

HERALAMMEN YRITYSTALON
PAINEILMAJÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI

Otto Pesonen

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikka
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikka

Tekijä	Otto Pesonen	Vuosi	2016
Ohjaaja	Petri Kuisma		
Toimeksiantaja	Kemijärven kaupunki, tekninen osasto		
Työn nimi	Heralammen yritystalonn paineilmajärjestelmän optimointi		
Sivu- ja liitemäärä	52 + 4		

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia ja analysoida paineilmajärjestelmän toimintaa ja energiatehokkuutta Kemijärven kaupungin omistamassa Heralammen yritystalossa. Tavoitteena oli löytää ratkaisuja, joilla paineilmatuotannon tuomia kustannuksia saisi pienennettyä ja järjestelmän toimintaa muutettua energiatehokkaammaksi.

Opinnäytetyössä käsitellään paineilmajärjestelmän eri vaiheita ja toimintaa yleisesti, kunnes siinä esitetään itse kohde ja sen järjestelmän osat. Työssä tarkasteltiin verkoston vuotoja, mahdollisuuksia alentaa verkoston painetta, verkoston eri osien sulkemista ja lämmön talteenoton eri vaihtoehtoja. Työssä käydään läpi erivaihtoehtojen tuomia säästöjä ja analysoidaan niiden mahdollista toteuttamista.

Työn apuna käytettiin Motiva Oy:n luomaa PATE (paineilma tehokkaaksi) -analyysimallia, eri kompressorivalmistajien antamia tietoja ja kiinteistövästävään kokemuksesta tietämystä.

Työn toteuttamisen ongelmia olivat puutteelliset dokumentaatiot eri paineilmaa käyttävistä laitteista ja paineilma-verkoston pieni koko verrattuna PATE-mallissa käytyihin kohteisiin.

Paineilmajärjestelmän säännöllinen vuotokartoitus, lämmön talteenotto ja magneettiventtiilien asentaminen verkoston sulkemista varten ovat mahdollisia investointikohteita kohteeseen säästöjen aikaansaamiseksi. Painetasojen laske- mista voi myös portaittain kokeilla, mutta laitteiden tarvitsemien painetasojen ja painemittareiden puuttumisen johdosta se voi aiheuttaa ongelmia toimilaitteissa ja olla näin ollen mahdoton toteuttaa.

Avainsanat

paineilma, energiatehokkuus, lämmön talteenotto

Technology, Communication and
Transport
Degree Programme in Civil Engi-
neering
Bachelor of Engineering

Author	Otto Pesonen	Year	2016
Supervisor(s)	Petri Kuisma		
Commissioned by	Technical department of Kemijärvi		
Subject of thesis	Optimizing a Compressed Air System in the Business House of Heralampi		
Number of pages	52 + 4		

The aim of this thesis was to analyse the compressed air system and to investigate the possible ways to lower the costs of the process and to find a way to make the system more energy efficiency.

The theoretical part discussed the compressed air systems, and then focused on the compressed air system of the business house of Heralampi at Kemijärvi, where Porkka Finland Oy uses compressed air in their manufacturing process. The reduction of the pressure level, the checking and reparation of possible leaks, and switching of the system as well as the methods of heat recovery were discussed. The research material consisted of the pressured air analysing models by Motiva Oy, theoretical information about the compressed air systems from a different compressor manufacturers and the interviews with the employees of Porkka Finland Oy and the caretaker of the business house of Heralampi.

As results, a good way to lower the costs is to check and repair leaks, switch of the unused parts of the system and to install an energy recovery system for the compressor. Usually the best way to lower costs is lowering the pressure levels, but as lack of information and details about the production machines, it could cause some problems in this situation.

Key words

pneumatics, energy efficiency, heat recovery

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	PAINEILMA YLEISESTI	9
2.1	Paineilman historia	9
2.2	Ideaalikaasu ja kaasulait.....	10
3	PAINEILMAJÄRJESTELMÄT	13
3.1	Paineilma teollisuudessa	13
3.2	Kompressorit.....	14
3.3	Jälkikäsittelylaitteet.....	15
3.3.1	Jälkikäsittelyn tarkoitus	15
3.3.2	Paineilman kuivaus	16
3.3.3	Öljyn ja epäpuhtauksien poisto paineilmasta	17
3.3.4	Lämmön talteenotto.....	19
3.4	Putkistot.....	21
3.5	Käyttökohteet.....	22
3.6	Paineilmaverkoston vuodot	23
4	PATE-ANALYYSI YLEISESTI	26
5	KOHTEEN TIEDOT	27
5.1	Heralammen yritystalo	27
5.2	Paineilman tuotanto, jakelu ja käyttö	28
5.3	Paineilman energiankulutus	30
5.4	Paineilman huolto ja kunnossapito	31
6	ENERGIA TEHOKKUUDEN ANALYSOINTI JA MITTAUKSET.....	33
6.1	Paineilman käyttöympäristö	33
6.2	Paineilman tuotanto.....	33
6.2.1	Tuotantoyksikkö ja painetaso	33
6.2.2	Painetasot.....	34
6.2.3	Ohjaus, säätö ja ajotavat	34
6.2.4	Kompressorin jäähdytys ja lämmön talteenotto	35
6.2.5	Imuilma ja kompressorihuone.....	35
6.3	Paineilman jakelu.....	37
6.3.1	Putkistot.....	37
6.3.2	Verkoston vuotokartoitus	38

6.4	Käyttökohteet.....	39
7	TOIMENPIDE-EHDOTUKSET JA NIIDEN VAIKUTUKSET	40
7.1	Laskentaperusteet	40
7.2	Toimenpide-ehdotukset	40
7.2.1	Vuotokartoitus ja korjaus	40
7.2.2	Paineen alentaminen verkostossa	41
7.2.3	Magneettiventtiilit ilta- ja viikonloppukäyttöä varten	42
7.2.4	Lämmön talteenotto kompressorille	43
7.3	Yhteenveto ehdotuksista	45
8	ENERGIATEHOKKUUDEN SEURANTA JA YLLÄPITO.....	47
8.1	Tehostamissuunnitelma	47
8.2	Seuranta ja ohjeistus.....	47
9	POHDINTA	48
	LÄHTEET	50

ALKUSANAT

Kiitän opinnäytetyön aiheesta ja hyvästä ohjauksesta isännöitsijä Markku Taavo, Kemijärven teknisen puolen johtajaa Markku Kankaanrantaa ja Heralammen yritystalon kiinteistövastaava Risto Halvaria.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheen sain keväällä 2016 Kemijärven kaupungin tekniseltä osastolta. Heillä oli tarjolla useampia aiheita, joista parhaiten talo- ja energia-tekniikan opintoja tukevaksi valikoitui Heralammen yritystalon energioptimointi, josta aihetta kuitenkin rajattiin vain sen paineilmajärjestelmää koskevaksi. Opinnäytetyössä käsitellään kiinteistön paineilmaverkoston toimintaa, analysoidaan sitä ja sen muuntamista enemmän nykyistä käyttöä vastaavaksi ja energiatehokkaammaksi järjestelmäksi.

Heralammen yritystalon ensimmäinen osa, noin 2000 m² rakennettiin vuonna 1976, jolloin elektroniikkavalmistaja Salcomp Oyj saapui Kemijärvelle valmistamaan televisioviritimiä. Myöhemmin Salcompin tuotanto vaihtui enemmän ja enemmän virtalähteisiin painottuvaksi, ja rakennusta laajennettiin pikkuhiljaa yhä suuremmaksi. Vuonna 2004 Salcomp jätti lopulta noin 13 000 m² kokoisen yritystalon ja siirsi toimintansa Kiinaan. (Halvari 2016.)

Tällä hetkellä Kemijärven kaupungin omistaman rakennuksen tuotantotiloissa valmistetaan kylmälaitteita Porkka Finland Oy:n toimesta. Kuten Salcompilla aikanaan, myös heidän tuotannossa käytetään paineilmalaitteita sen eri vaiheissa, mutta heidän paineilman vaatimustaso ja kompressorien koot ovat huomattavasti pienempiä kuin aikaisemmin toimineella yrityksellä.

Heralammen yritystalo on mittava kuluerä kaupungille, eikä pelkästään lämmityksen ja ilmanvaihdon osalta, vaan myös paineilma ottaa oman osansa energiakustannuksista. Kiinteistön energiakustannuksia on pyritty pienentämään vuosien varrella erinäisillä remonteilla, mutta edelleen korjattavia asioita on.

Paineilmajärjestelmistä löytyy usein säästöpotentiaalia, koska siihen ei ole aikaisemmin juurikaan kiinnitetty huomiota. Paineilma, joka tuotetaan sähkökäyttöisillä kompressoreilla, onkin kallein teollisuudessa käytetty energiamuoto sen heikon hyötysuhteen myötä.

Heralammen yritystalossa paineilmaa tuotetaan kahdella 15 kW kompressorilla, joista toinen käy lähes yötä päivää. Noin 8 000 m² kokoisen tuotanto-osaston kattavassa paineilmaverkostossa on useita satoja liittimiä eri työpisteille, joten verkoston mahdollisia vuotokohtia on lukematon määrä, näiden lisäksi myös turhia tai korvattavissa olevia käyttökohteita voi löytyä. (Halvari 2016). Opinnäytetyön apuna on käytettyä Motiva Oy:n tuottamaa PATE (paineilma tehokkaaksi) - analyysinmallia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä analyysi Herbalammen paineilmaverkoston nykytilasta ja tutkia sen mahdollisia ongelmakohtia ja niiden tehostamisvaihtoehtoja energiakustannuksien pienentämiseksi. Näiden perusteella laadittavat tehostamissuunnitelma, seurantasuunnitelma ja muut yleiset ohjeet jäävät toimeksiantajan käyttöön ja niiden avulla toimintaa voidaan lähteä muokkaamaan kohti energiatehokkaampaa ja haluttua suuntaa.

2 PAINEILMA YLEISESTI

2.1 Paineilman historia

Paineilma voi terminä olla kaikille tuttu, mutta mitä se todellisuudessa on ja mistä se on saanut alkunsa, ovat mysteerejä monille. Yksinkertaisesti sanottuna paineilma on ylipaineistettua ilmaa, eli ilmaa, jonka ominaisuuksiin on vaikutettua puristamalla sitä pienempää tilaan saaden näin sen ominaisuuksia muutettua.

Ensimmäiset viitteet historiassa paineilman käytöstä menevät tuhansien vuosien taakse, kun ensimmäiset käsikäyttöiset ilmapalkeet kehitettiin sen aikaisten seppien avuksi. Sen aikaisilla laitteilla saavutettiin noin 0,2 baarin ylipaine, ihmisten keuhkot saavat aikaan vain 0,02–0,08, joten näin hiilien lämmittäminen tuli selvästi helpommaksi. Pikkuhiljaa ilmapalkeet muuttuivat jalkakäyttöisiksi ja myöhemmin vesivoimalla toimiviksi ja painetta saatiin nostettua. (Rubanova 2012, 3–9.)

Vuosien saatossa kehitystä ja kokeiluja paineilman saralla tapahtui, mutta vasta 1800-luvulla siitä tuli vakavasti otettava energiamuoto teollisuudessa, kun vesivoimasta luovuttiin höyryvoiman myötä ja ensimmäiset mekaaniset mäntäkompressorit luotiin. Näin paineet saatiin nostettua lähemmäs 6 baaria ja esimerkiksi tunneliprojektit, jotka olivat ennen kestäneet useita kymmeniä vuosia, valmistuivat paineilmalla toimivien ”porien” myötä puolta nopeammin. (Airpower UK 2016.)

1900-luvulla mäntäkompressoreita hiljaisemmat ruuvikompressorit keksittiin ja kompressorien käyttö yleistyi teollisuudessa toden teolla. Myös aksiaalikompressorit kehitettiin lentokoneiden moottoreita varten. (Rubanova 2012, 15–17.) 1960- ja 1970-luvuilla pneumatiikka kehittyi rajusti, kun erilaisia pneumaattisia ohjauksia, logiikkoja ja matalapainetekniikkaa pyrittiin kehittämään, uudenlaisten toimilaitteiden ja venttiilien ohella. (Lahden AMK 2015, 3–4.)

Sähköistetyt ohjaukset ja automatiikka yleistyi kompressoreista 1980-luvulla ja tekniikan kehitys jatkuu. Energianhintojen noustessa, kehitystä suunnattiin energiatehokkaampia järjestelmiä kohti ja kompressorien tehontarpeita pyrittiin pienentämään. Pneumatiikan kehittyminen jatkuu samalla lailla, kuin muunkin tekniikan kehittyminen vielä nykypäivänä. (Lahden AMK 2015, 3–4.)

Paineilmalaitteita ja paineilman laatua on pyritty vuosien saatossa standardoimaan ja kansainvälisten ISO-standardien lisäksi löytyvät myös suomalaiset SFS-standardit, erityisesti SFS-EN 983, joka määrittelee pneumaattisten laitteiden ja komponenttien yleiset vaatimukset. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 185.)

2.2 Ideaalikaasu ja kaasulait

Paineilmalle tehtävä teoreettinen tarkastelu on hankalampaa kuin nesteiden, koska se on kokoonpuristuvaa ainetta. Tätä varten on kehitetty ideaalikaasulaki, joka helpottaa laskukaavaa. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 11.) Ideaalikaasulaki on esitetty kaavassa 1:

$$pV = nRT \quad (1)$$

missä,

p = Paine, Pa (Pascal)

V = Kaasun tilavuus (m^3)

n = kaasun ainemäärä (mol)

T = Lämpötila, K (Kelvin)

R = Kaasuvakio 8,314 (Pa m^3)/(Mol/K)

Se pohjautuu aikaisemmin luotuihin isotermistä tilanmuutosta kuvaavaan Boylen lakiin (kaava 2.), isobaarista muutosta kuvaavaan Charlesin lakiin (kaava 3.) ja Avogadron lakiin (kaava 5.), jonka mukaan yhtä suuret tilavuudet sisältävät yhtä monta molekyyliä kaasusta riippuen, jos paine ja lämpötila pysyvät samana.

