

Juha Ojaluoma

## **Pneumatiikan mitoitukset ja energiansäästö**

Opinnäytetyö

Syksy 2012

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Juha Ojaluoma

Työn nimi: Pneumatiikan mitoitukset ja energiansäästö

Ohjaaja: Jukka Pajula

Vuosi: 2012

Sivumäärä: 36

Liitteiden lukumäärä: 1

---

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Pesmel Oy.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään paineilmajärjestelmien mitoituksia sekä järjestelmän suunnitteluun liittyviä keskeisiä asioita. Näiden lisäksi käsitellään paineilman energiatehokkuutta.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Pesmel Oy:n pakkauslinjojen paineilmalaitteiden suunnittelua. Työssä kehitettiin laskentapohjia paineilmalaitteiden kulutusten laskentaan ja putkistojen mitoitukseen sekä tutkittiin keinoja saavuttaa energian säästöä paineilman käytön ja paineilmalaitteistojen suunnittelun osalta. Laskentapohjat kehitettiin Microsoft Excel ohjelmalla.

Työn tuloksena saatiin kehitettyä helppokäyttöinen Pesmel Oy:n pakkauslinjan paineilmankulutuksen laskentatyökalu, sekä paineilmaputkiston mitoitustyökalu, jolla putkisto voidaan mitoittaa jokaista putken osaa myöten.

Avainsanat: Pneumatiikka

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Author: Juha Ojaluoma

Title of thesis: Pneumatic measures and energy saving

Supervisor: Jukka Pajula

Year: 2012                      Number of pages: 36      Number of appendices: 1

---

This thesis was made for Pesimal Oy.

The aim of this thesis was to develop the pneumatic equipment planning of the packing lines of Pesimal Oy. The Microsoft Excel –based spreadsheets were developed in the thesis to calculate the air consumption of pneumatic equipment and to measure the pneumatic pipelines. Also the ways to gain energy savings when the compressed air was used were researched.

The basic measures in the compressed air systems were presented in the theoretical part of the thesis.

Keywords: Pneumatics

## Sisältö

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
Sisältö.....	4
Taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>8</b>
1.1 Opinnäytetyön tausta .....	8
1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset .....	8
<b>2 YRITYSESITTELY.....</b>	<b>9</b>
2.1 Pesmel Oy .....	9
2.2 Festo.....	9
<b>3 TEOLLISUUDEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ .....</b>	<b>11</b>
<b>4 PNEUMATIIKAN MITOITUKSET .....</b>	<b>13</b>
4.1 Kompressorin mitoitus.....	13
4.2 Paineilmasäiliön mitoitus.....	15
4.3 Putkiston mitoitus .....	17
4.4 Toimilaitteiden mitoitus.....	19
<b>5 ENERGIAN SÄÄSTÖ .....</b>	<b>20</b>
5.1 Energiatehokkuus .....	20
5.2 Paineilman energiaterhokkuus .....	20
5.3 Paineilman kustannukset .....	21
5.3.1 Pääomakustannukset.....	22
5.3.2 Käyttökustannukset.....	22
5.4 Ratkaisuvaihtoehtoja energian säästöön.....	23
5.4.1 Paineilman kulutuksen seuranta .....	23
5.4.2 Optimointi.....	24
<b>6 MITOITUSOHJELMIEN KEHITTÄMINEN .....</b>	<b>27</b>
6.1 Pakkauslinjan paineilmankulutuksen laskentaohjelma .....	27
6.2 Putkiston mitoitusväkalun kehittäminen.....	28

6.3 Paineilman kulutuksenseurantalaitteistosta saatavat hyödyt pakkauslinjassa.....	29
7 YHTEENVETO .....	32
LÄHTEET .....	34
LIITTEET .....	36

## Taulukkuuettelo

Taulukko 1. Tarvittava säiliön koko eri paineiden vaihteluilla (Paineilmajärjestelmien suunnittelu, [Viitattu 13.6.2011].) .....	16
Taulukko 2. Putken osien aiheuttamat painehäviöt muunnettuna vastaavaksi putken pituudeksi. (Paineilmajärjestelmien suunnittelu, [Viitattu 13.6.2011].).....	18
Taulukko 3. Yksinkertaistettu putkiston mitoitusohjelman ensimmäinen versio .....	29

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Energiatehokkuus</b>	Tuotannon tai tuloksen suhde käytettyyn energiaan
<b>Pneumatiikka</b>	Paineilman käyttökoneoppiikka sekä tieteenala
<b>Normaali litra</b>	Paineen alainen tilavuusvirta, joka on redusoitu normaali ilmanpaineeseen
<b>Kompressori</b>	Laite jolla voidaan nostaa kaasun paine vähintään kaksinkertaiseksi verrattuna imupaineeseen
<b>Voimaluku</b>	Luku, joka kuvaa paineilmasäiliön käyttöpaineen sekä sisäpuolisen tilavuuden tuloa
<b>Exergia</b>	Energian työtä tekevä osuus

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Syksyllä 2010 tein Seinäjoen ammattikorkeakoulussa projektiopintoja Pesmel Oy:lle. Projektiopinnot liittyivät erääseen Feston valmistamaan paineilmalaitteen testaukseen. Projektiopintojen päätyttyä ideoitiin opinnäytetyön aiheen liittyvän myös pneumatiikkaan.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön ensimmäisenä tavoitteena oli kehittää Pesmel Oy:n pakkauslinjojen paineilman kulutuksen laskentaan avuksi Microsoft Excel -pohjainen ohjelma. Tärkeimpiä vaatimuksia laskentapohjalle oli laskettavien paineilmalaitteiden ilman kulutuksen tietojen välitön muuttuminen suhteessa syötettäviin tietoihin. Syötettäviä tietoja olivat muun muassa pakkauslinjan eri laitekokonaisuuksien komponentit, joista ilman kulutukset automaattisesti laskettiin. Pohja kehitettiin siten, että laskenta huomioi myös paineilman ilman kulutuksen muuttumisen suhteessa pakkauslinjan kapasiteettiin.

Työn toisessa osuudessa oli tavoitteena kehittää Microsoft Excel -pohjainen paineilmaverkoston laskentatyökalu. Pesmel Oy:llä oli jo olemassa runkoputkiston mitoitukseen tarkoitettu työkalu, jota kuitenkin haluttiin jatkokehittää, koska laskennassa ei ollut otettu huomioon niin sanottujen kertavastusten aiheuttamaa painehäviötä.

Työn kolmannen osuuden tavoitteena oli tutkia energiaa säästävistä paineilmakomponenteista saatavia hyötyjä sekä kartoittaa niistä saatavia taloudellisia hyötyjä suhteessa investointiin.



## 2 YRITYSESITTELY

### 2.1 Pesmel Oy

Pesmel Oy on paperi- ja metalliteollisuudelle varastointi-, pakkaus- sekä materiaalinkäsittelyjärjestelmiä valmistava yritys. Yrityksen tuotteet ovat hyvin pitkälle automatisoituja.

Yrityksen päätoimipaikka sijaitsee Kauhajoella (kuvio 1). Yrityksellä on lisäksi toimipaikkoja Ruotsissa, Virossa, Saksassa, Yhdysvalloissa, Intiassa sekä Taiwanissa. Suomessa Pesmel Oy:ssä työskentelee noin 95 työntekijää sekä Suomen ulkopuolella noin 50.

Pesmel Oy tarjosi aiheen tämän opinnäytetyön tekemiseen.



Kuvio 1. Pesmel Oy:n päätoimipaikka Kauhajoella. (Pesmel Oy,[viitattu 13.6.2011].)

### 2.2 Festo

Festo on vuonna 1925 Saksaan perustettu automaatioalan yritys. Feston toimialat ovat automaatio, johon kuuluu pneumaattisten, servopneumaattisten sekä sähköisten laitteiden valmistus ja myynti, sekä koulutus, johon kuuluu opetuslaitteistojen valmistus sekä koulutus ja konsultointi.

Festo Groupiin kuuluu 59 itsenäistä yritystä. Konsernin liikevaihto oli vuonna 2010 1,8 miljardia euroa. Festo investoi tutkimukseen ja kehitykseen 8,5 % liikevaihdosta. Henkilöstöä koko konsernissa oli noin 14600. Feston asiakkaita on 176 maassa ympäri maailman, yhteensä jopa yli 300 000.

