompressorihuoneen sisälämpötila, kompressorihuoneen sisäinen paine, kompresso-
reiden jäähdytysveden kulutus ja jäähdytysveden lämpötila.

Kompressorihuoneen sisälämpötilaa mitataan Celsius-asteina, mittaus on jatkuvatoiminen ja se sisältää hälytystoiminnon liian korkeasta lämpötilasta.

Kompressorihuoneen sisäistä painetta mitataan millibareina, mittaukseen on mahdollista sisällyttää hälytystoiminto.

Kompressoreiden jäähdytysveden kulutusta mitataan yksiköllä m^3/h ja lämpötilaa Celsius-asteina (nämä mittaukset tehdään vain vesijäähdytteisissä kompressoreissa).

6.2.2 Paineilman kulutus

Paineilman kulutuskohteissa mitataan paineilman kulutusta ja kulutuskohteen painetasoa. Kulutuksen keskiarvoa seurataan vuorokausi-, kuukausi- ja vuositasolla yksikökohtaisesti. Kulutuksen keskiarvoja on myös mahdollista seurata konekohtaisesti. Kulutusmittaukseen tulee myös hälytystasot. Paineilman kulutuksen ollessa paljon pienempää mitä on tuotto, niin voidaan olettaa järjestelmässä olevan vuotoja.

6.3 Tiedonkeruuyksikön vaatimukset

Mittauskohteiden laajenemisen vuoksi tarvitaan AIRSave –järjestelmään uusi tiedonkeruuyksikkö.

Tiedonkeruuyksiköltä vaadittavia ominaisuuksia on esimerkiksi: riittävä määrä analogisia ja digitaalisia tuloja mittauslähettäjiä varten, sekä mahdollisuus käyttää 24VDC:n ja 230VAC:n mittauslähettäjiä. Tiedonkeruuyksiköllä pitää olla riittävän suuri sisäinen muisti mittaustietojen lyhytaikaiseen tallentamiseen, sekä mahdollisuus GSM- ja ethernet -liikennöintiin.

Tiedonkeruuyksikköä pitää pystyä myös moduulisesti laajentamaan, jos tarvittava mittausjärjestelmä tulee olemaan laaja.

6.3.1 Mittauspisteiden yksilöinti

Tiedonkeruuyksikköä varten mittausjärjestelmän mittauspisteet pitää pystyä identifioimaan yksiselitteisesti. Mittauspisteiden yksilöinti voidaan suorittaa esimerkiksi seuraavanlaisilla 16 merkin koodilla.

Esim. FIN_0001_PT_1000

1. tunnuksena on maa-tunnus.
2. tunnuksena on asiakasnumero, juokseva numerointi alkaa luvusta 0001.
3. tunnus on mittauslähettimen nimeävä ANSI/ISA S5.1-1984 (R 1992) –standardin mukainen kirjainyhdistelmä /23/.
4. tunnuksena on sarja jonka avulla yksilöidään asiakkaan tiloissa oleva tietty mittauspiste.

6.4 Käyttöjärjestelmän vaatimukset

Osana AIRSave - järjestelmää tulee olemaan Staart Oy:n kehittämä Rocca – Group seuranta- ja ylläpitojärjestelmä RGMON. Järjestelmän avulla asiakasyritykset pystyvät seuraamaan paineilman ja paineilman tuottamiseen käytetyn energian kulutusta reaaliaikaisesti. Järjestelmän tuottamaa tietoa voidaan käyttää myös paineilmajärjestelmien ongelmakohtien ja energiasäästämahdollisuuksien kartoittamiseen. Järjestelmällä voidaan tarkastella tallennettujen tietojen historiaa tekstimuodossa ja grafiikkana. Järjestelmään pystytään myös tallentamaan informaatiota paineilmajärjestelmässä käytettävien laitteiden ja koneiden huolto- ja ylläpitotehtävistä /22/.

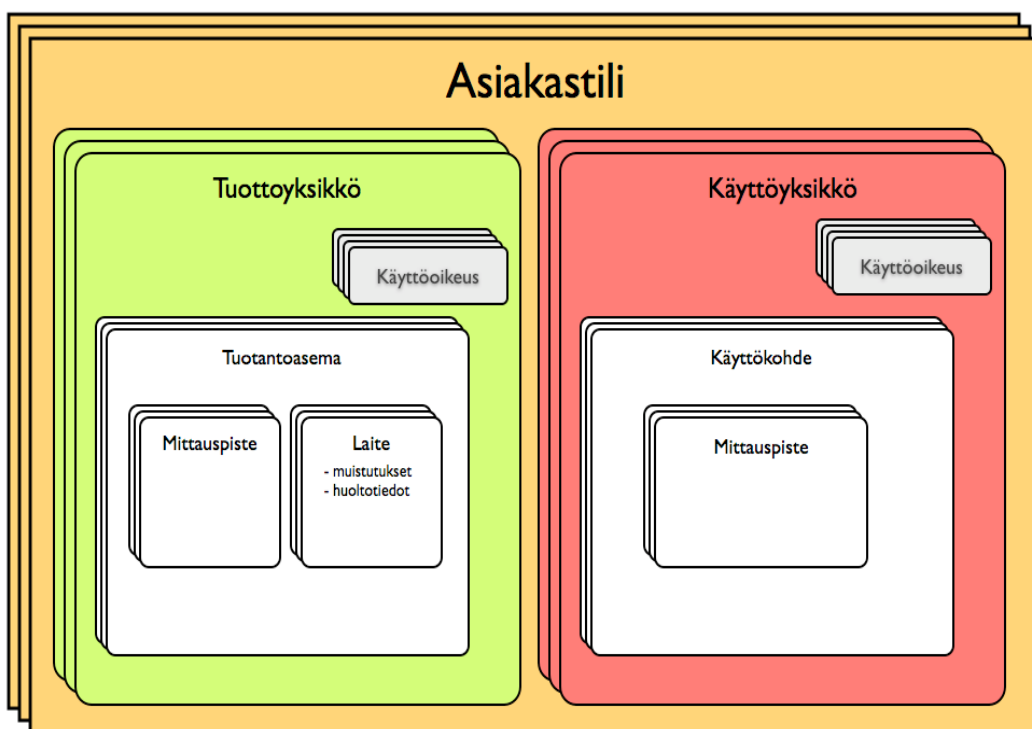
6.4.1 Käyttäjävaatimukset.

Seuranta- ja ylläpitojärjestelmä tulee perustumaan asiakaskohtaisiin asiakastileihin. Jos asiakastilin käyttäjä on suuri teollisuusyritys, voi asiakastili sisältää osastoja joi-

hin kuuluu paineilman tuotto- ja käyttöyksiköitä. Tuotto- ja käyttöyksiköt voivat sisältää tarvittaessa useita tuotantoasemia ja käyttökohteita. Tuotantoasemat voivat sisältää mittauspisteitä ja laitteita. Käyttökohteet voivat sisältää mittauspisteitä /22/.

Asiakastileihin voidaan antaa henkilökohtaisia laajuudeltaan erilaisia käyttöoikeuksia useille käyttäjille. Tarvittaessa asiakastilin käyttäjien oikeuksia voidaan rajoittaa osastokohtaisesti. Tietylle käyttäjälle näytetään esimerkiksi vain tietyn osaston tuotanto- tai käyttöyksiköiden tietoja ja raportteja tai niihin kuuluvien laitteiden tietoja /22/. Kuvasta 13 nähdään asiakastilin jakautuminen yksiköihin, sekä yksiköiden sisäinen jakautuminen tuotantoasemiin, käyttökohteisiin, mittauspisteisiin ja laitteisiin.

RGMON



Kuva 13. Käyttöjärjestelmän hierarkia /22/.

6.4.2 Toiminnalliset vaatimukset.

Rocca – Groupin pääkäyttäjä pystyy lisäämään asiakastilejä järjestelmään. Asiakastilin hallinnan ylläpito-oikeudet omaava henkilö voi muokata ko. asiakastilin käyttäji-

en oikeuksia. Asiakastiliin lisättävistä ja poistettavista osastoista, sekä niiden muokkaamisesta vastaa ylläpito-oikeudet omaava henkilö. Osaston sisältämien yksiköiden, laitteiden ja mittauspisteiden tietoja voidaan muokata, lisätä ja poistaa. Jokainen tiedonkeruulaite yksilöidään omalla tunnuksella. Tiedonkeruukonfiguroinnin tietoja voidaan muokata tai konfigurointi voidaan tarvittaessa kokonaan poistaa /22/.

