

**Juho Hietala**

**PAINEILMA-ASEMAN LÄMMÖN TALTEENOTON KARTOITUS**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Huhtikuu 2016**

**TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ**

<b>Yksikkö</b> Kokkola	<b>Aika</b> Huhtikuu 2016	<b>Tekijä/tekijät</b> Juho Hietala
<b>Koulutusohjelma</b> Kone- ja tuotantotekniikka		
<b>Työn nimi</b> Paineilma-aseman lämmön talteenoton kartoitus		
<b>Työn ohjaaja</b> Mika Kumara		<b>Sivumäärä</b> 23 + 1
<b>Työelämäohjaaja</b> Pekka Witick		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Osuuskunta Maitokolmion Sievin meijerille. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa paineilmakompressoreiden tuottaman lämmön talteenoton mahdollisuuksia. Työssä esitellään myös paineilman tuotanto, kompressorityypit sekä paineilman jälkikäsitteily yleisellä tasolla.</p> <p>Työssä tutkittiin mahdollisuutta käyttää kompressorilämpöä joko sisäilman tai käyttöveden esilämmitykseen. Haasteita lämmön talteenotolle asettivat paineilma-aseman sijainti, kompressoreiden lukumäärä sekä kompressoreiden pieni koko ja alhainen lämmöntuotto. Putkisto- ja lämmönvaihdinratkaisut olisivat olleet toteutuessaan myös monimutkaisia. Lämmön talteenotto osoittautui näissä olosuhteissa kannattamattomaksi.</p> <p>Tietolähteinä käytettiin paineilman ja pneumatiikan alan kirjallisuutta sekä paineilma-alan yritysten tarjoamia tietolähteitä. Työn aikana konsultoitiin myös Kaeser Kompressorit Oy:n yhteyshenkilöitä.</p>		
<b>Asiasanat</b> Paineilma, kompressori, ruuvikompressori, lämmön talteenotto, lämmönvaihdin.		

**ABSTRACT**

<b>UNIT</b> Kokkola-Pietarsaari	<b>Date</b> April 2016	<b>Author</b> Juho Hietala
<b>Degree programme</b> Machine and production technology		
<b>Name of thesis</b> A SURVEY OF HEAT RECOVERY FROM AIR COMPRESSORS		
<b>Instructor</b> Mika Kumara		<b>Pages</b> 23 + 1
<b>Supervisor</b> Pekka Witick		
<p>This thesis work contains a survey about the possibility of heat recovery from air compressors. The commissioner of this thesis is Maitokolmio, which is a cooperative company that produces dairy products. Specifically, this thesis was conducted for the Maitokolmio production plant in Sievi. General information about compressed air and systems that are required when using compressed air is also included.</p> <p>The recovered heat from the air compressors used in Maitokolmio Sievi plant could be used either to preheat process water or to heat the dairy building itself. Both possibilities were studied, but both proved to be unprofitable. This was mainly because of relatively low heat generation and the challenging location of the compressor building, which is located outside of the dairy building.</p> <p>All of the information gathered for this thesis was collected from literature regarding pneumatics and air compressors. The company Kaeser Kompressorit Oy was also consulted during the process.</p>		

**Key words**

Compressed air, compressor, rotary screw compressor, heat recovery, heat exchanger.

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OSUUSKUNTA MAITOKOLMIO .....</b>	<b>2</b>
<b>3 PAINEILMAJÄRJESTELMÄT .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Kompressorit.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.1 Ruuvikompressori.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1.2 Mäntätyyppiset kompressorit .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2 Paineilman jälkikäsitely .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2.1 Paineilman laatuluokittelu .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2.2 Veden poistaminen paineilmasta .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2.3 Öljyn poistaminen paineilmasta .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2.4 Hiukkaslian suodattaminen .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2.5 Huoltolaitteet .....</b>	<b>10</b>
<b>3.3 Paineilmaverkosto.....</b>	<b>10</b>
<b>3 KOMPRESSORILÄMMÖN TALTEENOTTO .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Ilman lämmittäminen poistolämmöllä .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Veden lämmittäminen poistolämmöllä .....</b>	<b>13</b>
<b>4 MAITOKOLMION SIEVIN TEHTAAN PAINEILMA-ASEMA.....</b>	<b>15</b>
<b>5 LÄMMÖNTUOTTO SIEVIN MEIJERILLÄ .....</b>	<b>18</b>
<b>6 SÄÄSTÖLASKELMAT .....</b>	<b>19</b>
<b>7 ONGELMAT LÄMMÖN TALTEENOTOSSA .....</b>	<b>20</b>
<b>7.1 Ongelmat suorassa ilmalämmityksessä .....</b>	<b>20</b>
<b>7.2 Ongelmat käyttöveden esilämmityksessä .....</b>	<b>20</b>
<b>7.3 Lämmönvaihdinratkaisun ongelmat.....</b>	<b>21</b>
<b>8 POHDINTA .....</b>	<b>22</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>23</b>
<b>LIITTEET</b>	
<b>KUVIOT</b>	
<b>KUVIO 1. Kompressorityypit.....</b>	<b>4</b>
<b>KUVIO 2. Adsorptiokuivaimen rakenne .....</b>	<b>9</b>
<b>KUVIO 3. Lämmönvirtauskaavio.....</b>	<b>12</b>
<b>KUVIO 4. Lämmön talteenotto käyttöveden lämmityksessä .....</b>	<b>14</b>

## **KUVAT**

KUVA 1. Sievin meijerirakennus .....	2
KUVA 2. Voitelematon ruuviyksikkö .....	6
KUVA 3. Paineilma-asema sisältä.....	16
KUVA 4. Paineilma-asema ulkoa.....	17
KUVA 5. Näkymä lämpölaitoksen sisältä .....	18
KUVA 6. Paineilma-aseman ja pannuhuoneen etäisyys.....	21

## **TAULUKOT**

TAULUKKO 1. Paineilman puhtausluokat ISO 8573-1:2010 mukaan .....	8
---	---

## 1 JOHDANTO

Jatkuvasti kiristyvässä kilpailussa ja ahtaassa markkinatilanteessa yritykset pyrkivät jatkuvasti säästämään ja karsimaan kustannuksia. Erityisesti pienten ja keskisuurten yritysten on tärkeää pyrkiä säästämään sieltä, mistä se on mahdollista. Lämmitys- ja energiakustannukset ovat tyypillisiä säästökohteita, sillä niitä on mahdollista karsia tuotannon kärsimättä. Lämmön talteenotto on yleisesti tuttu käsite erityisesti kerros- ja rivitaloissa sekä suurissa tehdasrakennuksissa, joissa lämmöntarve on suuri. Tyypillisesti lämpimästä poistoilmasta otetaan talteen lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää tuloilman tai käyttöveden lämmittämiseen.

Tässä opinnäytetyössä kartoitetaan mahdollisuutta ryhtyä käyttämään paineilmakompressoreiden tuottamaa lämpöenergiaa osuuskunta Maitokolmion Sievin tehtaalla. Vuonna 2013 hankitut modernit ruuvikompressorit tuottavat käydessään huomattavan määrän lämpöä, joka voidaan hyödyntää sopivalla laitteistolla. Nykyisellään kompressorilämpö johdetaan paineilma-asemalta suoraan ulkoilmaan. Kartoituksen pääkysymys onkin mahdollisen investoinnin kannattavuus.

Opinnäytetyön aikana keskusteltiin kompressorivalmistajan kanssa lämmön talteenoton mahdollisuuksista ja tavoista sekä talteenoton tuomasta säästöstä. Työn edetessä kävi selväksi, ettei investointi nykyisissä puitteissa ole kannattava. Ongelmat paineilma-aseman sijainnissa sekä suhteellisen matalassa lämmöntuotossa tekevät lämmön talteenotosta rahallisesti kannattamattoman.

Tämä työ oli silti hyödyllinen. Maitokolmio osuuskunta sai selvityksen siitä, että tätä säästöpotentiaalia ei kannata tällä hetkellä ottaa käyttöön. Markkinatilanteen muuttuessa, etenkin lämpöenergian hinnan noustessa, voi olla hyödyllistä palata aiheeseen.

## 2 OSUUSKUNTA MAITOKOLMIO

Maitokolmio on meijeriosuuskunta, jonka historia ulottuu yli sadan vuoden taakse. Maitokolmion omistus on jaettu maidontuottajien kesken. Tuotanto on keskittynyt maitotuotteisiin. Maitokolmion maito tulee niin sanotusta maitomaakunnasta, johon kuuluvat muuten muassa Toholampi, Sievi, Nivala, Kalajoki sekä useita muita Toholammin ja Sievin ympäryskuntia. (Maitokolmio 2013.) Vuonna 2014 Maitokolmion liikevaihto oli yli 42 miljoonaa euroa. Liikevaihto on kasvanut vuodesta 2010 yli 12 miljoonaa euroa. Vuonna 2014 työntekijöitä oli 80. Maitoa vastaanotettiin lähes 35 miljoonaa litraa, ja sitä tuli 111 maidontuottajatilalta. (Maitokolmio 2014, 17–25.)