Festo Oy on vuonna 1977 Vantaalle perustettu yritys (kuvio 2). Yrityksen liikevaihto tilivuodelta 2010 oli 14,6 miljoonaa euroa.

Festo Oy toimitti opinnäytetyön kirjoittamisen avuksi kirjallista materiaalia paineilmajärjestelmien energian säästöön liittyen.

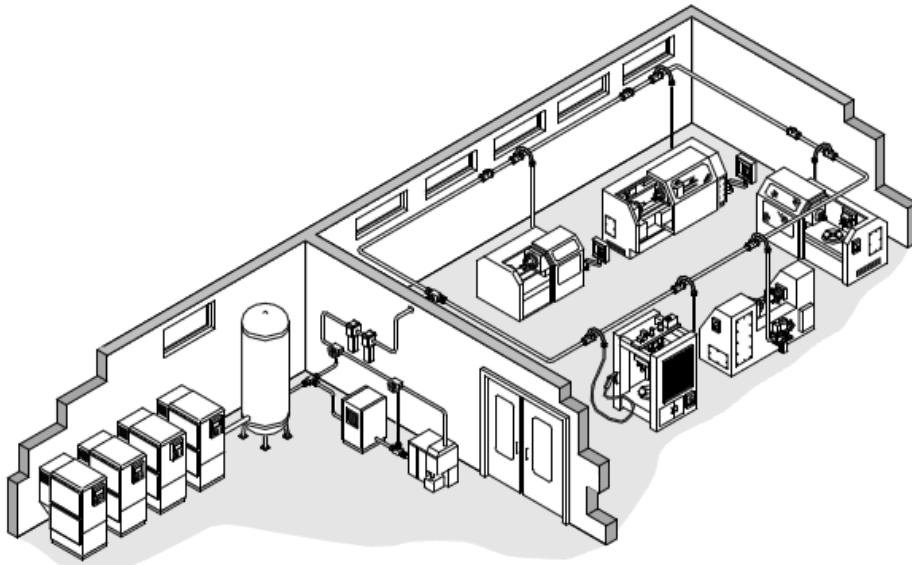


Kuvio 2. Festo Oy:n Vantaan konttori. (Festo.[Viitattu 13.6.2011].)

### 3 TEOLLISUUDEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ

Paineilmajärjestelmään sisältyy tyypillisesti

- kompressori tai kompressoreita
- paineilman jälkikäsittelylaitteita, kuten jäähdyttimiä, suodattimia sekä kuivaimia
- paineilmasäiliö
- paineilmaverkosto
- toimintaa ohjaavia venttiilejä
- toimilaitteita. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 15.)



Kuvio 3. Teollisuuden paineilmajärjestelmä. (Energy saving services, [Viitattu 13.6.2011].)

Paineilmajärjestelmän eri laitteilla ovat seuraavanlaiset tehtävät:

Paineilmakompressorin tehtävänä on puristaa normaalipaineinen ilma vähintään kaksinkertaiseksi normaalipaineeseen verrattuna.

Paineilman jälkikäsittelylaitteilla pyritään parantamaan kompressorin tuottamaa paineistetun ilman laatua. Jäähdyttimillä lasketaan puristetun paineilman lämpötilaa, jolloin ilman kastepiste laskee ja paineilmasta saadaan eroteltua

kosteutta paineilman kuivaimilla. Suodattimilla paineilmasta erotetaan pienhiukkaset sekä kompressorista ilman sekaan joutunut öljy.

Paineilmasäiliön tehtävänä on toimia paineilman varastona tasaamassa suuria kulutuspiikkejä sekä erottaa kosteutta ilmasta.

Paineilmaverkoston tarkoituksena on siirtää paineilma kompressorilta työpisteille. Paineilmaverkosto jaetaan kompressoriaseman putkistoon sekä runko- jakelu- ja liitännäputkistoihin.

Toimintaa ohjaavia venttiileitä ovat esimerkiksi sulku- suunta- sekä virtausventtiilit. Venttiileillä ohjataan muun muassa toimilaitteiden suuntaa ja nopeutta.

Paineilmajärjestelmän toimilaitteita ovat sylinterit, ejektorit sekä paineilmamoottorit.

## 4 PNEUMATIIKAN MITOITUKSET

Tässä luvussa kerrotaan paineilmajärjestelmän mitoittamiseen liittyviä sekä huomioon otettavia asioita suunniteltaessa paineilmajärjestelmää.

Koska ilma on kokoonpuristuvaa, sen teoreettinen tarkastelu on haastavampaa kuin kokoonpuristumattomien nesteiden. Sen johdosta usein teoreettiset tarkastelut onkin korvattu likimääräismenettelyillä. Ilman fysikaaliset ominaisuudet ovat toisistaan riippuvaisia. Siksi arvojen riippuvuutta toisistaan kuvataankin ideaalikaasun yhtälöillä. (Fonselius, Hautanen, Mutikainen, Pekkola, Salmijärvi & Simpura 1997, 18.)

### 4.1 Kompressorin mitoitus

Kompressorit voidaan jakaa kahteen ryhmään puristustyyppin perusteella. Kineettisesti puristavissa kompressoreissa, joita kutsutaan myös turbokompressoreiksi, ilma kiihdytetään suureen nopeuteen, minkä jälkeen ilman virtausta kuristetaan painetilassa ja paine kasvaa. Kineettisesti puristavia kompressoreita käytetään, kun vaaditaan suuria tilavuusvirtoja.

Staattisesti puristavissa kompressoreissa ilma virtaa kompressoriin ja painetta kasvatetaan pienentämällä ilman tilavuutta. Yleisimpiä staattisesti puristavia kompressoreita ovat mäntä- ja ruuvikompressorit. (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 43.)

Yleisimmät teollisuuden käytössä olevat kompressorit ovat tyypiltään ruuvikompressoreita, koska ne sopivat niin paine- kuin tuotto-ominaisuuksiltaan teollisuuden paineilman käyttöalueelle.

Kompressoria mitoittaessa on aluksi selvitettävä paineilmajärjestelmältä vaadittavat perusasiat, kuten minimi- ja maksimipaine, paineilman kulutuksen vaihtelu sekä maksimikulutus. Lisäksi on tärkeää huomioida paineilman saatavuuden merkitys sekä paineilman laatuvaatimukset. (Paineilmajärjestelmien suunnittelu, [Viitattu 13.6.2011].)

Mietittäessä järjestelmän käyttöpainetta on tiedettävä järjestelmän toimilaitteiden työpaine sekä arvioitava niiden käyttöaste.

Tyypillisessä konepajassa, jossa käytetään yleisimpiä paineilmatyökaluja, on työpaine 6- 7 bar. Jos jokin yksittäinen toimilaite vaatii suuremman työpaineen, on energiatehokkuuden kannalta hyödyllisempää käyttää paineenkohotinta kyseiselle laitteelle kuin nostaa koko järjestelmän painetasoa.

Paineilmajärjestelmän minimipaine mitoitetaan toimilaitteiden minimityöpaineen mukaan ja on huomioitava kompressorin ohjaustapaa suunniteltaessa.

Kompressoreiden ohjaustapoja ovat kaksipisteohjaus, kuristussäätö, pysäytyskäyttö sekä taajuusmuuttajaohjaus. Näistä ohjaustavoista on perinteisesti käytetty kaksipisteohjausta. Tässä ohjaustavassa kompressori tuottaa paineilmaa, kunnes saavutetaan asetetun paineen yläraja, jolloin kompressori siirtyy kevennyskäynnille. Jos paine ei laske alarajalle kevennyskäynnin aikana, ohjaustoiminto pysäyttää moottorin säädetyn ajan kuluttua.

Kuristussäätöohjauksessa kompressori käy jatkuvasti. Paineilman tuottoa rajoitetaan kuristamalla imuilman määrää painetason mukaan. Kuristussäätöohjausta onkin edullisinta käyttää, kun ilman kulutus on yli 70 % kompressorin tuotosta.