Järjestelmään voidaan lisätä tehtäviä. Tehtävä voidaan kohdistaa osastoon, yksiköön tai tiettyyn laitteeseen. Tehtävä voi olla esimerkiksi laitteen määräaikaishuolto. Tehtävälle tallennetaan kuvauksen lisäksi tilatieto ja tehtävän kiireellisyys. Tarvittaessa tehtävän tietoja voidaan muokata tai kokonaan poistaa, jos on esimerkiksi ilmennyt, että tehtävä on aiheeton /22/.

Järjestelmällä pystytään hallitsemaan sähköenergian hinta- ja päästötietoja. Tietoja hallitaan kalenteriperustaisesti, eli arvon lisäksi talletetaan alkupäivä. Hinta- ja päästötietoja voidaan myös muokata tai poistaa /22/.

Raportin lisäyksessä syötetään raportin nimi ja kuvaus. Lisäksi valitaan raporttityyppi esimääritellyistä raporttityypeistä sekä valitaan mittauspisteet joita käytetään. Raportin sisältöä ja julkisuutta voidaan muokata, tarvittaessa koko raportti voidaan poistaa /22/.

6.4.3 Ei-toiminnalliset vaatimukset

Järjestelmään kirjautumisen jälkeen avautuva etusivu sisältää käyttäjätason mukaista informaatiota. Järjestelmän pitää pystyä lähettämään sähköpostimuistutuksia tiettyjen henkilöiden sähköpostiin automaattisesti. Järjestelmään kerätyn informaation tarkkuus pienenee sen mukaan kun aikaa kuluu. Esimerkiksi lähikuukausilta säilytetään kaikki tieto, mutta historiaan kerätyistä tiedoista muodostetaan päiväkohtaisia arvoja (min, max, keskiarvo) /22/.

7 PROTOLAITTEISTO

Tuotekehitysprojektin ja opinnäytetyön yksi tärkeä osa-alue on protolaitteiston valmistus, paikalleen asennus ja käyttöttestaus.

Protolaitteisto koostuu seuraavista osista: tiedonkeruuyksikkö, 3 kpl energiamittareita, 1 kpl paine-, kastepiste- ja lämpötilan mittauslähettämiä ja 2 kpl virtauksen mittauslähettämiä. Protolaitteisto ei sisällä tämän insinööriyön osalta käyttöjärjestelmää, joka käytiin läpi kappaleessa 6.4.

Protolaitteiston avulla saadaan testatuksi esimerkiksi tiedonkeruuyksikön ja mittauslähettimien toiminta, sekä mittauslähettimien ja tiedonkeruuyksikön väliset yhteydet. Käyttöttestauksesta saatavaa mittaus tietoa pystytään myös hyödyntämään testattavan paineilmajärjestelmän analysoinnissa.

Protolaitteiston käyttöttestaus tullaan suorittamaan Eckart Pigments Ky:ssa, joka on Porissa toimiva kemian alan yritys. Protolaitteen käyttöttestaus käydään läpi kappaleessa 8.

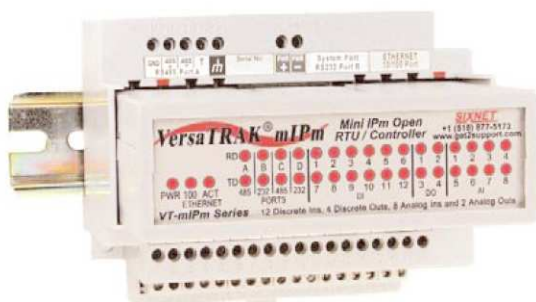
7.1 Tiedonkeruuyksikkö

Protolaitteiston tiedonkeruuyksikkö hankittiin yhteistyössä JM-Control Oy:n kanssa. JM-Control Oy on Ulvilassa toimiva automaatioalan yritys, joka toimittaa prosessi- ja tehdasautomaatiojärjestelmiä pienistä ohjelmistoista ja sähköisistä sovelluksista aina tehtaan laajuisiin sovelluksiin /33/.

JM-Control vastasi tiedonkeruuyksikön valinnasta, ohjelmoinnista ja kokoonpanosta. Tiedonkeruuyksikön valinnalle annettiin tietyt reunaehdot, joiden puitteissa yksikön valinta tehtiin.

Protolaitteen tiedonkeruuyksiköksi valittiin SIXNET Mini-VersaTRAK® mIPm™. Mini-VersaTRAK® on Linux pohjainen teollisuuden teho PC 32 bitin dataväylällä. Tiedonkeruuyksiköllä on 16 Mbit dynaaminen muisti ja 26 I/O:ta (Input/Output).

I/O:den määrä on laajennettavissa RS485:n tai Ethernetin avulla aina 256 kappaleeseen /28/. Kuvassa 14 on kuvattuna tiedonkeruuyksikkö.



Kuva 14. SIXNET Mini-VersaTRAK® mIPm™ /28/.

Tiedonkeruuyksikön kommunikaatio mahdollisuudet ovat lähes rajattomat. Mini-VersaTRAK mIPm tukee radio ja puhelinlinkkejä, Ethernet TCP/IP verkkoa, kuten myös sarjaliikenteen RS232-, RS422-, ja RS485 oheislaitteita. Sisäinen Linux -käyttöjärjestelmä mahdollistaa monipuoliset Ethernet ja Internet liitännät. Internet yhteys voidaan helposti luoda SIXNET I/O Tool Kit:n avulla /28/.

7.1.1 Käyttöönototestaus

Tiedonkeruuyksikön käyttöönototesti tehtiin ROCCA Group Oy:n tiloissa 14.3.08 yhdessä JM-Control Oy:n Mika Virosen kanssa. Testin tarkoituksena oli varmistaa tiedonkeruuyksikön oikeanlainen toiminta, sekä testata mittauslähettimien ja tiedonsiirtoyksikön välinen tiedonsiirto.

Tiedonkeruuyksiköstä testattiin mm. GSM-modeemin toiminta. Tiedonkeruuyksikössä GSM-modeemin tarkoituksena on lähettää järjestelmän hälytystilanteessa hälytysviesti huoltohenkilöstön matkapuhelimeen. Tiedonkeruuyksikön analogiatuloihin simuloitiin hälytyksien raja-arvot ylittävät virtasignaaleja. Raja-arvon ylittyttyä modeemi lähetti hälytysviestin haluttuun matkapuhelimeen.

ROCCAn tiloihin asennettiin myös testiputkisto, jonka avulla testattiin virtaus-, paine- ja kastepistelähtimiä. Testauksella todettiin mittauslähettimien toiminta, mitta-

uslähettimien ja tiedonsiirtoyksikön välinen tiedonsiirto, sekä myös tiedonkeruuyksikön tietojen moitteeton tallennus.

7.1.2 Mittausalueet, hälytysrajat ja hälytysajat

AIRSave – järjestelmälle asetettiin vaatimuksia mittausalueista, hälytysrajoista ja hälytysajoista kappaleessa 6.1. Nyt näitä aikaisemmin asetettuja vaatimuksia hyödynnettiin protolaitteen tiedonkeruuyksikön ohjelmoinnissa.

Mittausalueet, hälytysrajat ja hälytysajat ovat aina riippuvaisia käytetystä paineilma-järjestelmästä. Seuraavaksi esitettävät mittausalueet, hälytysrajat ja hälytysajat liittyvät Eckart Ky:n paineilmajärjestelmään.

Virtausmittauksen vaatimukset tuotto puolella ovat seuraavat: mittausalue 0...50 m³/min, hälytysraja, ylä 28 m³/min, hälytysraja, ala 10 m³/min ja hälytysaika 5 min. Käyttöpuolen virtausmittauksen vaatimukset ovat seuraavanlaiset: mittausalue 0...20 m³/min, hälytysraja 15 m³/min ja hälytysaika 2 min.

Painemittauksen vaatimukset ovat seuraavat: mittausalue 0...10 bar, hälytysraja 4,5 bar ja hälytysaika 10 s. Kastepistemittauksen vaatimukset ovat seuraavanlaiset: mittausalue 0...+20 °C, hälytysraja +10 °C ja hälytysaika 15 min.

Lämpötilan mittauksen vaatimukset ovat seuraavat: mittausalue +10...+30 °C, hälytysraja +25 °C ja hälytysaika 15 min. Liitteessä 4 on edellä mainitut alueet, rajat ja ajat luettelomuodossa.

7.2 Energiamittarit

Energianmittaukseen käytetään Carlo Gavazzin EM24 DIN energiamittaria. EM24 DIN on kolmivaiheinen energiamittari, joka on tarkoitettu erityisesti pätö- ja loisen energiamittauksiin ja kustannusten kohdentamiseen /29/.

