

Selvitys Metsä Fibren Kemin tehtaan paineilmajärjestelmästä

Teemu Niska

Teollisuuden ja luonnonvarojen koulutusohjelman opinnäytetyö
Tuotantotekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2014

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Metsä Fibren Kemin tehtaalle.

Metsä Fibren puolelta ohjaajana toimi Hannu Kontiola sekä prosessissa oli mukana myös laaja joukko Kemin tehtaan henkilöstöstä, heille suuri kiitos, että tämä opinnäytetyö toteutui. Kiitokset myös kaikille muille, jotka osallistuivat tähän työhön.

Suuret kiitokset myös ammattikorkeakoulun puolelta valvojana toimineelle opettaja Lauri Kantolalle, jonka ohjaus ja opastus mahdollistivat tämän työn.

Lisäksi haluan kiittää perhettäni, ystäviä ja kaikkia läheisiä henkilöitä, jotka ovat olleet tukena tämän opinnäytetyön valmistumisessa.

Kemi 19.02.2014

Teemu Niska

TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Teollisuus ja luonnonvarat

Koulutusohjelma:	Kone- ja tuotantotekniikka
Opinnäytetyön tekijä:	Teemu Niska
Opinnäytetyön nimi:	Selvitys Metsä Fibren Kemin tehtaan paineilmajärjestelmästä
Sivuja (joista liitesivuja):	43 (6)
Päiväys:	19.02.2014
Opinnäytetyön ohjaaja:	TkL Lauri Kantola
<p>Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena koota yksiin kansiin Metsä Fibre Kemin tehtaan paineilmajärjestelmä ja esittää siihen mahdollisia parannusehdotuksia. Opinnäytetyö tehtiin Metsä Fibre Oy:lle Kemin tehtaalle.</p> <p>Työn tavoitteena oli etsiä ympäri tehdasta sijoitettu tieto paineilmajärjestelmästä ja saattaa se helposti luettavaan muotoon. Työssä myös esitetään mahdollisia parannuksia vanhan kaluston tilalle ja tulevaisuuden hankintaehdotuksia. Tarkoituksena oli saada Metsä Fibren Kemin tehtaalle mahdollisimman energiatehokas ja taloudellinen paineilmajärjestelmä.</p> <p>Työn tieto hankittiin yleistä aineistoa apuna käyttäen sekä tehtaan sisäisiä tietolähteitä hyödyntäen. Suuressa roolissa olivat myös kompressorin valmistajien luovuttamat lähteet. Työ koostui tiedonkeruusta ja sen yhteensovittamisesta sekä teoriaosuudesta.</p> <p>Työn PI-kaaviot tulevat helpottamaan tulevaisuudessa paineilmajärjestelmän tarkastelua mahdollisten vuotojen tai hankintojen ohella. Työssä käy ilmi mahdolliset tulevaisuuden hankinnat ja niiden hyödyt.</p>	
Asiasanat: paineilmajärjestelmä, kompressori, vuodot.	

ABSTRACT

LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Industry and Natural Resources

Degree program:	Mechanical and Production Engineering
Author:	Teemu Niska
Title of Thesis:	Research of Pneumatic System of Metsä Fibre Oy Kemi Mill
Number of Pages (of 43 (6) which attachments):	
Date of submission:	19 February 2014
Supervisor:	Lauri Kantola Lic.Sc. (Tech.)
<p>The purpose of this thesis was to sum up the pneumatic system of Metsä Fibre Oy Kemi Mill and to introduce proposals for improving the system. This thesis was made for the Metsä Fibre Oy Kemi Mill.</p> <p>The aim of the thesis was to gather all the scattered information found within the mill system on the pneumatic system, and then to present it in an easily readable form. There are also proposals for ways to renew the old machinery and proposals for future acquisitions. The main goal was to make the pneumatic system as energy efficient and cost-effective as possible for the Metsä Fibre Oy Kemi Mill.</p> <p>The information found within this thesis was acquired by using general literature on the subject and internal sources within the mill. A great deal of information was also provided by the compressor manufacturer. The thesis consists of a theory section and a practical section, which was carried out by gathering and combining information.</p> <p>The P&I diagrams within this thesis will ease the examination of the pneumatic system in case of possible leakage and the planning of new acquisitions. Possible future acquisitions and their benefits are also discussed in the thesis.</p>	
Keywords: pneumatic system, compressor, leakage, leak.	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	8
2 PAINEILMAJÄRJESTELMÄ	9
2.1 Kompressori	10
2.2 Kemin integraatin kompressorit	11
2.3 Jälkijäähdytin.....	17
2.4 Paineilmasäiliö	17
2.5 Jäähdytyskuivain	17
2.6 Adsorptiokuivain	18
2.7 Yhdistelmäkuivain.....	18
2.8 Paineilman suodatus	19
3 KEMIN METSÄ FIBREN TEHTAAN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ.....	20
3.1 Tehtaan reittikaavio	20
3.2 Haihuttamon PI-kaavio ja keskeiset laitteet	20
3.2.1 Kompressorit	21
3.2.2 Kuivaimet.....	21
3.2.3 Paineilmasäiliö	21
3.3 Valkaisimo 2:n PI-kaavio ja keskeiset laitteet	22
3.3.1 Kompressori	22
3.3.2 Kuivain.....	22
3.4 Kartongin PI-kaavio ja keskeiset laitteet.....	23
3.4.1 Kompressorit	23
3.4.2 Kuivaimet.....	23
4 PI-KAAVIOISSA KÄYTETYT MERKINNÄT.....	24
5 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN PARANNUSEHDOTUKSET	27
5.1 Paineilmajärjestelmän ohjaus	29
5.2 Taajuusmuuttajaohjattu ruuvikompressori	30
5.3 Turbokompressori	31

6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	34
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET	37

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

kW	kilowatti
m ³	kuutiometri
SAP	(System Application and Products in data processing) Toiminnanohjausjärjestelmä

1 JOHDANTO

Metsä Fibren Kemin tehdas on sellua tuottava yritys, joka toimii Kemissä yhteistyössä kartonkia tuottavan Metsä Boardin kanssa. Metsä Fibre (Kuva 1) valmistaa pääosin sellun eri lajeja. Sellulajit ovat armeeraussellu, havusellu ja koivusellu. Näistä erilaisista sellumassoista voidaan jatkojalostaa aikakauslehtipaperia, pakkaustuotteita, kartonkia sekä erinäisiä erikoispapereita. Yrityksen sellutoimitukset menevät suurimmaksi osaksi Suomeen, mutta Itochu-osakkuuden myötä Kiinan kaupankäynti on myös kasvanut huomasti. Pienempiä eriä toimituksista menee muualle maailmaan. (Metsä Fibren www-sivut 2013, hakupäivä 13.11.2013; Posti 25.11.2013, sähköpostiviesti)