Pysäytyskäyttö ohjaus on hyvin samankaltainen kuin kaksipisteohjaus. Tässä ohjaustavassa kompressori käynnistyy paineen alarajalla ja sammuu jälkikäynnin jälkeen, kun säädetty paineen yläraja on saavutettu. Jälkikäynnillä pyritään estämään kompressorin sähkömoottorin ylikuumentuminen.

Taajuusmuuttajaohjauksella kompressorin pyörimisnopeutta säädetään mahdollisimman tarkasti paineilman kulutuksen mukaan. Ohjauksella pyritään pitämään energian kulutus mahdollisimman pienenä tuotettua paineilmauutiota kohden.

Kompressorin tuotto tulisi mitoittaa juuri paineilmajärjestelmän kulutuksen suuruiseksi. Uusissa järjestelmissä se on usein haastavaa, koska kaikkia kulutuskohteita ei tunneta. Ensisijaisesti kompressoreiden kokoa määritettäessä tulisi löytää paineilmajärjestelmän suurimmat kulutuskohteet ja arvioida niiden

käyttöasteet. Kompressorin kokoon eniten vaikuttavia laitteita ovat usein ne, joilla on pisin toiminta-aika. Yksittäiset lyhyet paineilman kulutushuiput tyydyttyvät paineilmasäiliötä käyttämällä. Lisäksi tuottoa laskettaessa tulisi huomioida mahdolliset tulevat vuodot järjestelmässä, mahdolliset laajennukset sekä varakapasiteetti.

Jos paineilman saatavuus on prosessien toiminnan kannalta hyvin merkittävä, tulisi harkita kahden tai kolmen kompressorin käyttöä.

Paineilmajärjestelmä tulisi aina suunnitella kulutuskohteiden vaatimusten mukaan. Siksi olisi tärkeää tietää kompressoria valittaessa myös vaadittava paineilman laatu. Kompressoreita on sekä öljyvoideltuja että öljyttömiä. Luonnollisesti öljyvoidelluissa kompressoreissa paineilmaan sekoittuu hieman öljyä. Jos paineilmajärjestelmään sallitaan vain hyvin vähän öljyä, voidaan käyttää öljytöntä kompressoria tai öljyn suodattimia verkostossa.

Kompressorin paineilman tuoton ilmoittaminen on määritelty seuraavissa standardeissa ja suosituksissa:

- DIN 1945, Osa 1, Liite F
- ISO 1217, Liite C (2009)

Standardit ja suositukset ovat laadittu kompressorivalmistajien eri ilmoituskäytäntöjen yhtenäistämiseksi. Edellä mainittujen standardien ja suositusten mukaan tuotto ilmoitetaan koko kompressoripaketin tuottona ulostuloputkesta kaikkien laitteiden jälkeen ja ilmoitetussa normaali työpaineessa. (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 45.)

## **4.2 Paineilmasäiliön mitoitus**

Paineilmasäiliön oikeanlainen mitoitus on erityisen tärkeää mäntätyyppisiä kompressoreita käytettäessä. Paineilmasäiliö pienentää kompressorin aiheuttamia paineiskuja sekä toimii paineilmapavarastona. Ruuvikompressoreita käytettäessä paineilmasäiliö toimii kulutushuippujen tasaajana sekä paineilmapavarastona. Jos kompressoria ohjataan kuristussäädöllä tai taajuusmuuttajaohjauksella,

paineilmasäiliö ei ole välttämättä tarpeellinen. (Paineilmajärjestelmien suunnittelu, [Viitattu 13.6.2011].)

Säiliön mitoittamiseen vaikuttavat säiliön käyttötarkoitus, sallittu paineen vaihtelu sekä kompressorin tuotto. Usean kompressorin järjestelmissä mitoituksessa käytetään suurimman kompressorin tuottoa. Taulukossa 1 on esitetty täysiautomaattiseen kaksipisteohjattuun kompressoriin tarvittava säiliötilavuus eri paineen vaihteluilla.

Taulukko 1. Tarvittava säiliön koko eri paineiden vaihteluilla. (Paineilmajärjestelmien suunnittelu, [Viitattu 13.6.2011].)

Kompressorin tuotto m <sup>3</sup> /min	Sallittu paineen vaihtelu (bar)			
	0,25	0,5	1	2
	Tarvittava säiliön koko m <sup>3</sup>			
0,5	0,2-0,5	0,1-0,3	0,05-0,15	0,03-0,1
1	0,4-1,0	0,2-0,5	0,1-0,3	0,05-0,15
1,5	0,5-2	0,3-1	0,15-0,5	0,1-0,25
2	0,75-2	0,4-1	0,2-0,5	0,1-0,3
3	1,0-3	0,5-1,5	0,3-0,75	0,15-0,5
4	1,5-4	0,75-2	0,4-1,0	0,2-0,5
6	2,0-6	1,0-3	0,5-1,5	0,3-0,75
8	3,0-8	1,5-4	0,75-2,0	0,4-1,0
10	4,0-10	2,0-5	1,0-3	0,5-1,5
15	6,0-15	3,0-8	1,5-4	0,75-2,0
20	8,0-20	4,0-10	2,0-5	1,0-3
30	10,0-30	5,0-15	3,0-8	1,5-4
50	20-50	10,0-25	5,0-15	2,5-8

Paineilmasäiliö toimii myös tehokkaana vedenerottimena, jos säiliön tilavuus on riittävän suuri. Vedenerotukseen sopivan säiliön tilavuus voidaan laskea yhtälöstä:

$$\frac{Q}{3} = V_s \quad (3)$$

missä Q on kompressorin tuotto (m<sup>3</sup>/min)

V<sub>s</sub> on säiliön tilavuus (m<sup>3</sup>) (Keinänen & Kärkkäinen 2005,58.)

Paineilmasäiliötä valittaessa on huomioitava, että säiliön on täytettävä paineastia- ja painelainsäädännön vaatimukset ja edellytykset. Paineastialainsäädäntö on määritelty direktiivissä 87/404/ETY.



Painelaite direktiivin mukaan painesäiliötä ei ole rekisteröitävä, jos kyseessä on:

yksinkertainen painesäiliö, jonka suurimman sallitun käyttöpaineen ja sisäpuolisen tilavuuden tulo on enintään 3 000 bar · L. (Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta 18.10.1999/953.)

Edellä mainitun kaavan tulos mainitaan usein säiliövalmistajien toimesta *voimalukuna* 3 (bar·m<sup>3</sup>). Säiliö on usein rekisteröitävä paineastia, jolloin on hyödyllistä pohtia säiliön tarpeellisuutta tapauskohtaisesti, koska säiliö on usein hyvin suuri kustannustekijä.

### 4.3 Putkiston mitoitus

Tässä kappaleessa käsitellään paineilmaverkoston mitoituksia. Paineilmaverkoston mitoitukseen on muutamia eri tapoja. Yleisin mitoitustapa lienee putkiston mitoittaminen painehäviöiden laskennan avulla. Tamrotor kompressorit Oy:n tekemän ohjeen mukaan hyvin mitoitettu painehäviö paineilmakeskuksen ja kulutuspisteiden välillä tulisi olla alle 0,3 baaria. (Paineilmajärjestelmien suunnittelu, [Viitattu 13.6.2011].)

Putkiston painehäviö tulisi kuitenkin olla enintään 1 bar kompressorin ja paineilmalaitteiden välillä. (Keinänen & Kärkkäinen 2005,43.)

Teollisuuslaitoksissa paineilman kulutus on usein hyvin vaihtelevaa, minkä vuoksi putkiston mitoitus on haastavaa. Merkittävin ongelma tulee putkiston alimitoituksesta, jolloin paineilmalaitteille ei saada siirrettyä riittävästi tehoa. (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 62.)

Paineilmaverkosto jaetaan usein kompressoriaseman putkistoon sekä runko-jakelu- ja liitäntäputkistoihin. Jakeluverkon tyyppejä on kolmenlaisia. Näitä ovat suora verkko, joka on melko yleinen pienissä laitoksissa ja rengasverkko, joka on taas yleisempi suuremmissa laitoksissa, joissa myös ilman kulutus on suurempaa. Kolmas verkkotyyppi on edellä mainittujen yhdistelmä.