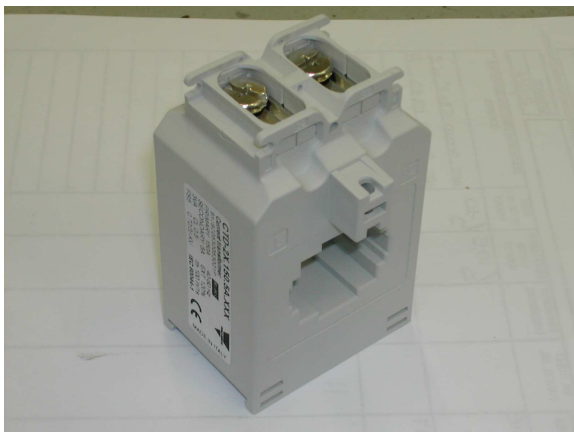
Mittarissa on sisäänrakennettu konfigurointi joystick ja LCD näyttö. Mittaria voidaan käyttää $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +55\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. Mittarissa on suora liitäntä 65A asti, sekä liittännät ulkoisille virta- ja jännitemuuntajille. Mittarin etuosa on IP50 -suojattu ja ruuviterminaalit IP20 -suojattu. Mittari voidaan asentaa DIN -kiskoon /29/. Kuvassa 15 on nähtävissä EM24 DIN -mittari.



Kuva 15. Carlo Gavazzi EM24 DIN

EM24 DIN mittarilla voidaan mitata joko kWh tai kvarh energiankulutusta. Mittarissa on kaksi digitaalista lähtöä joista voidaan lähettää mittauspulsseja tiedonkeruuyksikköön. Mittauspulssien määrä on ohjelmoitavissa esimerkiksi siten, että yksi pulssi voi olla joko 0,001 – 10 kWh /29/.

Virtamuuntajina käytetään Carlo Gavazzin virtamuuntajia mallia CTD-2X. Muuntajan nimellinen ensiövirta on enintään 150 A ja toisiovirta 5 A /29/. Kuvassa 16 on nähtävissä CTD-2X virtamuuntaja.



Kuva 16. Carlo Gavazzi CTD-2X

Virtamuuntajan tarkoituksena on muuntaa piirin virta ko. piirin suojauksessa, valvonnassa ja mittauksessa käytettäville pienjännitteisille maan potentiaalissa oleville releille ja mittareille sopiviksi virroiksi sekä eristää ensiö- ja toisiopiirit toisistaan /30/.

7.3 Mittauslähettimet

Kuten jo edellä todettiin, protolaitteen mittauksiksi valittiin 2kpl. paineilman virtausmittauksia (tuotolle ja käytölle omat), 3kpl kompressorin energiankulutusmittauksia, tuotetun ilman paine ja kastepiste sekä kompressorihuoneen lämpötilamittaus. Energiankulutuksen mittaukset toteutetaan 24VDC:n digitaalisena tulona ja muut mittaukset 4...20mA:n analogiatuloina.

Osa protolaitteen mittauslähettimistä on samoja lähetinmalleja joita on käytössä nykyisessä AFCS -mittausjärjestelmässä ja osa on uusia mittauslähettämiä. Protolaitteen mittauslähettimistä uusia ovat energiankulutuksen- ja lämpötilamittaus.

7.3.1 Virtaus

Protolaitteen virtauslähettiminä käytetään Fluid Components Internationalin valmistamia ST98B-CA FlexMASSter® ja ST50 mittauslähettämiä.

ST98:a voidaan käyttää paineilman virtausmittaukseen ja ST50:a voidaan käyttää paineilman ja typen massavirtauksen mittaukseen. ST98 mittauslähetintä käytetään kulutuspuolen virtausmittaukseen ja ST50:a tuotto puolen virtausmittaukseen. Tarkemmat tiedot lähettimistä kappaleessa 6.1.1 Virtauslähettimet.

7.3.2 Kastepiste

Protolaitteen kastepistelähtetimenä käytetään myös nykyisessä järjestelmässä käytössä olevaa Vaisala DRYCAP® Dewpoint Transmitter DMT142 kastepistelähetintä. Tarkemmat tiedot lähetimestä kappaleessa 6.2.1 Kastepistelähetin

7.3.3 Paine

Painelähtetimenä käytetään Danfoss MBS 3000 painelähetintä. MBS 3000 on teollisuuden sovellutuksiin tarkoitettu painelähetin. MBS 3000 on tarkoitettu useille eri painealueille ja sähköisille kytkennöille.

Protolaitteeseen tuleva anturi on tarkoitettu painealueelle max. 10bar. Lähetintä käytetään 10-30 VDC:llä ja mittaussignaali on 4-20mA. Kuvassa 17 on MBS 3000 painelähetin



Kuva 17. Danfoss MBS 3000 painelähetin.

7.3.4 Lämpötila

Lämpötilan mittaamiseen käytetään SKS:n huonelämpötila-anturia mallia WT-K-F. Anturin mittaus perustuu Pt100 –mittausperiaatteeseen. Mittausanturi on IP65 –suojattu /32/.

Anturilta saatava mittaustieto muutetaan virtasignaalksi ohjelmoitavassa PR electronics A/S:n valmistamassa PR 5331A 4-johdin lämpötilälähtetimestä /32/. Lämpötilälähetin lähettää virtasignaalia tiedonkeruuyksikköön. Kuvassa 18 on mittausanturi ja lämpötilälähetin.



Kuva 18. PR 5331A –lämpötilälähetin ja SKS WT-K-F –mittausanturi.

8 PROTOLAITTEISTON KÄYTTÖTESTAUS

Protolaitteiston käyttöttestaus on tämän opinnäytetyön tärkein osa-alue. Käyttöttestauksesta saatavien tulosten ja käyttökokemusten perusteella päätetään tuotekehitysprojektin jatkosta.

Protolaitteiston testauspaikka on Eckart Pigments Ky. Eckart on Porissa toimiva kemian alan yritys, joka valmistaa mm. helmiäispigmenttiä /27/.

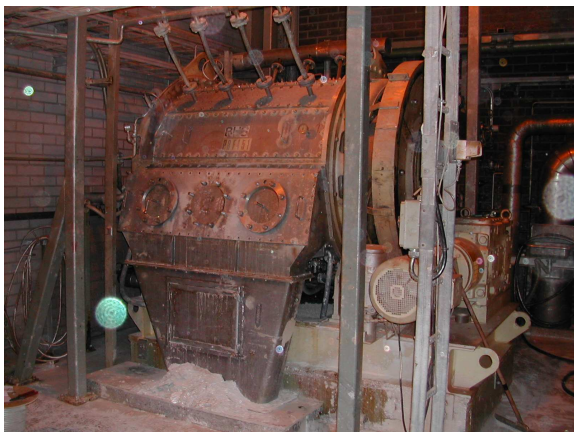
Eckart Pigmentsissä paineilmaa tarvitaan prosessituotannossa ja erilaisissa toimilaitteissa. ROCCA Group on jo pitkään tehnyt yhteistyötä Eckartin kanssa, huolehtien paineilman tuotosta, sekä laitteiden huollosta ja kunnossapidosta. ROCCA tekee Eckartille myös jatkuvaa paineilmakartoitusta, sekä konsultoi Eckartia paineilman asiantuntijana /27/.

Eckart Pigments on yrityksenä protolaitteiston käyttöttestaukseen juuri sopiva. Eckartilla on halu kehittää omaa paineilmajärjestelmäänsä. Yritys on myös tekemässä investointipäätöksiä paineilmajärjestelmänsä suhteen, joten mittaukset tulevat tuemaan päätöksien tekoa.

Käyttöttestauksen suorittamista Eckartilla tukevat myös seuraavat asiat: tehdas ei ole kooltaan liian suuri, tuotanto pyörii 3-vuorossa, paineilman tuotantoasemalta saadaan riittävästi tuottoa ja kulutusta saadaan mitatuksi tehtaan muutamista suurista paineilman kulutuskohteista.

8.1 Testausympäristö

Testausympäristö koostuu Eckartin paineilma-asemasta, sekä yhdestä tehtaan kulutuskohteesta. Kompressorit sijaitsevat paineilma-aseamalla. Kulutuskohteena on CP 2 –osastolla sijaitseva BHS –suodatin. Kuvassa 19 on BHS –suodatin.



Kuva 19. BHS –suodatin.

Paineilma-asemalla on 3kpl kompressoreita. Kaksi kompressoreista on mallia Kaeser CS-121. Kolmas kompressori on Atlas Copco GA 808.