Tuotantolaitoksia Maitokolmiolla on kaksi, joista suurempi on Toholammilla ja pienempi Sievissä. Toholammin meijeri valmistaa maidot, piimät, kermat, viilit sekä rasvat, kun taas Sievin meijerin tiloissa valmistetaan rahkaa. Sievin tehtaassa toimii myös vuonna 2009 Eckes-Granini Finland Oy Ab:n kanssa perustettu Mehukolmio, joka valmistaa mehuja ja keittoja (Mehukolmio). Osa Maitokolmion tuotannosta tapahtuu private label tuotantona, eli asiakkaan omalla tavaramerkillä. (Maitokolmio 2013.) Kuvassa 1 on Sievin meijerirakennus maaliskuussa 2016.



KUVA 1. Sievin meijerirakennus

### 3 PAINEILMAJÄRJESTELMÄT

Paineilmalla tarkoitetaan ilmaa, joka on puristamalla saatettu vähintään kaksinkertaiseen paineeseen alkupaineeseen nähden. Paineilmaa ja pneumatiikkaa käytetään laajasti vaihtelevissa kohteissa lähes kaikilla tekniikan ja teollisuuden aloilla. Tästä syystä tarvittavat paineet sekä ilmamäärät vaihtelevat hurjasti. Tyypillinen teollisuuden laitteisto ja instrumentointi toimii 6–10 barin työpaineella, mutta 15–20 barin korkeapaineverkot prosessikäytössä ovat myös tavallisia. Hengitysilma paineilmalaitteissa puristetaan 150–300 barin paineeseen. Joissakin laboratorioissa voidaan tarvita jopa yli 1000 barin paineita. (Airila, Hallikainen, Kääpä & Laurila 1983, 25.)

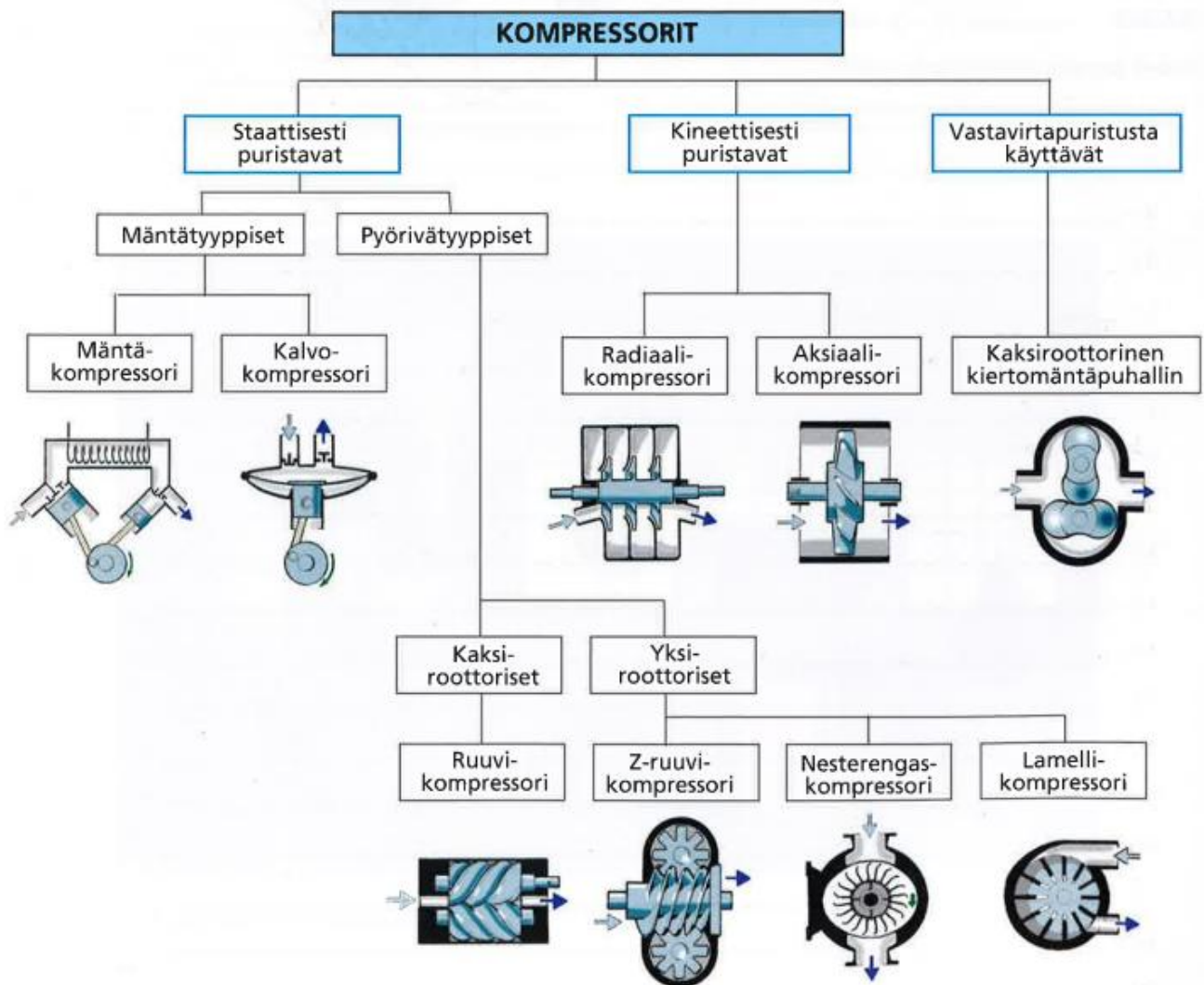
Paineilman käyttökohde määrittelee paineilman nimityksen, kuten työilma, instrumentti-ilma, hengitysilma, prosessi-ilma ja niin edelleen. Nämä erilaiset käyttökohteet asettavat paineilman puhtaudelle sekä syötön tasaisuudelle vaatimuksia, jotka taas asettavat paineilmajärjestelmien suunnittelulle haasteita. Monet edellä mainituista kohteista voivat olla herkkiä paineilman mukana kulkeutuvalla öljylle, vedelle tai pölylle. Laboratorio- ja sairaalaoiloissa bakteerien kulkeutuminen paineilman mukana voi olla ehdottoman kiellettyä. Kompressorivalinnalla voidaan vaikuttaa esimerkiksi paineilman öljyttömyyteen. Paineilman jälkikäsitteily on kuitenkin enemmän sääntö kuin poikkeus. Erilaisilla suodattimilla voidaan poistaa tehokkaasti öljyä sekä hiukkasia paineilman seasta. Jälkijäähdyttimillä saadaan poistettua myös imuilman mukana tullut kosteus. Paineilman esikäsitteily esimerkiksi kaasunpesurilla tai suodattimilla voi tulla myös kyseeseen. Tällöin pyritään suojaamaan myös lian pääsy kompressoriin, pidentäen kompressorin käyttöikä. (Airila ym. 1983, 7–12.)

Paineilman käytön etuina mainittakoon sen helppo saatavuus, helppo siirrettävyys paineilmaverkossa alhaisen viskositeetin vuoksi, sekä helppo varastoitavuus. Hydraulikkaan verrattuna paineilma on nopeaa ja helposti säädettävää. Paineilma myös siistiä, ja melko varmatoimista laajallakin lämpötila-alueella. Lisäksi paineilma on räjähdysturvallinen, joten sitä voi käyttää myös ATEX- eli räjähdysvaarallisissa tiloissa. Suurimmat haittapuolet paineilmassa ovat erittäin alhainen hyötysuhde, sekä verrattain alhaiset voimat. Alhaisesta hyötysuhteesta johtuen paineilma voi olla suhteellisen kallista. (Hulkkonen 2005, 4-5.)



### 3.1 Kompressorit

Paineilmajärjestelmän sydän on paineilmakompressorit. Kompressorilla tarkoitetaan siis laitetta, jolla nostetaan kaasun, kuten ilman, painetta vähintään kaksinkertaiseksi alkupaineeseen nähden. Kompressorien tuottama ilmamäärä vaihtelee muutamista litroista aina satoihin, jopa tuhansiin kuutiometriin minuutissa. Kompressorit voi tuottaa paineen yhdessä tai useammassa työvaiheessa. Kuviossa 1 on esitelty erilaiset tyypillisimmät kompressorityypit.