Boylen laki:

$$p \times V = vakio \quad (2)$$

Charlesin laki:

$$\frac{V}{T} = \text{vakio} \quad (3)$$

Isokoorinen muutos

$$\frac{p}{T} = \text{vakio} \quad (4)$$

Avogadron laki:

$$n = \frac{V}{V_m} \quad (5)$$

missä,

$$V_m = \text{kaasun moolitilavuus} (= 22,414 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}})$$

Ideaalikaasu on täysin teoreettinen kaasu, jota todellisuudessa ei ole olemassa, mutta sen avulla pystyy todellisia eli reaalikaasujen ominaisuuksia selittämään. Se koostuu yksinkertaisista, keskenään samanlaisista rakennusosista, jotka eivät vuorovaikuta keskenään, muuta kuin törmäilemällä tasaisesti ja suoraviivaisesti. Harvat reaalikaasut noudattava ideaalikaasun mallia hyvin, mutta monet kuitenkin tyydyttävästi paineen ollessa pieni. (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 12.)

Yhdistämällä Boylen, Charlesin ja Gay-Lussacin lait saadaan ideaalikaasulle kaasujen yleinen tilanyhtälö, joka on esitetty kaavassa 6:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (6)$$

Tällä yhtälöllä aiheutuu kuitenkin pieni, mutta huomattavissa oleva virhe laskuissa, koska siinä ei ole otettu huomioon kaasujen kokoonpuristumista eli kompressibiliteettiä. Saadakseen oikean tuloksen pitää ottaa kompressibiliteettitekijä, joka tunnetaan myös taulukkoarvona Z, huomioon. Todellisen tilanyhtälön muoto on esitetty kaavassa 7:

$$\frac{pV}{zT} = \text{vakio} \quad (7)$$

missä,

$$Z = \frac{pV}{nRT}$$

Kompressibiliteettitekijän vaikutuksesta tulee kuitenkin huomattavan suuri vasta, kun paineet ovat korkeita tai lämpötilat ovat alhaisia. Kompressibiliteettitekijän arvo muuttuu kaasusta, lämpötilasta ja paineesta riippuen (Taulukko 1). (Engineering ToolBox 2016.)

Taulukko 1. Ilman Z-arvotaulukko (Engineering ToolBox 2016).

Temperature (K)	Pressure (bar absolute)													
	1	5	10	20	40	60	80	100	150	200	250	300	400	500
75	0.005	0.026	0.052	0.104	0.206	0.308	0.409	0.510	0.758	1.013				
80		0.025	0.050	0.100	0.198	0.296	0.393	0.489	0.726	0.959	1.193	1.414		
90	0.976	0.024	0.045	0.094	0.187	0.278	0.369	0.468	0.678	0.893	1.110	1.311	1.716	2.111
100	0.980	0.887	0.045	0.090	0.178	0.264	0.350	0.434	0.639	0.838	1.040	1.223	1.594	1.954
120	0.988	0.937	0.886	0.673	0.178	0.256	0.337	0.413	0.596	0.772	0.953	1.108	1.509	1.737
140	0.993	0.961	0.921	0.830	0.586	0.331	0.374	0.434	0.591	0.770	0.911	1.039	1.320	1.590
160	0.995	0.975	0.949	0.895	0.780	0.660	0.570	0.549	0.634	0.756	0.884	1.011	1.259	1.497
180	0.997	0.983	0.966	0.931	0.863	0.798	0.743	0.708	0.718	0.799	0.900	1.007	1.223	1.436
200	0.998	0.989	0.977	0.954	0.910	0.870	0.837	0.814	0.806	0.855	0.931	1.019	1.205	1.394
250	0.999	0.996	0.991	0.982	0.967	0.955	0.946	0.941	0.945	0.971	1.015	1.070	1.199	1.339
300	1.000	0.999	0.997	0.995	0.992	0.990	0.990	0.993	1.007	1.033	1.067	1.109	1.207	1.316
350	1.000	1.000	1.000	1.001	1.004	1.008	1.012	1.018	1.038	1.064	1.095	1.130	1.212	1.302
400	1.000	1.001	1.003	1.005	1.010	1.016	1.023	1.031	1.053	1.080	1.109	1.141	1.212	1.289
450	1.000	1.002	1.003	1.006	1.013	1.021	1.029	1.037	1.061	1.091	1.118	1.146	1.209	1.278
500	1.000	1.002	1.003	1.007	1.015	1.023	1.032	1.041	1.065	1.091	1.118	1.146	1.205	1.267
600	1.000	1.002	1.004	1.008	1.016	1.025	1.034	1.043	1.068	1.092	1.117	1.143	1.195	1.248
800	1.000	1.002	1.004	1.008	1.016	1.024	1.032	1.041	1.062	1.084	1.106	1.128	1.172	1.215
1000	1.000	1.002	1.004	1.007	1.014	1.022	1.029	1.037	1.056	1.074	1.095	1.113	1.152	1.189

Kuten yllä olevasta taulukosta näkee, niin normaaleissa teollisuuden käyttämissä painetasoissa ja lämpötiloissa Z-arvon merkitys ei ole kovinkaan suuri, joten ideaalikaasulakeja voi käyttää laskuissa hyväksi ilman suurempia vaikutuksia laskujen tuloksissa verrattuna todellisiin lukemiin.

3 PAINEILMAJÄRJESTELMÄT

3.1 Paineilma teollisuudessa

Kompressorilla tuotettu paineilmailma on tehtaissa ja tuotannossa yleisesti käytetty energiamuoto. Paineilmalaitteiden osuus teollisuuden energiankulutuksesta on noin 10 %, mutta joissain tuotantolaitoksissa paineilman osuus voi olla jopa 40 % niiden sähkönkulutuksesta. (Sanna 2014, 13.)

Paineilmalla ohjataan ja säädetään prosesseja, sitä käytetään erilaisten työvälineiden voimantuottajana, sillä paineilmalla toimivat kojeet kestävät paremmin kovaa rasitusta, kuin sähköiset vastaavat, jotka voivat ylikuumentua suuren käytön alla. Esimerkiksi naulaimet ja erilaiset vääntimet ovat sellaisia välineitä, joissa paineilman käyttö on huomattavasti parempi vaihtoehto, kuin sähkö. Käsityökalut, jotka toimivat paineilmalla ovat usein kevyempiä, kuin sähköiset vastaavat. Paineilmalaitteiden käytössä on kuitenkin kiinnitettävä huomiota niiden käyttökustannuksiin ja hyötysuhteisiin, koska paineilma tuotetaan kuitenkin sähköllä ja vain pieni osa energiasta saadaan hyödynnettyä itse käytössä, kun taas suurin osa siitä muuttuu lämmöksi. Paineilman hyötysuhde on eri lähteiden mukaan 5–30 %. Näin ollen paineilma on teollisuudessa kallein käytetty energiamuoto. (Motiva Oy 2015d.)

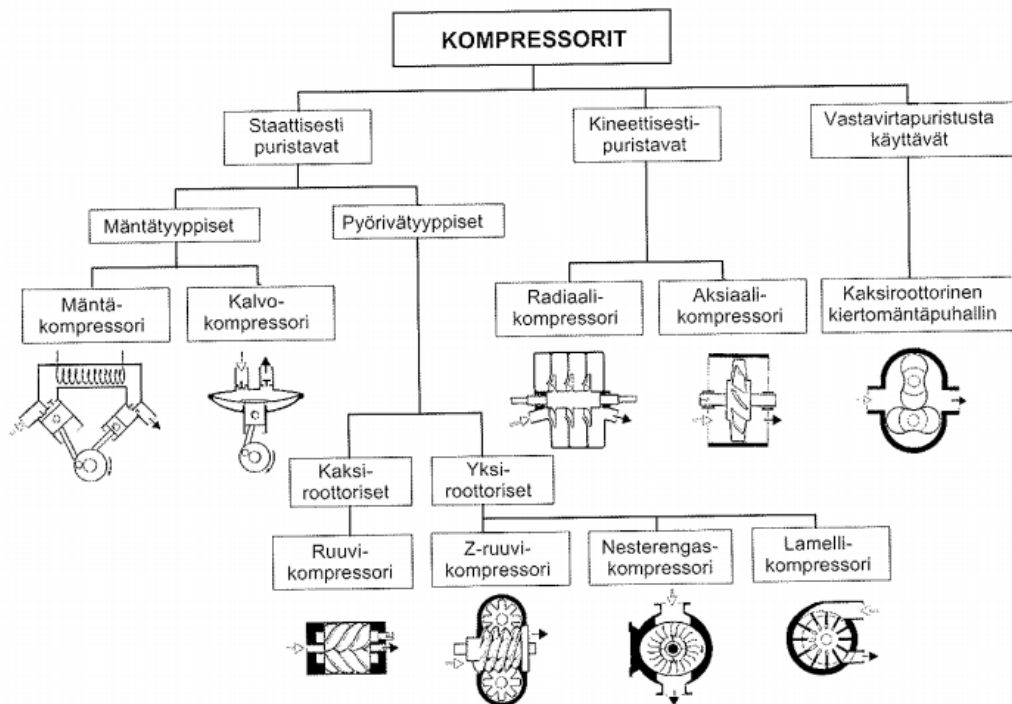
Vaikkakin paineilma on huonon hyötysuhteensa myötä kallista, niin se vakiinnutti paikkansa teollisuudessa, sen helppokäyttöisyyden myötä. Paineistetun kaasun käyttäminen tehonsiirrossa, eli pneumaattinen energia siirtää hyvin voimaa, sitä on helppo varastoida ja se liikkuu jouhevasti putkistoja pitkin, sillä ilman dynaaminen viskositeetti on pieni. Näin ollen virtauksesta syntyvä kitka pysyy pienenä, vaikka virtausnopeudet olisivat suuria ja siirtomatkat pitkiä. Pneumatiikka ei aiheuta räjähdys- tai tulipalovaaraa pölyisissä tai muuten hankalissa olosuhteissa, sitä on helppo säädellä ja se toimii suurella lämpötila alueella. (Hulkkonen 2005, 5.)

Teollisuudessa paineilmajärjestelmä koostuu tyypillisesti kompressorista, jälkikäsittelylaitteista, jakelujärjestelmästä ja käyttökohteista. Eli lyhyesti sanottuna paineilman periaate on seuraavanlainen: Kompressorin imee ilmaa, jota se puristaa 5–20 baarin paineeseen, jonka jälkeen se jälkikäsitellään kuivaimella ja suodattimella, jotta se voidaan johtaa puhdistettuna putkilinjoja pitkin käyttökohteille. (Penttinen 2009, 6.)

3.2 Kompressorit

Paineilmakompressorit ovat laitteita, jotka nostavat ilman paineen vähintään kaksinkertaiseksi omaan imupaineeseen verrattuna. Kompressorin nostaa painetta sen verran, mitä käyttökohteeseen vaaditaan, yleensä teollisuuslaitteissa paineet pysyvät kuitenkin 5–10 baarin sisällä, mutta suurempiin paineisiinkin on mahdollisuus päästä, esimerkiksi hengitysilman puristamiseen tarvittavaan 150–300 baarin painetta käytetään sairaaloissa ja joissain laboratorio kokeissa voidaan tarvita jopa 1000 baarin painetta. Kompressorin puristaessa ilmaa pienempään tilaan, paineen lisäksi myös sen lämpötila nousee. Molemmat näistä ovat energiaa sitovia ilmiöitä. (Penttinen 2009, 7.)

Kompressorin valittaessa tärkeimmät suureet ovat käyttöpaine (bar) ja tilavuusvirta (m^3/s), joiden avulla pystytään valitsemaan optimaalinen koko ja tyyppi kompressorille. Erilaisia kompressorin tyyppiä ovat mäntä- ja pyörivätyyppiset staattisesti puristavat kompressorit ja radiaali- ja aksiaalikompressorit, jotka puristavat ilmaa kineettisesti, niitä nimitetään myös turbokompressoreiksi. Kuvassa 1 näkyvät kompressorien tyypit ja niiden toimintaperiaatteet. (Penttinen 2009, 7.)



Kuva 1. Kompressorien toimintaperiaatteet (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26).

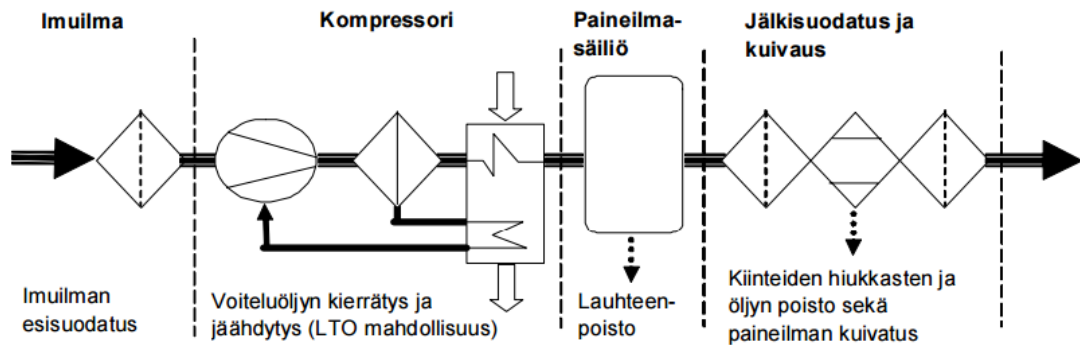
Staatteisesti puristavat kompressorit ovat yleisempiä, kuin kineettisesti puristavat. Teollisuudessa käytetyin kompressorityyppi on pyörivätyyppinen kaksiroottorinen ruvikompressori, jonka toiminta perustuu erikulmanopeuksilla vastakkaisiin suuntiin pyöriviin ensiö- ja toisioroottoreihin. Ilma imeytyy niiden väliin muodostuvaan tyhjiin tilaan ja roottorien erinopeuksien myötä tila sulkeutuu ja pienentyy jatkuvasti puristaen näin ilmaa. (Penttinen 2009, 7.)