CS-121 kompressorit ovat ilmajäähdytteisiä, yksivaiheisia ja öljyvoideltuja ruuvi-kompressoreita. Molemmat kompressorit tuottavat 12,2 m³/min/7,5 bar. Kompressoreita käyttää suojausluokan IP 54 ja eristysluokan F 380 – 400 V/50 Hz 75 kW:n sähkömoottori. Moottoreiden ohjausyksikössä on tähti-kolmiokäynnistin käynnistyksen keventämiseksi /31/. Kuvassa 20 on Kaeser CS-121



Kuva 20. Caeser CS-121.

Atlas Copco GA 808 on ruuvikompressori, joka tuottaa 11,3 m³/min/8 bar. Kompressoria käyttää 75 kW:n sähkömoottori. Kuvassa 21 on Atlas Copco GA 808.



Kuva 21. Atlas Copco GA 808.

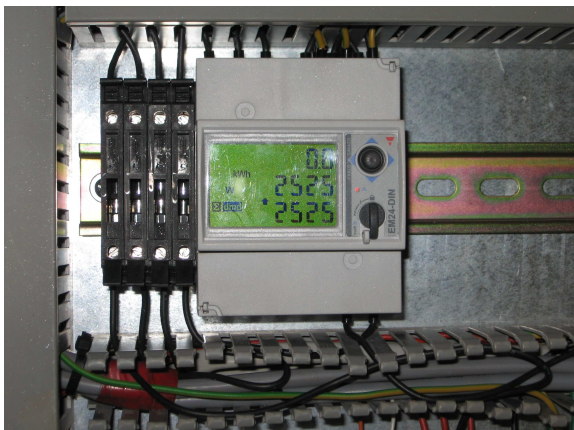
8.2 Käyttötestauksen valmistavat toimenpiteet

Käyttötestauksen valmistavat toimenpiteet suoritettiin 11–18.4.2008. Valmistavien toimenpiteiden aikana asennettiin paikoilleen paine-, kastepiste- ja lämpötilalähettimet, energiamittarit ja tiedonkeruuyksikkö.

Asennusten jälkeen mittauslähettimet ja energiamittarit kytkettiin tiedonkeruuyksikköön. Tiedonkeruuyksikkö ohjelmoitiin mittausalueiden, hälytysrajojen ja hälytysaikojen osalta, sekä energiamittareihin aseteltiin tarvittavat parametrit. Virtauslähettimet asennettiin paikoilleen 29.4.08.

8.2.1 Energiamittareiden asennus

Energiamittarit ja virtamuuntajat asennettiin suoraan kompressoreiden kytkentäkaappeihin. Energiamittareiden ja virtamuuntajien paikalleen asennuksesta vastasi sähköasentaja Juhani Granfors. Energiamittarit olivat helposti paikalleen asennettavia, koska ne voitiin asentaa suoraan DIN-kiskoon. Kuvassa 22 EM24 DIN on kytkettynä Kaeser CS-121 kompressorin kytkentäkaappiin. Liitteessä 1 on kuvattuna energiamittausjärjestelmän mittauskytkennät.



Kuva 22. EM24 DIN.

Virtamuuntajien asennusta varten jokainen kompressorin ajettiin vuorollaan alas, jotta moottorin syöttökaapelit voitiin avata virtamuuntajien turvallista asennusta varten.

Kompressoreiden alasajoa varten Eckart Pigments Ky:n paineilma-verkkoon kytkettiin Roccan siirrettävä paineilma-yksikkö huolehtimaan paineilman häiriöttömästä tuotosta Eckartin tuotantoprosesseja varten. Siirrettävästä yksiköstä, sekä kompressoreiden alas- ja ylösajoista huolehtivat Rocca Group Oy:n työntekijät Pasi Ruotsalainen ja Olli Seppälä.

Kuvassa 23 on virtamuuntajat asennettuna Atlas Copco GA 608 kompressorin syöttökaapeleiden ympärille. Kuvasta nähdään myös virtamuuntajan toisipuoleen kytkeytyvät kaapelit.



Kuva 23. Carlo Gavazzi CTD-2X.

Oikeiden mittaustulosten mahdollistamiseksi energiamittareihin aseteltiin oikeat mittausparametrit. Seuraavia mittausparametreja käytettiin EM24 DIN –mittareissa tässä käyttötetauksessa; virtamuutosuhde: 30 (150A / 5A), mittausjärjestelmä: 3P (3 vaiheinen, epäsymmetrinen kuormitus, ei nollajohtoa), sovellustyyppe: F (tyypillinen teollisuuskäyttö), mittauspulssin koko: 1pulssi/kWh

8.2.2 Mittauslähettimien asennus

Lämpötilan mittauslähetin asennettiin kompressorihuoneessa sijaitsevaan kaapelikouruun. Kouru sijaitsee sopivalla etäisyydellä kompressoreiden imuilman ottoaukoista, joten saatava lämpötila on hyvin lähellä kompressorien imuilman lämpötilaa. Lisäksi lämpötilan mittauslähettimen sijoituspaikan vieressä sijaitsee myös paineilma-aseman ilmastointiautomaatiikan tuntoelin, joka huolehtii paineilma-aseman ilmastoinnista. Tämä myös tuki lämpötilan mittauslähettimen asennuspaikan valintaa. Kuvassa 24 on lämpötilan mittauslähetin asennettuna asennuslevyyn.



Kuva 24. Lämpötilan mittauslähetin.

Paine- ja kastepistelähetimien mittaustieto tulee paineilmaverkoston päälinjasta jossa on nykyinenkin Eckartin kaukokäyttöyksikkö paine- ja kastepistettä varten. Lähettimet asennettiin väliaikaisesti puulaatikkoon jossa ne pysyvät suojassa. Kastepistelähettimen asennuksen jälkeen mittauslähettimeen ohjelmoitiin mittausrajat. Kuvassa 25 on paineilman pääputki, josta siis saadaan paine- ja kastepisteen mittaustieto.



Kuva 25. Paineilmaverkoston pääputki, sekä paineen- ja kastepisteen mittausletkut.

Virtausmittauslähettimet asennettiin paineilman tuotantoasemalle ja paineilman merkittävään käyttökohteeseen. Tuotantoaseman virtauslähetin asennettiin paineilman pääputkeen ennen paineilman kuivainta. Kuvassa 26 on virtauslähetin asennettuna paineilman pääputkeen



Kuva 26. Virtauslähetin paineilma-aseamalla.

Paineilman käyttökohteen virtauslähetin asennettiin BHS-suodattimelle tulevaan putkeen. Kuvassa 27 on virtauslähetin asennettuna käyttökohteen putkistoon.



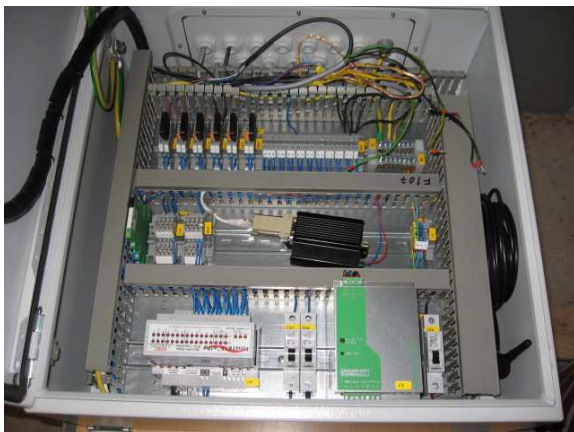
Kuva 27. Virtauslähetin paineilman käyttökohteessa.

8.2.3 Tiedonkeruuyksikön asennus

Tiedonkeruuyksikkö sijoitettiin paine- ja kastepistelähtimet sisältävän puulaatikon päälle. Puulaatikko sisältää myös PC:n johon käyttötestauksen mittaustiedot tallennetaan. Tiedonkeruuyksikköön kytkettiin kaikki mittauslähtimet ja energiamittarit. Kuvissa 28 ja 29 on tiedonkeruuyksikkö.



Kuva 28. Tiedonkeruuyksikkö.



Kuva 29. Tiedonkeruuyksikkö.

8.3 Käyttötestaus

Käyttötestauksen valmistavien toimenpiteiden suorittamisen jälkeen protolaitteisto oli valmis testauksen aloitukseen. Protolaitteiston käyttöttestaus aloitettiin 18.4.08 n. klo 14.00. Käyttöttestaus insinööriyön osalta kesti 18.4 – 6.5.08. Testauksesta tallennettiin tiedonkeruuyksikköön liitettyyn PC:hen yhteensä 430 tunnilta mittaustietoja.