Metsä Botnia perustettiin vuonna 1973, jolloin rakennettiin sellutehdas Kaskisiin. Vuonna 1991 sellua ja kartonkia valmistava Kemi Oy fuusioitiin Metsä Botniaan. Vuonna 2012 Metsä Botnia muutti nimensä uusien osakkaiden myötä Metsä Fibreksi ja tuli näin osaksi Metsä Groupia. (Metsä Fibren www-sivut 2013, Hakupäivä 13.11.2013)

Metsä Fibren Kemin tehtaan paineilmajärjestelmä on koko tehtaan laajuinen yhteinen verkosto, johon kuuluu useita paineilmaa tuottavia kojeita. Paineilmaverkosto on kasvanut vuosien mittaan ja sen täsmällistä rakennetta ei ole dokumentoitu laajennusten yhteydessä.

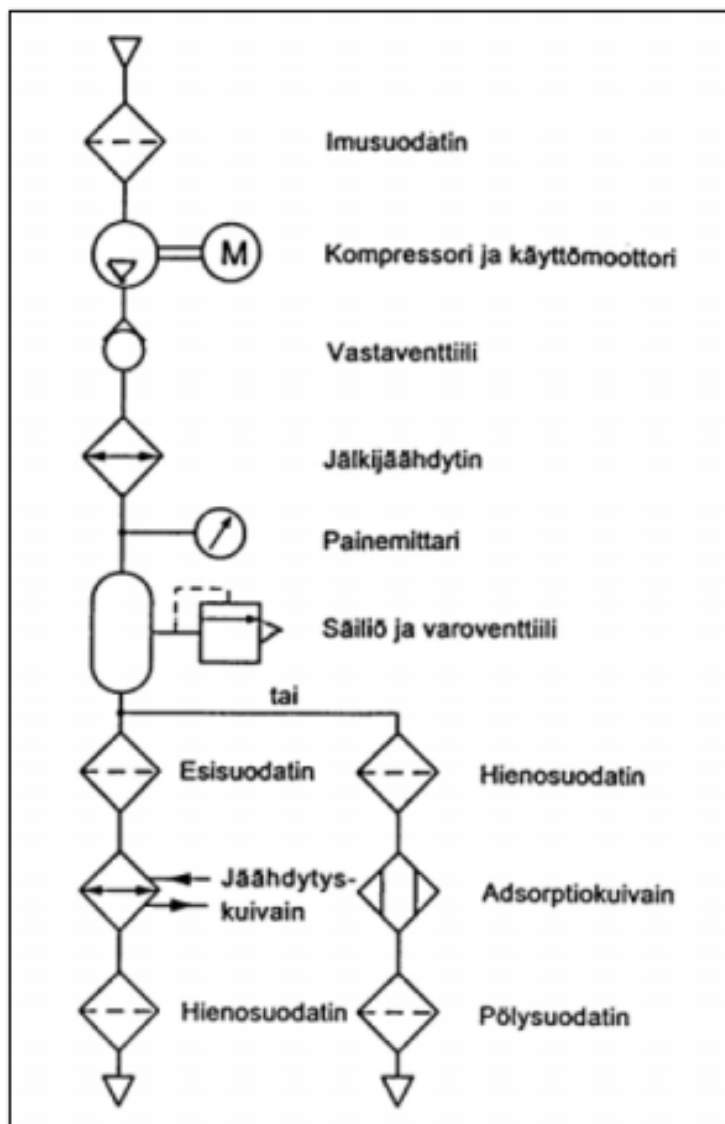
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on koota yksiin kansiin koko Metsä Fibren ja Kemin tehtaan paineilmajärjestelmän kuvaukset ja kaaviot, sekä löytää mahdollisia parannusehdotuksia paineilmajärjestelmän ilmantuotannon puolelle.



Kuva 1. Metsä Fibren logo (Äänekosken kaupunkisanomat 2012, hakupäivä 11.10.2013)

2 PAINEILMAJÄRJESTELMÄ

Paineilmalla tarkoitetaan tiiviiksi puristettua ilmaa. Paineilma on ylipaineista ilmaa, jota käytetään yleensä erinäisten laitteiden ja koneiden käyttövoimana. Paineilmajärjestelmän yleinen periaate on, että kompressorin imee ympäristöstään ilmaa ja puristaa sen ennalta määrättyyn paineeseen. Kun kompressorin on puristanut ilman haluttuun paineeseen, niin sen jälkeen ilma jälkikäsitellään kuivaimien ja suodattimien avulla ennen kuin se syötetään paineilmaverkkoon. Paineilmajärjestelmän kokoonpanoa havainnollistetaan kuvassa 2. (Keinänen & Kärkkäinen 2000, 23)



Kuva 2. Paineilmajärjestelmän yleinen rakenne (Keinänen & Kärkkäinen 2000, 23)

Teollisuuden paineilmajärjestelmään sisältyy yleensä kompressori, paineilman jälkikäsitteilylaitteet, paineilmasäiliö (ei aina välttämätön), paineilmaverkosto ja toimintaa ohjaavat venttiilit sekä toimilaitteet, kuten sylinterit ja moottorit. (Keinänen & Kärkkäinen 2000, 22)