3.3 Jälkikäsittelylaitteet

3.3.1 Jälkikäsittelyn tarkoitus

Paineilman jälkikäsittelyn tarkoituksena on saada sen laatu vastaamaan käyttökohteen tarpeita ja standardeissa määrättyjä vaatimuksia. Jälkikäsittely kuluttaa aina lisää energiaa ja se aiheuttaa myös painehäviötä, mutta sen avulla pystytään nostamaan laitteiden toiminta-aikoja ja saada näin säästöä kokonaiskuluissa. Joissakin kohteissa jälkikäsittely on kuitenkin pakollinen laatustandardien myötä. (Lahden AMK 2015, 24.)

Paineilmasta pyritään poistamaan jälkikäsittelyssä siihen vaikuttavia epäpuhtauksia, joita esimerkiksi ovat imuilman mukana tuleva vesihöyry, hiukkaset ja muut teollisuudessa vaikuttavat kaasut, joiden lisäksi myös voidellusta kompressorista mukaan tarttuva öljy. Kuvassa 2 näkyy tyypillinen jälkikäsittelylaitteisto öljyvoidellulle kompressorille. (Lahden AMK 2015. 24.)



Kuva 2. Paineilman jälkikäsittelylaitteisto (Penttinen 2009, 10).

Paineilmasäiliön tehtävänä on varastoida paineilmaa, mutta myös tasata paineilman kulutushuippuja ja usein vielä erotella lauhdetta paineilmasta, jonka muodostumista ei voi estää. Lauhde sisältää kemiallisesti aggressiivisia aineita, öljyä sekä muita epäpuhtauksia (esim. ruostetta). Näiden poistaminen ennen verkostoa on erittäin tärkeää. Paras tapa poistaa lauhdetta on käyttää elektronisesti ohjattavaa, kapasitiivisella pinnankorkeusanturilla varustettuja lauhteenpoistimia painesäiliön yhteydessä. (Kaeser 2016b.)

3.3.2 Paineilman kuivaus

Paineilman tuottamisessa kondensoituu suuri määrä vettä ja se on poistettava verkostosta toimintahäiriöiden välttämiseksi. Ilman jäähtyessä kompressorin puristusprosessin jälkeen, siinä oleva vesihöyry kondensoituu. Mikäli kompressorin käyttämä tilavuusvirta olisi $5 \text{ m}^3/\text{min}$ ja paine olisi 7,5 baaria, niin kondensoitunutta vettä kertyisi työvuoron aikana noin 20 litraa. (Kaeser 2010, 8.)

Kosteuden poistamiseksi paineilmajärjestelmästä on olemassa monia eri vaihtoehtoja. Periaatteena kosteuden poistamisessa on se, että alennetaan ilman

kastepistettä niin paljon, että sen lämpötila pysyy käytön aikana kastepisteen yläpuolella. (Lahden AMK 2015, 26.)

Ennen paineilman varsinaista kuivausta suoritetaan yleensä jälkijäähdytys, jossa paineilman lämpötilaa lasketaan ja siinä oleva vesihöyry muuttuu vedeksi, joka saadaan kompressorin jälkeisellä vedenerottimella pois. Jälkijäähdytys on nykyisin vakiovarusteena kompressoreissa. Tämän jälkeen tarpeen mukaan ilmaa voidaan kuivata, joko jäähdytyskuivauksella, jossa ilmaa jäähdytetään entisestään ja kondensoitua vesi kerätään vedenerottimella pois, tai absorptiokuivauksella, jossa vesi imeytetään suoloihin tai glykoliin. Suoloihin imeytynyt liuos poistetaan verkostosta ja glykolista kosteus saadaan lämmittämällä pois. Mikäli kastepisteen on oltava erityisen alhainen (putket kulkevat ulkona) niin, vaihtoehdoksi jää adsorptiokuivaus. Siinä ilma liikkuu säiliön läpi, jossa käytetään huokoista, vesimolekyylejä sitovaa ainetta esim. silikageeliä tai aktivoitua alumiinioksidia, jotka keräävät kosteuden. Tällä menetelmällä kastepisteen lämpötila saadaan - 40 °C tai vieläkin alemmaksi. (Lahden AMK 2015, 26–30.)

Paineilman kuivauksella saavutetaan paineilmalaitteille pidempi käyttöikä, niiden käyttötehot pysyvät vakiona ja pneumaattisten toimilaitteiden käyttöhäiriöt vähenevät ja mahdollisten vuotojen todennäköisyys pienenee. (Lahden AMK 2015, 31.)

3.3.3 Öljyn ja epäpuhtauksien poisto paineilmaasta

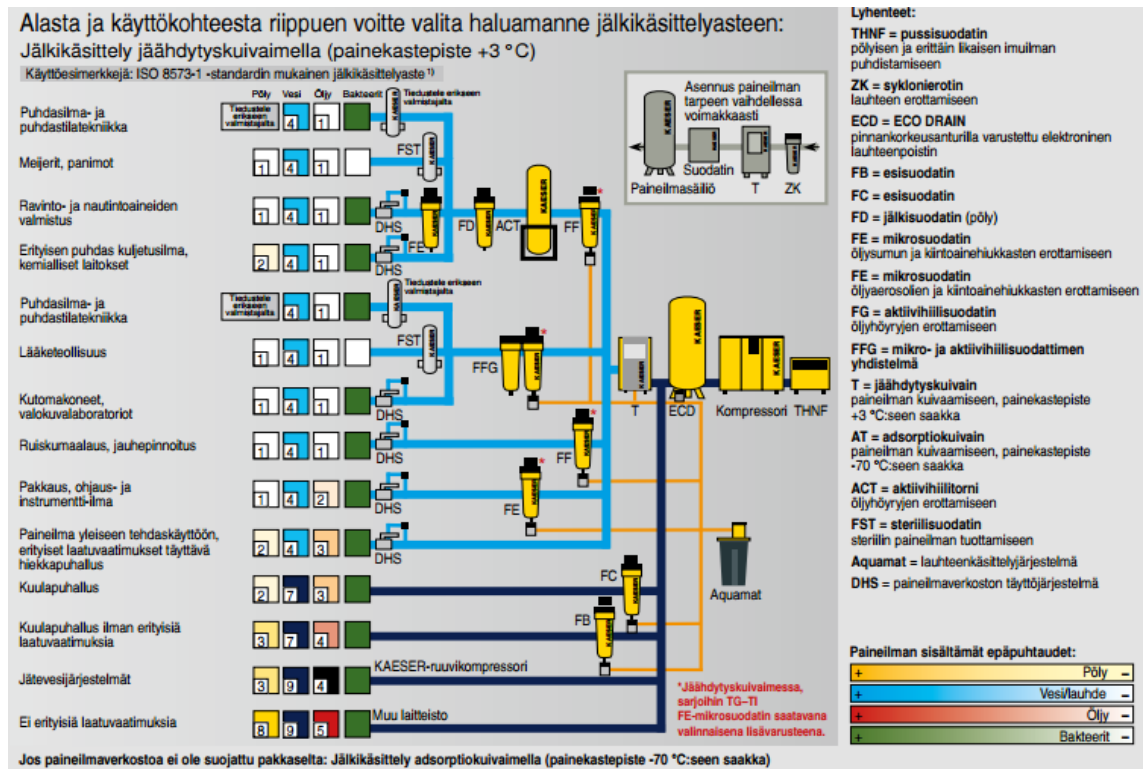
Taulukossa 2 näkyvän ISO-standardin 8573-1 mukaan paineilmaa voidaan kutsua öljyttömäksi, kun sen öljypitoisuus, höyryt mukaan laskien on alle 0,01 mg/m³. Tämä on huomattavasti pienempi lukema kuin meidän hengittämän ilman vastaava lukema. Kompressorin imuilmaan vaikuttaa oleellisesti ympäröivät olosuhteet. Teollisuusalueilla ilman öljypitoisuus voi olla jopa 10 mg/m³ ja sen lisäksi hiilivetyypitoisuus on 4–14 mg/m³, näiden lisäksi ilma sisältää monesti myös muita epäpuhtauksia kuten pölyä, metallia ja nokea. Edellä mainitussa standarditaulukossa paineilma on jaettu eri laatuluokkiin sen hiukkaspitoisuuden, öljypitoisuuden ja kastepisteen mukaan. (Kaeser 2010, 7.)

Taulukko 2. Paineilman laatustandardit (Sarlin Oy 2016a).

ISO 8573:1:2010 Paineilman laatustandardi							
Luokka	Kiinteät hiukkaset				Vesi		Öljy
	Hiukkasten maksimimäärä/m ³			Massa- pitoisuus mg/m ³	Paineen- alainen kastepiste	Neste g/m ³	Kokonaisöljy mg/m ³ *)
	0,1...0,5 µm	0,5...1 µm	1...5 µm				
0	Laitteiden käyttäjän tai toimittajan määrittelemä ja tiukempi kuin luokka 1.						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5 ... 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5 ... 5	-
9	-	-	-	-	-	5 ... 10	-
x	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

*) Öljysumu, öljyneste, öljyhöyry

Öljyvapaissa kompressoreissa, ei ole 3 mikron suodattaminen lisäksi muita jälkikäsitteilylaitteita itsessään mukana. Öljyvapaimissa kompressoreissa, öljy neutralisoi ilmassa olevia aggressiivisiä aineita, mutta sekään ei pysty ilman jälkikäsitteilylaitteistoa tuottamaan edellä mainitun standardin mukaista öljytöntä paineilmaa. Seuraavalla sivulla olevasta kuvasta 3 pystyy näkemään, minkälaisen jälkikäsitteilyjärjestelmän tarvitsisi tietyille esimerkkikohteille ja niiden vaatimille standardeille. (Kaeser 2010, 7.)



Kuva 3. Esimerkki jälkikäsittelyjärjestelmistä (Kaeser 2010, 7).

Kuljettamalla paineilma, nykyaikaisen jälkikäsittelyjärjestelmän läpi siitä saadaan poistettua öljy, jota voi esiintyä pisaroina, sumuna, höyrynä tai kiinteinä partikkeleina. Myös pöly ja muut hiukkaset saadaan jälkikäsittelyä tukevilla suodattimilla poistettua paineilmaasta. Aktiivihilisuodattimella, saadaan paineilmaasta, jopa mahdolliset hajut poistettua. Oikeat jälkikäsittelykomponentit sisältävä järjestelmä pystyy tuottamaan standardin mukaista paineilmaa, jonka öljypitoisuus on vain 0,003 mg/m³. (Lahden AMK 2015, 32; Kaeser 2010, 7.)

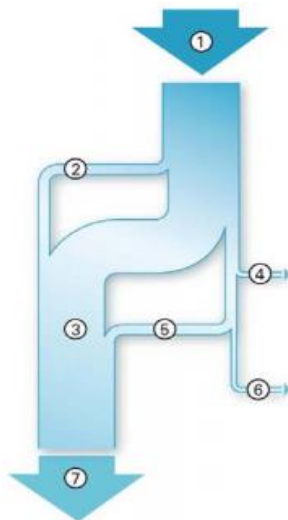
On kuitenkin tärkeää muistaa, ettei laatuvaatimukseen tarvittavaa jälkikäsittelyä parempi jälkikäsittely anna minkäänlaista lisäarvoa, vaan lisäkustannuksia, joten paineilman laadun tulisi olla juuri oikeanlaista vaatimuksista riippuen.

3.3.4 Lämmön talteenotto

Kompressoreihin syötetystä käyttöenergiasta 100 % siirtyy lämmöksi. Energia- tehokkuuden kannalta, on erittäin järkevää ottaa kompressorin tuottamaa lämpöä talteen. Helpointa se on ottaa niiden tuottamasta jäähdytysilmasta talteen,

ja johtaa se sellaisenaan esimerkiksi varasto- ja verastiloihin, tai muihin vie-reisiin tiloihin. Lämmintä poistoilmaa voidaan hyödyntää tuotantotilojen ensi- tai toissijaisena lämmönlähteenä, kuin myös esimerkiksi kuivatusprosesseissa, tuulikaapeissa ja sisäänkäyntien lämmityksessä. Investointi maksaa itsensä nopeasti takaisin tällaisissa tilanteissa. (Kaeser 2016a.)

Talteen otettu lämpö voidaan myös johtaa vesilämmitys- ja käyttövesijärjestelmään levylämmönsiirtimen avulla, joka on kytkettynä kompressorin jäähdytysöljy- tai jäähdytysvesikiertoon. Näin saadaan hyödynnettyä 70–80 % kompresso-rin ottamasta energiasta. (Kaeser 2016b.)