8.4 Käyttökokemukset

Käyttöttestauksen valmistavien toimenpiteiden huolellisen suorittamisen ansiosta tiedonkeruuyksikkö, energiamittarit, painelähetin ja lämpötilalähetin toimivat täysin moitteetta. Paineilma-aseman virtauslähettimessä ja kastepistelähettimessä havaittiin ongelmia. Käyttöttestauksen lyhyden vuoksi ongelmia ei tässä insinööriyössä ehditty ratkaista

Mittauslähettimet toimivat suurimmilta osin juuri niin kuin niiden piti toimia, eli saadut mittaustulokset vastasivat annettuja mittausalueita.

Energiamittarit toimivat moitteettomasti. Energiamittareiden tiedonkeruuyksikköön lähettämien mittauspulssien määrä vastaa sitä energiankulutusta, mitä voidaan ko. kompressorin olettaa kuluttavan yhden tunnin aikana.

Tiedonkeruuyksikön toiminnassa ei havaittu mitään poikkeavaa käyttötetauksen aikana. Tiedonkeruuyksikkö tallensi saamansa mittaustiedot ja teki niistä yhden tunnin keskiarvoja, jotka tallennettiin tiedonkeruuyksikköön liitettyyn PC:en.

Kokonaisuudessaan protolaitteiston käyttötetauksen käyttökokemuksina voidaan todeta, että testattu järjestelmä toimi hyvin.

8.5 Mittaustulokset

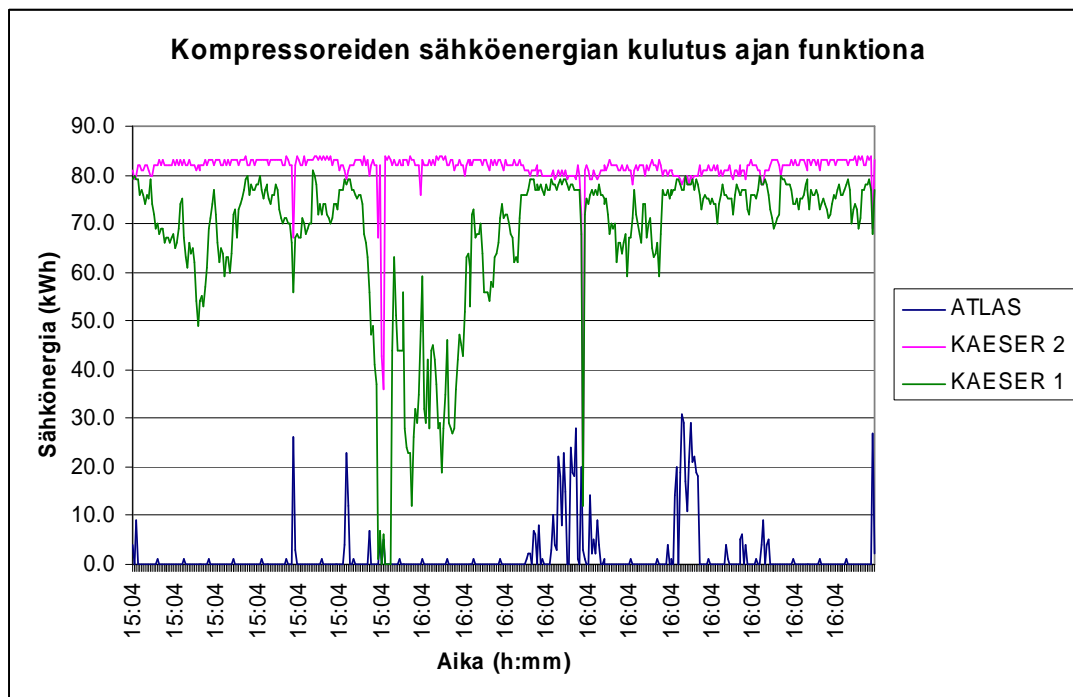
Demolaitteiston käyttötetauksessa oli mukana 3kpl energiamittauksia, 1kpl paine-, kastepiste- ja lämpötilan mittauksia ja 2kpl virtausmittauksia. Mittaustuloksia tallennettiin yhteensä 430 tunnilta.

Seuraavissa kappaleissa analysoidaan käyttötetauksesta saatuja mittaustuloksia energian kulutuksen, paineen, kastepisteen, lämpötilan ja kulutuskohteen virtauksen osalta.

Paineilma-aseman virtausmittauksen ongelmien vuoksi siitä ei muodosteta mittauskäyrää tähän insinööriyöhön. Paineilma-aseman virtausmittaustulokset osoittautuivat aivan liian mataliksi. Paineilma-aseman virtausmittaus keskeytettiin ja tilalle kytkettiin nykyinen virtausmittauslaitteisto, jossa virtauslähettimeä on ST98B-CA FlexMASSter®. Nykyisellä laitteistolla mittaustulokset osoittautuivat normaaleiksi. On todennäköistä, että protolaitteistossa käytetty ST-50 mittaustulohetin on viallinen.

8.5.1 Energiamittaus

Energiamittaus suoritettiin paineilma-aseman kolmesta kompressorista. Kuvassa 30 on kompressorien sähköenergian kulutus ajalta 18.4 – 7.5.08. Liitteessä 5 on kuva 30 suurennettuna.



Kuva 30. Kompressoreiden sähköenergian kulutus.

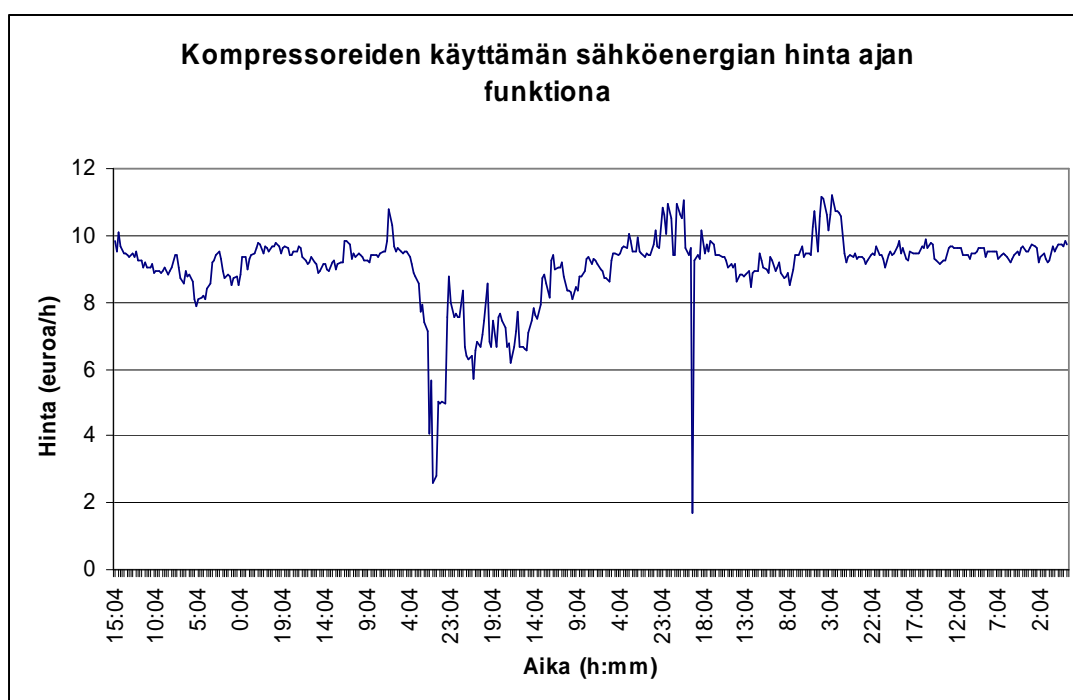
Kuvasta 30 nähdään, että Kaeser 1 ja 2 ovat paineilmajärjestelmän pääkompressorit. Atlas Copco toimii tarvittaessa varakompressorina. Kaeser 1 on toiminut lähes koko mittausajanjakson täydellä teholla.

Ensimmäinen kompressoreiden normaalista toiminnasta poikkeava asia on tapahtunut viisi päivää mittauksen aloituksen jälkeen. Tilanteessa Kaeser kompressoreiden energiankulutus on laskenut ja Atlaksen kulutus on selvästi kasvanut. Tämä johtui siitä, että Kaeser kompressoreihin lisättiin öljyä. Öljyn lisäämistä varten Kaeserit ajettiin alas hetkeksi aikaa.

Noin viikko mittauksien aloituksesta Eckart Pigments Ky:ssä alkoi vuorokauden mittainen tuotannon seisakki. Seisakin vaikutus kompressoreiden energiankulutukseen on selvästi nähtävissä.