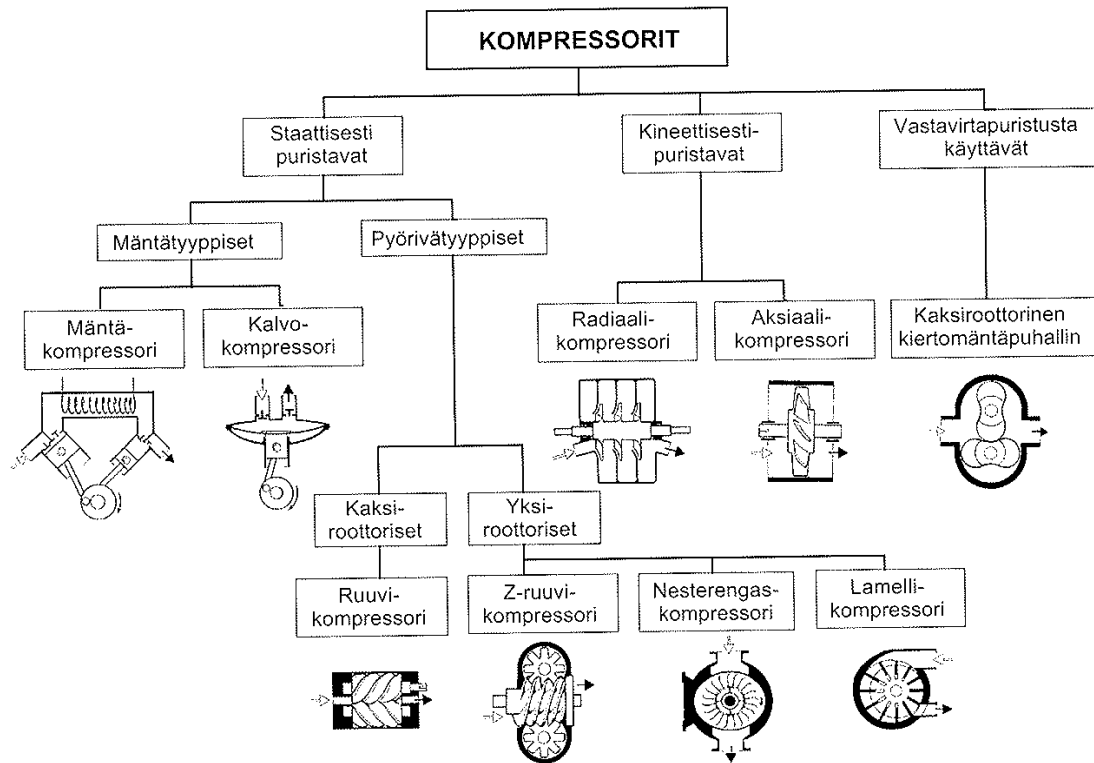
Paineilmajärjestelmää suunniteltaessa on otettava huomioon mm. paineilman kulutuslaitteiden koko ja lukumäärä, jotta voidaan määrittää kuinka suureen järjestelmään on tarve. Pneumaattiset laitteet mitoitetaan tapauskohtaisesti ja tilaajan toiveiden mukaan, mutta jos järjestelmä mitoitetaan huomioimatta esim. mahdolliset pienet vuodot, niin laitteisto voi käydä melko nopeasti riittämättömäksi. (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 59)

Paineilmaverkoston suunnittelulle ei ole mitään erityistä kaavaa, koska jokainen paineilmaverkko on yksilöllinen. Verkoston tyyppiin vaikuttavat mm. ympäristötekijät ja kulutuksen määrä. Tärkeimmiksi tekijöiksi voidaan kuitenkin lukea siirtoetäisyydet, kulutuskohteiden jakautuminen sekä niiden tarvitsemat ilmamäärät. Yksinkertaisuudessaan paineilmakeskuksesta syötettävä paineilma johdetaan syöttöputkella runkoputkeen, jonka jälkeen se johdetaan jakeluputkella laitteille ja työkaluliitännöille. Verkkojen perusrakenteita ovat suora verkko, rengasverkko ja näiden verkkojen yhdistelmä. Suorassa verkossa käytetään yhtä putkea, josta ilma johdetaan käyttökohteisiin. Rengasverkossa käytetään useita putkia ja liitoksia. Rengasverkossa ilma kulkee aina kahta reittiä ja välissä voidaan käyttää useita sulkuventtiileitä, joilla osa verkosta voidaan eristää muiden osien häiriintymättä. Kemin tehtaalla paineilmajärjestelmää on vuosien saatossa paranneltu ja uudistettu. Tehtaan PI-verkosto on suoran verkon ja rengasverkon yhdistelmä. (Ellman 2002, 59-60)

2.1 Kompressori

Kompressoriksi kutsutaan laitetta, jolla voidaan nostaa kaasun painetta vähintään kaksinkertaiseksi verrattuna imupaineeseen. Pienempiä pneumaattiseen siirtoon tarkoitettuja laitteita kutsutaan puhaltimiksi ja ahtimiksi, joille tunnusomaista on pienehkö painesuhde eli puristuksen loppu- ja alkupaineen suhde. Kompressorit voidaan jaotella kolmeen pääryhmään eli staattisesti puristaviin, kineettisesti puristaviin ja vastavirtapu-

ristusta käytäviin kompressoreihin. Kompressorien pääryhmiä ja niiden alaryhmiä esitetään kuvassa 3. (Ellman 2002, 43; Keinänen & Kärkkäinen 2000, 25)



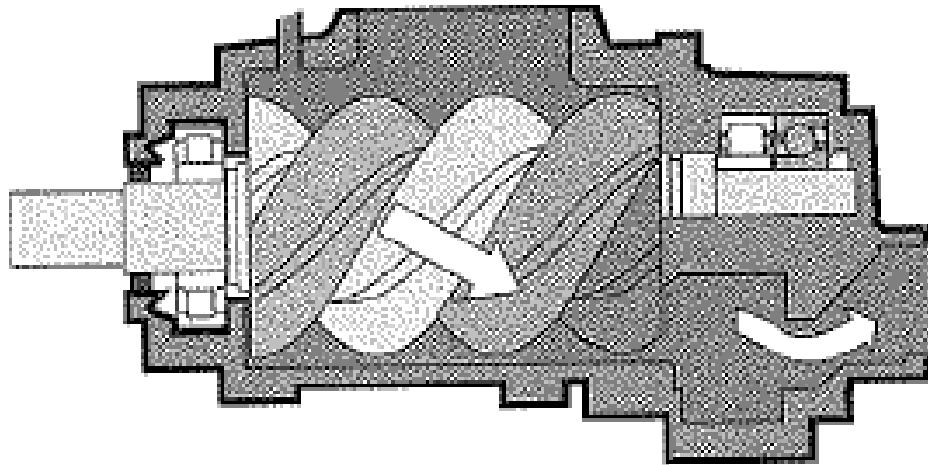
Kuva 3. Kompressorien sukupuu (Keinänen & Kärkkäinen 2000, 25)

2.2 Kemin integraatin kompressorit

Metsä Fibren Kemin tehtaalla käytettävät kompressorit ovat kaikki öljyttömiä ruuvi-kompressoreja. Tämän tyyppisissä kompressoreissa puristus tapahtuu ruuvi- ja luistiroottorin väliin jäävissä urissa. Kuva 4 havainnollistaa hyvin, miten ilma virtaa ruuvin läpi luoden puristuspaineen. Puristettu paineilma on sykkeetöntä ja tästä johtuen kompressori on mäntäkoneita hiljaisempi. (Keinänen ja Kärkkäinen 2000, 27; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a.)