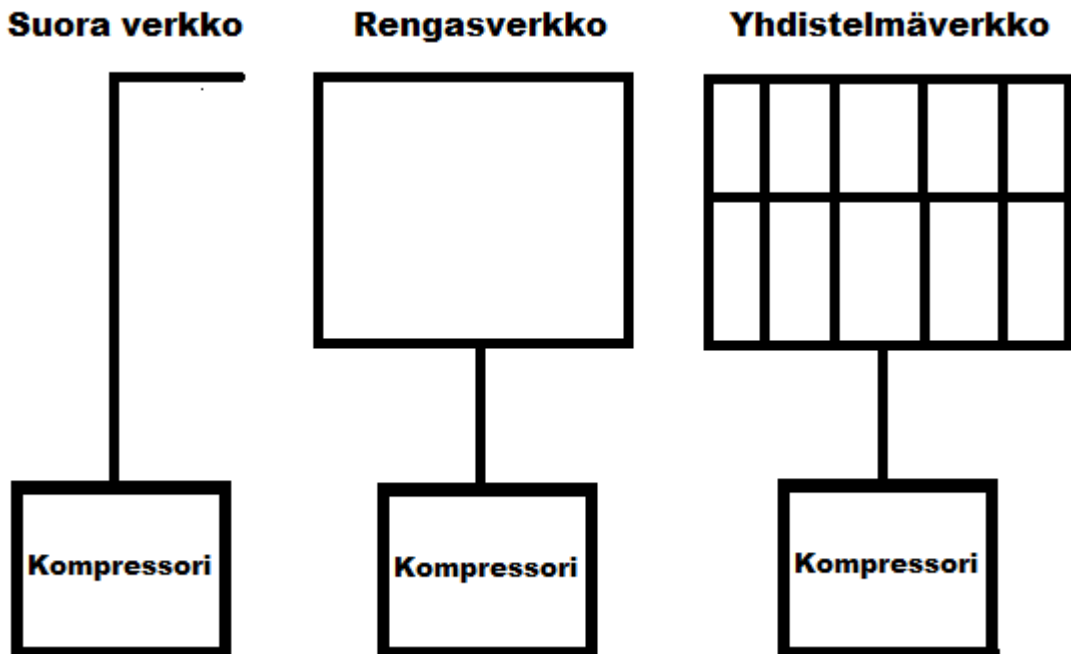
1. Total energy transmitted by the engine
2. Heat from the engine 9%
3. Heat from the oil cooler 72%
4. Heat dissipated in the ambient air 2%
5. Heat from the after cooler 13%
6. Heat remaining in the compressed air 4%
7. Recoverable energy 94%

Kuva 4. Jopa 94 % lämmöstä voidaan ottaa talteen (Atlas Copco 2013).

Kuten kuvasta 4 käy ilmi, niin täysin koteloiduissa, ilmajäähdytteisissä, öljy-voidelluissa ruuvikompressoreissa tarkoin kohdennetun jäähdytyksen avulla voidaan saada jopa 94 % käytetystä energiasta takaisin lämpönä, jolloin vain 6 % menee lämpöhäviönä pois tai kulkeutuu paineilman mukana verkostoon. (Atlas Copco 2013.)

3.4 Putkistot

Kompressorilta johdettava ilma jatkaa jälkikäsitellyn jälkeensä matkaa putkiverkoston, joka johdattaa sen päätelaitteille. Verkoston rakenne on suunniteltu kulutuskohteiden, putkiston eliniän, hankintakustannuksien, siirtoetäisyyksien ja niistä aiheutuvien häviöiden mukaan. Paineilmaverkostot voidaan jakaa kolmeen perustyyppiin. Kuvassa 5 on havainnollistettu suora verkko, rengasverkko ja niiden yhdistelmä. (Lahden AMK 2015, 34.)



Kuva 5. Havainnollistava kuva eri verkostotyypeistä

Suora verkko on yksinkertaisempi, halvempi ja se soveltuu pieneen laitokseen toisin kuin rengasverkko, jonka käyttöä suositellaan vähänkin kookkaammissa laitoksissa. Siinä ilma kulkee kahta eri reittiä pitkin ja näin ollen putkikoko voi olla pienempi ja paine pysyy tasaisempina verkostossa. (Lahden AMK 2015, 34.)

Paineilmaverkostot pyritään rakentamaan niin, että painehäviöt jäävät mahdollisimman pieniksi. Verkoston suurin sallittu painehäviö määrittää verkoston tyy-

pin, putkikoon, käytettävien venttiileiden tyypit ja niiden lukumäärät. Yleensä verkoston aiheuttama painehäviö jää alle 0,2 baarin. (Penttinen 2009, 10.)

Oikean putkimateriaalin valitsemiseen vaikuttaa moni tekijä. Määrävinä tekijöinä voi pitää korroosion kestävyyttä, hankintakustannuksia, osien saatavuutta ja niiden hintaa, sekä niiden paineen, että lämmön kestävyyskykyä. Kohteesta ja vaatimuksista riippuen tyypillisiä putkityyppejä ovat, saumaton (hitsattava) teräsputki, galvanoitu putki, ruostumaton putki, kupariputki ja erilaiset muoviputket. (Lahden AMK 2015, 37–38.)

3.5 Käyttökohteet

Pneumatiikkaa voidaan käyttää teollisuudessa sylinteriliikkeen, pyörivän liikkeen tai suoran paineilmapuhalluksen aikaansaamiseksi, joten sitä pystytään käyttämään teollisuudessa moniin eri laitteisiin, niin pieniin kuin suuriin koneisiin. Eri laitteilla on eri laatuvaatimukset, jotka vaikuttavat kompressorin ja jälkikäsittelylaitteiden valintoihin. Paineilmaa käytetään teollisuudessa esimerkiksi seuraaviin toimenpiteisiin:

- Sylinteripneumatiikkaan

- kappaleiden nostot, liikutukset, kiinnitykset ja puristukset
- naula- ja niittipyssyjen käyttö
- automatiikan ohjaamisissa sylintereissä ja venttiileissä
- muut suoraviivaisten liikkeiden suorittamiset

- Pyörivän liikkeen aikaansaamiseksi

- poraukset
- hionnat
- ruuvaukset

- Suoran puhalluksen käyttöön

- renkaiden, happilaitteiden yms. täyttö
- hiekkapuhallukset

- ruiskumaalaukset
- puhdistamiset

3.6 Paineilmaverkoston vuodot

Vuodot ovat yleisiä paineilmajärjestelmissä, niitä voi esiintyä monissa järjestelmän eri kohdissa. Suorat putkilinjat harvemmin vuotavat, mutta yleisiä vuodon sijainteja ovat: Liittimet, venttiilit, kytkimet, tiivistevauriot ja kumiset paineilmaletkut, joiden kestävyys heikkenee ajan myötä ja ne vaurioituvat helposti terävistä esineistä ja pinnoista.

Taulukko 3. Esimerkki vuotojen kokoluokkien aiheuttamista kustannuksista (Motiva Oy 2015b, 12.)

Käyttöpaine 6 bar, ympäristön paine 1 bar, kompressorin ominaisteho 7 kW/m³/min, käyttötunnit 8000 h/a, sähkön hinta 50 €/MWh, pyöristetty sisäänvirtausreuna.

Relän läpimitta (mm)	Relän poikkipinta-ala (mm ²)	Ilmamäärä (m ³ /min)	Kustannus (€/a)
1	0,79	0,064	179
1,5	1,77	0,145	406
2	3,14	0,257	720
3	7,07	0,578	1618
4	12,57	1,028	2878
5	19,64	1,606	4497
6	28,27	2,313	6476
8	50,27	4,112	11514
10	78,54	6,425	17990
12	113,10	9,252	25906

Verkoston vuodot aiheuttavat nopeasti suuria kulueriä (Taulukko 3.), joten vuotojen tarkkailuun ja niiden korjaamiseen olisi kiinnitettävä huomiota. Keskimäärin teollisuuden ja tuotannon paineilma kuluista 5–30 % johtuu vuodoista, joten tämä voi pahimmillaan aiheuttaa turhan lisäkapasiteetin hankkimista paineilman tuotantoon. Suurissa teollisuuslaitoksissa yksi kompressoreista saattaa vain tuottaa vuotojen viemää kapasiteettiä. (Sarlin Oy 2016b.)

Vuotojen tarkkaan kartoitukseen on kaksi eri tapaa: saippuaveden tai ultraääni-ilmaisimen käyttö. Ensin mainittu tapa on perinteisempi tapa löytää vuotoja. Siinä saippuavettä sivellään verkoston liitoskohtiin, ja mikäli vuotoa on, niin kyseisestä kohdasta alkaa ilmestyä saippuakuplia. Tämä tapa on yksinkertainen eikä vaadi investointeja, mutta suurissa tuotantolaitoksissa se voi olla erittäin työlästä, sotkuista tai jopa mahdotonta, jos putket kulkevat katon rajassa tai muuten vaikea pääsyisissä paikoissa.

Toinen vaihtoehto, joka perustuu ultraäänen käyttöön, on helpompi tehdä, mutta se vaatii investoinnin ultraääni-ilmaisimeen, jonka käyttö on kuitenkin paljon käytännöllisempää kuin saippuaveden. Pitkällä teleskooppivarrella varustettua ilmaisinta voi helposti käyttää, kun putkistot kulkevat korkealla. (Toroi 2013.)

Ultraääni-ilmaisimen toiminta perustuu vuotokohdasta lähtevän virtauskohinan ääneen, joka on korkeataajuisista (20–100 kHz) ja se on helppoa havaita ja paikantaa ilmaisimella. Ihminen ei välttämättä kuule aina vuotojen ääniä, varsinkin meluisissa tiloissa, mutta ultraääni-ilmaisimella muuntaa sen ihmiskorvalle kuultavaksi ja kertoo jopa vuodon suuruusluokan sen perusteella. (Toroi 2013.)

Myös jos verkostoon on asennettu virtaus- ja painemittareita, niin vuotoja voi havaita niiden eroja lukemalla. Mikäli paine-ero tai virtaukset muuttuvat odottamattomasti, niin olettavasti, jossain kohtaa niiden välillä on vuoto. Mittareiden säännöllisellä seuraamisella voi vuotojen havainnoinnin lisäksi ehkäistä esimerkiksi sylinterien hajoamisen. (Peltonen 2016.)

Verkoston vuotomäärän voi todentaa esimerkiksi paineen laskua seuraamalla, silloin kun paineilmaa käyttäviä laitteita ei ole päällä. Verkostoon nostetaan paine normaalille ylärajalle ja sen jälkeen seurataan aikaa, kuinka kauan kestää, kun paine tippuu yhden baarin verran. Tämän lisäksi kun tietää verkoston ja mahdollisten paineilmasäiliöiden tilavuudet, niin voi laskea vuodon laajuuden. (Lahden AMK 2015, 39.)

Esimerkiksi jos putkiston ja säiliön tilavuus on yhteensä 2000 litraa ja paineen putoamiselle yhden baarin verran kestää kaksi minuuttia eli 120 sekuntia, niin vuotomäärä saadaan näin:

$$\frac{2000 \text{ l}}{120 \text{ s}} = 16,6 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 1000 \text{ l/min}$$

Yhden paineilmauutuksen tuottaminen 7 baarin paineeseen kuluttaa sähköä noin 0,1 kWh ja jos sähkön hinta olisi 8,7 snt/kWh, niin kuutiokohtainen hinta olisi karkeasti 0,87 snt/m³. (Motiva Oy 2004, 5.)

Edellä ollutta esimerkkiä jatkaen, vuosikohtaiseksi vuodetun paineilman hinnaksi tulisi 4572 euroa. Olettaen paineen olevan verkossa jatkuvasti (60 min x 24 h x 365 d).

Vuotomäärän voi myös laskea, jos tiedossa ei ole verkoston tilavuutta. Tämä vaihtoehto toteutetaan myös silloin, kun paineilmajärjestelmässä ei ole laitteita toiminnassa. Siinä kelloitetaan kompressorin kuormitettua käyntiaikaa tietyn mitausajanjakson verran ja käytetään kompressorin tilavuusvirtaa (m³/min) hyväksi. Tämä laskentatapa on esitetty kaavassa 8. (Kaeser 2010, 22.)

$$V_v = \frac{Q_v \times \sum t_x}{T} \quad (8)$$

missä,

V_v = Vuotoihin menevä ilmamäärä (m³/min)

Q_v = Kompressorin tilavuusvirta (m³/min)

$\sum t_x$ = $t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$, aika jonka kompressori kävi kuormituksella (min)

T = Kokonaiskäyntiaika (min)

4 PATE-ANALYYSI YLEISESTI

Kun olemassa olevan paineilmajärjestelmän energiatehokkuus halutaan todentaa, on sille tehtävä energia-analyysi, jossa selvitetään sen käyttämän energian jakautuminen ja tehostamispotentiaali. Analyysissä selvitetään käyttökohteen vaatima käyttötarve ja sen tämän hetkiset ongelmakohdat, esimerkiksi vuodot ja turhat kulutuskohteet. Tuloksien saamiseksi on tehtävä useita mittauksia, joilla saadaan kompressorin energiakulutus, paineilmatuotanto, paineet verkon eri kohdissa, kompressorin imuilman lämpötila ja paineilman kastepiste selville. (Motiva Oy 2015b.)

Valtion omistama energia-asioiden asiantuntijayritys Motiva Oy aloitti vuonna 2003 PATE-paineilma tehokkaaksi hankkeen. Hankkeeseen mukaan valikoituu energiavaltainen prosessiteollisuus ja muu teollisuus. Näistä yritysryhmistä hankkeen ensimmäiseen vaiheeseen valikoitui 12 yritystä, joiden tehtäisiin lähdettiin soveltamaan paineilma-analyyseja. Nämä yritykset saavuttivat yhteensä lähes kymmenen gigawattitunnin vuotuisen säästön sähkön kulutuksessa. Hanke toi esille sen, kuinka välinpitämättömästi paineilmaverkostoihin on suhtauduttu. Usein verkostojen paineet olivat varmuuden vuoksi korkeita, vuodoista ei välitetty ja paineilmaa käytettiin holtittomasti. (Motiva Oy 2015e.)

PATE-hankkeesta saatujen tuloksien perusteella Motiva on tuottanut yhdessä laitetoimittajien ja teollisuusyrityksien kanssa PATE-analyysimallin, jolla paineilman energiakustannuksia tarkastellaan käyttökohtaisesti, niin määrän kuin laadun tarpeen mukaan. Analyysissä tarkistetaan paineilmajärjestelmän energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät ja niiden perusteella havaituille säästö- ja tehostamismahdollisuuksille lasketaan investointikustannukset, niiden tuomat vuosisäästöt. Suurimmat energiasäästöhyödyt on yleisesti saavutettu optimoimalla verkoston paine käyttökohdetta vastaavaksi, muita säästökohteita ovat verkoston vuotojen korjaaminen ja korkeapainepuhalluksiin sekä jäähdytyksiin tehdyt muutokset. (Motiva Oy 2015d.)