Tuotannon seisakin jälkeen kompressoreiden energian kulutus on palannut takaisin normaalille tasolle. Jyrkkä yksittäinen pudotus Kaesereiden energian kulutuksessa johtuu tiedonkeruuyksikön sammuttamisesta virtauslähetinten asennusta varten.

Kompressorit käyttivät sähköenergiaa käyttöttestauksen aikana yhteensä 64,8 MWh. Jos sähköenergian hinnaksi oletetaan 60 €/MWh, niin kompressoreiden kuluttaman sähköenergian hinta on yhteensä 3900 €. Kuvassa 31 on kuvattuna kompressoreiden käyttämän sähköenergian hinta

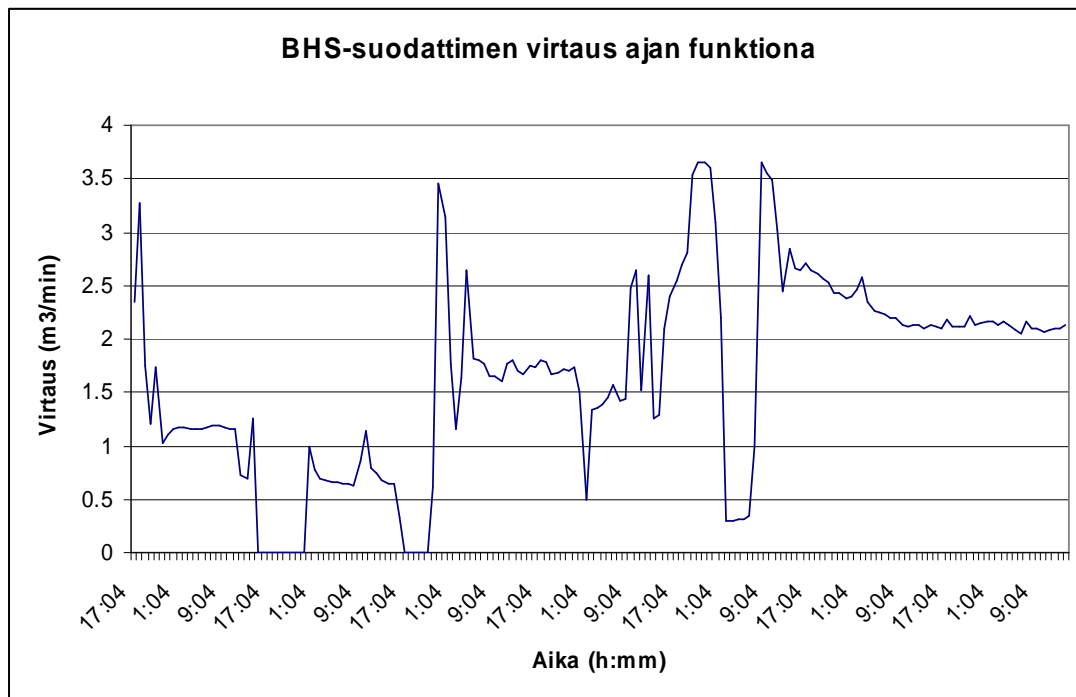


Kuva 31. Kompressoreiden sähköenergian kulutuksen hinta.

Kuvaa 31 ja 30 tarkastelemalla voidaan todeta, että Atlaksen olleessa käynnissä kauemmin kuin normaalissa käytössä, nousee sähköenergiaan käytetty rahamäärä yli 10 €/h. Normaalissa käytössä kompressorien sähköenergiaan käytetty rahamäärä pysyy alle 10 €/h.

8.5.2 Virtausmittaus

Virtausmittaus suoritettiin BHS -suodattimelle menevästä paineilmaputkesta. Kuvassa 32 on nähtävissä BHS –suodattimelle menevä ilmamäärä 29.4 – 6.5.08. Liitteessä 6 on kuva 32 suurennettuna.

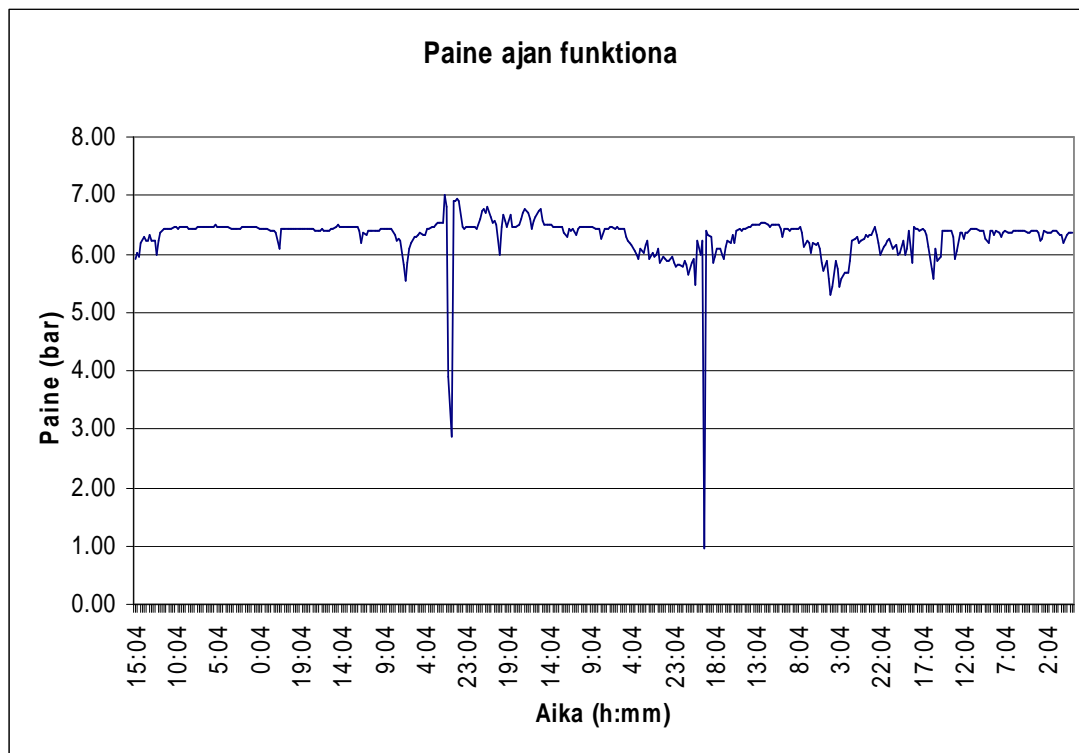


Kuva 32. BHS-suodattimen virtaus.

Kuvasta 32 nähdään, että aluksi virtausarvot ovat heilahdelleet todella paljon. Virtaus kuitenkin on tasoittunut mittausajanjakson viimeisinä päivinä. Mittauskäyrän keskiarvo on 1,7 m³/min.

8.5.3 Painemittaus

Painemittaus suoritettiin paineilma-aseman pääpaineilmaputkesta kuivaimen jälkeen. Kuvassa 33 on nähtävissä järjestelmän paine kuivaimen jälkeen ajalta 18.4 – 7.5.08. Liitteessä 7 on kuva 33 suurennettuna.



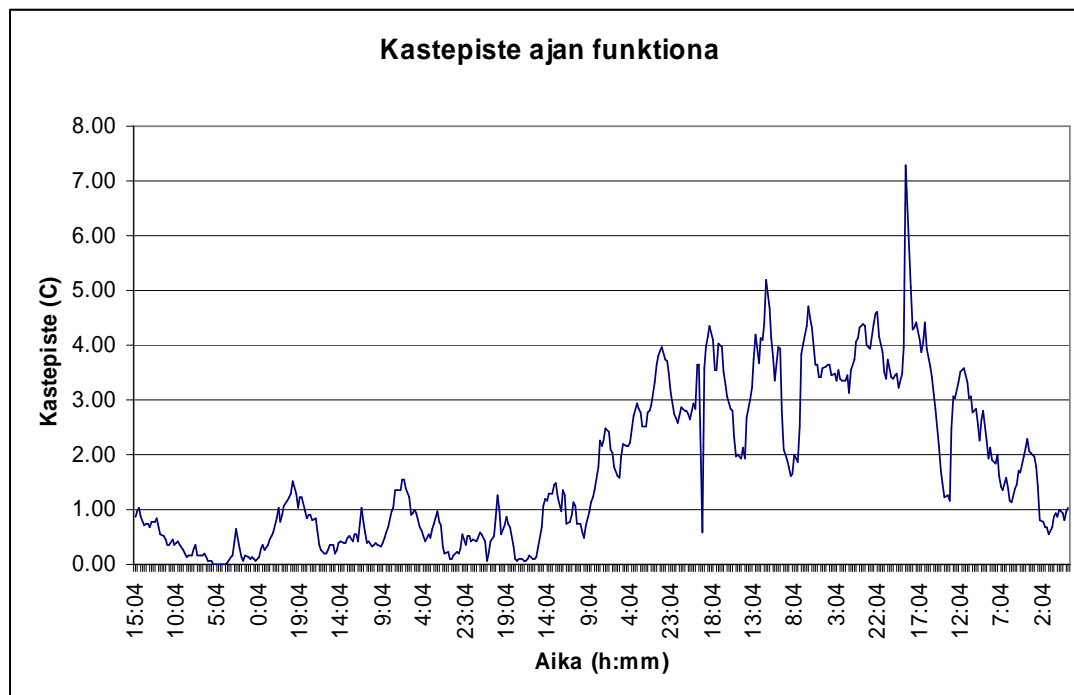
Kuva 33. Järjestelmän paine.