KUVIO 1. Kompressorityypit (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)

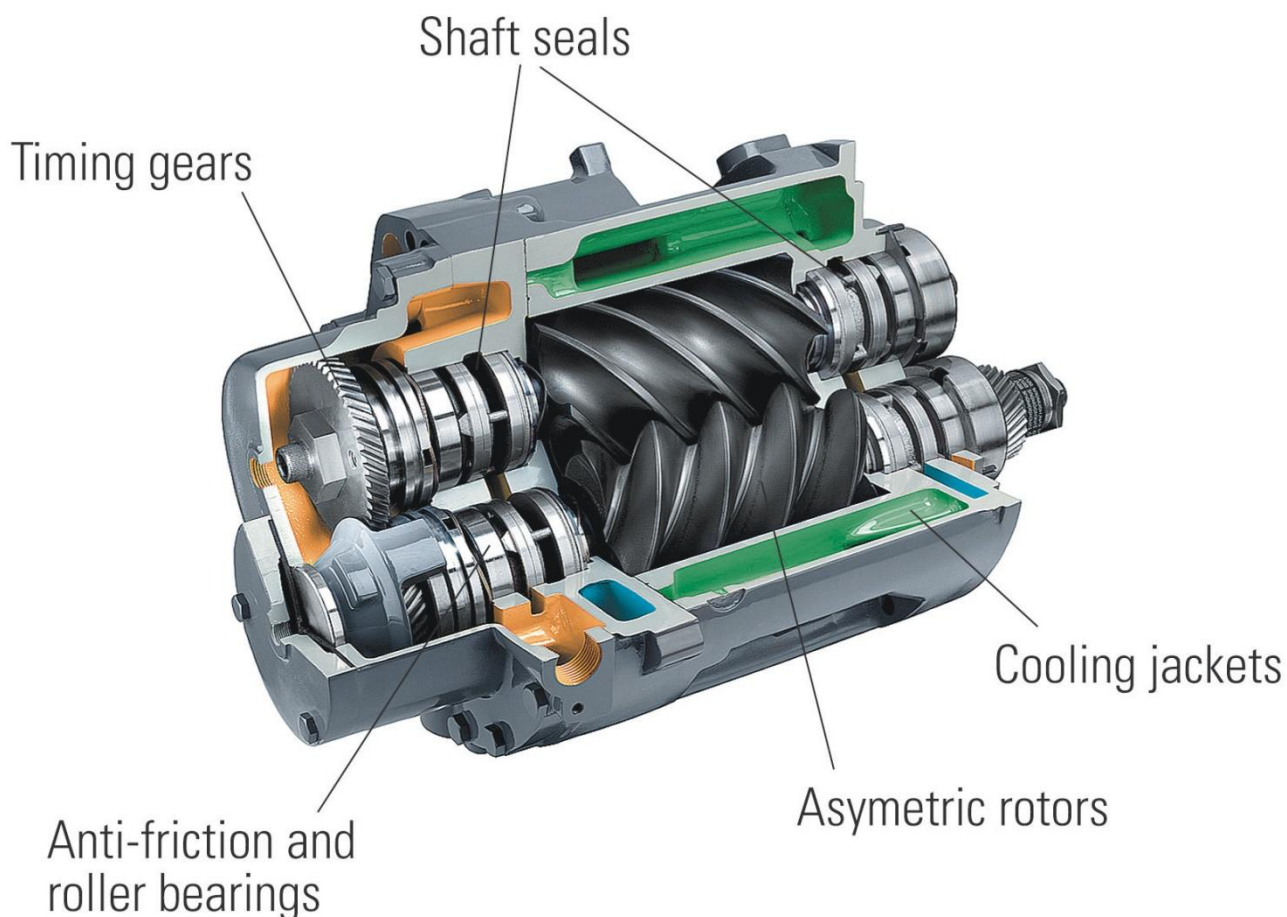
Yleisimmät kompressorityypit ovat mäntä-, ruuvi- sekä lamellikompressorit, ruuvikompressorin ollessa näistä kolmesta yleisin. Mäntäkompressorit ovat sopivimpia, kun ilman tarve vaihtelee suuresti. Mäntäkompressorilla voidaan myös tuottaa korkeita paineita. Ruuvikompressorit on paineen ja ilmamäärän tuotoltaan keskialueella. Suuria aksiaalikompressoireita käytetään, kun tarvitaan suuria ilma-

määriä matalahkoilla paineilla. Paineilmakeskuksessa on tyypillisesti useampia kompressoreita käyttövarmuuden takaamiseksi. Isoissa laitoksissa tällä voidaan varmistaa myös ilman riittävyys huippukulutuksessa. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26–27; 30.)

Kompressorit voivat olla öljyvoideltuja tai voitelemattomia. Erityisesti mäntä-, kalvo- ja ruuvikompressoreita on mahdollista valmistaa voitelemattomina. Tällöin saadaan tuotettua täysin öljytöntä paineilmaa. Öljyttömyyttä voidaan vaatia herkkien instrumenttien vuoksi, tai jos paineilmaa käytetään elintarviketuotannossa, ruiskumaalauksessa tai hengitysilmassa. (Fonselius, Hautanen, Mutikainen, Pekkola, Salmijärvi & Simpura 1997, 45.)

### **3.1.1 Ruuvikompressori**

Ruuvikompressorissa on koteloituna kaksi roottoria, joita kutsutaan ruuvi- ja luistiroottoriksi. Rootto- reiden pyöriessä ilma puristuu näiden roottoreiden väliin jäävissä urissa. Ilma puristuu melko tasaisesti, joten paineilman tuotto on lähes sykkeetöntä. Ruuvikompressoreita voidaan valmistaa öljyvoideltui- na tai voitelemattomina. Öljy voitelee, tiivistää sekä johtaa lämpöä pois ruuviyksiköstä. Voidellun yk- sikön painesuhde voi olla jopa 15, kun taas voitelemattoman yksikön yksivaiheisella puristuksella saa- daan painesuhdeksi 3–5. Voitelemattomassa yksikössä täytyy roottoreiden väliin jättää välys, joka kompensoi lämpölaajenemista sekä lämmön aiheuttamaa roottoreiden vääntymää. (Airila ym. 1983, 30–33.) Kuvassa 1 on tyypillisen voitelemattoman ruuviyksikön rakenne.



KUVA 1. Voitelematon ruuviyksikkö (Atlas Copco 2011.)

Ruuviyksikkö voi siis olla öljyvoideltu. Tällöin öljy myös kuljettaa ilman puristuessa syntyvää lämpöä pois ruuviyksiköstä. Erityistapauksissa jäähdytykseen voidaan käyttää myös vettä. Jäähdytysaineeseen siirtynyt lämpö voidaan ottaa talteen paineilman erottelun jälkeen. Tyypillisiä käyttökohteita ovat tehdasilman ja käyttöveden lämmittäminen. (Airila ym. 1983, 91–93.)

### 3.1.2 Mäntätyyppiset kompressorit

Mäntätyyppisiin kompressoreihin luokitellaan usein mäntä- ja kalvotoimiset kompressorit. Mäntäkompressoreiden rakenne vaihtelee suuresti. Niillä saadaankin tuotettua painetta hyvin laajalla alueella, aina yhden barin ylipaineesta 1000 barin paineisiin asti. Yksinkertaisimmat rakenteet ovat rakennettu suoraan sähkömoottorin akselille, kun taas suurimmat ja monimutkaisimmat mäntäkompressorit ovat niin sanottua boxermallia. (Airila ym. 1983, 26–27.) Imutahdin aikana ilma imetään imuventtiilin läpi sylinteriin. Puristustahdin aikana pakoventtiili avautuu ja ilmanpaine nousee, kun virtausta vastustetaan. Venttiilit toimivat yleensä paine-erolla, eikä erillisiä ohjaustapoja yleensä tarvita. Mäntäkompres-

sori voi puristaa ilman yhdessä tai kahdessa vaiheessa. Mäntäkompressorin on mahdollista toimia öljyttömänä. Tällöin tarvitaan esimerkiksi teflonisia männänrenkaita ja kestovoideltuja laakereita. (Fonselius ym. 1997, 40.)

Mekaanisen kalvokompressorin toiminta eroaa mäntäkompressorista siinä, että mäntärakenne on korvattu metallikalvon, kiertokangen sekä epäkeskoakselin muodostamalla rakenteella. Hydraulisessa rakenteessa kiertokanki on korvattu nesteellä, jota mäntä liikuttaa. Näin saadaan metallikalvo liikkumaan edestakaisin ja luomaan painetta. Mekaanisella kalvokompressorilla saadaan tuotettua hyvin pieniä määriä öljytöntä paineilmaa, 3–10 barin paineilla. Monivaiheista puristusta käyttämällä hydraulisella kalvokompressorilla on mahdollista päästä jopa 1000 barin paineisiin. (Airila ym. 1983, 29.)

### 3.2 Paineilman jälkikäsitteleminen

Erilaiset käyttökohteet asettavat paineilmalle erilaisia laatuvaatimuksia. Haitallisia aineita paineilmassa ovat vesi, öljy sekä pöly- ja hiukkaslika. Nämä aineet voivat heikentää paineilmatyökalujen tai paineilmaa käyttävien laitteiden käyttöikää merkittävästi. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 33.)