5 KOHTEEN TIEDOT

5.1 Heralammen yrittystalo

Heralammen yrittystalo (Kuva 6.) on rakennettu useassa osassa. Ensimmäinen osa on vuodelta 1976 (~2000 m²), kun elektroniikkayritys Salcomp Oyj rantautui Kemijärvelle. Kiinteistön laajennusosat ovat vuosilta 1986 (~2000 m²), 1990 (~500 m²) ja 1998 (~8000 m²). Rakennukseen on tehty laaja remontti vuonna 1997, jossa muun muassa kaikki ilmanvaihtokoneet ja rakennusautomaatiojärjestelmä uusittiin. Tämän lisäksi kiinteistöön kuuluu melko vähäisellä käytöllä oleva sähkölämmitteinen saunarakennus, Kelo(~200 m²), jossa on myös ilmalämpöpumppu. (Halvari 2016.)



Kuva 6. Heralammen yrittystalo (Heralammen yrittystalo)

Kiinteistön pinta-ala on näin ollen 12 900 m², joista toimistokäytössä n. 2000 m², yleisinä tiloina n. 3000 m² ja tuotantotiloina n. 8000 m². Kiinteistön tilavuus on 70 620 m³.

Kiinteistön vuokralaisina on tällä hetkellä kylmälaitevalmistaja Porkka Finland Oy, henkilöstöravintola Ravintola Rentukka, Juhlapalvelu Julianna, Ahma insinöörit Oy, Toimistopalvelut Isojärvi, Kelan yhteyskeskus, StorageIT, Salcomp Oy (varastotila) ja kiinteistönhuollosta ja toimitilapalveluista vastaava Sevois R. Halvari. Kiinteistössä on noin 200 henkilöä töissä ja työt ovat päivä- sekä kaksi-vuorotyötä. (Heralammen yrittäjä).

Kiinteistön tilat ovat osittain kahdessa kerroksessa ja neljä ilmanvaihtokonehuonetta sijaitsee rakennuksen katolla. Kiinteistön lämmitys ja jäähdytys hoidetaan pääosin ilmanvaihdon kautta, mutta sinne tulee myös kaukolämpö. Kiinteistössä on käytössä yhtenäinen rakennusautomaatiojärjestelmä, jolla ohjataan kiinteistötekniisiä järjestelmiä.

Rakennuksen tuotantotiloissa kulkee laaja paineilmaverkosto, josta tulee satoja päätteitä tarvittaville työkaluille: naula- ja niittipyssyille, ruuvinvääntimille, ynnä muille käsityökaluille. Kylmäkonevalmistuksen tuotannossa on myös käytössä muutamia suurempia paineilmaa hyödyntäviä koneita esimerkiksi valukoneita ja levyntyöstökoneita, jotka käyttävät reilusti paineilmaa toiminnassaan.

5.2 Paineilman tuotanto, jakelu ja käyttö

Pääosin Porkka Finland Oy:n kylmälaitetuotannossa käytettävä paineilma tuotetaan kahdella 15 kW kompressorilla. Paineilma tuotetaan rakennuksen alakerasta, jossa muutkin tekniset tilat sijaitsevat. Käytössä olevat kompressorit ovat Atlas Copcon valmistamat GA 15⁺ FF öljytiivistetyn ruuvikompressorit (Kuva 7.), joihin on integroitu jäähdytyskuivain, vedenerotin ja tarvittavat suodattimet. Kompressorit eivät ole kaikkien energiatehokkaimmat, mitä markkinoilta löytyisi, koska ne eivät sisällä taajuusmuuntajaa, mutta ne soveltuvat kuitenkin erittäin hyvin tuotantoon ominaisuuksiensa perusteella. Ne ovat myös suhteellisen hiljaisia (63–68 dB), jonka myötä ne ovat helposti sijoitettavissa lähelle tuotanto-osastoa tai sosiaalitiloja. (Atlas Copco 2016)

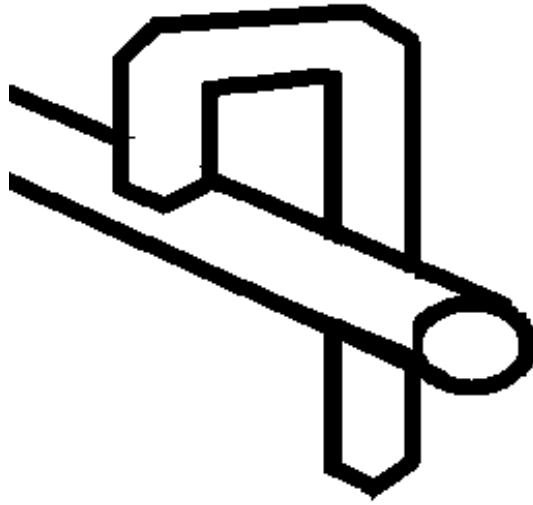


Kuva 7. Atlas Copcon GA 15⁺ FF öljytiivistetty ruuvikompressor

Kompressorien energiatehokkuus ei ole tällä hetkellä kovinkaan hyvä, sillä minäänlaista lämmön talteenottoa niille ei ole käytössä. Kompressorin tuottama lämpö menee suoraan kompressorihuoneesta pihalle.

Heralemmen paineilmaverkosto on niin sanottu yhdistelmäverkosto, jossa paineilmaputket muodostavat silmukan tuotantotilan ympärille. Sen eri osia on kuitenkin yhdistetty pitkittäin ja poikittain kulkevilla putkivedoilla. Näin paineilma kulkee molempiin suuntiin, mikä mahdollistaa pienemmän putkikoon ja sulkuventtiileiden asentamisen, jotka helpottavat verkostoon tehtäviä korjauksia. Seinillä kiertävän runkoputken koko on 80 mm ja verkoston läpi kulkevien haarojen koot ovat 25 mm, alas tulevat jakeluputket käyttökohteille ovat 15 mm putkea. Runkoputket ja sen haarat ovat ruostumatonta teräsputkea.

Jakeluputket on tehty vanhanaikaisella, mutta suhteellisen varmatoimisella ns. ”joutsenkaula”-menetelmällä (Kuva 8.) jossa jakeluputken liitos lähtee putkesta ylöspäin, ennen kuin kääntyy alas. Tällä menetelmällä, estetään veden pääsy käyttökohteille.



Kuva 8. Joutsenkoulu estää veden pääsyn käyttölaitteille

Kylmälaitteiden tuotantotilassa paineilman käyttökohteita ovat normaalien käsitökalujen lisäksi myös pistehitsauslaitteita, valukoneita, joilla tehdään eristettä kylmälaitteiden seinämiin, sekä levyntyöstökoneet ja pakkauslaitteet.

Paineilman laadunvaihtelun vaikutuksia on havaittu valukoneilla. Varsinkin kostealla syyskaudella, jolloin pieniä määriä vettä on päätynyt verkostoon ja käyttölaitteille asti, vedenerottimista ja joutsenkouloista huolimatta. Myös talvikaudella on huomattu valuprosessissa eroja, kun ilma on ollut erityisen kylmää ja kuivaa.

5.3 Paineilman energiankulutus

Tuotanto-osaston sähkönkulutus on eritelty omille mittareille muusta kiinteistöstä ja paineilman tuotannosta oli saatavilla kompressorien kuormitettuihin käyttötunteihin perustuvat laskutustiedot ja kompressoreiden eriteltyt käyttötunnit. Kyseiset kulutustiedot ovat esillä taulukoissa 4. ja 5.

Taulukko 4. Paineilman sähkönkulutus.

2015	MWh	€
Tammikuu	2,775	241,98
Helmikuu	2,010	175,27
Maaliskuu	2,325	202,74
Huhtikuu	2,460	214,51
Toukokuu	2,415	210,59
Kesäkuu	2,475	215,84
Heinäkuu	3,420	298,26
Elokuu	4,830	421,22
Syyskuu	5,205	453,93
Lokakuu	3,495	304,82
Marraskuu	5,565	485,32
Joulukuu	5,535	482,71
Yhteensä	42,51 MWh	3707,19€

Kompressorien erillinen sähkönkulutus on esitetty taulukossa 5, josta on luettavissa se, että toista kompressori ei juurikaan käytetä. Kuormitustuntien mennessä pääsääntöisesti käytössä olevalla kompressorilla huoltorajalle asti, se siirretään tukevaksi ja tukevasta kompressorista tulee pääkompressori, kunnes huolto on suoritettu.

Taulukko 5. Kompressorin kuormitustunnit.

	Käyttötunnit 2015	Kulutusarviot
	h	MWh/a
Kompressori 1	2786 h	41,79 MWh/a
Kompressori 2	48 h	0,72MWh/a
Yhteensä	2834 h	42,51 MWh/a

Toinen kompressori oli käynnissä vain marras- ja joulukuussa, joten tuntimäärä on jäänyt noinkin pieneksi. Tosin jo noista tuntimääristä voi laskea, että keskimääräisesti toinen kompressori on vain tunnin jokaisena työpäivänä päällä tukevassa tuotannon painetarvepiikkejä.

5.4 Paineilman huolto ja kunnossapito

Kompressoreiden huolto suoritetaan noin kerran vuodessa, riippuen käyttötuntien määrästä. Kompressoreiden kuormitetut käyttötunnit kirjataan laskutusta

varten ylös joka kuukaudelta. Kompessorit myös itse kertovat ohjauspaneelistaan, milloin huoltorajaksi asetetut kuormitustunnit ovat tulleet täyteen.

Kompressorihuoneen imuputken suodatin vaihdetaan kerran vuodessa. Sillä jos se pääsee tukkeutumaan, niin imuilman lämpötila voi nousta ja kompressorin hyötysuhde pienenee, tai kompressorit saattavat ottaa ilmaa rakenteiden läpi keräten samalla pölyä sisäänsä.

Viikonloppuisin tuotanto-osastolla suoritetaan valvontakierros, koska erillistä hälytysjärjestelmää ei ole. Samalla tehdään aistinvaraista vuoto tarkkailua, kun tarkistetaan miehittämättömien koneiden toiminta. Virtaustietoihin tai paineroon perustuvaa vuotojen tarkkailua ei suoriteta. (Halvari 2016.)

6 ENERGIA TEHO KUUDEN ANALYSOINTI JA MITTAUKSET

6.1 Paineilman käyttöympäristö

Porkka Finland Oy:n käytössä on noin 8000 m² kokoinen tuotanto-osasto, jonka koko alueen kattaa paineilmaverkosto. Osastolla on muutamia suurempia paineilmalla toimivia koneita ja satoja liittimiä käsityökaluille.

Kylmälaitetuotannossa työskennellään arkipäivisin yleensä yhdessä vuorossa, mutta toisinaan tuotannosta riippuen työ voi olla 2-vuorotyötä. Työajan ulkopuolella on myös paineilmalaitteita toiminnassa. Miehitämätön levyntyöstökone Amada jätetään yleensä työvuoron jälkeen päälle ja se on käytössä myös viikonloppuisin. Tämän vuoksi paineilman pitää olla käytännössä koko ajan päällä. (Halvari 2016.)

6.2 Paineilman tuotanto

6.2.1 Tuotantoyksikkö ja painetaso

Käytössä olevien kahden samanlaisen paineilmakompressorin perustiedot näkyvät seuraavassa:

Atlas Copco GA 15⁺ FF öljytiivistetty ruuvikompressori

- Tuotto 2,47m³/min, maksimipaine 8,3 bar, nimellisteho 15 kW

- Jäähdytyskuivaimen kastepiste 3 °C

- Kaksipisteohjaus viivästetyllä toisella pysäytyksellä

Kompressoreihin itsessään on integroitu jo jäähdytyskuivaus, joka tipauttaa kastepisteen 3 °C, tarvittavat suodattimet ja näiden lisäksi järjestelmässä on erillinen vedenerotin ja suuremman valukoneen luona on 350 litran paineilmasäiliö, jolla pyritään tasaamaan valukoneen loppupuhallusta. Muita jälkikäsitteily laitteistoja ei ole, mutta mikäli valukoneella havaitaan vielä useammin veden pääsyä, niin erillisen veden erottimen lisäys voisi olla harkittava vaihtoehto.

6.2.2 Painetasot

Kompressoreilla on kaksipisteohjaus, joka siirtää ne kevennykselle, kun asetettu painetaso yläraja saavutetaan. Kolmenkymmenen sekunnin kuluttua kevennykselle siirtymisestä, jos kompressori ei ole käynnistynyt uudelleen vähäisen painetarpeen takia, niin sen moottori sammuu. Kompressori käynnistyy uudelleen, kun paineen alataso tulee vastaan. Painetasoiksi oli asetettu 7,3–8,3 baaria. Toisen kompressorin, jonka tehtävä on tukea kulutushuippuja, painetasot ovat 7,1–8,2 baaria.

Painetaso voi olla tarpeeseen nähden hieman korkea ja sitä pystytään ehkä alentamaan. Olisi hyödyllistä kokeilla paineen alentamista pienin liikkein, joilla varmistuttaisiin, ettei ongelmia pääse ilmenemään. Kuitenkin, koska laitteiden tarkoista painetasoista ei ole tietoa, paineen aleneminen voi joissain käytössä olevissa laitteissa vaikuttaa niiden toimintaa.

Painetaso laskeminen on monesti paineilmajärjestelmän helpoin säästökohde, yhden baarin paineen lasku pienentää sähkönkulutusta noin 6–8 % ilman mitään investointeja. (Motiva Oy 2015a).

6.2.3 Ohjaus, säätö ja ajotavat

Normaalisti kuormituksessa on vain toinen kompressori, joka käy lähes yötä päivää ja toisen tehtäväksi jää tukea tuotannon piikkejä. Näiden käyntiä ohjataan paikallisesti kompressorien ohjauspaneelista perinteisellä kaksipisteohjauksella. Kompressoreissa ei ole hälytystoimintoja kiinteistön valvomoon, eivätkä ne ole muutenkaan rakennusautomaatiojärjestelmässä mukana, joten etenkin sähkökatkot ovat ongelma, jolloin kompressorit pitää käydä manuaalisesti käynnistämässä uudelleen. (Halvari 2016.)