Kuvasta 33 nähdään, että järjestelmän paine pysyy tunnin keskiarvoilla mitattuna melko vakaana. Kuvaajasta on myös selvästi nähtävissä paineenlasku joka johtui tehtaan tuotannon alasajosta. Järjestelmän paineen keskiarvo koko mittaus ajanjaksolta laskettuna on 6,29 bar. Voidaan siis todeta, että paine on pysynyt sillä tasolla millä sen pitää pysyä.

Jyrkkä yksittäinen pudotus painetasossa johtuu tiedonkeruuyksikön sammuttamisesta virtauslähetinten asennusta varten.

8.5.4 Kastepistemittaus

Kastepistemittaus suoritettiin paineilma-aseman pääpaineilmaputkesta kuivaimen jälkeen. Kuvassa 34 on nähtävissä järjestelmän kastepiste kuivaimen jälkeen ajalta 18.4 – 7.5.08. Liitteessä 8 on kuva 34 suurennettuna.



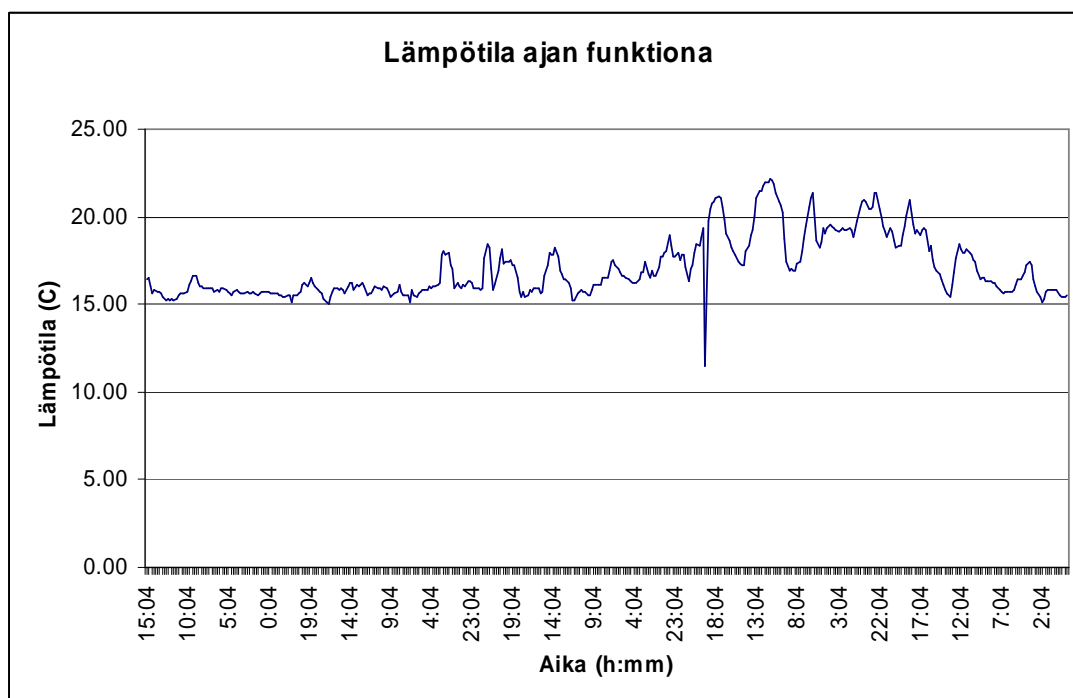
Kuva 34. Järjestelmän paine.

Kastepisteen käyttäytyminen on epänormaalia. Paineilmajärjestelmän normaalissa toiminnassa kastepisteen ei pitäisi vaihdella noin huomattavasti. Kastepisteen vaihtelun syy pyritään löytämään. On mahdollista, että mittauslähettimessä on vikaa tai kuivain ei toimi oikein.

Jyrkkä yksittäinen pudotus kastepisteen mittauksessa johtuu tiedonkeruuyksikön sammuttamisesta virtauslähetinten asennusta varten.

8.5.5 Lämpötilamittaus

Lämpötilamittaus paineilma-aseamalla läheltä kompressoreiden imuilman ottoaukkoja. Kuvassa 35 on nähtävissä paineilma-aseaman lämpötila ajalta 18.4 – 7.5.08. Liitteessä 9 on kuva 35 suurennettuna.



Kuva 35. Paineilma-aseaman lämpötila.

Kuvasta 35 on nähtävissä, että paineilma-aseaman lämpötila pysyy melko vakaana ja myös se, että ilma on sopivan viileää kompressoreiden imuilmaksi.

Jyrkkä yksittäinen pudotus lämpötilan mittauksessa johtuu tiedonkeruuyksikön sammuttamisesta virtauslähetinten asennusta varten.

9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tuotekehitysprojektin saattaminen prototyyppi-vaiheeseen yhdessä yhteistyöyritysten kanssa, sekä testata järjestelmää teollisuudessa ja todeta järjestelmän toimivuus jatkokehitystä ja kaupallistamista varten.

Insinööriyö aloitettiin johdannolla jossa lyhyesti käytiin läpi teollisuuden paineilma-järjestelmien nykytilaa sekä insinööriyön tarkoitusta. Johdannon jälkeen käytiin läpi paineilmajärjestelmän perusteita. Paineilmajärjestelmien perusteet -kappaleen tarkoituksena oli se, että lukija tulisi tietoiseksi paineilmajärjestelmän eri osa-alueista sekä niiden tarkoituksista. Osaltaan paineilmajärjestelmien perusteet -kappale helpottaa myös seuraavien kappaleiden lukua ja ymmärtämistä.

Paineilmajärjestelmien perusteiden jälkeen käytiin läpi teollisuuden paineilmajärjestelmät-kappale. Tämän kappaleen tarkoituksena oli tutustuttaa lukija teollisuuden paineilmajärjestelmien käyttövaatimuksiin, sekä erilaisiin paineilmajärjestelmien tehostamismahdollisuuksiin.

Koska paineilmajärjestelmässä suoritettavat mittaukset liittyvät oleellisesti paineilmajärjestelmän tehostamismahdollisuuksiin, niin seuraava kappale oli luonnollisesti mittaukset paineilmajärjestelmässä. Tässä kappaleessa käydään läpi mittaamisen tarkoitusta paineilmajärjestelmässä, sekä erilaisia paineilmajärjestelmän mittaushdollisuuksia.

Mittausten merkityksen todentamisen jälkeen siirryttiin nykyiseen mittausjärjestelmään. Nykyisestä mittausjärjestelmästä käytiin yleisellä tasolla läpi mittauslähettimet ja mittausyksiköt.

Nykyisen mittausjärjestelmän läpikäymisen jälkeen oli helppoa siirtyä tuotekehitysprojektin lähtökohdat -kappaleeseen. Kappaleessa selvitettiin järjestelmän toiminta-periaate, sekä mittauksen-, tiedonkeruuyksikön-, ja käyttöjärjestelmän vaatimukset.

Tuotekehitysprojektin lähtökohtien jälkeen käytiin läpi insinööriyöhön liittyvä protolaitteisto. Protolaitteistosta käsiteltiin sen eri komponentit, eli tiedonkeruuyksikkö, energiamittarit ja mittauslähettimet.

Insinööriyön tärkeimpänä kappaleena oli protolaitteiston käyttöttestaus. Käyttöttestauksen tarkoituksena oli testata järjestelmää teollisuudessa ja todeta järjestelmän toimivuus jatkokehitystä ja kaupallistamista varten. Kappaleessa käytiin läpi käyttöttestausympäristö, käyttöttestauksen valmistavat toimenpiteet, käyttöttestaus, käyttöttestauksen käyttökokemukset ja saadut mittaustulokset.