#### 3.2.1 Paineilman laatu luokittelu

Paineilman laatu luokittelusta on olemassa ISO 8573-1:2010-standardi. Standardissa on määriteltynä partikkeleiden maksimimäärä, kiinteiden partikkeleiden maksimikoko, öljypitoisuus sekä vesipitoisuus kastepisteen avulla. (Sarlin 2013.) Kuviossa 2 on esitelty taulukko, josta selviää eri puhtausluokkien määrittelyrajat. Esimerkiksi valittaessa ISO 8573-1:2010 luokka 1.2.3 paineilma saa sisältää epäpuhtauksia seuraavasti:

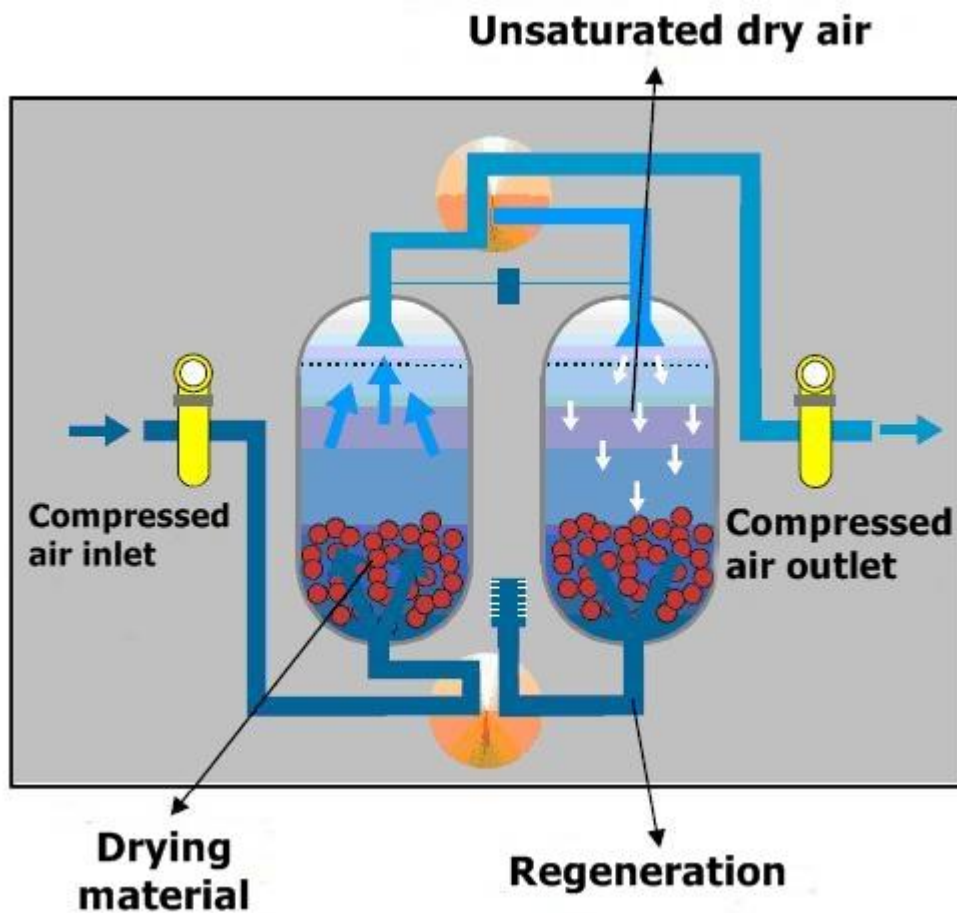
- Hiukkaslika
  - 0,1–0,5 µm partikkeleita enintään 20 000
  - 0,5–1 µm partikkeleita enintään 400
  - 1–5 µm partikkeleita enintään 10
  - Hiukkaslian massapitoisuus kuitenkin alle 5 mg/m<sup>3</sup>
- Vesi
  - Paineenalainen kastepiste -40°C tai alle
  - Veden massapitoisuus enintään 0,5 g/m<sup>3</sup>
- Öljy
  - Kokonaisöljyn massapitoisuus enintään 1 mg/m<sup>3</sup>

Luokka	Kiinteät hiukkaset			Massa- pitoisuus mg/m <sup>3</sup>	Vesi		Öljy  Kokonaisöljy mg/m <sup>3</sup>
	Hiukkasten maksimimäärä/m <sup>3</sup>				Paineen alainen kastepiste	Neste g/m <sup>3</sup>	
	0,1-0,5 µm	0,5-1 µm	1-5 µm				
0	Laitteen tai käyttäjän määrittelemä, kuitenkin 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	-
10	-	-	-	>10	-	>10	>10

TAULUKKO 1. Paineilman puhtausluokat ISO 8573-1:2010 mukaan (Mukaillen Sarlin 2013.)

### 3.2.2 Veden poistaminen paineilmasta

Suurimpia ongelmia paineilmaverkossa aiheuttaa kondenssi- eli lauhdevesi. Sen poistaminen paineilmasta on tärkeä ja hyvin yleinen ilman jälkikäsitteilytapa. Lauhdevesi voidaan poistaa paineilmasta syklonierottimella, välijäähdyttimillä, ilmasäiliön riittävällä mitoituksella tai ilmaputkien vesikuopilla. Paineilman kuivaaminen erilaisilla kuivaimilla on myös yleistä. Jäähdytyskuivain käyttää paineilmasta huomattavasti käyttöympäristöä matalammassa lämpötilassa, jolloin lauhde jää kuivaimeen ja paineilmasta kastepiste saadaan noin +2 celsiusasteeseen. Adsorptiokuivaimessa jokin kuivausaine, kuten silicageeli tai aktivoitu alumiinioksidi, kerää paineilmasta kosteuden. Yleensä käytetään kahta kuivauskolonnia, jotka kuivaavat ja elpyvät vuorotellen. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 34–37.) Kuivausaine elvytetään joko kuumentamalla sitä sähkövastuksen avulla, tai käyttämällä toisesta kolonnista saatavaa kuivaa paineilmaa. (Fonselius ym. 1997, 43.) Kuviossa 2 on esiteltyä ilmalla elvytettävän adsorptiokuivaimen rakenne.



KUVIO 2. Adsorptiokuivaimen rakenne (Dalgakiran 2013.)

Adsorptiokuivaimella voidaan saavuttaa jopa  $-80^{\circ}\text{C}$ :en kastepiste. Usein tyydytään kuitenkin  $-20^{\circ}\text{C}$ :en kastepisteeseen. Näin alhainen kastepiste mahdollistaa myös sen, että paineilmaverkossa ei välttämättä tarvita muuta vedenpoistoa tai joutsenkauvoja. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 34–37)

### 3.2.3 Öljyn poistaminen paineilmast

Paineilman mukana kulkeutuva öljy voi esiintyä nesteinä, aerosolina tai öljyhöyrynä. Öljyä sekoittuu paineilmaan aina, kun kompressorin öljyvoideltu. Lauhdeveteen sekoittuneena paineilmassa oleva öljy on erittäin haitallista paineilma-verkon komponenteille, sillä se tukkii suuttimia ja haurastuttaa tiivisteitä. Öljyn poistamiseksi paineilma-sta käytetään mekaanisia suodattimia, yhdistymissuodattimia tai adsorptiosuodattimia. Yhdistymissuodatin kokoaa pienet öljyhiukkaset suuremmiksi pisaroiksi, jotka valuvat suodattimen pohjalle. Mekaaninen suodatin on verkko- tai reikärakenteinen, joka pysäyttää suodatuskokoaa suuremmat öljyhiukkaset. Lääkinnällisessä käytössä paineilma ei saa sisältää mi-

tään makuja tai hajuja. Aktiivihiilisuodattimilla saadaan poistettua nämäkin haitat (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 38–39.)

### **3.2.4 Hiukkaslian suodattaminen**

Oman haasteensa asettaa myös hiukkaslika. Paineilman mukaan imeytyy aina myös hiukkasia, jopa 190 miljoonaa likahiukkasta jokaista imettyä ilmakuutiometriä kohti. Näiden mukana on viruksia, bakteereja sekä hiilivetyjä. Erilaisilla suodattimilla, kuten esi-, jälki-, mikro- sekä steriilisuodattimilla saadaan hiukkaset lähes kokonaan poistettua. Syklonierotin soveltuu veden poistamisen lisäksi myös hiukkasten poistamiseen. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 38.)

### **3.2.5 Huoltolaitteet**

Huoltolaitteilla tarkoitetaan laitteistoa, jotka huolehtivat toimilaitteille tulevan ilman puhtaudesta, taseisesta paineesta sekä voitelusta. Näillä laitteilla taataan pneumaattisten komponenttien ja toimilaitteiden pitkäikäisyys ja luotettava toiminta. Huoltolaitteet on yleensä sijoitettu käyttölaitteiden läheisyyteen. Vesi, öljy sekä pöly voidaan poistaa huoltolaitteiden suodatinpatruunoilla. Pneumaattiset komponentit ja laitteet voidaan suojata verkoston painenvaihteluilta tai liian suurilta paineilta paineensäätimellä. Paineensäätimellä voidaan myös rajoittaa paineilman tuottamaa maksimivoimaa. Huoltolaitteilla voitelu suoritetaan usein sumuvoiteluna, jolloin paineilmaan sekoitetaan jotain ilma-voiteluun sopivaa öljyä hienojakoisena sumuna. Näin toimilaitteiden kitkapinnat tulevat voidelluiksi ja ne ovat suojassa korroosiolta. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 43–44.)

## **3.3 Paineilmaverkosto**

Kompressorilla tuotettu ilma siirretään käyttökohteille paineilmaverkostoa pitkin. Verkosto voidaan rakentaa suoraksi verkoksi tai rengasverkoksi. Näiden yhdistelmä on myös mahdollinen. Suora verkko on yleisempi yksinkertaisen rakenteen ja matalampien rakennuskustannusten vuoksi. Rengasverkon etuina ovat suurempi verkoston tilavuus sekä paineilman kaksi kulkureittiä. Kaksi kulkureittiä mahdollistavat verkon osittaisen katkaisemisen esimerkiksi huoltoa varten ilman, että koko verkon paineilma katkeaa. (Airila ym. 1983, 96–97.)