Putkistomateriaaleina on aiemmin yleisesti käytetty teräksisiä vesijohtoputkia. Teräksestä valmistettujen paineilmaverkostojen huonona puolena on kuitenkin verkon paino sekä paineilman mukana tulleen veden aiheuttama korroosio. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 55.)

Nykyisin on yleistymässä alumiinista sekä muovista valmistetut paineilmaputkistot. Näiden hyviä puolia ovat kevyt paino sekä putken sileän sisäpinnan tarjoama alhainen painehäviö. Huonona puolena voidaan pitää varsinkin alumiiniputkiston suurta hintaa verrattuna teräksisiin putkistoihin.

Putkistoja mitoitettaessa painehäviöiden avulla ensin on paineilma verkosto suunniteltava venttiilien, putkikäyrien ja liittimien osalta. Edellä mainitut putkiston osat aiheuttavat omalta osaltaan painehäviön. Sen johdosta on laadittu taulukko 2, johon putken osien aiheuttamat painehäviöt ovat muunnettu vastaamaan suoraa putken osan pituutta metreinä.

Taulukko 2. Putken osien aiheuttamat painehäviöt muunnettuna vastaavaksi putken pituudeksi. (Paineilmajärjestelmien suunnittelu, [Viitattu 13.6.2011].)

Putken osat	Putken nimellismitta											
	$f_i$	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
90° kulma	1,15	1,3	1,7	2,3	2,7	3,6	4,9	5,9	8,1	10,3	12,9	17,8
45° kulma	0,82	0,9	1,2	1,7	2	2,6	3,5	4,2	5,8	7,3	9,2	12,7
90° käyrä	0,245	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,3	1,7	2,2	2,8	3,8
90° kaari	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,6
180° käyrä	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,8	2,2	2,8	3,9
T-haara (haarav.)	1,02	1,1	1,5	2,1	2,4	3,2	4,3	5,2	7,2	9,1	11,4	15,8
T-haara (suorav.)	0,35	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,5	1,8	2,5	3,1	3,9	5,4
Supistus	0,43	0,5	0,6	0,9	1	1,4	1,8	2,2	3	3,8	4,8	6,7
Takaiskuventtiili	1,34	1,5	2	2,7	3,2	4,2	5,7	6,9	9,4	11,9	15	20,8
Kalvoventtiili	1,01	1,1	1,5	2	2,4	3,2	4,3	5,2	7,1	9	11,3	15,7
Palloventtiili	0,11	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,7
Luiستventtiili	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1	1,4	1,8	2,2	3,1
Istukkaventtiili	2,69	3	4	5,4	6,4	8,5	11,4	13,8	18,9	24	30,2	41,7

Taulukosta saadut vastaavat putken pituudet lisätään koko putkiston pituuteen. Muovi- ja kupariputkiston likimääräinen painehäviö saadaan laskettua yhtälöstä:

$$D_p = 2,9 * 10^5 * Q^{1,85} * \frac{L}{(D^{5*} P_e)} \quad (4)$$

Jossa,  $D_p$  on putkiston painehäviö (bar)

$Q$  on tilavuusvirta ( $m^3 / min$ )

L on putkiston pituus (m)

D on putken sisähalkaisija

$P_e$  on käyttöpaine.

Paineilmaputkisto voidaan myös mitoittaa liitteenä 1 olevan mitoitus nomogrammin avulla. Ennen mitoitusta tulisi tietää putkistolta läpi siirrettävä ilmamäärä sekä paineilman paine.

#### 4.4 Toimilaitteiden mitoitus

Toimilaitteiden mitoitukseen löytyy useita erilaisia mitoitusohjelmia sekä ohjeita toimilaitteiden valmistajilta.

Yleisimpiä teollisuuden paineilmajärjestelmissä esiintyviä toimilaitteita ovat sylintereitä, ejektoreita sekä paineilmamootoreita.

Paineilmasyylinterit mitoitetaan yleensä vaadittavan voiman sekä nopeuden perusteella. Lisäksi tulisi huomioida sylinterin liikerata ja ilman kulutus.

Sylinterin tuottama voima F saadaan paineen yhtälöstä:

$$P = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Sylintereitä mitoitettaessa pinta-ala A on sylinterin männän pinta-ala. Sen vuoksi on huomioitava sylinterin liikesuunta, sillä männän pinta-ala on pienempi männän varren puolella.

## **5 ENERGIAN SÄÄSTÖ**

Energian säästön merkitys kasvaa koko ajan sähkön hinnan jatkuvasti noustessa. Näin ollen myös energian säästön merkitys kilpailutekijänä kasvaa.

Energian säästöön paineilmajärjestelmien käytössä on kuitenkin yleisesti muutamia haasteita. Muun muassa paineilmaverkoston vuotoja ei huomioida, koska paineilma on ympäristölle vaaratonta eikä vuodoista aiheutuvia taloudellisia kustannuksia osata hahmottaa. Muita haasteita energiasäästöissä ovat sähkönkulutuksen kohdennettavuus paineilman tuottamisesta aiheutuviin kustannuksiin, koska usein sillä on vain pieni osuus teollisuuslaitoksen kaikista kustannuksista. Lisäksi paineilmaverkot ovat usein jaettu tehtaiden eri toiminnoille, jolloin kukaan ei ole suoraan vastuussa paineilmajärjestelmästä. (Radgen, [viitattu 10.6.2011].)

### **5.1 Energiatehokkuus**

Euroopan yhteisö on luonut tavoitteet ympäristön suojelemiseksi, kilpailukyvyyn parantamiseksi sekä energian toimitusvarmuuden lisäämiseksi. Tavoitteet ovat asetettu perustaksi energiatehokkuuden parantamiseksi EU:n jäsenmaissa.

Euroopan Unionin komissio on esittänyt energiankäytön ja sen tehostamisen tavoitteet Vihreään kirjaan. Kirjassa on todettu energiatehokkuuden parantamisen olevan tehokkain tapa saavuttaa edellä mainitut tavoitteet. (Heikkilä, Huumo, Siitonen, Seitsalo & Hyytiä, [Viitattu 10.6.2011].)

### **5.2 Paineilman energiatehokkuus**

Puhuttaessa paineilman energiatehokkuudesta tässä työssä, käsitellään energiatehokkuutta paineilman tuottamiseen käytetyn energian käytön tehokkuuden kannalta, sillä paineilmalla on vain sisäinen paineesta riippumaton energiansa. Koska paineilmalla on kuitenkin kyky tehdä työtä, kutsutaan tätä exergiaksi.

Paineilman käyttö useilla teollisuuden aloilla on yleistynyt paineilman tuottamisen ja varastoinnin helppouden ja turvallisuuden johdosta. Paineilman käyttöön arvioidaan kuluvan jopa 10 % teollisuuden sähkön kulutuksesta Euroopan Unionissa. (Radgen & Blausten, [viitattu 10.6.2011].)

Vastaavasti Suomessa kokonaisenergian kulutuksesta kuluu paineilman tuottamiseen noin 3 % (Penttinen 2009, 9).

Paineilman energiatehokkuus on kuitenkin melko huono. Motivan vuonna 2003 käynnistämässä ”PATE - paineilmaa tehokkaasti” -projektissa tehtiin tutkimus, jonka tavoitteena oli kerätä ja jalostaa tietoa teollisuuden paineilman energiatehokkuudesta. Projektissa tutkituista tehtaista löytyi noin 20 prosentin taloudellisesti toteuttamiskelpoinen säästöpotentiaali paineilman tuotannossa sekä käytössä. (PATE- Analyysi – Paineilman energia-analyysimalli, 2006,3.)

Energiatehokkuuden mataluus on selitettävissä myös paineilman huonolla hyötysuhteella. Koska paineilma on kokoonpuristuvaa, puristuksessa syntyy lämpöä. Painesuhteen kasvaessa hyötysuhde laskee. Kun hyötysuhteen laskennassa otetaan huomioon vuoto-, paisunta- sekä kitkahäviöt, todellisuudessa hyötysuhde on enää jopa vain alle 5 %. (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 22–29.)

### **5.3 Paineilman kustannukset**

Paineilmajärjestelmän pääomakustannukset muodostuvat järjestelmän perustamiskustannuksista, joita ovat muun muassa laitteiston hankintahinta.