6.2.4 Kompressorin jäähdytys ja lämmön talteenotto

Kompressorit ovat ilmajäähdytteisiä ja ne ottavat jäähdytysilman ulkoa. Lämmön talteenottoa ei ole järjestetty kompressorihuoneessa, vaan niiden tuottama lämpöenergia puhalletaan suoraan ulos. Tästä johtuen noin 94 % tuotetusta energiasta menee hukkaan. Kompressorin kuormitettuihin käyttötunteihin suhteutettuna tämä tarkoittaisi sitä, että käytetystä 42,5 MWh:sta hukkaan menee 40,1 MWh.

6.2.5 Imuilma ja kompressorihuone

Heralammen yritystalon kompressorihuone sijaitsee rakennuksen alakerrassa tuotantotilojen alapuolella, lähellä ulkoseinää. Kompressoreiden imuilmat tulevat suoraa ulkoa ja ilmavirrat on ohjattu huoneen kattoa kohti. Imuilman tulisi olla mahdollisimman kylmää tuoton parantamiseksi (Taulukko 6.), koska kylmä ilma on tiheämpää ja se kasvattaa massavirtaa mennessään kompressorille, sillä kompressorin imuilman tilavuus jaettuna ajalla pysyy vakiona. Näin ollen verkostoon saadaan luotua kovempi paine, vaikka sähkön kulutus pysyy samana, koska paineilma pyrkii puristuksen aiheuttaman lämpenemisen jälkeen kasvattamaan tilavuuttaan. (Motiva Oy 2004, 9.)

Taulukko 6. Imuilman vaikutus tuottoon (Motiva Oy 2004, 9.)

Imuilman lämpötila, °C	Kompressorin tuoton muutos, %
-30	+16
-20	+12
-10	+9,7
+0	+5,5
+5	+3,7
+10	+2
+15,6	0 (tämän taulukon referenssilämpötila, yleensä 20 °C)
+20	-1,6
+25	-3,6
+30	-4,8
+40	-8,4
+50	-12
+60	-15,5
+70	-19

Vaikka kylmä ilma parantaakin tuoton suhdetta, niin ei ole kuitenkaan suositeltavaa imeä pakkasilmaa kompressoriin sen osien jäätymisvaaran takia. Imuilman tulisi olla +1—+20 °C lämpöistä, jotta hyötysuhde pysyisi hyvänä. Keväällä ja kesällä kompressorihuoneen lämpötila on selvästi tätä korkeampi, joka vaikuttaa imuilman lämpötilaan tämän ohjautuessa kompressorihuoneen kattoon. Kesäisin kompressorin imuilmanotto paikassa voi olla todella lämmintä, lämpötilamittarin mukaan kyseisellä seinällä voi olla jopa 40 °C auringon siihen paistessa. (Halvari 2016.)

Imukanavassa on suodatin, joka estää suurempien partikkeleiden pääsyn kompressorihuoneeseen. Niiden vaihto tapahtuu kerran vuodessa huollon yhteydessä. (Halvari 2016).

Kompressorihuoneen lämpötila oli tarkasteluhetkellä 27 °C, imuilman ollessa 17 °C sisälle tulevan kanavan suulta mitattuna ja ulkoilma oli 14 °C. Huoneesta puhallettiin ilmaa suoraan ulos puhaltimella 1000 l/s. Tämän ilman lämpöenergia olisi järkevää ottaa talteen.

Kompressorihuoneen tulisi olla puhdas, eikä avoimia nestepintoja saisi myöskään sieltä löytyä, sillä epäpuhtaudet ja kosteus kuormittavat kompressorin suodattamia. Huoneen puhtaus pitää ottaa erityisesti huomioon, mikäli jäähdytysilmaa aiotaan ottaa talteen. (Motiva Oy 2004, 18.)

Heralammen kompressorihuoneessa ei ole avoimia nestepintoja ja jäähdytysilmaa ei tällä hetkellä oteta talteen. Huone on kuitenkin suhteellisen likainen, sillä siellä sijaitsee myös käsikäyttöinen peltileikkuri ja muita työlaitteita, joita saataan toisinaan käyttää.

6.3 Paineilman jakelu

6.3.1 Putkistot

Verkoston tilavuutta ei ollut tiedossa, joten se täytyi selvittää piirustuksista. Putkiston koot ja pituudet perustuivat piirustuksista löytyviin tietoihin ja korkeussuunnassa kulkevien osien pituudet arvioitiin. Putkien lisäksi laskuun otettiin huomioon käytössä olevien painesäiliöiden tilavuudet.

Verkoston tilavuuden laskeminen on esitetty kaavassa 9:

$$V = \pi \times r_1^2 \times L_1 + \pi \times r_2^2 \times L_2 + \pi \times r_3^2 \times L_3 + V_{ps} \quad (9)$$

r_1 = runkoputken säde

r_2 = liitosputkien säde

r_3 = liitosputkien säde

L_1 = Runkoputken pituus

L_2 = Liitosputkien pituus

L_3 = Liitosputkien pituus

V_{ps} = Painesäiliön tilavuus

$$V = \pi \times 0,040 \text{ m}^2 \times 390 \text{ m} + \pi \times 0,0125 \text{ m}^2 \times 860 \text{ m} + \pi \times 0,0075 \text{ m}^2 \times 550 \text{ m} \\ + 0,35 \text{ m}^3 = 2,82 \text{ m}^3$$

Koska kuvista ei kuitenkaan käy ilmi myöhemmin tehdyt putkivedot, niin 10 % lisäys edellisen laskun tulokseen tuo lukemaa lähemmäs todellista tilavuutta.

$$2,82 \text{ m}^3 \times 1,1 = 3,1 \text{ m}^3$$

Verkoston arvioitu tilavuus on näin ollen noin $3,1 \text{ m}^3$ ja sen yhteenlaskettu pituus on noin 1980 metriä. Verkko kulkee pelkästään lämpimissä tiloissa, joten paineilman kondensoitumisesta ei pitäisi olla vaaraa. Verkoston runkoputket ovat edelleen hyvässä kunnossa, mutta pikaliittimillä varustetut letkut irtoilevat toisinaan ja vuotavat.

Kuten aikaisemmin on jo mainittu, käytössä oleva paineilmaverkosto on yhdistelmäverkkotyyppinen, joka helpottaa verkoston korjaamista ja sulkujen asentamista. Verkoston viikonloppu ja iltakäyttöä varten voisi asentaa magneetti-venttiilejä katkaisemaan käytössä olemattomat verkot täksi ajaksi, näin välttämään mahdollisten vuotojen aiheuttamia kustannuksia.

6.3.2 Verkoston vuotokartoitus

Vuotokartoitus suoritettiin keskiviikkona 24.5.2016 aamulla ennen kuin Porkka Finlandin tuotanto alkoi. Kuulopohjaisesti tehdyssä kartoituksessa tuotanto-osastolta löytyi noin 20 vuotokohtaa. Monet vuodoista olivat käsityölaitteissa, joista kuului pientä pihinää. Lähes kaikista suurimmista koneista kuului myös vuodon ääntä, erityisesti levyntyöstökone Amadasta. Kaikkein suurimmat vuodot kuitenkin vaikuttivat olevan katon rajassa, jossa jakeluputkiin oli liitettynä muoviputki. Tarkempi vuotokartoituslista liitteenä.

Kokonaisvuotomäärän selvittämiseksi kompressorin kevennys ja kuormitusaika ja kellotettiin. Molempien kautta pystyi vuodon määrän saamaan selville. Kevennyksen aikana nykyisten painetasojen mukaan paine putoaa yhden baarin verran ja sitä kun vertaa verkoston tilavuuteen sai vuodon selville.

$$\frac{3100 \text{ l}}{170 \text{ s}} = 18,2 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 1,094 \text{ m}^3/\text{min}$$

Kuormitusajan ja kompressorin tilavuusvirran tulo jaettuna kokonaiskäyntiajalla oli toinen vaihtoehto selvittää vuodon määrän (Kaava 8). Mittausjakso kesti noin puolituntia sisältäen viisi kevennysjaksoa ja viisi kuormitusjaksoa.

$$\begin{aligned} \text{Vuodon määrä} &= \frac{41,2 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times \sum 183 \text{ s} + 183 \text{ s} + 184 \text{ s} + 182 \text{ s} + 182 \text{ s}}{1765 \text{ s}} \\ &= 1,28 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

Koska verkoston tilavuus oli vain arvio ja siihen ei ole laskettu mukaan alastulo-putkista lähteviä letkuja laitteille, niin todenmukaisempi lukema on jälkimmäisen laskun tulos eli $1,28 \text{ m}^3/\text{min}$. Edellä mainitut kohdat myös selittävät laskennallisten tapojen tulosten välisen eriävyyden.

Laskelmien perusteella selviää, että noin 51 % kaikesta tuotetusta paineilmasta menee vuotoina hukkaa ja kompressori joutuu näin ollen käymään 13–16 tuntia päivässä tuotannosta riippuen. Vuotojen korjaus tulisi aloittaa välittömästi.

6.4 Käyttökohteet

Paineilman käyttölaitteina käytössä ovat perus käsityökalujen lisäksi, pakkaus-, valu- ja levyntyöstökoneet. Tuotanto-osaston laitteista ei ole juurikaan tietoja tarjolla, koska monet laitteista on itse rakennettuja tai muokattuja käyttötarpeisiin sopiviksi. Tarkoista painetasoista ja virtausmääristä ei näin ollen pystynyt kasaamaan listaa, jota olisi voinut hyödyntää laskettaessa painetason laskun mahdollisuutta.

7 TOIMENPIDE-EHDOTUKSET JA NIIDEN VAIKUTUKSET

7.1 Laskentaperusteet

Laskentaperusteiden energianhintana on käytetty 87 €/MWh, joka oli keskimääräinen energianhintana vuonna 2015. Toimenpide-ehdotukset on järjestetty siten, kuin ne olisi suotavaa tehdä. Toimenpide-ehdotuksissa ei ole otettu huomioon edellisen ehdotuksen tuomaa säästöä. Taulukossa 8 (sivu 45) esitetään kaikki ehdotukset ja niiden tuomat säästöt. Investointien hintoja ei ole tutkittu tarkasti.

7.2 Toimenpide-ehdotukset

7.2.1 Vuotokartoitus ja korjaus

Vuotojen tarkkailua on hyvä jatkaa joka viikonloppu tehtävillä kierroksilla. Mutta niiden lisäksi olisi hyvä tehdä kunnollinen vuotokartoitus kerran vuodessa esimerkiksi ultraääni-ilmaisimella, ja korjata suurimmat vuodot viimeistään silloin pois. Vuotoja ei kuitenkaan saa koskaan kitkettyä kokonaan pois, vaan niitä syntyy aina uudelleen.

Vuotojen korjauksesta ei yleensä synny suuria kustannuksia, kun suurin osa vuotokohdista on kuitenkin korjattavissa klemmareita kiristämällä. Kun vuoden 2016 paineilmatuotannon sähkönkulutusta tarkastelee taulukosta 7, niin pystyy huomaamaan, että paineilmankulutus on melkein kaksinkertaistunut vuoden 2015 lukemista. Vuonna 2015 kompressori oli keskimäärin 7–8 tuntia päivässä päällä nykyisen noin 13–16 tunnin sijaan.

Taulukko 7. Alkuvuoden 2016 sähkönkulutus

2016	MWh	€
Tammikuu	7,740	628,57
Helmikuu	6,075	493,35
Maaliskuu	6,090	494,57
Yhteensä	19,905	1616,49 €

Osaksi paineilmakulutuksen kasvua selittää tuotannon laajeneminen nykyiselle tasolle. Tuotannon ollessa silti pääsääntöisesti yksivuorotyötä, niin se ei selitä sitä, miksi kompressorit käyvät työajan ulkopuolisesta ajasta puolet.

Vuotojen tuomat kustannukset ovat yli 800 euroa jo kolmen kuukauden aikana, mikäli vuotomäärä on ollut 51 % jo vuoden alusta lähtien. Mikäli vuotoja ei korjattaisi, niin kuluvan vuoden aikana menisi noin 3200 euroa hukkaan vuotoina, joka olisi lähes yhtä paljon kuin se, mitä edellisenä vuotena meni kokonaisuudessaan paineilman tuotantoon (3707 €).

7.2.2 Paineen alentaminen verkostossa

Paineen alentaminen portaittain verkostossa, on nopein vaihtoehto vaikuttaa kustannuksiin, koska se ei aiheuta investointeja lainkaan. Mikäli sitä ei voi tehdä työaikana vaadittujen painetasojen vuoksi, tai ongelmia ilmenee laitteisiin sen seurauksena, alentamista voisi kokeilla ainakin viikonloppuna ja työpäivän jälkeen. Automaation puuttumisen vuoksi se aiheuttaisi kuitenkin oman vaivansa.

Yhtenä tehostusvaihtoehtona olisivat myös paineenkorottajat. Jos muiden laitteiden painevaatimuksista selvästi poikkeavia laitteita on vain muutamia, niin niihin voisi asentaa paineenkorottajat eli buusterit. Ne pystyvät nostamaan verkostopaineen kaksinkertaisesta nelinkertaiseksi, näin paineilma-verkoston painetta voisi alentaa selvästi vaikuttamatta suurien koneiden toimintaan. Paineenkorottajat ovat täysin pneumaattisia laitteita, joten uutta operaattoria ei tarvita. Ne ovat kuitenkin suhteellisen kalliita laitteita, joten takaisinmaksuaika ei olisi kovinkaan hyvä. (Keski-Honkola 2014.)