Käyttöttestausympäristö –kappaleessa käytiin läpi ympäristö jossa protolaitteiston käyttöttestaus suoritettiin. Käyttöttestauksen valmistavat toimenpiteet –osassa selvitettiin protolaitteiston asennus testausta varten.

Käyttöttestaus ja käyttöttestauksen käyttökokemukset –kappaleissa pohdittiin käyttöttestauksen onnistumista. Mittaustulokset -kappaleessa analysoitiin käyttöttestauksesta saatuja mittaustuloksia.

9.1 Johtopäätökset

Kuten jo aiemmin on todettu, tämä insinööriyö on osa tuotekehitysprojektia. Työn tavoitteena oli energiatehokkuusjärjestelmän saattaminen prototyyppi -vaiheeseen yhdessä yhteistyöyritysten kanssa, sekä testata järjestelmää teollisuudessa ja todeta järjestelmän toimivuus jatkokehitystä ja kaupallistamista varten.

Tämä insinööriyö täyttää mielestäni sille asetetut vaatimukset. Tuotekehitysprojekti saatiin vietyä prototyyppi asteelle, protolaitteisto asennettiin ja käyttöttestattiin ROCCA Group Oy:n yhteistyöyrityksessä Eckart Pigments Ky:ssä. Käyttöttestauksen tuloksena testauksia tullaan jatkamaan ja järjestelmä pyritään tulevaisuudessa kaupallistamaan. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi hieman tarkemmin tuotekehitysprojektin jatkotoimenpiteitä.

Protolaitteiston testauksia tullaan jatkamaan. Paineilma-aseman virtaus ja kastepistemittauksissa esiintyneet ongelmat pyritään selvittämään, protolaitteistoon on tarkoitus lisätä mittauskohteita, sekä käyttöjärjestelmä on tarkoitus ottaa käyttöön.

Eckart Pigments Ky:n paineilma-asemalla sijaitsevaan kuivaimeen tulisi asentaa energiamittari. Kuivaimen energiamittauksella mahdollistettaisiin paineilman tuotantoon käytettävän sähköenergian seuranta Eckart Pigments Ky:ssä. Muita mahdollisia mukaan otettavia mittauksia on esimerkiksi kompressorihuoneen ja ulkoilman välisen paine-eron mittaus. Mittauksen avulla voitaisiin todeta kompressorihuoneen ilmasuodattimien tukkeutuminen. Kuivaimelle menevän paineilman lämpötilan mittaus voisi olla myös yksi lisämittauskohde.

Käyttöjärjestelmä lisääminen protolaitteistoon on erittäin tärkeää. Käyttöjärjestelmän puuttuminen tästä insinööriyöstä johtuu syistä, jotka eivät liity tähän insinööriyöhön, joten niitä ei käsitellä tässä työssä. Käyttöjärjestelmä olisi tulevan AIRSave – järjestelmän ehkäpä suurin yksittäinen uudistus verrattuna nykyiseen AFCS – järjestelmään. Käyttöjärjestelmälle asetetut vaatimukset käytiin läpi kappaleessa 6.4, joten niitä ei tässä enää käsitellä.

LÄHTEET

- /1/ Hyytiä, H. Motiva oy. Teollisuuden energiasäästösopimuksen vuosiraportti s. 25. 2005. Copyright Motiva Oy, Helsinki, syyskuu 2006. Viitattu 8.1.2008.
http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/abaa31f743702f85c1df2e3160e30c3a/TESS_VR05.pdf
- /2/ Ellman, A; Hautanen, J; Järvinen, K; Simpura, A.: Pneumatiikka. Helsinki 2002, Edita Prima Oy. ISBN 951-37-3736-5
- /3/ Savolainen, A. 2006. Paineilmajärjestelmän teknistaloudellinen vertailu. Diplomi-työ. Teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto. Espoo 76s.
- /4/ Compressed air compendium. Revised 6th editon 2004. ISBN: 3-935772-12-2. BOGE
- /5/ <http://www.drucklufttechnik.de/english/>. Viitattu 22.2.2008
- /6/ Paineilmatekniikka, KAESER kompressorit: KAESER KOMPRESSOREN GmbH
- /7/ Teollisuuden paineilmakartoitukset, ROCCA Group Oy.
- /8/ ROCCA Group Oy: paineilmaluettelo 2007-2008.
- /9/ http://fi.kaeser.com/Products_and_Solutions/Compressed-air-treatment/Drying/Membrane-dryers/KMM-advantages.asp#0. Viitattu 21.1.2008
- /10/ HANKINSON pricelist 2007. HANKINSON International GmbH.
- /11/ http://www.classzero.com/ISO_8573-1_Class_0-2006.aspx. Julkaistu 21.5.2007. Viitattu 22.2.2008
- /12/ Radgen, P. & Blaustein, E.; Compressed Air Systems in the European Union – Energy, Emissions, Saving Potential and Policy Actions. Final report October 2001. ISBN-3-932298-16-0. Web-version.
<http://www.isi.fhg.de/publ/downloads/isi01b04/compressed-air-long.pdf>
- /13/ Salminen, M. 2004. Paineilmaverkoston kartoitus. Insinööri-työ. Satakunnan Ammattikorkeakoulu, konetekniikan koulutusohjelma. Pori 37 s.
- /14/ Aumala, O; Mittaustekniikan perusteet, Helsinki 2003 Otatiето, 186 s, ISBN 951-672-321-7
- /15/ Aumala, O; Ihalainen H; Jokinen, H; Kortelainen, J; Mittaussignaalien käsittely, Tampere 1998 PRESSUS Oy, 319 s, ISBN 952-9835-32-9
- /16/ Model ST98 Flow Meter: Doc. No. 06EN003291 Rev. A, FCI ST50 Brochure Rev.D. Fluid Components International llc, Product & service CD-catalog.

- /17/ <http://www.ifm-electronic.com/ifmfin/web/metris.htm>. Viitattu 30.1.2008.
- /18/ <http://www.unitronics.com/Series.aspx?page=230#Tab=Overview> Viitattu 30.1.2008.
- /19/ Vaisala DRYCAP® Dewpoint Transmitter DMT142. User`s Guide. M210397EN-C. March 2006. DMT142 Advanced Manual for OEM Manufacturers.pdf
- /20/ <http://www.oem.fi/automatiikkaosasto/Paine/Painelahettimet.pdf> Viitattu 1.2.2008
- /21/ <http://www.unitronics.com/Series.aspx?page=M90> Viitattu 1.2.2008
- /22/ Nurmi, J. Staart Oy. ROCCA – Group seuranta- ja ylläpitojärjestelmä RGMON v1.1. 17.1.2007.
- /23/ http://www.engineeringtoolbox.com/isa-instrumentation-codes-d_415.html. Viitattu 6.2.2008
- /24/ Flow Control magazine April 1996. Witter Publishing Corporation 1996. Fluid Components International llc, Product & service CD-catalog.
- /25/ PATE-analyysi - Paineilman energia-analyysimalli. Motiva Oy, Helsinki 2005.
- /26/ Härkönen, O. 2006. Energy Savings Potential in Industrial Compressed Air Systems. Master`s thesis. Helsinki university of technology, department of mechanical engineering. Espoo 89s.
- /27/ Paineilmasanommat 1/2007. ROCCA Group Oy:n asiakaslehti.
- /28/ SIXNET Product Catalog (03-May-07, v2.00) http://www.sixnetio.com/htmlhelps/catalog_new/catalog.htm Viitattu 2.4.2008
- /29/ Carlo Gavazzi`s Products Online. <http://217.56.53.217/POL/index.jsp?lang=EN> Viitattu 27.3.2008
- /30/ ABB; TTT –käsikirja 2007-07. [http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/\\$file/101_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/101_0007.pdf).
- /31/ Ruuvikompressorit, CS-sarja. KAESER KOMPRESSORIT Oy
- /32/ SKS-automaatio Oy; 5331A Nappilähetin suom.pdf, SKS huonelämpötila-anturi suom.pdf
- /33/ <http://www.jm-control.fi/> Viitattu 2.4.2008
- /34/ Improving Compressed Air System Performance: A Sourcebook for Industry. U.S. Department of Energy. DOE/GO-102003-1822. November 2003. http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/compressed_air.html

/35/ Assessment of the Market for Compressed Air Efficiency Services.

U.S. Department of Energy. DOE/GO-102001-1197. June 2001.

http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/compressed_air.html

/36/ Efficient compressed air systems. Air and Mine Equipment Institute of Australia.

<http://www.energyrating.gov.au/library/index.html>