Ruuvikompressoreja on olemassa öljyttömiä ja öljyvoideltuja malleja. Ensimmäiset ruuvikompressorit olivat öljyttömiä ja perustuivat siihen, että roottorit eivät koskettaneet toisiaan, vaan niitä pyöritettiin hammaspyöräkäytöllä. Nämä kompressorit eivät kuitenkaan pystyneet tuottamaan kuin 3-5 arvoista painesuhdetta. Voidelluissa ruuvikompressoreissa roottorit koskettavat toisiaan, jolloin tarvitaan öljyvoitelua. Hyötysuhde paranee ja parhaimmillaan voidaan päästä jopa painesuhdearvoon 13-15.

Tämän tyyppiset kompressorit eivät tarvitse imu- ja paineventtiilejä, koska ilma kulkee imuaukosta sisään ja paineaukosta ulos. Tuoton säätöä voidaan ohjailta kolmella eri tavalla eli imuvirtausta kuristamalla, käyntinopeutta säätämällä tai kierrättämällä painevirtausta takaisin imupuolelle. (Keinänen & Kärkkäinen 2000, 27; Ellman 2002, 44-45; Airila, Hallikainen, Käpä & Laurila 1983, 32)

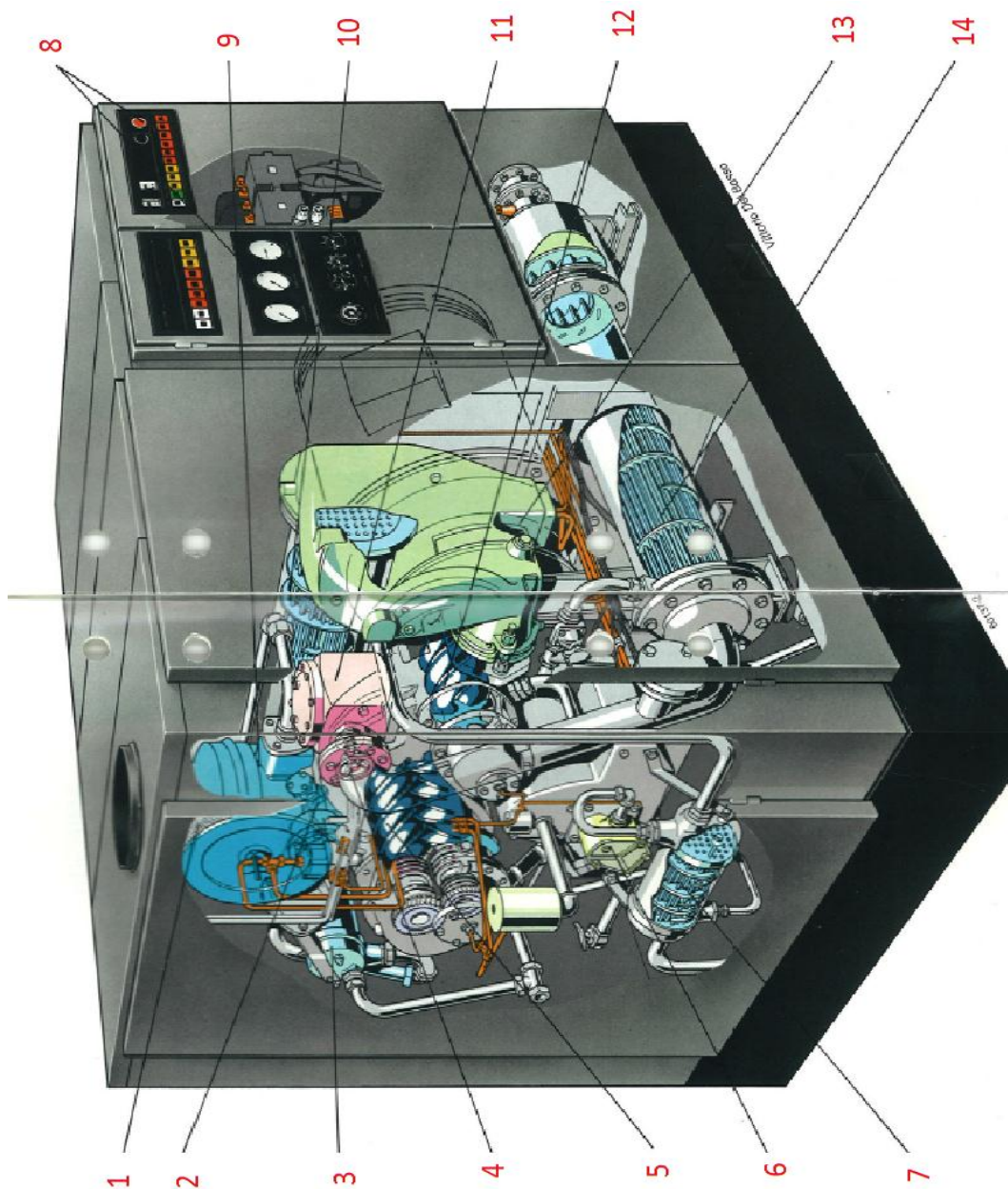


Kuva 4. Ilman läpivirtaus ruuvista (Ellman 2002, 45)

Yleisesti ruuvikompressoreiden kuorien sisälle on pakattu muutakin kuin pelkkä ruuvi. Kuvassa 5 esitetään, miten Kemin tehtaan kompressorit ja niiden komponentit on pakattu kuorien sisään. Kuva havainnollistaa hyvin sen, miltä Atlas Copcon kompressorit todellisuudessa näyttävät ulkoisesti ja siitä käy myös ilmi komponenttien numerointi.

1. Imuilmansuodatin, joka toimii karkeanerottimena kaikille epäpuhtauksille, mitä imuilman mukana tulee.
2. Imuilman kuristusventtiili säätelee kompressoriin tulevan ilman määrää sen todellisen tarpeen mukaan.
3. Puhallusjäähdytin jäähdyttää sen pienen ilmamäärän, mikä kiertää kompressorissa tyhjäkäynnin aikana.
4. Vastaventtiili sulkee poistoilma-aukon ja estää siten paineilman virtaamisen verkostosta takaisin kompressoriin tyhjäkäynnin aikana.
5. Matalapaine-elementti pitää sisällään kaksi ruuviroottoria, jotka puristavat ilman välipaineeseen.