Paineilmanjärjestelmän hankintaa suunniteltaessa usein kiinnitetään tarpeettoman paljon laitteiston hankinta hintaan. Laskettaessa järjestelmän elinkaarikustannuksia muodostuu jopa 75 % osuus energiakuluista suhteessa kaikkiin kustannuksiin. (Radgen, [viitattu 13.6.2011].)

Paineilman tuottamisen kustannukset koostuvat energia-, järjestelmän ylläpito- sekä mahdollisista jäähdytyskustannuksista. Noin 90 % paineilman tuottamiseen

tarvittavasta energiasta kuluu kompressorissa. (Paineilmajärjestelmien suunnittelu, [Viitattu 13.6.2011].)

Tämän vuoksi on erityisen tärkeää suunnitella paineilmajärjestelmä perusteellisesti. Järjestelmän käyttöpaine, tuotto sekä putkiston koko vaikuttavat näin ollen hyvin merkittävästi paineilman kustannuksiin.

Termodynamiikan 1. pääsäännön mukaan 100 % kompressorille syötetystä energiasta muuttuu lämmöksi, josta noin 72 % energiasta siirtyy kompressorin jäähdytysnesteeseen. 94 % lämpöenergiasta on kuitenkin hyödynnettävissä tehokkailla lämmön talteenottojärjestelmillä. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 44.)

### 5.3.1 Pääomakustannukset

Laskettaessa paineilmajärjestelmän pääomakustannuksia kustannukset on hyödyllistä jakaa tasaisesti usealle vuodelle jolloin kustannuksia ja tuottoja voidaan tarkastella keskenään. Tällöin on kannattavaa ottaa huomioon yrityksen käyttämä sisäinen korko sekä huomioitava käyttöajan lopun jäännösarvo. Vuotuinen pääomakustannus eli annuiteetti  $a$  voidaan laskea kaavasta:

$$a = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} H \quad (1)$$

Jossa  $H$  on hankintahinta

$i$  on korkokanta ( % / 100 )

$n$  on poistoaika vuosina.

### 5.3.2 Käyttökustannukset

Paineilmaa tuotetaan lähes aina sähkökäyttöisillä kompressoreilla, joten kompressorin kuluttama sähköenergian kulutus vuodessa voidaan laskea kaavasta:

$$K = \frac{Pk * kt * H * \%t * \%full}{Mt} \quad (2)$$

Missä:

K on kompressorin sähkömoottorin energian kulutuksesta aiheutuva kustannus (€)

Pk on kompressorin sähkömoottorin teho kilowatteina

kt on kompressorin käyttötunnit vuodessa

H on sähkön hinta (€ / kWh)

%t on kompressorin käyntiaika laskettavalla teholla prosentteina

%full on kompressorin käynti täydellä teholla koko käyntiajasta

Mt on kompressorin moottorin tehokkuus.

Motivan laskelmien mukaan parhailla markkinoilta löytyviltä kompressoreilla tuotetaan paineilmaa edullisimmillaan  $0,02 \text{ €} / 1\text{m}^3$ , jolloin laskelmassa on huomioitu kaikki tuottamiseen liittyvät kustannukset.

Muita paineilman tuottamiseen liittyviä kustannuksia ovat ylläpitokustannukset, kuten huoltokustannukset.

## **5.4 Ratkaisuvaihtoehtoja energian säästöön**

Energian säästö mahdollisuuksia paineilmajärjestelmiä käytettäessä on useita. Tässä kappaleessa kerrotaan aluksi hieman energian säästöpalveluista sekä myöhemmin energian säästöön tähtäävistä komponenteista ja menetelmistä komponenttitasolla.

### **5.4.1 Paineilman kulutuksen seuranta**

PATE – paineilmaa tehokkaasti -projektin pohjalta Motiva laati paineilman energia-analysimallin, jota voidaan käyttää ohjeena määrittäessä paineilmajärjestelmien energiatehokkuutta.

Analyysimallissa on ohjeistettu, että paineilman energiatehokkuuden tarkastelussa tulisi lähteä aluksi tarkastelemaan analyysikohteen paineilman käyttötarpeita. Näitä tarpeita ovat muun muassa ilman kulutuksen määrittely, ilman laatu sekä painetasot. Kun paineilman käytön tehokkuus on määritelty, olisi luontevaa tarkastella seuraavaksi olemassa olevan järjestelmän putkistovuotoja sekä lopuksi paineilman tuotannon tehokkuutta. Analyysimallin mukaisesti tulisi kirjata ylös havaitut säästö- sekä tehostamiskohteet sekä laskea mahdolliset vuosisäästöt. Havaituista säästöpotentiaaleista luodaan toimenpidesuunnitelma, johon lisätään mahdolliset investointikulut. (PATE – analyysi – Paineilman energia-analyysimalli, 2006,9-13.)

Useilla paineilmalaitteiden toimittajilla on tarjolla paineilman kulutuksen seurantaan tarkoitettuja komponentteja sekä palveluja. Palvelut noudattavat pääpiirteittäin PATE- analyysimallipohjaa.

Muun muassa Festo tarjoaa asiakaskohtaisia palveluja paineilmankulutuksen optimoimiseksi sekä energiansäästön saavuttamiseksi.

#### **5.4.2 Optimointi**

Paineilmajärjestelmän optimoinnilla saadaan maksimoitua järjestelmän tehokkuus sekä saadaan helposti pienennettyä energiakustannuksia. Optimoinnissa on kuitenkin tärkeää huomioida, miten toimenpiteet vaikuttavat laitteen toimintaan. Hyvänä ohjeena paineilmajärjestelmän suunnittelussa ja käytössä voidaan kuitenkin pitää kahta sääntöä. Ensimmäinen ohje on paineiden sulkeminen pois niin usein kuin on mahdollista sekä toinen ohje on käyttää niin pientä painetta kuin on mahdollista laitteen toiminnan kannalta.

Paineilma sylinteriä mitoitettaessa tulisi pyrkiä pitämään sylinterin iskunpituus aina mahdollisimman lyhyenä. Näin saadaan vähennettyä ilman kulutusta ja sen johdosta tarpeetonta kompressorin käyntiä. Toinen vaihtoehto paineilman kulutuksen vähennykselle on yksitoimisten jousipalautteisten paineilmasylintereiden käyttö kaksitoimisten sijaan. Näitä käytettäessä on huomioitava, että sylinteri tarvitsee hieman suuremman voiman toimiakseen,

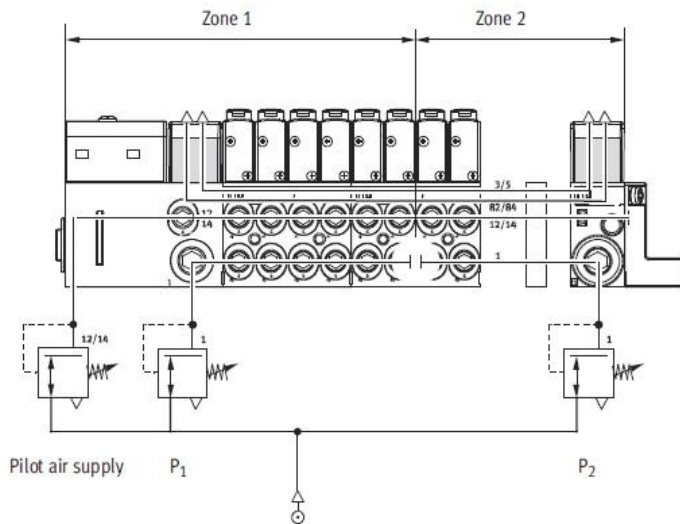


koska sylinteri on jousivoimalla palautuva. Lisäksi on huomioitava, onko sylinterin paluuliikkeen nopeudella merkitystä laitteen toimintaan, sillä sitä ei saa nopeutettua. Hyötyä saadaan kuitenkin paineilman kulutuksen vähentymisellä jopa 50 % sekä komponenttien vähentymisestä saatavilla säästöillä, koska sylinterin ohjauksessa voidaan käyttää edullisempia ja yksinkertaisempia venttiilejä. Järjestelmän yksinkertaistumisesta saadaan myös lisähyötyjä, koska putkistoliitännät ovat yleisimpiä paineilman vuotopaikkoja, joten mahdollisten vuotojen paikannus helpottuu.