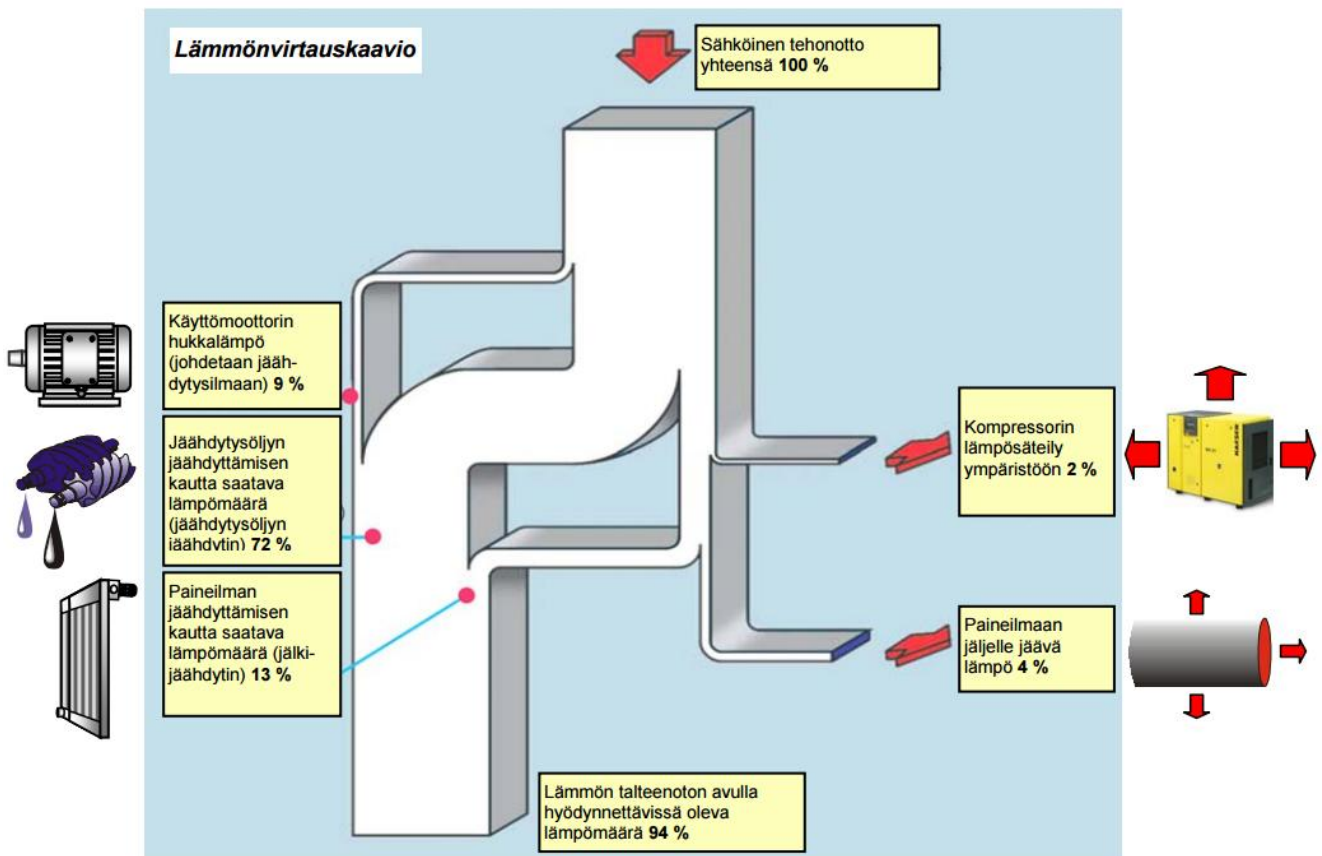
Paineilma johdetaan runkoputkesta jakeluputkeen ja siitä edelleen liitântäputkeen. Hyvin mitoitettu paineilmaputkisto aiheuttaa kompressorin ja käyttökohteen välillä vain noin 0,3 barin suuruisen paine-

häviön. Putkistohäviöön vaikuttavia tekijöitä ovat putkikoko, putkiston materiaali sekä putkiston pituus. Lisäksi paine, ilman virtausnopeus ja ilman lämpötila vaikuttavat painehäviön suuruuteen. Kertavastuksia aiheuttavat myös putkiston mutkat, supistuskappaleet, venttiilit sekä haarakappaleet. Kaikki nämä tulee ottaa myös huomioon putkistoja mitoitettaessa. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 87–89.)



### 3 KOMPRESSORILÄMMÖN TALTEENOTTO

Kun ilmaa puristetaan suurempaan paineeseen, siihen syntyy energiapotentiaali. Tämä potentiaali voidaan hyödyntää jäädyttämällä paineilmaa, laskemalla paine alempaan tasoon esimerkiksi käyttökohteessa tai ympäristöstä tapahtuvan lämmönoton kautta. Paineilmakompressoriin syötetystä sähköenergiasta sata prosenttia muuttuu lämpöenergiaksi. Tästä energiasta 72% jää voidelluissa kompressoreissa voiteluaineeseen, 13% paineilmaan ja noin 9% muodostuu sähkömoottorin lämpöhäviöissä. Parhaiten lämmön talteenottoon soveltuvat voidellut tai voitelemattomat ruuvikompressorit. Nykyaikaisilla, kokonaan koteloiduilla ruuvikompressoreilla lämpöenergiasta voidaan hyödyntää jopa 94 prosenttia. Lämpöenergiasta 4% jää paineilmaan ja 2% poistuu kompressorista lämpösäteilynä. (Kaeser Kompressorit Oy 2014 b, 2; Keinänen & Kärkkäinen 2005, 44–45.) Kuviossa 3 on esitettyä lämmönvirtauskaavio öljyvoidellussa ruuvikompressorissa.



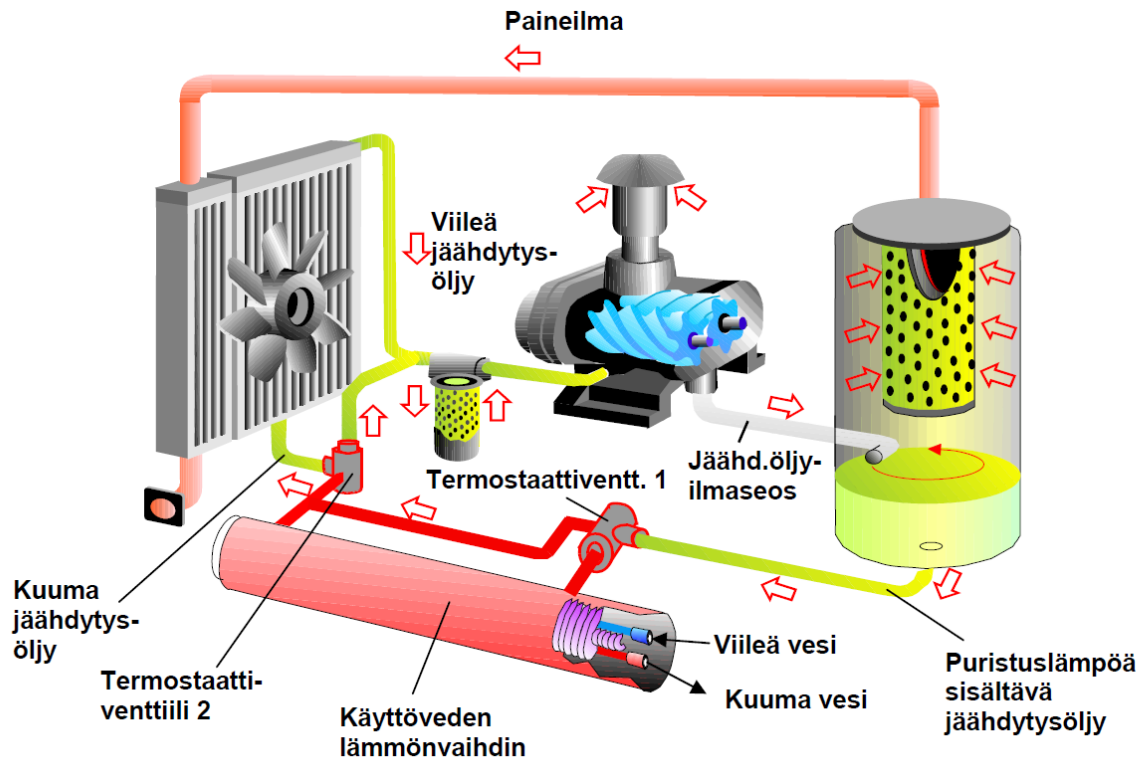
KUVIO 3. Lämmönvirtauskaavio (Kaeser Kompressorit Oy 2014 a, 3.)

### **3.1 Ilman lämmittäminen poistolämmöllä**

Helpoin ja yksinkertaisin tapa ottaa kompressorin tuottama lämpöenergia talteen on sisäilman lämmitys. Lämpö johdetaan kompressorista kanavaa pitkin viereisiin tiloihin. Jos lämpöä ei tarvita, automaattikka ohjaa lämmön muualle. Lämpö on mahdollista hyödyntää tällaisenaan myös kuivausprosesseissa, oviaukkojen tai tuulikaappien lämmityksessä sekä polttoilman esilämmityksessä. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 45) Tällä menetelmällä toteutettu lämmön talteenotto on hyvin halpa ratkaisu ja voi maksaa itsensä takaisin jopa vuodessa. (Kaeser Kompressorit Oy b.)