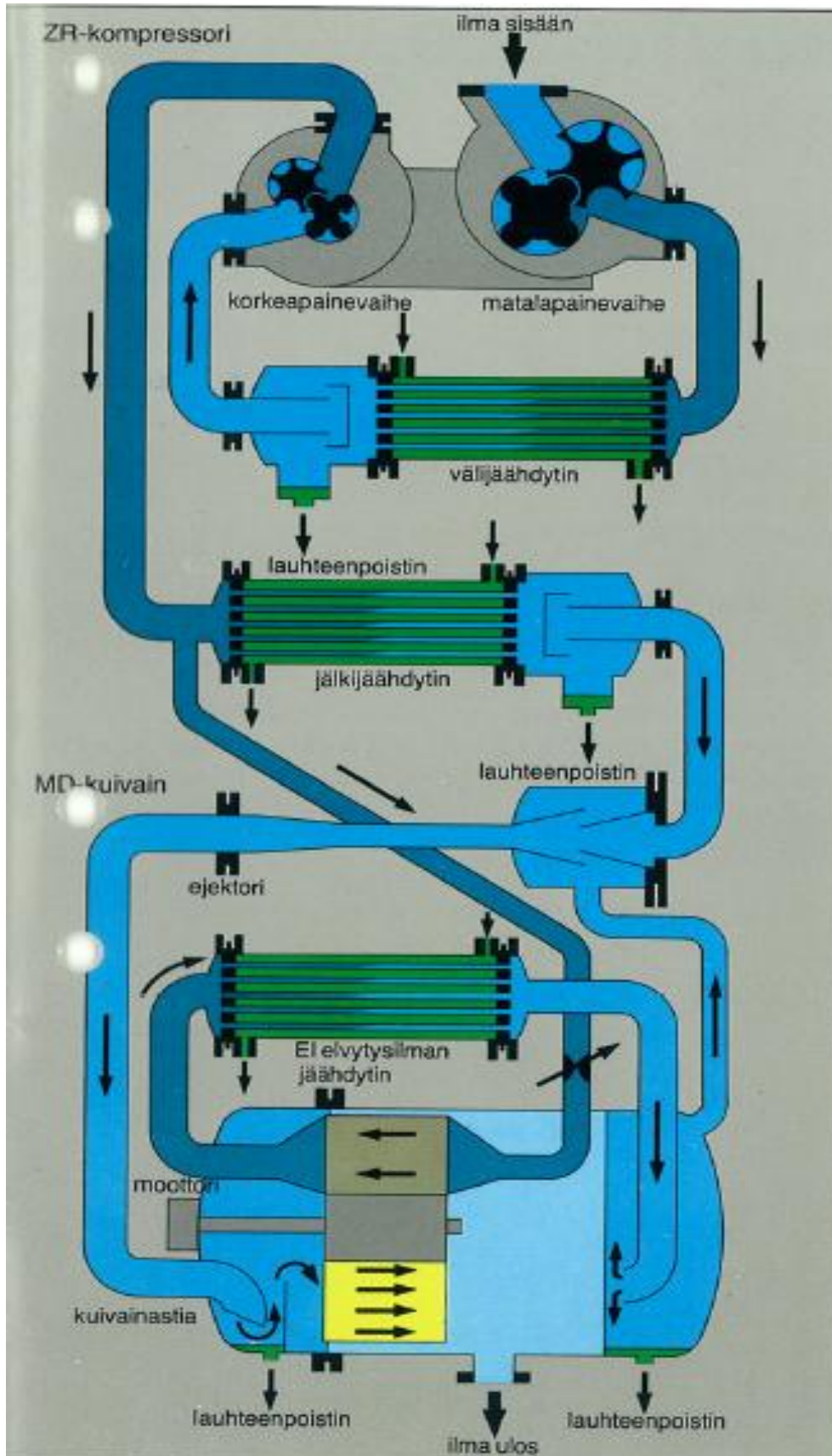
6. Hammaspyörämallinen öljypumppu, joka toimii kompressorin pääakselin pyörittämänä ja se siirtää öljyn säiliöstä jäähdyttimen sekä öljynsuodattimen kautta eri voitelukohteisiin.
7. Öljynjäähdyttimessä öljy imee itseensä lämpöä voidellessaan käyttöpyörästä, laakereita ja synkronointivaihteita. Öljynjäähdytin poistaa tämän lämmön ennen kuin öljy uudestaan palaa kiertoonsa.
8. Valvontakojelauta sisältää kaikki ne mittarit ja kojeet, joiden ansiosta koneen käyttö ja valvonta mahdollistuu.
9. Imuäänenvaimennin vaimentaa matalapaine-elementin synnyttämän melun.
10. Välijäähdytin jäähdyttää matalapaine-elementissä syntyvän kuumaa puristettua ilmaa.
11. Äänenvaimennin, joka on loppupaineen poistoilmalle
12. Korkeapaine-elementissä ilmaa puristetaan haluttuun työpaineeseen.
13. Vedenerotin erottaa ja poistaa jatkuvasti välijäähdyttimessä muodostuvan lauhdeveden.
14. Jälkijäähdytin jäähdyttää korkeapaine-elementistä lähtevän ilmaa. (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a.)



Kuva 5. Atlas Copcon Z kompressorin rakenne (Metsä Fibre Kemlin tehdas 2013a.)

Ruuvikäyttöisen kompressorin komponenttien ilmakierto on yksinkertaisuudessaan kuvattu hyvin Atlas Copcon manuaalissa (Kuva 6). Kuvassa esitettyä ilmakiertoa ei voi yleistää, koska kuva on esimerkki Atlas Copcon ZR-kompressorin ja MD-kuivaimen yhteistoiminnasta, mutta peruseriaate on kaikissa ruuvikompressoreissa samankaltainen. Ensiksi ilma tulee sisään imuaukosta imu-suodattimen läpi, jonka jälkeen se puristuu välipaineeseen matalapainevaiheessa. Sen jälkeen ilma kulkee välijäähdyttimen läpi, jolloin matalapainevaiheesta syntynyt lämpö poistuu. Välijäähdyttimen jälkeen ilma virtaa korkeapainevaiheen läpi, jossa ruuvit puristavat sen haluttuun työpaineeseen. Sen jälkeen ilma virtaa jälkijäähdyttimelle, jossa korkeapainevaiheessa puristettu kuuma

ilma jäähdytetään. Jälkijäähdyttimen jälkeen lähes täysin kuiva ilma ohjataan kuivaimelle. Kuivaimessa ilma kuivataan kulloisenkin käyttötarkoituksen mukaiseen kuivuuteen ja sen jälkeen se ohjataan paineilmajärjestelmään. (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a.)



Kuva 6. Ilmakierto kompressorissa ja kuivaimessa (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a.)