Sylinterin yli- sekä alimitoitus ovat valitettavan yleisiä. Kun sylinteri alimitoitetaan, sylinteri ei tuota riittävän suurta voimaa. Jos putkisto sekä kompressori mitoitetaan juuri tarkalleen paineilman kulutuksen mukaan, sylinteri voi jäädä alimitoitetuksi, mikäli putkistovuodoista ja kulumisesta aiheutuvat painehäviöt kasvavat ajan mittaan. Ylimitointus on sen sijaan turhaa energian kulutusta, jos sylinteri voi toimia tarkoituksen mukaisesta myös pienemmällä pinta-alalla ja iskunpituudella.

Kun sylintereitä käytetään hyvin suurilla nopeuksilla, on suositeltavaa käyttää erillistä voitelulaitetta. Näin vältetään sylinterin tiivisteiden lämpenemiseltä ja vaurioitumiselta. Tavallisesti sylinteriä käytettäessä on suositeltavaa käyttää öljytöntä ilmaa. Mikäli öljyä käytetään sylinterissä kerran, on sitä käytettävä aina. Sillä jos öljyn käyttö lopetetaan kesken, öljy ajan mittaan kuivuu ja siihen tarttuu ilman mukana tulevia epäpuhtauksia ja aiheuttaa kulumaa männässä ja tiivisteissä. Erityisen pölyisiin ympäristöihin on saatavilla sylintereitä, joissa on erillinen männän varren tiivisterengas, joka pidentää käyttöikää kulumisen kannalta. Tämä kuitenkin hieman kasvattaa sylinterin pituutta ja myös nurjahdusriskiä.

Teollisuuden paineilmajärjestelmissä on usein useita sylintereitä ja toimilaitteita sekä niitä ohjaavia venttiileitä. Siksi onkin hyödyllistä käyttää venttiiliterminaaleja, johon on keskitetty kaikki laitekokonaisuuden venttiilit. Venttiiliterminaalit tulisi mitoittaa optimaalisen tilavuusvirran mukaan yli- ja alimitoituksen välttämiseksi. Venttiiliterminaalit voidaan jakaa useisiin eri alueisiin painetason mukaan kuten kuviossa 4.



Kuvio 4. Venttiiliterminaalien jako eri alueisiin.

Myös venttiilien toiminnot ovat valittava huolellisesti. Energian säästön kannalta voidaan pitää esimerkkinä 5/3 suuntaventtiiliä suljetulla keskiasennolla. Yksinkertaisessa sylinterin ohjauksessa venttiili ohjaa sylinterin päätyasentoon, minkä jälkeen venttiili sulkee tarpeettoman paineen syötön sylinteriltä.

Ejektoreita käytettäessä tulisi pyrkiä pitämään sekä alipaine- että syöttöpaineputkistojen pituudet mahdollisimman lyhyinä. Imukupin muoto ja materiaali on tärkeää valita tartuttavan pinnan mukaan imuvuotojen välttämiseksi. Paineilman kulutusta voidaan vähentää käyttämällä imukytkimiä, joka sulkee paineen syötön, kun haluttu alipaine on saavutettu.

Jos paineilmaa ei kuitenkaan ole saatavilla riittävän lähelle toimilaitetta tai jos toimilaitteita on vain vähän, on hyödyllistä tutkia, voiko paineilma laitteen korvata sähkötoimisella laitteella. Sähkötoimiset toimilaitteet ovat yleensä hieman kalliimpia hankintahinnaltaan, mutta voivat olla energiankulutukseltaan pienempiä kuin paineilmalaitteet.

## 6 MITOITUSOHJELMIEN KEHITTÄMINEN

### 6.1 Pakkauslinjan paineilmankulutuksen laskentaohjelma

Opinnäytetyön ensimmäisenä tavoitteena oli kehittää Pesmel Oy:lle pakkauslinjan paineilman kulutuksen laskentaan Microsoft Excel -pohjainen laskentaohjelma. Laskentaohjelma tulisi myynnin avuksi alustavia kulutusarvoja määriteltäessä sekä suunnittelulle, jolloin laitteiden tarkat paineilman kulutusarvot jokaista toimintoa kohden tulisi laskea. Laskentaohjelman tulisi näin ollen oltava helppokäyttöinen ja selkeä.

Työ aloitettiin määrittelemällä pakkauslinjaston eri laitteiden toiminnot. Laitteisiin tutustuttiin 3D-mallien ja paineilmakaavioiden avulla. Tarkempia laitteiden toimintoja haastateltiin koneiden suunnittelijoilta.

Laskentapohjaan syötettäviä tietoja ovat muun muassa kapasiteetti sekä järjestelmän painetaso. Laskentapohjan selkeyden vuoksi nämä sijoitettiin ohjelman etusivulle.

Pakkauslinjaston laitteet jaettiin eri välilehdille, jolloin jokaisella välilehdellä oli vain yksi laite ja pystyttiin helposti määrittelemään koneiden eri paineilmakomponentit sekä niiden toiminnot. Jokaiselle koneen paineilmakomponentille määriteltiin toiminnot, käyttökertoimet sekä syklit, joita paineilmalaitte noudattaa koneen työkierron aikana. Paineilmalaitteiden ilman kulutus koostettiin jokaisen välilehden loppuun. Ohjelman etusivulle sijoitettiin syötettävien arvojen lisäksi koostetut paineilman kulutukset eri laitteilta, jolloin ohjelma huomioi syötetyn painetason sekä pakkauslinjaston koneilta vaadittavan kapasiteetin.

Laskentaohjelman kaikki etusivun valinta vaihtoehdot toteutettiin Microsoft Excelin ohjausobjekteilla. Käyttämällä ohjausobjekteja valintojen tekemiseen, saatiin estettyä käyttäjää tekemästä virheellisiä valintoja laskentapohjaa käytettäessä. Muita ohjausobjektien käyttämisestä saatavia etuja olivat muun muassa etusivun selkeys. Kun paineilman kulutuslaskentaohjelma on myynnin apuna, myyntihenkilöiden ei tarvitse muuttaa koneiden arvoja ohjelman välilehdiltä, vaan kaikki tarvittavat tiedot ovat etusivulta luettavissa.

Laskentapohjaa koekäytettiin Pesmelillä eikä parannusehdotuksia ole juurikaan keksitty. Näin ollen laskentaohjelma on hyvin helppo ja selkeä käyttää lyhyen tutustumisen jälkeen.

## 6.2 Putkiston mitoitustyökalun kehittäminen

Opinnäytetyön toisena tavoitteena oli kehittää Pesmelin paineilmaputkiston mitoitustyökalua. Pesmelillä oli jo olemassa mitoitustyökalu jota haluttiin jatkokehittää. Myös tämä mitoitustyökalu oli kehitetty Microsoft Excel- ohjelmalla.

Putkiston mitoitushjelma perustuu putkiston mitoitukseen painehäviöiden avulla. Alkuperäiseen mitoitushjelmaan syötettäviä arvoja olivat putkiston pituus sekä putkiston sisähalkaisija. Lisäksi ohjelmaan ilmoitettiin syöttöpaine sekä vaadittava paine putkiston jälkeen. Syötettävien arvojen jälkeen laskentaohjelma ilmoitti vaadittavan tilavuusvirran.

Ohjelmaa haluttiin kehittää koska mitoitushjelma ei huomionnut putkistoon paineilmahäviöitä aiheuttavia putkiston osia kuten käyriä, kulmia tai venttiileitä. Näitä putkiston osia kutsutaan kertavastuksiksi.

Mitoitushjelma on pääasiassa käytössä suunnittelijoilla ja sen tulisi olla hyvin helppokäyttöinen useista käyttäjistä johtuen. Sen johdosta päätettiin että mitoitukseen valittavat putkenosat ja putkenosan halkaisijat saa valittua Excelissä avautuvasta vierityspalkista. Mitoitushjelmaa lähdettiin aluksi kehittämään siten, että ohjelma hakee taustalla olevista taulukoista automaattisesti kertavastusta vastaavan putken pituuden.