### **3.2 Veden lämmittäminen poistolämmöllä**

Lämpöenergia on mahdollista hyödyntää myös veden lämmittämiseen. Tyypillisiä kohteita ovat tällöin pesu- ja käyttövesi, prosessivesi ja yleinen prosessilämpö sekä rakennusten lämmitysvesi. Lämpö otetaan talteen kompressorin jäähdytysnestekiertoa kytketyllä lämmönvaihtimella. Yleisesti veden lämmittämiseen käytetään levylämmönvaihtimia, mutta erityisiä välipiirillisiä turvalämmönvaihtimia käytetään, kun lämmitettävälle vedelle on tiukat laatu- ja puhtausvaatimukset. Vesi voidaan lämmittää jopa 70°C lämpötilaan. Tällä menetelmällä voidaan ottaa talteen enimmillään 70–80 prosenttia kompressoriin syötetystä sähköenergiasta. (Kaeser Kompressorit Oy 2014 b.) Kuviossa 5 on esitetty lämmön talteenottojärjestelmä, jossa öljyvoidellun ruuvikompressin lämpö siirretään käyttöveteen putkilämmönvaihtimella.



KUVIO 4. Lämmön talteenotto käyttöveden lämmityksessä (Kaeser Kompessorit Oy 2014 a, 8.)

Termostaattiventtiili 1 huolehtii siitä, että kompressorin voitelevan öljyn lämpötila pysyy optimaalisella alueella. Jos öljyn lämpötila laskee liian alhaiseksi tai vettä ei tarvitse lämmittää, automatiikka ohittaa veden lämmönvaihtimen ja siirtyy ilmajäähdytykseen. (Kaeser Kompessorit Oy 2014 a.)

#### 4 MAITOKOLMION SIEVIN TEHTAAN PAINEILMA-ASEMA

Sievin yksikön paineilmajärjestelmää uudistettiin vuosina 2012–2013. Vanhan mäntäkompressorin ilman tuotto ei enää vastannut kasvaneen tuotannon vaatimaa tasoa, sillä verkon paine ei riittänyt sekä rahka- että mehuotantoon yhtäaikaaisesti. Riittämätön paine hidasti tuotantoa merkittävästi, sillä vain toista tuotantolinjaa voitiin käyttää kerrallaan. Vanhan kompressorin tilalle hankittiin välivaiheen kautta kolme Kaeser SM-15-mallin öljyvoideltua ruuvikompressoria. Näiden jokaisen kompressorin moottoriteho on 9 kilowattia, ja ne ovat hihnakäyttöisiä.

Kompressoreita ohjaa Kaeserin SIGMA CONTROL 2- järjestelmä, joka käyttää kompressoreita joko kuormituskäynnillä, kevennetyllä käynnillä tai valmiustilassa ilmantarpeen mukaan. Kuormituskäynnillä kompressorin imuventtiili on auki ja kompressori tuottaa paineilmaa verkkoon. Kevennetyllä käynnillä kompressorin imuventtiili sulkeutuu ja paineenpoistiventtiili aukeaa. Näin kompressori ei pysähdy, mutta ei myöskään tuota verkkoon lisää painetta. Valmiustilassa sähkömoottori pysähtyy kokonaan. (Kaeser Kompressoren GmbH 2012, 28.)

Kompressorit on mitoitettu siten, että tehtaan huippukulutuksella kaikki kolme kompressoria tuottavat ilmaa optimaalisella käyttöalueella, jossa yhdistyy korkea tuotto sekä matala energiankulutus. Verkon paineen alaraja on 6,1 baria ja yläraja 7,5 baria. Kompressoreiden tuotto tällä painealueella on 1,5 kuutiometriä ilmaa minuutissa (Kaeser Kompressorit Oy 2014 b.)

Paineilma käsitellään ISO 8573-1:2010 luokkaan 1.2.1. Tähän käytetään adsorptiokuivainta, hiukkas-suodatinta sekä öljysuodatinta. Adsorptiokuivain on tyypillinen kaksikammioinen kuivain, jossa kuivaavana aineena on aktivoitu alumiinioksidi. Kuvassa 3 on paineilma-asema sisältä käsin. Kuvassa ei näy kolmoskompressoria, joka jää kuvassa oikealle. Vasemmalla seinällä näkyvät pussit ovat aseman sisäilman suodattimia.



KUVA 3. Paineilma-asema sisältä

Tehdusrakennuksen tilan puutteen vuoksi paineilma-asema on sijoitettu rakennuksen ulkopuolella olevaan varastokonttiin. Kontti on sijoitettu tehtaan pakkausmateriaalivaraston puoleiselle seinustalle. Kontista on vedetty paineilman runkoputki meijerirakennuksen. Kuvassa 4 nähdään paineilma-asema ulkoa käsin. Paineilman runkolinja on nähtävissä kontin vasemmalla puolella.



KUVA 4. Paineilma-asema ulkoa

## 5 LÄMMÖNTUOTTO SIEVIN MEIJERILLÄ

Sievin meijerirakennuksen pääasiallinen lämmöntuotto on ulkoistettu kannuslaiselle lämpöenergiayritykselle nimeltään Keisari Pelletti Oy. Yritys huolehtii kahden pellettikattilan sekä niihin liittyvien laitteiden toiminnasta ja kunnossapidosta. Keisari Pelletti Oy toimittaa myös pelletin ja täyttää syötösäiliön. Lämpölaitoksessa käytetään kahta Pelltech PV 700- pellettipoltinta. Polttimien yhteisteho on 1400 kilowattia. Polttimet on sijoitettu myös erilliseen rakennukseen meijerirakennuksen ulkopuolelle. Lämmityksen varajärjestelmänä on vanha öljypoltin, jota käytetään vain pellettipolttimien häiriötilanteissa tai kovimpien pakkasten aikaan talvella. Öljypoltin on tehdasrakennuksen pannuhuoneessa. Kuvassa 5 on näkymä lämpöaseman sisältä.

Maitokolmio maksaa siis vain energiasta megawattituntia kohden. Lämpöenergian hinta Maitokolmiolle vuonna 2016 on 67,53 euroa per megawattitunti, kun arvonlisävero on nolla prosenttia.



KUVA 5. Näkymä lämpölaitoksen sisältä

## 6 SÄÄSTÖLASKELMAT

Vuonna 2015 Sievin ruuvikompressoreiden tuottama ilmamäärä oli 431 484 kuutiometriä ilmaa. Tähän käytettiin kokonaisuudessaan 44 591 kilowattituntia sähköenergiaa. Yhteensä kaikille kolmelle kompressorille käyttötunteja kertyi 5553. (LIITE 2.) SM-15-mallin ruuvikompressoriin syötetystä 9 kilowattista sähköenergiaa on hyödynnettävissä lämpönä maksimissaan 8,3 kilowattia. (Kaeser Kompressorit Oy b 2014, 11). Tämä 8,3 kilowattia on hyödynnettävissä kuitenkin vain kompressoreiden käydessä kuormituskäynnillä. Kevennyskäynnillä käydessään kompressorit ei purista ilmaa suurempaan paineeseen, joten lämmöntuotto on hyvin matala. Lämmön talteenoton laskelmat tuleekin suorittaa käyttämällä kuormatunteja käyttötuntien sijaan. (Harakka 2016.) Kompressorit olivat kuormakäytöllä yhteensä 4794 tuntia. Kompressorit 3 kuormatuntilukemissa on touko- ja kesäkuun kohdalla lukuvirhe, mutta virhe ei ole lopputuloksen kannalta merkityksellinen. Tällöin kompressoreiden hyödynnettävissä oleva lämpöenergia on enimmillään

$$4794 \text{ h} * 8,3 \text{ kW} = 39\,790,2 \text{ kWh}$$

Tämä määrä olisi hyödynnettävissä, mikäli lämpö käytettäisiin suoraan sellaisenaan sisäilman lämmittämiseen. Maitokolmion kannalta olisi kuitenkin hyödyllisempää käyttää kompressoreiden tuottama lämpö käyttöveden esilämmitykseen ennen pellettipoltinta. Kuumaa vettä käytetään kiertopesuihin, maidon ja mehujen pastörintiin, yleisenä käyttövetenä sekä rakennuksen lämmittämiseen. Edellä mainittu 39 790,2 kilowattituntia ei sisällä lämpöhäviöitä. Todellinen veden lämmittämiseen käytettävissä oleva lämpöenergia on arviolta 70–80 prosenttia putkisto- ja lämmönvaihdinhyötysuhteiden jälkeen (Harakka 2016.) Tämä vastaa noin 28 000–32 000 kilowattitunnin todellista, hyödynnettävissä olevaa lämpömäärää. Maitokolmion vuonna 2015 maksama lämpöenergian hinta on 67,53 €/MWh, joten rahallinen säästö olisi korkeintaan

$$32\,000 \text{ kWh} * 67,53 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \approx 2\,160 \text{ €}$$

Säästöpotentiaali on siis melko matala.