2.3 Jälkijäähdytin

Jälkijäähdytin on välittömästi kompressorin jälkeen sijoittuva lämmönvaihdin, joka jäähdyttää paineilman puristuksen jälkeen ja erottaa siitä vettä (Kuva 6). Yleensä jälkijäähdytin on kompressoriyksikön osa ja siinä käytetään jäähdyttävänä aineena joko ilmaa tai vettä. Jälkijäähdyttimeen tulevan ilman vedenpoistokyky on 80-90% absoluuttisesta kosteudesta. Kemin tehtaan kaikissa kompressoreissa on kuorien sisään rakennettu jälkijäähdytin. (Ellman 2002, 53; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a.)

2.4 Paineilmasäiliö

Paineilmasäiliö on osa jokaista paineilmajärjestelmää ja niitä voi olla yksi tai useampi. Säiliön koko määräytyy painejärjestelmän säätötarpeen ja ilmantarpeen mukaan. Paineilmasäiliön tehtävänä on tasoittaa kompressorin aikaansaamia ilmasykäyksiä ja taata mahdollisimman tasaista paineilmaa. Sen lisäksi säiliön tehtävänä on jäähdyttää ilmaa, kerätä lauhdevettä sekä toimia painevarastona. Paineilmasäiliöitä on käytetty Kemin tehtaalla haihuttamolla ja valkaisimo 2:lla. (Keinänen ja Kärkkäinen 2000, 31; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a.)

2.5 Jäähdytyskuivain

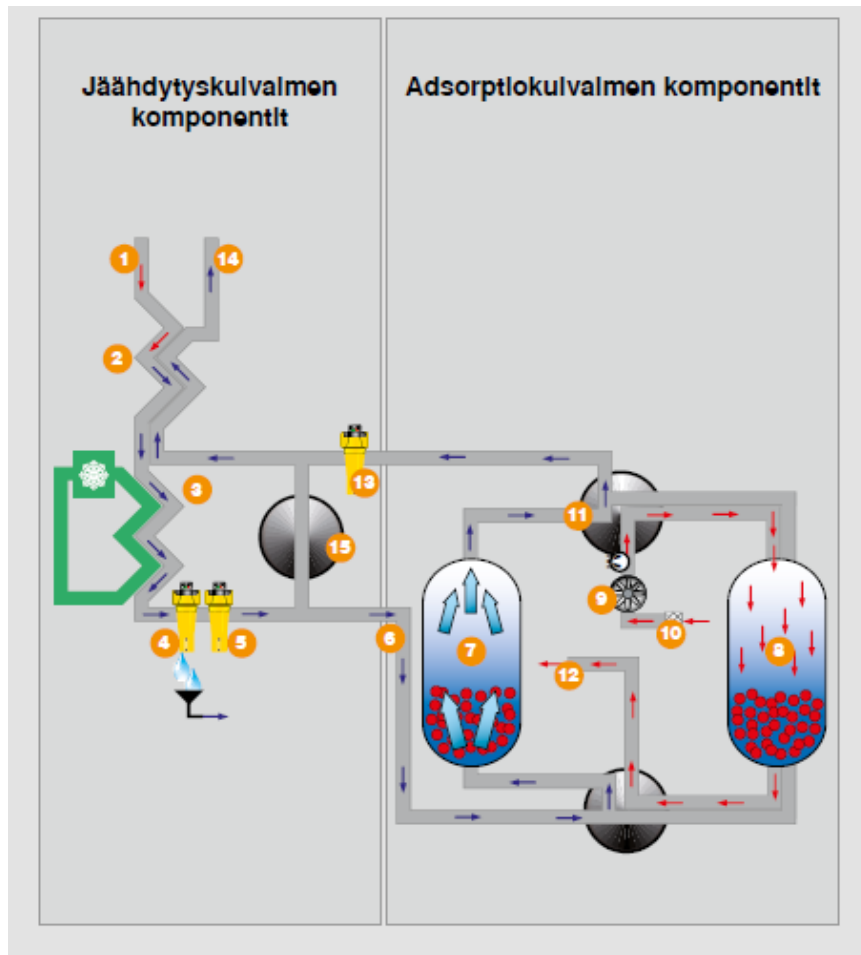
Kompressorin läpi viety ilma sisältää kosteutta, jota jäähdytyskuivaimella pyritään poistamaan. Kuivaimessa poistetaan paineilmaasta lauhdevesi ja sen lämpötila jäähdytetään noin +2 °C:een. Tämän jälkeen ilma lämmitetään huoneilman lämpötilaan lämmönvaihtimessa, jolloin saadaan ilman kastepiste lähelle +2 °C:tta työpaineen ollessa 7 baaria. Jos paineilmajärjestelmä tarvitsee alhaisemman ilman lämpötilan tai lämpötila laskee mahdollisesti suuren virtausnopeuden takia, on jäähdyttämiseen valittava tehokkaampi menetelmä. (Keinänen ja Kärkkäinen 2000, 33)

2.6 Adsorptiokuivain

Kun olosuhteet ovat viileämpiä tai nopeasti virtaavampia, mitä jäähdytyskuivain pystyy kosteutta poistamaan, on käytettävä adsorptiokuivainta. Adsorptiokuivain sitoo vettä läpi kulkevasta ilmasta ja poistaa ilmasta suurimman osan sen sisältämästä vesihöyrystä. Adsorptiokuivain voidaan tyypillisimmin kuvata kuivaimena, jossa on kaksi kuivauskolonia joista toinen kuivaa ja toinen elpyy. Toinen esimerkki tyypillisestä adsorptiokuivaimesta on kuivain, jossa rumpu pyörii kuivaimen sisällä ja rummussa olevia kennoja kuivataan osa kerrallaan lämpövastuksella tai kompressorin hukkalämmöllä. Näitä kahta mallia käytetään myös Metsä Groupin Kemin yksikössä. Tällaisilla kuivaimilla on mahdollista saavuttaa, jopa -80 °C :een kastepiste. Kemin tehtaalla paineilmajärjestelmässä näitä kuivaimia käytetään kaikkien kompressorien yhteydessä. (Keinänen ja Kärkkäinen 2000, 33; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a.)

2.7 Yhdistelmäkuivain

Yhdistelmäkuivain on uutta teknologiaa, jossa on yhdistetty erilaisia kuivaustekniikoita, jolloin saadaan energiatehokkaampi ja taloudellisempi kuivain. Yhdistelmäkuivain koostuu jäähdytys- ja adsorptiokuivaimen yhdistelmästä (Kuva 7). Tämä kuivain voi hyödyntää lämpimiä vuodenaikoja kulutusystävällisesti siten, että kuivaimen automaatiikka kytkee adsorptiokuivaimen pois käytöstä, kun lämpötila nousee yli $+2\text{ °C}$:een. Koska yhdistelmäkuivain voi pienentää adsorptiokuivaimen kuormitusta ja sen kuiva-aineen käyttöä, niin kuivaimen käyttöikä kasvaa ja huoltokustannukset laskevat. Yhdistelmäkuivain on tehokkaimmillaan tilavuusvirran ollessa $20\text{ m}^3/\text{min}$ ja sillä saavutetaan -40 °C kastepiste. Kemin tehtaalla tätä uutta teknologiaa edustaa toinen kartongin kahdesta kuivaimesta. (Kaeser www-sivut 2013, hakupäivä 02.12.2013; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013b.)