Painetason ollessa 7,3–8,3 baaria, kokonaiskustannukset olivat vuonna 2015 3707 €. Jo yhden baarin aleneminen tuo 6–8 % säästöt, joten painetasoa mahdollisesti laskettaessa baarilla, säästöä syntyisi näin ilman investointeja 200–300 euroa vuodessa verrattuna vuoden 2015 lukemiin.

Paineen alentamisen lisäksi kompressorihuoneen imuilmaa ei kannata ohjata huoneen kattoa kohden ainakaan kevät ja kesäaikaan, vaan yrittää saada se mahdollisimman kylmänä kompressoreille, tuoton parantamiseksi.

7.2.3 Magneettiventtiilit ilta- ja viikonloppukäyttöä varten

Verkoston sulkemista varten siihen voisi asentaa normaaleja pallo- tai magneettiventtiilejä, mutta kokemusperusteiden mukaan käsikäyttöisiä palloventtiilejä harvoin muistetaan sulkea, joten sähkötoimiset esimerkiksi aika- tai liiketunnistimilla varustetut magneettiventtiilit olisivat parempi vaihtoehto.

Näin ollen, verkostoon voisi asentaa magneettiventtiilit ohjaamaan paineilman kulkua. Esimerkiksi niiden asentaminen verkostoon siten, että käytössä olemattomat osastot saisi suljettua pois verkostosta, kun niitä ei käytetä, varsinkin työvuoron jälkeiselle ajalle ja viikonlopuille.

Magneettiventtiileiden hinnat ovat 100 eurosta ylöspäin ja niiden asentaminen tuo omat kustannuksensa. Mutta niiden hankkiminen estäisi mahdolliset vuodot suurimmasta osasta verkostoa suurimman osan arkipäivistä ja erityisesti viikonloppuisin, kun tuotannollista tarvetta ei juuri ole. Tämän lisäksi eri osastojen sulkeminen pienentäisi verkoston tilavuutta, joten silloin kompressorin kuormitus vähenisi.

Magneettiventtiileiden asentamisen myötä tuotanto-osaston vuotomäärät tulisivat tippumaan reilusti. Mikäli vain levyntyöstökoneelle tarvitsisi tuoda paine työvuoron jälkeisellä ajalla, niin 90 % verkostosta voitaisiin sulkea siksi ajaksi.

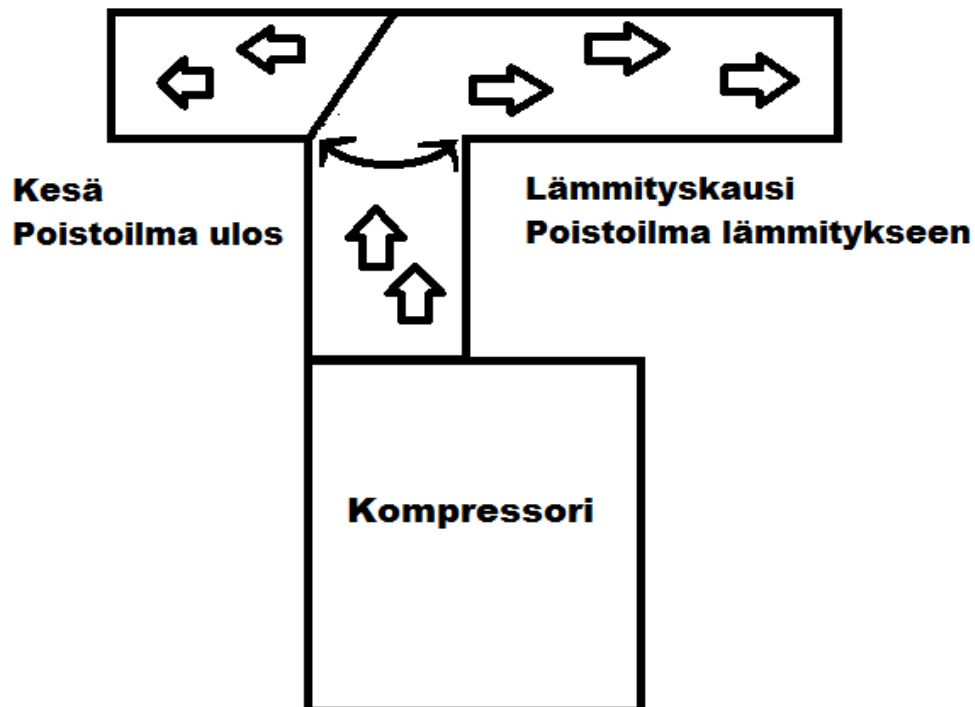
Verkoston sulkeminen voi kuitenkin aiheuttaa ongelmia, mikäli järjestelmässä on sellaisia laitteita, jotka tarvitsevat painetta, vaikka ovat lepotilassa, etteivät ne mene häiriötilaan. Tällaisissa tapauksissa, vaihtoehtona voi käyttää ns. Stand By-painetta, joka pudottaa koneen tarvitsemää painetasoa, kun se ei ole toiminnassa. Mikäli koneeseen asennetaan tähän tarkoitukseen tarkoitettut venttiili ja virtausmittari kone itsessään tietää, milloin sen kuuluu käyttää täyttä

painetta ja milloin voi siirtyä lepopaineeseen. Näiden hinta olisi esimerkiksi käytämällä SMC:n VEX-venttiili ja PF2A-virtausmittaria yhteensä noin 1000 €. (Keski-Honkola 2014.)

7.2.4 Lämmön talteenotto kompressorille

Lämmön talteenottojärjestelmä ei tuo suoraan säästöä paineilmaverkoston kustannuksiin, mutta sillä voidaan helposti vaikuttaa kiinteistön muihin lämmityskuluihin.

Ilmajäähdytteisen kompressorin lämmön talteenotto on helppo järjestää, mikäli kompressorihuoneen vieressä on lämmitettäviä tiloja, niin kanaviston vetäminen suoraan kompressorilta kyseiseen huoneeseen on toimiva ratkaisu. Kanavistoon pitää myös asentaa toinen haara menemään ulos ja säätöpellit (kuva 9), jotta lämpimän ilman voi ohjata ulkoilmaan lämmityskauden ulkopuolella.



Kuva 9. Kompressorin jäähdytysilman ohjaus säätöpellillä lämmitystarpeen mukaan

Heralammella kompressorihuoneen lähellä on laajat sosiaalitilat, kuntosali ja takkahuone, jonne lämmintä ilmaa voisi johtaa ja yksi iv-konehuone on myös alakerrassa, joten lämmön talteenoton kokoaminen kanavaan voi onnistua helposti. Ilman suora käyttö voi kuitenkin sekoittaa kiinteistön iv-järjestelmän toimintaa, joten asiaa tulee senkin kannalta tarkastella tarkoin.

Laskettaessa lämmön talteenoton tuomia säästöjä tulee huomioida se, että kompressorin käydessä kevennettynä se ei purista ilmaa suurempaan paineeseen. Lämmöntuotto on silloin matala, joten huomioon otetaan vain kuormitetut käyttötunnit. Vuoden 2015 kuormitettujen käyttötuntien perusteella lasketun säästön 94 % teholla saa laskettua seuraavalla tavalla:

$$42,51 \text{ MWh} \times 87 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \times 0,94 = 3476 \text{ €/a}$$

Kuitenkin todellisuudessa lukema on pienempi, sillä talvipakkasilla ei kaikkea lämpöä voi johtaa ulos kompressorihuoneesta ettei se pääse pakkasen puolelle, jolloin on mahdollista, että kompressorin osat jäätyisivät. Myös lämmityskausi tulee ottaa huomioon, joka on syyskuusta toukokuuhun. Joten todellisuutta lähempänä oleva säästö olisi näin ollen:

$$31,8 \text{ MWh} \times 87 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \times 0,85 = 2352 \text{ €/a}$$

Atlas Copcolta löytyy myös oma jälkiasennettava lämmön talteenottojärjestelmä, ER-sarjan laitteet. Joista ER-S1 soveltuu käytössä olevalle GA 15+ FF kompressorille luvaten sen 15 kW tehosta 12 kW talteen lämpimänä vetenä. Se yhdistettään kompressorin öljynkiertoon, josta se ottaa lämmönvaihtimen kautta lämmön talteen ja se liitetään kiinteistön vesikiertoon. (Atlas Copco 2013.)

Veden lämmitykseen käytettävän lämmön talteenoton vuotuinen säästö olisi luvattulla 80 % teholla seuraava:

$$42,51 \text{ MWh} \times 87 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \times 0,8 = 2959 \text{ €/a}$$

Merkkikohtainen lämmön talteenottojärjestelmä toisi omat hyödyt ja haittansa. Mikäli tulevaisuudessa kompressoria vaihtaessa ei päädytä samaan valmistajaan, niin koko lämmön talteenottojärjestelmä menisi uusiksi.

7.3 Yhteenveto ehdotuksista

Koska mittauksien mukaan vuotojen osuus on huomattava paineilman tuotantokustannuksista, niin niiden korjaaminen olisi ensisijaisen tärkeää, koska vuoto-
määrien pienentyessä, myös kuormitustunnit vähenevät ja se vaikuttaa kaikkien muiden ehdotuksien kannattavuuteen.

Taulukko 8. Toimenpide-ehdotukset

Toimenpide	Säästö	Huomiot
Vuotojen korjaus	51 %	Takaisinmaksuaika välitön
Painetason laskeminen 1. baarilla	6–8 %	Takaisinmaksuaika välitön
Magneettiventtiilit	Verrannollinen vuotoihin	
LTO ilman lämmitykseen	85–94 %	Säästö muihin lämmityskustannuksista
LTO veden lämmitykseen	80 %	Säästö muihin lämmityskustannuksista

Vuotojen korjaaminen vaikuttaa myös paineen pysyvyyteen verkostossa, joten painetasoa voi mahdollisesti laskea vuotojen korjaamisen jälkeen oletettua helpommin. Painetason lasku ja vuotojen korjaus toisivat lähes ilmaiseksi tuntuvat säästöt Heralammen paineilmajärjestelmälle.

Vuotomääräthän ovat myös verrannollisia magneettiventtiilien tuomalle säästöle. Mitä vähemmän menee hukkaan, sitä hitaammin venttiilit maksaisivat itsensä takaisin. Verkoston ollessa yhdistelmätyyppinen magneettiventtiileitä tulisi hankkia useita saadakseen verkoston suljettua kunnolla.

Vuotokartoituksessa tuli ilmi, että monet suuremmista laitteista vuotavat. Jos niiden vuotoja ei saada korjattua, niin ne ovat kuitenkin melko pienelle alueelle

sijoitettu tuotanto-osastolla toisistaan. Monet niistä ovat samojen poikkilinjojen alla, joten niiden linjojen sulkemista magneettiventtiileillä kannattaa harkita, mikäli koneiden vuotoja ei saada korjattua.

Lämmön talteenottojärjestelmän investointikustannuksista ei ole tarkkaa tietoa, mutta se on ehdottomasti järkevää toteuttaa. Siitä saatavat säästöt muihin lämmityskustannuksiin ovat huomattavat, eikä energiatehokkuuden kannalta ole mitään syytä jatkaa lämpimän ilman puhaltamista ulos.

8 ENERGIA TEHOKKUUDEN SEURANTA JA YLLÄPITO

8.1 Tehostamissuunnitelma

Toimenpide-ehdotusten toteuttamista varten kannattaa valita projektille vetäjä. Ehdotuksia voidaan tehdä yrityksen omien henkilöiden toimesta tai tilata ulkopuoliselta yritykseltä. Ehdotuksia kannattaa pohtia Porkka Finland Oy:n henkilöstön kanssa ja niiden taloudellisuutta ja teknillistä soveltuvuutta olisi hyvä pohtia yrityksen kriteereiden perusteella. Ehdotusten toteuttamisen kannalta on myös hyvä selvittää mahdolliset edellytykset energiatuen saamiseen.

8.2 Seuranta ja ohjeistus

Paineen alentaminen saattaa aiheuttaa joissain laitteissa suurempaa ilman tarvetta tai aiheuttaa joitain muita ongelmia. Paineen alennusta kannattaa suorittaa portaittain 0,1 baaria kerralla ja tarkkailla viikon ajan laitteiden toimintaa. Mikäli kuitenkin tuotannollisia ongelmia ilmenee, niin paineet on hyvä nostaa ennalleen.

Vuotojen seuranta kannattaa jatkaa aktiivisesti ja ohjeistamalla Porkka Finland Oy:n työntekijöitä korjaamaan huomaamansa vuodot välittömästi, tai ilmoittamaan niistä vastaavalle taholle, jotta vuodot tulevat korjatuiksi sitä mukaan, kun niitä syntyy. Mikäli pieniä vuotoja ei korjata välittömästi, ne ajan myötä kasvavat suuremmiksi, koska ilmavirta ja siinä olevat epäpuhtaudet raastavat vuotokohdasta jatkuvasti ja kulut kasvavat entisestään. Hyvällä vuotojen tarkkailulla ja korjaamisella, voi ehkäistä suuremman ja entistä kalliimman vuodon helposti.

Opinnäytetyön liitteenä vuotokartoituspohja ja kuva tuotanto-osaston paineilman alastuloputkista, joita voi käyttää apuna tulevissa vuotokartoituksissa. Liitteenä myös opinnäytetyön yhteydessä tehty vuotokartoitus, joka toimitettiin Porkka Finlandin henkilökunnalle.

9 POHDINTA

Energiahintojen noustessa on yhä enenevässä määrin syytä kiinnittää huomiota teollisuuden energiatehokkuuteen. Nykyaikaisilla järjestelmillä ja pienillä korjauksilla saadaan helposti luotua säästöjä sinne, missä niiden ei edes tiedetty olevan.

Opinnäytetyön alussa en itse tiennyt juurikaan paineilmajärjestelmistä mitään, joten aloitin työn teon puhtaalta pöydältä. Heralammen yritystalon paineilmajärjestelmä on sen verran pieni verrattuna Motiva Oy:n PATE-analyysimallissa olleisiin, joten kyseistä ajatusmallia ei pystynyt täysin käyttämään kohteessa. Hyödyllistä tietoa löytyi kuitenkin paljon edellä mainitun yrityksen, kuin myös eri kompressorivalmistajien sivuilta.