Kun mitoitushjelmaa koekäytettiin, huomattiin nopeasti, ettei tämän kaltainen valinta ratkaisu ollut toimiva. Taustalla olleesta taulukosta ei saanut riittävän tarkasti laskettua putkenosan halkaisijaa, sillä taulukossa oli putkenosille annettu vain standardi kokoja, eli halkaisija vaihtoehdot olivat vain noin 10 - 25mm välein. Taulukossa 3 on esitetty yksinkertaistettu versio ensimmäisestä mitoitushjelmasta.

Taulukko 3. Yksinkertaistettu putkiston mitoitusohjelman ensimmäinen versio

<b>Venttiilien, putkikäyrien ja liittimien aiheuttamat painehäviöt</b>					
<b>Putkenosa</b>	<b>Putken sisä Ø</b>	<b>Kappale määrä</b>	<b>Vastaava putkenpituus metreissä</b>	<b>Pituus yhteensä</b>	
Putkikäyrä	40	4	0,2	0,8	
Kulma 90°	100	7	6,0	42	
Palloventtiili, täysin auk	0	0	0,0	0	
	25	0	0,0	0	
	40	0	0,0	0	
	50	0	0,0	0	
	80	0	0,0	0	
	100	0	0,0	0	
	125	0	0,0	0	
	150	0	0,0	0	
	200	0	0,0	0	
	0	0	0,0	0	
	0	0	0,0	0	
	0	0	0,0	0	
	0	0	0,0	0	
	0	0	0,0	0	
	0	0	0,0	0	
	0	0	0,0	0	
	0	0	0,0	0	
			<b>Yhteensä</b>	<b>42,8 metriä</b>	

Putkiston eri osille löydettiin kuitenkin useista lähteistä tutkimalla likimääräiset arvot, joiden avulla voitiin laskea yksittäisen putken osan painehäviö.

Uudempaa versiota putkiston mitoitusohjelmasta testattiin ja se todettiin hyvin toimivaksi. Ohjelman käyttämät yhtälöt tarkastettiin vielä kertaalleen ja mitoitusohjelman tuloksia verrattiin taulukkoarvoihin. Putkiston mitoitusohjelman tulokset vastasivat hyvin tarkasti ilmoitettuja taulukkoarvoja.

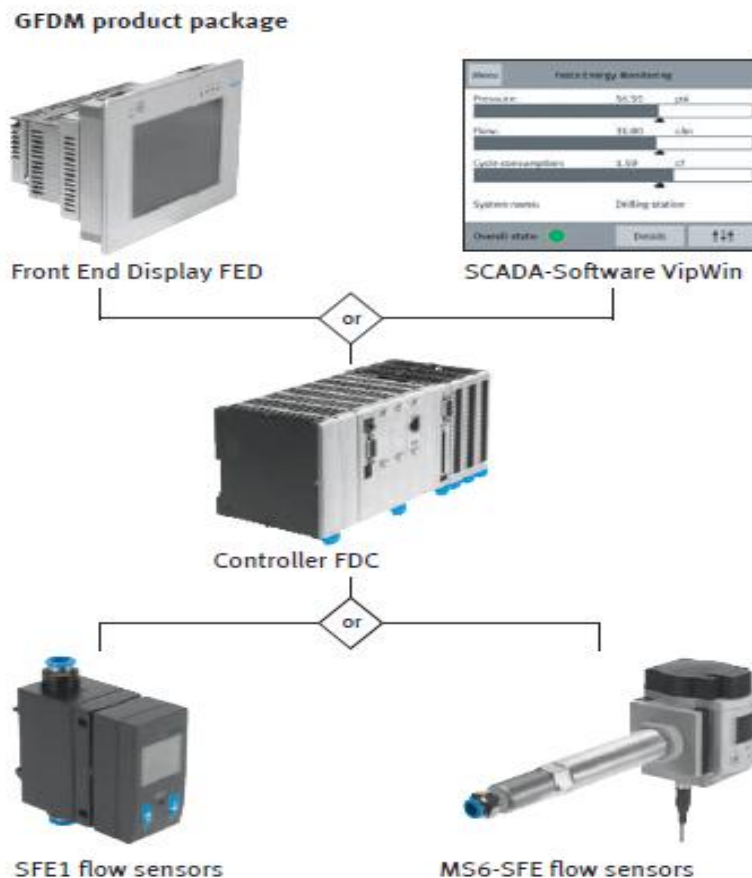
Mitoitusohjelman kehittämistä voi pitää onnistuneena. Ohjelmasta tuli hyvin selkeä ja yksinkertainen. Ohjelmalta vaaditut tavoitteet saavutettiin ja mitoitusohjelma on nykyisin käytössä Pesmelin suunnittelijoilla.

### **6.3 Paineilman kulutuksenseurantalaitteistosta saatavat hyödyt pakkauslinjassa**

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli tutkia energiaa säästäviä paineilmakomponenteista saatavia hyötyjä. Kappaleessa 5.4.2 kerrottiin yleisimpien komponenttien käyttämisestä energiaa säästään. Tässä kappaleessa kerrotaan paineilman kulutuksen seurantaan tarkoitetusta laitteistosta ja sen soveltuvuudesta Pesmel Oy:n pakkauslinjaan.

Feston valmistama paineilman kulutuksen seurantaan tarkoitettu tuotepakkaus on nimeltään GFDM. Laitteistolla seurataan paineilmajärjestelmän ilman kulutusta, virtausta sekä painetta. Laitteisto seuraa kulutusarvoja ja kirjaa ne ylös, jolloin kerättyä tietoa voidaan verrata aikaisempaan kulutukseen ja ilmenneet kulutuksen muutokset huomataan välittömästi niiden ilmestyttyä.

Kuviossa 5 on esitetty GFDM-laitteisto. Laitteistoon kuuluu aina ohjain, virtaus- tai paineanturit sekä kulutustietojen seurantaan ohjaimen lähelle sijoitettava FED-näyttö tai Vipwin-valvomo-ohjelmisto. GFDM:lle voidaan opettaa eri virtaus ja painetasoja prosessitoimintojen mukaan, jolloin se varoittaa kulutuksien muutoksista niiden vakavuudesta riippuen. Laitteistolle voidaan ohjelmoida 16 erilaista prosessitoimintoa. (Festo Energy Monitoring GFDM, [Viitattu 10.6.2011].)



Kuvio 5. GFDM:n tuotepakkaus (Festo Energy Monitoring GFDM,[Viitattu 10.6.2011].)

GFDM-laitteistosta saatavaa lisäarvoa Pesmelin pakkauslinjassa voidaan tutkia muutamalta kannalta. Laitteisto lisää pakkauslinjan luotettavuutta, koska

mahdolliset kulumisesta aiheutuvat paineilman kulutuksen muutokset huomataan aikaisessa vaiheessa ennen kuin ne vaikuttavat linjan toimintaan. Toisaalta nämä voidaan havaita myös säännöllisissä huolloissa. GFDM on kuitenkin hyvin hyödyllinen apuväline esimerkiksi huoltosuunnitelmia laadittaessa.

Koska GFDM-laitteisto voidaan opettaa eri paineilmajärjestelmän toiminnoille, huomataan välittömästi, jos ilman kulutusta on silloin kun sitä ei pitäisi olla. Näin huomataan putkistovuodot ja voidaan myös energiatehokkaammin ohjata paineilmakompressorin käyntiä.

Kulutuksen seurantalaitteiston investoinnin kannattavuutta voi myös tutkia paineilmakustannusten pienentymisestä saatavilla säästöillä. Uusissa paineilmajärjestelmissä paineilmaavuodot ovat todennäköisesti hyvin pieniä tai niitä ei ole lainkaan, jolloin laitteiston käyttämisestä saatava välitön säästö on pienempi. Sen sijaan kuten kerroin kappaleessa 5.2, Motivan ”paineilmaa tehokkaasti”-projektissa tutkituista tehtaista löytyi 20 %:n säästöpotentiaali paineilman tuotannossa ja käytössä. Jos edellä mainitun mukainen säästöpotentiaali on mahdollista saavuttaa kulutuksen seurantalaitteistolla ja siitä saatujen tietojen avulla tehtyjen korjausten johdosta, GFDM on varmasti kannattava investointi jo hyvin lyhyessä ajassa. Tästä huolimatta ei kuitenkaan voida ajatella että jokaisessa paineilmajärjestelmässä olisi yhtä suuri mahdollisuus säästää paineilmakustannuksissa, vaan on hyödyllistä harkita investointia tapauskohtaisesti.