Kuva 7. Yhdistelmäkuivain (Kaeser www-sivut 2013, hakupäivä 02.12.2013)

2.8 Paineilman suodatus

Ennen kuin ilma ohjataan ilmanpaineverkkoon, käytetään erilaisia suodattimia. Esimerkiksi öljyvoidelluissa kompressoreissa kulkeutuu pieniä määriä öljyä paineilman mukana, minkä vuoksi suodattimia tarvitaan erottamaan nämä epäpuhtaudet ilmasta. Metsä Fibren Kemin tehtaalla käytetään öljyttömiä ruuvikompressoreja, mutta silti nämä kompressorit tarvitsevat suodatusta, koska muuten ilman mukana kulkeutuisi kiinteitä hiukkasia järjestelmään. Näistä hiukkasista osa poistuu lauhteenpoistimissa, mutta jäljelle jääneet hiukkaset poistetaan suodattamalla ilmaa käyttötarkoituksen mukaan. Mikäli ilmasta täytyy poistaa bakteereita tai viruksia niin voidaan tarvittaessa käyttää steriloivia erikoissuodattimia. (Ellman 2002, 57)

3 KEMIN METSÄ FIBREN TEHTAAN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ

Kemin Metsä Fibren paineilmajärjestelmään kuuluu koko tehtaan paineilma, lukuun ottamatta kuorimon paineilmaverkkoa, joka on erillinen kokonaisuus. Tässä työssä keskitytään tehtaan yhteiseen paineilmaverkkoon ja suljetaan pois kuorimon verkko. Paineilmaverkko koostuu seitsemästä kompressorista, jotka sijaitsevat kartongilla, valkaisimo 2:sella sekä haihduttamalla. Näillä seitsemällä kompressorilla tuotetaan Metsä Fibren paineilma. Kaikki kompressorit ovat ruuvikompressoreja ja ne ovat öljyttömiä. Paineilmakeskusten sijainti on merkitty numeroidusti (Liite 1) tehtaan ovinumerokarttaan ja siitä voi nähdä hyvin, että tehtaan paineilmaverkko on suoran- ja rengasverkon yhdistelmä. Liitteestä on haihduttamon paineentuottojärjestelmä ovella 136 (1), valkaisimo 2 paineentuottojärjestelmä lähellä ovea 271 (2) ja kartongin paineentuottojärjestelmä ovella 253b (3).

3.1 Tehtaan reittikaavio

Tehtaalla on koko tehtaan kattava paineilman reittikaavio (Liite 2), josta käy ilmi kaikki päälinjat paineilman tuottopisteestä käyttökohteeseen. Kaaviossa paineilman tuotannosta vastaavia pisteitä on merkitty C:llä, D:llä ja uusi paineilmakeskus R1104570, joiden tekstiväri on violetti. C-piste tarkoittaa kartongin kompressoreja, D-piste tarkoittaa valkaisimo 2 kompressoria ja uusi paineilmakeskus R1104570 tarkoittaa haihduttamon kompressoreja. Vihreällä piirretyt viivat tarkoittavat kaaviossa tehtaalla käytettävää työilmaa ja tummansinisellä piirretyt viivat tarkoittavat tehtaalla käytettävää instrumentti-ilmaa. Yleisesti työilmaa käytetään työalueella tehtävissä toimenpiteissä ja instrumentti-ilmaa käytetään erilaisten laitteiden paineilmaohjaukseen, mutta Kemin tehtaan paineilmajärjestelmässä nämä ilmat ohjautuvat suoraan yhteiseen verkkoon.

3.2 Haihduttamon PI-kaavio ja keskeiset laitteet

Haihduttamon alakerrassa on kolme Atlas Copcon paineilmaa tuottavia kompressoreja ja nämä kompressorit ovat kytkettynä tehtaan yhteiseen paineilmaverkkoon. PI-kaavioon (Liite 3) on numeroitu kaikki tärkeimmät keskeisimmät laitteet.

3.2.1 Kompressorit

Haihduuttamon kolme kompressoria ovat kaikki öljyttömiä vesijäähdytteisiä Atlas Copcon ruuvikompressoreja. Kompressorit toimivat manuaalisesti säädettävällä kuormituksen kevennysmenetelmällä ja niitä voidaan ohjailta vain paikanpäältä. Kompressoreilla on kuitenkin mittauksia, joilla voidaan tarkastella häiriöitä valvomosta käsin. Yksi kompressoreista (1) on mallia ZR355 ja sen moottoriteho on 355kW. Tämän kompressorin tuotto on 7 barin paineella 53,2 m³/min ja sen valmistevuosi on 2001. Kaksi muuta kompressoria (2) ovat molemmat mallia ZR 5 ja näiden moottoriteho on 400kW. Kompressoreiden tuotot ovat 7 barin paineella 56,9 m³/min ja valmistusvuodet ovat 1982 ja 1973 vasemmalta oikealle katsottuna. Toinen näistä kompressoreista on selvästi tehtaan vanhin ja on lähiaikoina uusittava. (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013. SAP-toiminnanohjausjärjestelmä; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a.)

3.2.2 Kuivaimet

Haihduuttamolle on asennettu kolme kuivainta ja ne ovat kaikki Atlas Copcon vesijäähdytteisiä adsorbtiokuivaimia. Kuivain numerolla 3 on mallia MD1000 ja sen tilavuus on 450 litraa. Kuivaimen korkein käyttöpaine on 10,5 baria ja sillä päästään valmistajan mukaan työpaineessa -30 °C kastepisteeseen. Kaksi muuta kuivainta (4) ovat mallia MD5 ja niiden tilavuudet ovat 700 litraa. Kuivaimien korkein käyttöpaine on 11 baria ja niillä päästään työpaineessa -25 °C kastepisteeseen. Jokaisen kuivaimen jälkeen on Atlas Copcon ilmansuodatin (5) mallia 1050F. (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013. SAP-toiminnanohjausjärjestelmä; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a.)

3.2.3 Paineilmasäiliö

Haihduuttamon paineilmasäiliön (6) tilavuus on 20 m³ ja instrumentti-ilma-akun (7) tilavuus on 95 m³. (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013. SAP-toiminnanohjausjärjestelmä; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a.)