## **7 ONGELMAT LÄMMÖN TALTEENOTOSSA**

Lämmön talteenotossa havaittiin ongelmia, jotka yhdistettynä matalaan säästöpotentiaaliin estävät lämmön talteenoton tällaisenaan. Näiden ongelmien vuoksi päätimme olla ryhtymättä minkäänlaisiin toimenpiteisiin lämmön talteenottoon liittyen.

### **7.1 Ongelmat suorassa ilmalämmityksessä**

Suora sisäilman lämmittäminen ei ole mahdollista Sievin tehtaalla, koska kompressorit sijaitsevat tehdusrakennuksen ulkopuolella. Lähimpänä sisätilana on pakkaustarvikevarasto, jonka ilman lämpötila ja kosteus ovat tarkasti määriteltynä pakkaustarvikkeiden säilyvyyden kannalta. Lämpöä ei voida siis johtaa sellaisenaan suoraan pakkaustarvikevarastoon. Paineilma-asemalta katsoen varaston takana on pakkaussali. Pakkaussalissa pakkauskoneet, pastörintilalaitteistot sekä kiertopesut tuottavat jo merkittävän määrän lämpöä sisäilmaan, joten lisälämpöä ei välttämättä tarvita. Sosiaali- ja ruokalatilat sijaitsevat rakennuksen kellaritiloissa, eikä niissä ole niin suurta lisälämmön tarvetta, että säästöpotentiaali olisi hyödyllinen. Lisäksi kylmänä vuodenaikana kaikkea lämpöä ei voida johtaa paineilma-asemalta pois, sillä kompressorit vaativat vähintään 3°C:en lämpötilan toimiakseen (Kaeser Kompressoren GmbH 2012, 5.)

### **7.2 Ongelmat käyttöveden esilämmityksessä**

Käyttöveden esilämmityksessä ennen pellettipoltinta on myös haasteena kompressorien sijainti. Lähin kylmän käyttöveden putki, johon voitaisiin kytkeä lämmönvaihdin, sijaitsee yli 30 metrin päässä paineilma-asemasta, jolloin putkistoratkaisu asettaa suurimman ongelman. Sisäkautta kuljetetut putket eivät tarvitsisi kovin paksua eristystä, ja putkiston lämpöhäviöt tulisivat hyötykäyttöön sisäilman lämmityksessä. Sisäkautta kuljettuna paineilma-aseman ja pannuhuoneen välissä on kuitenkin aihiovarasto, laboratorio sekä useita paksuja seiniä. Valmiiksi ahtaat tilat sekä seinien läpäisyn tuomat kustannukset johtivat päätökseen, että sisäkautta putkia ei ryhdytä kuljettamaan.

Putkistojen veto tehtaalla ulkoseinää pitkin olisi yksinkertaisin ratkaisu, mutta käytännössä kannattamaton. Sievin tehtaalla tuotanto keskittyy arkipäiviin, eli viikonloppuisin ei pääasiassa ole tuotantoa. Talvisaikaan tämä aiheuttaisi merkittävän jäätymisriskin, jonka vuoksi putkistot pitäisi eristeen lisäksi

varustaa sähkösaatoin. Sähkösaattojen asentaminen ja käyttäminen lisäisivät investointikustannuksia ja alentaisivat merkittävästi kannattavuutta. Täten putkistojen kuljettaminen ulkokautta todettiin myös kannattamattomaksi vaihtoehdoksi. Kuva 6 havainnollistaa etäisyyttä paineilma-aseman ja pannuhuoneen välillä.



KUVA 6. Paineilma-aseman ja pannuhuoneen välinen etäisyys

### 7.3 Lämmönvaihdinratkaisun ongelmat

Oman haasteensa asettaa myös itse lämmön talteenoton lämmönvaihdinratkaisu. Käyttöveden tiukkojen puhtaus- ja turvallisuusvaatimuksien vuoksi lämmön talteenoton järjestelmä pitää olla sellainen, että jäähdytysöljyn ei saa olla mahdollista päästä kosketuksiin käyttöveden kanssa. Tähän tarkoitukseen on olemassa välipiirillisiä turvalämmönvaihtimia. SM-15 mallin ruuvikompressoreille Kaeser ei tarjoa valmista turvalämmönvaihdinta (Harakka 2016.) Täten lämmön talteenottojärjestelmä pitäisi kehittää välipiirilliseksi levy- tai putkilämmönvaihtimista. Tällainen järjestelmä vaatisi myös oman pienen pumppunsa. Tämä vaatii käytännössä asiantuntevaa suunnittelua kompressorivalmistajan kanssa. Haasteen asettaa myös kompressoreiden määrä. Kolme pientä kompressoria täytyisi kytkeä rinnan yhteen lämmönvaihtimeen, tai jokaiselle kompressorille täytyisi asentaa oma vaihtimensa.

## 8 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kompressorilämmön talteenoton kannattavuutta ja mahdollisuuksia Maitokolmio osuuskunnan Sievin tehtaalla. Samalla käsiteltiin paineilmaa, sen tuottamista sekä paineilman jälkikäsitelyä yleisellä tasolla. Tätä opinnäytetyötä työstäessäni opin paljon uutta, etenkin paineilmaista sekä sen tuottamisesta ja käyttämisestä. Yhteistyö Kaeser Kompressorit Oy:n edustajien kanssa oli myös mielekästä.

Opinnäytetyön edetessä tuli selväksi se, että näissä olosuhteissa lämmön talteenotto ei ole kannattavaa. Kannattamattomuus on seurausta valmiiksi matalasta energiankulutuksesta ja kompressoreiden hankalasta sijainnista. Mikäli kompressorit olisivat sijoitettuna eri paikkaan, esimerkiksi meijerirakennuksen sisälle, lämmön talteenotto voisi osoittautua kannattavaksi. Ahtaat tilat asettavat kuitenkin suuria haasteita, ja eri paikkaan sijoittaminen vaatisi uusien tilojen rakentamista. Kompressoreiden tuottaman lämmön talteenotto voi kuitenkin osoittautua tulevaisuudessa kannattavaksi, mikäli lämpöenergian hinta tai kompressoreiden käyttöaste nousee selkeästi.

Opinnäytetyö oli tuloksestaan huolimatta hyödyllinen. Tiukassa markkinatilanteessa ja alati kiristyvässä kilpailussa on myös turhien investointien määrä pidettävä mahdollisimman pienenä. Maitokolmio sai käytännössä selvityksen siitä, että tähän säästöpotentiaaliin ei ole hyödyllistä sijoittaa.

## LÄHTEET

- Airila, M., Hallikainen, K., Kääpä, J. & Laurila, T. 1983. Kompressorikirja. Helsinki: KK Laakapaino
- Atlas Copco 2011. Atlas Copco Z-series technology: oil free rotary screw casing (cutaway view). Saatavissa:  
[http://www.atlascopco.com/microsites/Images/oilfree%20rotary%20screw%20casing\\_tcm1340-3536433.jpg](http://www.atlascopco.com/microsites/Images/oilfree%20rotary%20screw%20casing_tcm1340-3536433.jpg). Viitattu 3.2.2016.
- Dalgakiran 2013. Auxiliary equipment: 2.2 Adsorption dryers. Saatavissa:  
<http://www.dalgakiran.com/energy-efficiency/compressed-air-systems/auxiliary-equipment>. Viitattu 5.2.2016.
- Fonselius, J., Hautanen, J., Mutikainen, T., Pekkola, K., Salmijärvi, O. & Simpura, A. 1997. Pneumatiikka. 8.–9. painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Harakka, T. 2016. Henkilökohtainen tiedonanto, puhelinkeskustelu. 1.4.2016.
- Hulkkonen, V. 2005. Pneumatiikan perusteita. FLUID Klinikka No 13. FLUID Finland. Saatavissa:  
<https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/9.pneumatiikan-perusteita.pdf>. Viitattu 21.1.2016
- Kaeser Kompressoren GmbH. 2012. Käyttöohje Ruuvikompressori SM Sigma Control 2.
- Kaeser Kompressorit Oy a. 2014. Kaeser paineilmaseminaari; Lämmön talteenottojärjestelmät.
- Kaeser Kompressorit Oy b. 2014. Lämmön talteenotto ja hyödyntäminen lämmityksessä ja lämpimän veden tuotannossa. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://fi.kaeser.com/Images/P-645-FI-tcm18-6757.pdf>. Viitattu 16.2.2015
- Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. Helsinki: WSOY.
- Maitokolmio Osuuskunta. Vuosikertomus 2014. Pdf-dokumentti. Saatavissa:  
[http://maitokolmio.fi/images/pdf/vuosikertomus\\_2014.pdf](http://maitokolmio.fi/images/pdf/vuosikertomus_2014.pdf). Viitattu 5.2.2016
- Mehukolmio Osuuskunta. Saatavissa: <http://www.mehukolmio.fi/>. Viitattu 5.2.2016
- Sarlin Oy Ab 2013. Paineilman laatustandardi ISO 8573-1:2010. Saatavissa:  
[http://www.sarlin.com/sarlin\\_products/ISO-85731--paineilman-laatustandardi/yhahhte4/8d099e6f-50f6-47f1-a00a-0d7af6ed010f](http://www.sarlin.com/sarlin_products/ISO-85731--paineilman-laatustandardi/yhahhte4/8d099e6f-50f6-47f1-a00a-0d7af6ed010f). Viitattu 2.2.2016.
- Tietoa Maitokolmiosta. Maitokolmio Osuuskunta 2013. Saatavissa:  
<http://www.maitokolmio.fi/index.php/fi/maitokolmio/tietoa-maitokolmiosta>. Viitattu 5.2.2016.