GFDM- kulutuksen seuranta laitteiston soveltuvuus Pesmel Oy:n pakkauslinjaan on huono. Pakkauslinjassa on useita eri pakkausmenetelmiä ja tapoja samassa koneessa, jolloin GFDM-laitteiston opettaminen eri menetelmille on haastavaa tai jopa mahdotonta, koska GFDM-laitteistoon voidaan ohjelmoida vain 16 eri prosessitoimintoa.

## 7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää ja suunnitella paineilmajärjestelmien mitoitustyökaluja Pesmel Oy:lle. Opinnäytetyötä voidaan pitää onnistuneena sillä laskentapohjat ovat käytössä Pesmelillä.

Energian säästöön liittyvissä asioissa opinnäytetyö antoi huomattavasti laajemman näkökulman kuin mitä saatettiin odottaa. Opinnäytetyössä esitetyillä asioilla voi suunnitella paineilmajärjestelmän hyvin energiatehokkaaksi.

Opinnäytetyön ensimmäisenä tavoitteena oli kehittää pakkauslinjojen paineilman kulutuksen laskentaan laskentaohjelma. Opinnäytetyössä kehitettiin selkeä ja helppokäyttöinen ohjelma, joka nykyään on käytössä Pesmel Oy:ssä. Tärkeimpänä vaatimuksena ohjelmalta voidaan pitää pakkauslinjojen tarkkojen kulutusarvojen määrittämistä. Tältä osin ohjelma täyttääkin vaatimuksen erittäin hyvin.

Pohdittaessa ohjelman jatkokehitys mahdollisuuksia, vastaan tuli muutamia vaihtoehtoja. Ohjelmaan voisi lisätä pakkauslinjaston paineilmalaitteille menevien putkistojen aiheuttamat paineilman kulutukset. Tätä vaihtoehtoa pohdittaessa tultiin kuitenkin tulokseen, etteivät putkistojen aiheuttamat kulutukset ole niin merkittäviä pakkauslinjojen paineilman kokonaiskulutuksen kannalta.

Toisena vaihtoehtona kulutuksen laskentaohjelman kehittämiseen olisi kehittää erillinen kulutuksen laskenta- tietokoneohjelma. Tällä olisi mahdollista saavuttaa vieläkin selkeämpi ja yksinkertaisempi ohjelman käyttöliittymä. Toisaalta opinnäytetyössä kehitetyn laskentaohjelman vahvuus on juuri siinä, että se on Microsoft Excel- ohjelmistolla tehty. Näin kuka tahansa voi helposti tehdä muutoksia ohjelmaan.

Opinnäytetyön toisena tavoitteena oli jatkokehittää putkiston mitoitustyökalua. Työssä lisättiin Microsoft Excel- ohjelmalla kehitettyyn putkiston mitoitushjelmaan ominaisuus laskea kertavastusten, eli putkiston osien aiheuttamia painehäviöitä. Alkuperäinen mitoitushjelma oli hyvin yksinkertainen käyttää. Opinnäytetyön toinen tavoite saavutettiin erittäin hyvin, sillä ohjelma oli myös kehitystyön



jälkeenkin todella helppokäyttöinen. Mitoitusohjelma täyttää sille asetetut vaatimukset ja ohjelman antamat tulokset vastaavat eri lähteisiin verrattuja taulukkoarvoja.

Pohdittaessa ohjelman jatkokehitysmahdollisuuksia, voisi putkenosien aiheuttamia painehäviöitä tarkastella hieman tarkemmin. Ohjelmassa painehäviöt lasketaan yhtälöiden avulla, mutta yleisimpiä Pesmelillä käytössä olevia putken osien painehäviöitä voisi kokeellisesti tarkastella ja verrata ohjelman antamiin arvoihin. Tästä saatavia hyötyjä tulisi siinä tapauksessa, mikäli kokeellisesti testatut arvot olisivat pienempiä kuin ohjelman antamat arvot, ja näin voitaisiin välttää esimerkiksi putkiston ylimitoittamista.

Opinnäytetyön kolmantena tavoitteena oli tutkia energiaa säästävistä paineilmalaitteista saatavia hyötyjä. Työssä kerrotaan eräästä Feston valmistamasta paineilman kulutuksen seurantaan tarkoitetusta laitteistosta ja sen soveltuvuudesta Pesmelin pakkauslinjoihin. Työn tuloksena todettiin että laitteistolla olisi mahdollista saavuttaa energian säästöä paineilman käytössä. Kuitenkaan sen ei katsottu olevan tarkoituksen mukainen käytettäessä laitteistoa Pesmelin pakkauslinjoissa.

## LÄHTEET

- Ellman, A. Hautanen, J. Järvinen, K & Simpura A.2002. Pneumatiikka. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Energy saving services. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. Festo AG & Co.[Viitattu 10.6.2011]. Saatavana: [http://www.festo.com/net/fi\\_fi/SupportPortal/Downloads/118304](http://www.festo.com/net/fi_fi/SupportPortal/Downloads/118304)
- Festo Oy.[Verkkosivusto].[Viitattu 13.6.2011]. Saatavana: [http://www.festo.com/cms/fi\\_fi/index.htm](http://www.festo.com/cms/fi_fi/index.htm)
- Festo Energy Monitoring GFDM. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. Festo AG & Co.[Viitattu 10.6.2011]. Saatavana: [http://www.festo.com/net/fi\\_fi/SupportPortal/Downloads/9546/9357/PSI\\_811\\_1\\_en.pdf](http://www.festo.com/net/fi_fi/SupportPortal/Downloads/9546/9357/PSI_811_1_en.pdf)
- Fonselius, J. Hautanen, J. Mutikainen, T. Pekkola, K. Salmijärvi, O & Simpura, A. 1997. Koneautomaatio: Pneumatiikka. 8. uud. p. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Heikkilä, I. Huumo, M. Siitonen, S. Seitsalo, P & Hyytiä, H. 2008. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT): Teollisuuden energiatehokkuus. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. [Viitattu 10.6.2011]. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=96740&lan=fi>
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta 18.10.1999/953. 1999. [Verkkosivusto]. Tukes. [Viitattu 23.6.2011]. Saatavana: <http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19990953>
- Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. Helsinki: WSOY.
- Paineilmajärjestelmien suunnittelu. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. Tamrotor kompressorit Oy. [Viitattu 13.6.2011]. Saatavana: [http://www.compressor.fi/www/media/EsitePDF/Paineilmajärjestelmien\\_suunnittelu.pdf](http://www.compressor.fi/www/media/EsitePDF/Paineilmajärjestelmien_suunnittelu.pdf)
- PATE-analyysi - Paineilman energia-analyysimalli. 25.1.2006. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 10.6.2011]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/files/313/Paineilman\\_energia-analyysi\\_raportti\\_paivitys\\_060125\\_uusi.pdf](http://www.motiva.fi/files/313/Paineilman_energia-analyysi_raportti_paivitys_060125_uusi.pdf)
- Penttinen, P. 2009. Teollisuuden paineilmaenergia-analyyseissa havaittujen säästötoimenpiteiden toteutusaste ja saavutettu säästö. Teknillinen korkeakoulu. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Energiatekniikan laitos. Diplomityö.

Pesmel Oy.[Verkkosivu].[Viitattu 13.6.2011].Saatavana:  
<http://www.pesmel.com/english/company/>

Radgen, P. Ei päivystä. Compressed air systems audits and benchmarking. Result from the German compressed air campaign "Druckluft effizient". [Verkojulkaisu]. Fraunhofer ISI. [Viitattu 10.6.2011]. Saatavana:  
<http://vg00.met.vgwort.de/na/4744ea39f3c0d89df251?l=http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn:nbn:de:0011-n-211613.pdf>

Radgen, P & Blaustein, E. 2001. Compressed air systems in the European Union. [Verkojulkaisu]. Fraunhofer ISI. [Viitattu 10.6.2011]. Saatavana:  
<http://isi.fraunhofer.de/isi-de/e/download/publikationen/c-air/web-version.pdf>

# LIITTEET

## LIITE 1 Putkiston mitoitusnomogrammi