Lämmön talteenotto kompressoreille on erityisen kannattava vaihtoehto, mikäli se on mahdollista toteuttaa. Kompressorin tuottamasta energiasta kuitenkin 100 % muuttuu lämmöksi, josta ilman talteenottoa menee yli 90 % hukkaan. Erityisesti ilmajäähdytteisissä kompressoreissa talteenotto on helposti toteutettava vaihtoehto, mutta aina sitäkään ei voi toteuttaa kuitenkaan järkevästi tarpeiden tai muiden olosuhteiden vuoksi.

Vuotojen etsintä ja niiden korjaaminen on myös suositeltava tapa säästää energiakuluissa, koska pienistäkin rei'istä vuotaa ilmaa hukkaan yllättävän paljon. Vuotomäärien laskemiseen on monta eri tapaa, sen voi toteuttaa virtausmittareilla, kellottamalla kompressorin käynti- tai kevennys aikoja. Virtaus- ja painemittareille voi paikantaa vuotoja, mutta sen voi tehdä myös ultraääni-ilmaisimella, saippuavettä käyttämällä, tai kuulopohjaisesti, joskin sillä ei kaikkein pienimpiä vuotoja löydä.

Paineilmajärjestelmissä on monesti myös painetasot asetettu hieman yläkanttiin, joten niidenkin pienellä säädöllä saa aikaan tuntuvaa säästöä. Yhden baarin alentamisella säästöä tulee jo 6–8 %.

Eikä pidä unohtaa energiasäästöjä tarkastellessa mahdollisuutta verkoston sulkemiselle silloin kun sitä ei käytetä. Sillä mikäli paineen pitää olla koko ajan päällä yksittäisen käytössä olevan laitteen myötä, niin suuri osa kompressorin tuottamasta paineilmasta menee vuotoina hukkaan.

Opinnäytetyössä löytyi monia parantamisvaihtoehtoja Heralammen yritystalon paineilmajärjestelmään, mutta osan kannattavuus on varsin kyseenalaista tämänhetkisillä tuotantomäärillä, ja kalliiden komponenttihintojen myötä takaisinmaksuaika jää pitkäksi. Vuotomäärän ollessa 51 % kaikesta tuotetusta paineilmasta, niin ne tulisi korjata välittömästi, ennen kuin muita toimenpiteitä kannattaa suunnitella.

Opinnäytetyön teossa oli muutamia ongelmia. Virtaus- tai painemittareita ei juuri verkostossa ollut ja käyttölaitteista tietoa oli vajavaisesti, koska ne olivat osaksi itse valmistettuja tuotantoon sopiviksi. Näiden tarkoista painevaatimuksista ei ollut tietoa tarjolla. Tämän johdosta oikean painetason määrittäminen on hankalaa. Toisaalta paineilman tuotannon pienuuden takia painetason laskemisesta saisi vain muutamia satoja euroja hyötyä vuodessa, mikäli painetasoa pystyisi laskemaan baarilla.

Opinnäytetyö käsitteli vain Heralammen paineilmaverkosta, mutta suuremmallekin energiaselvitykselle olisi tarvetta yritystalossa.

LÄHTEET

Airpower Uk ltd 2016. History of compressed air. Viitattu 9.5.2016
<http://airpowered.co.uk/history-of-compressed-air.htm>

Atlas Copco 2013. Energy Recovery. Viitattu 3.5.2016
http://www.atlascopco.fi/Images/2935005924_Energy%20Recovery%20Engli sh%20print_lores_tcm822-3558500.pdf

Atlas Copco 2016. Oil-injected rotary screw compressors. Viitattu 2.5.2016
http://www.atlascopco.fi/Images/2935%200849%2045LR_tcm822-1700971.pdf

Ellman, A. Hautanen, J. Järvinen, K. & Simpura, A. 2002. Pneumatiikka Helsinki: Edita.

Engineering ToolBox 2016. Ideal Gas Law. Viitattu 9.5.2016
http://www.engineeringtoolbox.com/ideal-gas-law-d_157.html

Halvari, R. 2016. Sevois R. Halvari. Kiinteistöhuoltovastaavan haastattelu 28.4.2016

Heralammen yritystalo n.d Esite.

Hulkkonen, V. 2005. Pneumatiikan perusteita. Fluid Finland. FLUID klinikka no 13
<https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/9.pneumatiikan-perusteita.pdf>

Kaeser 2016a. Lämmön talteenotto. Viitattu 27.4.2016
http://fi.kaeser.com/Current_Affairs/Press/press-E-WRG.asp

Kaeser 2016b. Paineilman jälkikäsitteily. Viitattu 25.4.2016
http://fi.kaeser.com/Products_and_Solutions/Compressed-air-treatment/default.asp

Kaeser 2010. Paineilmatekniikka <http://fi.kaeser.com/Images/P-2010-FI-tcm18-6752.pdf>

Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. 1. Painos. Porvoo: WSOY.

Keski-Honkola, P. 2015. Energiätehokas paineilma haastaa tuotantolaitokset, Promaint-lehti, Viitattu 11.5.2016
<http://www.promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Energiätehokas-paineilma-haastaa-tuotantolaitokset>

- Lahden AMK 2015. Pneumatiikan luennot. Viitattu 2.5.2016
http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Pneumatiikka.pdf
- Motiva Oy 2004. Energiakatselmoijan käsikirja osa 3. Viitattu 2.5.2016
<http://www.motiva.fi/files/1720/kat-energiakatselmoijan-kasikirja-osa-3-2-A.pdf>
- Motiva Oy 2015a. Energiatehokas paineilmajärjestelmä osa 1. Viitattu 3.5.2016
http://www.motiva.fi/files/1568/Energiatehokas_paineilmajarjestelma_OSA1.pdf
- Motiva Oy 2015b. Energiatehokas paineilmajärjestelmä osa 2. Viitattu 19.4.2016
http://www.motiva.fi/files/1569/Energiatehokas_paineilmajarjestelma_OSA2.pdf
- Motiva Oy 2015c. Paineilma-analyysi. Viitattu 19.4.2016
http://www.motiva.fi/yriytykset/hallitse_ja_tehosta_yrityksen_energian kayttoa/nykytilan_selvitys/nykytilan_selvitys_menetelmia/paineilma-analyysi
- Motiva Oy 2015d. Paineilma Viitattu 19.4.2016
http://www.motiva.fi/yriytykset/hallitse_ja_tehosta_yrityksen_energian kayttoa/energian kayton_tehostamistoimenpiteet/tuotannon_energiansaasto/paineilma
- Motiva Oy 2015e. PATE-esite <http://www.motiva.fi/files/2259/PATE-esite.pdf>
- Peltonen, K. 2016. Energian säästö unohtuu pneumatiikassa, vaikka vuodot voisi estää 200 eurolla. Tekniikka & Talous. Viitattu 2.5.2016
<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energian-saasto-unohtuu-pneumatiikassa-vaikka-vuodot-voisi-estaa-200-eurolla-6249466>
- Penttinen, P. 2009. Teollisuuden paineilmaenergia-analyseissä havaittujen säästötoimenpiteiden toteutusaste ja saavutettu säästö. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Energiatekniikan laitos. Diplomityö.
- Rubanova, A. 2012. History of compressors. Department of Automatic Control Lund University. Viitattu 9.5.2016
<http://www.control.lth.se/media/Education/DoctorateProgram/2012/HistoryOfControl/Alina-Surge.pdf>
- Sanna, J. 2014. Energian tärkeys. Kompessoritekniikka 1/2014, 13. Viitattu 27.4.2016
http://www.atlascopco.com/Images/Kompessoritekniikka_2014_1_ilman%20leikkausvaroja_tcm93-3555373.pdf
- Sarlin Oy 2016a. Paineilman laatuluokat. Viitattu 26.4.2016
http://www.sarlin.com/sarlin_products/ISO-85731--paineilman-laatustandardi/yhahhte4/8d099e6f-50f6-47f1-a00a-0d7af6ed010f

Sarlin Oy 2016b. Paineilmajärjestelmän vuotokartoitus. Viitattu 29.4.2016.
http://www.sarlin.com/sarlin_products/Paineilmajarjestelman-vuotokartoitus/0iikfjlh/b532d734-66d6-450c-9553-2f090ac59aad

Toroi, H. 2013. Vuodonhaku ja kunnonvalvonta ultraäänilaitteella. Promaint-lehti. Viitattu 2.5.2016 <http://www.promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Vuodonhaku-ja-kunnonvalvonta-ultraaanen-avulla>

LITE 2

Vuotokartoituslomake 2

Päivämäärä:

Suorittaja:

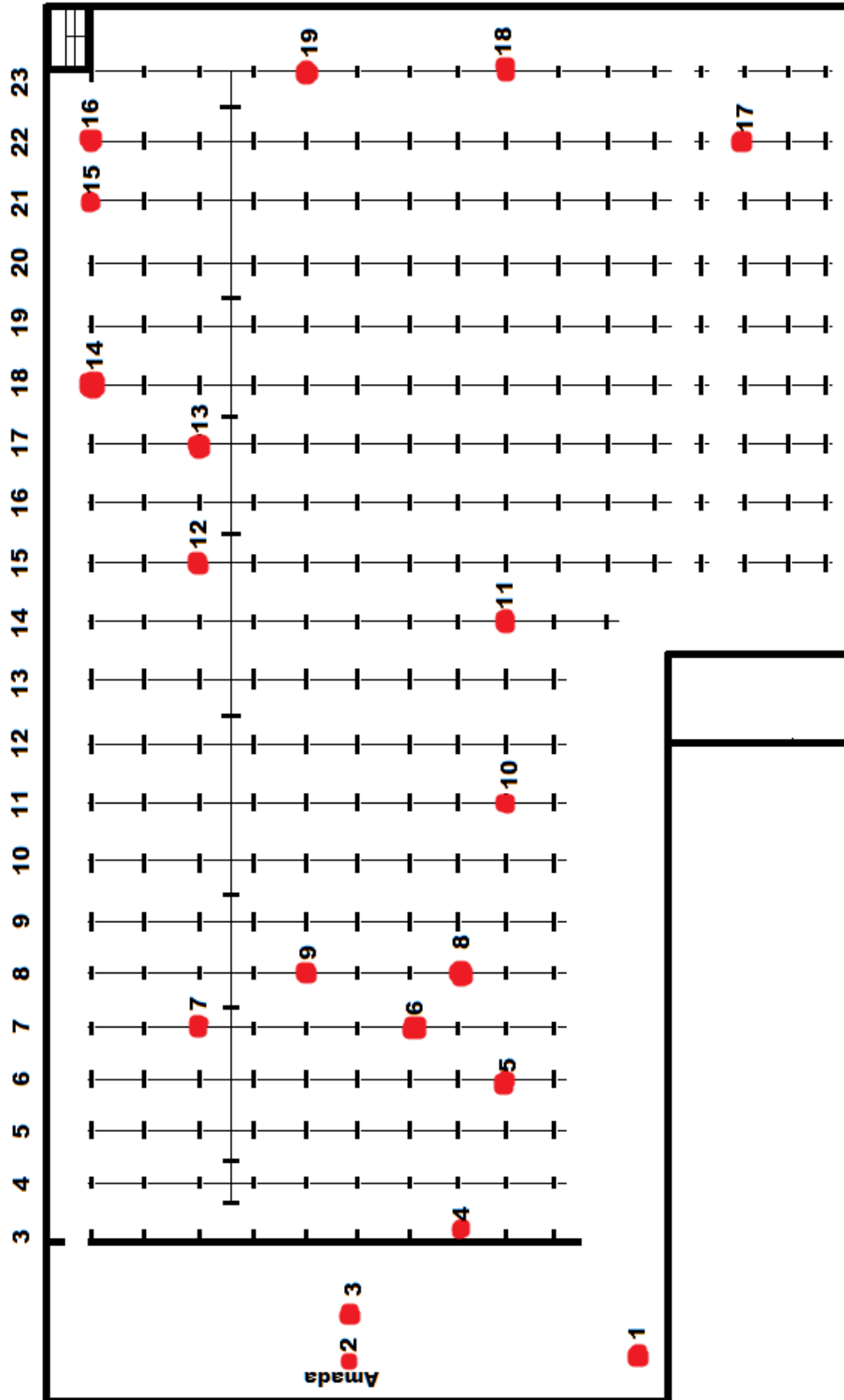
Vuoto	Sijainti	Kuvaus vuodosta	Lisätietoja
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			

LIITE 3

Vuotokartoituslomake 1

Päivämäärä: 24.5.2016

Suorittaja: Otto Pesonen



LITE 4

Vuotokartoituslomake 2

Päivämäärä: 24.5.2016

Suorittaja: Otto Pesonen

Vuoto	Sijainti	Kuvaus vuodosta	Lisätietoja
1	HFB 8025	Keskisuuri	
2	Amada	Suuri	
3	Kopin päällä liitosputkessa	Keskisuuri	
4	Seinän läpiviennissä, liitosvuoto	Keskisuuri	
5	Toimilaite	Keskisuuri	
6	Toimilaite	Keskisuuri	
7	Toimilaite	Keskisuuri	
8	Useita vuotoja lähiympäristössä	Keskisuuri	
9	Alastuloliitos	Keskisuuri	
10	Toimilaite	Keskisuuri	
11	Alastuloliitos	Pieni	
12	Alastuloliitos	Keskisuuri	
13	Alastuloliitos	Keskisuuri	
14	Alastuloliitos	Suuri	
15	Toimilaite	Pieni	
16	Toimilaite	Pieni	
17	Toimilaite	Pieni	
18	Toimilaite	Pieni	
19	Alastuloliitos	Pieni	
20			
21			
22			
23			
24			
25			