## Sievin paine-ilma aseman tiedot vuonna 2015

Tammikuu

<b>Paineilman kulutuslukemat</b>	Kuukaudessa	
Tehon kulutus yht.	3456	kWh
Tuotettu ilmamäärä, Kaeser yksiköt kontissa yhteensä	33334	m <sup>3</sup> ilmaa
Kaeser kompressori 1 - Käyntitunnit	137	h
Kaeser kompressori 1 - Kuormatunnit	114	h
Kaeser kompressori 2 - Käyntitunnit	174	h
Kaeser kompressori 2 - Kuormatunnit	149	h
Kaeser kompressori 3 - Käyntitunnit	121	h
Kaeser kompressori 3 - Kuormatunnit	107	h
Kaeser DC 50 E ilmankuivaimen sykli-laskuri	920	

Helmikuu

<b>Paineilman kulutuslukemat</b>	Kuukaudessa	
Tehon kulutus yht.	3652	kWh
Tuotettu ilmamäärä, Kaeser yksiköt kontissa yhteensä	35643	m <sup>3</sup> ilmaa
Kaeser kompressori 1 - Käyntitunnit	150	h
Kaeser kompressori 1 - Kuormatunnit	129	h
Kaeser kompressori 2 - Käyntitunnit	150	h
Kaeser kompressori 2 - Kuormatunnit	132	h
Kaeser kompressori 3 - Käyntitunnit	150	h
Kaeser kompressori 3 - Kuormatunnit	135	h
Kaeser DC 50 E ilmankuivaimen sykli-laskuri	889	

Maaliskuu

<b>Paineilman kulutuslukemat</b>	Kuukaudessa	
Tehon kulutus yht.	4093	kWh
Tuotettu ilmamäärä, Kaeser yksiköt kontissa yhteensä	40138	m <sup>3</sup> ilmaa
Kaeser kompressori 1 - Käyntitunnit	168	h
Kaeser kompressori 1 - Kuormatunnit	144	h
Kaeser kompressori 2 - Käyntitunnit	169	h
Kaeser kompressori 2 - Kuormatunnit	148	h
Kaeser kompressori 3 - Käyntitunnit	169	h
Kaeser kompressori 3 - Kuormatunnit	154	h
Kaeser DC 50 E ilmankuivaimen sykli-laskuri	978	

## Huhtikuu

**Paineilman kulutuslukemat**

	Kuukaudessa	
Tehon kulutus yht.	3714	kWh
Tuotettu ilmamäärä, Kaeser yksiköt kontissa yhteensä	36321	m <sup>3</sup> ilmaa
Kaeser kompressori 1 - Käyntitunnit	153	h
Kaeser kompressori 1 - Kuormatunnit	132	h
Kaeser kompressori 2 - Käyntitunnit	153	h
Kaeser kompressori 2 - Kuormatunnit	135	h
Kaeser kompressori 3 - Käyntitunnit	153	h
Kaeser kompressori 3 - Kuormatunnit	137	h
Kaeser DC 50 E ilmankuivaimen sykli-laskuri	953	

## Toukokuu

**Paineilman kulutuslukemat**

	Kuukaudessa	
Tehon kulutus yht.	3539	kWh
Tuotettu ilmamäärä, Kaeser yksiköt kontissa yhteensä	34039	m <sup>3</sup> ilmaa
Kaeser kompressori 1 - Käyntitunnit	149	h
Kaeser kompressori 1 - Kuormatunnit	123	h
Kaeser kompressori 2 - Käyntitunnit	148	h
Kaeser kompressori 2 - Kuormatunnit	128	h
Kaeser kompressori 3 - Käyntitunnit	149	h
Kaeser kompressori 3 - Kuormatunnit	309	h
Kaeser DC 50 E ilmankuivaimen sykli-laskuri	848	

## Kesäkuu

**Paineilman kulutuslukemat**

	Kuukaudessa	
Tehon kulutus yht.	3936	kWh
Tuotettu ilmamäärä, Kaeser yksiköt kontissa yhteensä	36249	m <sup>3</sup> ilmaa
Kaeser kompressori 1 - Käyntitunnit	167	h
Kaeser kompressori 1 - Kuormatunnit	126	h
Kaeser kompressori 2 - Käyntitunnit	168	h
Kaeser kompressori 2 - Kuormatunnit	133	h
Kaeser kompressori 3 - Käyntitunnit	185	h
Kaeser kompressori 3 - Kuormatunnit	-38	h
Kaeser DC 50 E ilmankuivaimen sykli-laskuri	891	

## Heinäkuu

**Paineilman kulutuslukemat**

	Kuukaudessa	
Tehon kulutus yht.	3987	kWh
Tuotettu ilmamäärä, Kaeser yksiköt kontissa yhteensä	38956	m <sup>3</sup> ilmaa
Kaeser kompressori 1 - Käyntitunnit	169	h
Kaeser kompressori 1 - Kuormatunnit	146	h
Kaeser kompressori 2 - Käyntitunnit	169	h
Kaeser kompressori 2 - Kuormatunnit	149	h
Kaeser kompressori 3 - Käyntitunnit	151	h
Kaeser kompressori 3 - Kuormatunnit	137	h
Kaeser DC 50 E ilmankuivaimen sykklilaskuri	983	

## Elokuu

**Paineilman kulutuslukemat**

	Kuukaudessa	
Tehon kulutus yht.	3552	kWh
Tuotettu ilmamäärä, Kaeser yksiköt kontissa yhteensä	34583	m <sup>3</sup> ilmaa
Kaeser kompressori 1 - Käyntitunnit	147	h
Kaeser kompressori 1 - Kuormatunnit	125	h
Kaeser kompressori 2 - Käyntitunnit	147	h
Kaeser kompressori 2 - Kuormatunnit	128	h
Kaeser kompressori 3 - Käyntitunnit	147	h
Kaeser kompressori 3 - Kuormatunnit	131	h
Kaeser DC 50 E ilmankuivaimen sykklilaskuri	902	

## Syyskuu

**Paineilman kulutuslukemat**

	Kuukaudessa	
Tehon kulutus yht.	4042	kWh
Tuotettu ilmamäärä, Kaeser yksiköt kontissa yhteensä	39404	m <sup>3</sup> ilmaa
Kaeser kompressori 1 - Käyntitunnit	166	h
Kaeser kompressori 1 - Kuormatunnit	142	h
Kaeser kompressori 2 - Käyntitunnit	166	h
Kaeser kompressori 2 - Kuormatunnit	146	h
Kaeser kompressori 3 - Käyntitunnit	165	h
Kaeser kompressori 3 - Kuormatunnit	150	h
Kaeser DC 50 E ilmankuivaimen sykklilaskuri	997	

Lokakuu

<b>Paineilman kulutuslukemat</b>	Kuukaudessa	
Tehon kulutus yht.	3492	kWh
Tuotettu ilmamäärä, Kaeser yksiköt kontissa yhteensä	33765	m <sup>3</sup> ilmaa
Kaeser kompressori 1 - Käyntitunnit	144	h
Kaeser kompressori 1 - Kuormatunnit	122	h
Kaeser kompressori 2 - Käyntitunnit	144	h
Kaeser kompressori 2 - Kuormatunnit	125	h
Kaeser kompressori 3 - Käyntitunnit	145	h
Kaeser kompressori 3 - Kuormatunnit	129	h
Kaeser DC 50 E ilmankuivaimen syklilaskuri	936	

Marraskuu

<b>Paineilman kulutuslukemat</b>	Kuukaudessa	
Tehon kulutus yht.	3576	kWh
Tuotettu ilmamäärä, Kaeser yksiköt kontissa yhteensä	34797	m <sup>3</sup> ilmaa
Kaeser kompressori 1 - Käyntitunnit	148	h
Kaeser kompressori 1 - Kuormatunnit	125	h
Kaeser kompressori 2 - Käyntitunnit	148	h
Kaeser kompressori 2 - Kuormatunnit	129	h
Kaeser kompressori 3 - Käyntitunnit	147	h
Kaeser kompressori 3 - Kuormatunnit	132	h
Kaeser DC 50 E ilmankuivaimen syklilaskuri	892	

Joulukuu

<b>Paineilman kulutuslukemat</b>	Kuukaudessa	
Tehon kulutus yht.	3552	kWh
Tuotettu ilmamäärä, Kaeser yksiköt kontissa yhteensä	34255	m <sup>3</sup> ilmaa
Kaeser kompressori 1 - Käyntitunnit	147	h
Kaeser kompressori 1 - Kuormatunnit	124	h
Kaeser kompressori 2 - Käyntitunnit	147	h
Kaeser kompressori 2 - Kuormatunnit	127	h
Kaeser kompressori 3 - Käyntitunnit	143	h
Kaeser kompressori 3 - Kuormatunnit	130	h
Kaeser DC 50 E ilmankuivaimen syklilaskuri	971	