3.3 Valkaisimo 2:n PI-kaavio ja keskeiset laitteet

Valkaisimo 2:lla on yksi Atlas Copcon paineilmaa tuottava kompressori ja se on kytketty yhteiseen paineilmaverkkoon. PI-kaaviosta (Liite 4) löytyy valkaisimo 2:sen kaikki tärkeimmät keskeiset laitteet.

3.3.1 Kompressori

Ennen kompressoria on karkea imuilman suodatin (1). Valkaisimo 2:lla on Atlas Copcon öljytön vesijäähdytteinen ruuvikompressori (2) mallia ZR 4-57 jonka ohjaus toimii manuaalisesti säädettävänä kuormituksen kevennysmenetelmällä. Tämän kompressorin moottorin teho on 250kW ja tuotto 10,5 baarin paineella on 34,86 m³/min. Heti kompressorin jälkeen ovat jälkijäähdytin (3) ja veden erotin (4). (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013. SAP-toiminnanohjausjärjestelmä; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a.)

3.3.2 Kuivain

Valkaisimo 2:sen kompressorille on asennettu Atlas Copcon vesijäähdytteinen adsorptiokuivain (6) mallia MD600. Kuivaimen tilavuus on 350 litraa, korkein käyttöpaine on 13,7 baria ja kuivaimella päästään työpaineessa -30 °C kastepisteeseen. Kuivaimen jälkeen on Atlas Copcon oma suodatin (5) mallia 780F. Valkaisimo 2:n paineilmantuottojärjestelmässä on myös paineilmasäiliö (7). Säiliön tilavuus on 6m³. (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013. SAP-toiminnanohjausjärjestelmä; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a.)

3.4 Kartongin PI-kaavio ja keskeiset laitteet

Kartongin puolella paineilmaa tuottavat kompressorit ovat Kaeserin valmistamia ja ne ovat tehtaan uusimmat paineilmaa tuottavat laitteet. PI-kaaviosta (Liite 5) näkyy kartongin puolen keskeiset laitteet numeroituna. (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013. SAP-toiminnanohjausjärjestelmä; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013b.)

3.4.1 Kompressorit

Kartongin kompressoreita on kolme ja ne ovat Kaeserin öljyttömiä ilmajäähdytteisiä ruuvikompressoreja, jotka on numeroitu PI-kaavioon. Nämä kolme kompressoria ovat Kaeserin paineilmajärjestelmäohjaus Sigman kautta ajettavissa. Kaksi samanlaista Kaeserin kompressoria (1) ovat Sigman-ohjattuja DSG 290-2 öljyttömiä ruuvikompressoreja ja ne toimivat Sigma-ohjauksen mukaan kuormituksen kevennysmenetelmällä. Kompressorien moottori teho on 200kW ja niiden tuotto on 7 barin paineella 29 m³/min. Yksi kompressoreista (8) on Kaeserin öljytön ruuvikompressori FSG-500-2 SFC, joka toimii myös Sigma-ohjausjärjestelmällä, mutta kierrosluvun säätö toimii taajuusmuuttajalla. Kompressorin moottoriteho on 311 kW ja sen tuotto on 7 baria paineella 51,8 m³/min. (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013. SAP-toiminnanohjausjärjestelmä; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013b.)

3.4.2 Kuivaimet

Kaeserin kompressoreille on asennettu kaksi kuivainta, jotka ovat ilmajäähdytteisiä. Hybritec DTL 1167/1501 kuivain (4) koostuu jäähdytyskuivainosasta ja adsorbtiokuivainosasta. Kuivaimella pystyy saavuttamaan 7 barin työpaineessa -40 °C kastepisteen. Toinen kuivain on adsorbtiokuivain DC 1173E (5), jonka kuiva-aineena toimii aktivoitu alumiinioksidi Al₂O₃, työpaine 7 baria, tilavuus 2000 litraa ja tällä kuivaimella voi saavuttaa työpaineessa -40 °C kastepisteen. (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013. SAP-toiminnanohjausjärjestelmä; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013b.)

4 PI-KAAVIOISSA KÄYTETYT MERKINNÄT

Tässä kappaleessa on eritelty erilaisia merkintöjä liitteissä ilmenevistä PI-kaaviomerkeistä. Alla olevat symbolit ovat nimetty niiden toiminta tarkoituksen mukaan.



Kompressorin symboli



Sulkuventtiili



Sulkuventtiili normaalisti kiinni



Yksisuuntainen sulkuventtiili, vastaventtiili



Sulkuventtiili



Pohjaventtiili, kiinni



Varoventtiili



Kalvokäyttöventtiili



Istukka- tai neulaventtiili



Kolmitieventtiili, istukka- tai neulaventtiilillä



Nelitieventtiili, istukka- tai neulaventtiilillä



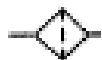
Toimilaite venttiilissä



Vedenerotin käsityhjennyksellä



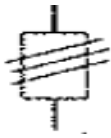
Jäähdytyskuivain



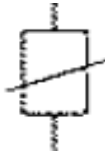
Suodatin



Jousiliitos



Voimavirta



Verkkovirta



Äänenvaimennin



Ilmavirran sulku- tai säätölaite



Mekaaninen mittaus



Sähköinen mittaus, josta tieto menee valvomoon



Sähköinen mittaus, josta tieto menee valvomoon

5 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN PARANNUSEHDOTUKSET

Paineilmajärjestelmään on nykyisin keskitytty enemmän ja alettu laskemaan sen aiheuttamat kuluja ja kustannuksia. Metsä Fibre on teettänyt vuotokartoituksen paineilmlaitteita tarjoavalle Sarlinille ja etsinyt vuotoja. Kartoitusraportti on tehty 4.9.2013 ja raportissa Sarlin on kuvannut vuotokohtat ja laskenut mahdolliset häviöt. Kartoituksen tuloksista (Taulukko 1) on nähtävissä, että järjestelmässä on vuotoja, mutta nämä vuodot eivät ole vielä hälyttäviä, koska näin laajassa paineilmaverkostossa on aina pieniä vuotoja, eikä niitä voida kokonaan sulkea pois. Vuotojen prosentuaalinen osuus kokonaistuotosta on kartoituksen jälkeen 2,5 % (Kaava 1). (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013c.)

Sarlin on vuotokartoituksessa laskenut vuodoksi myös öljysäiliön jäähtymisen (Kuva 8), mutta laskukaavassa ei ole otettu huomioon tätä vuotoa. Kartoituksesta käy ilmi, että öljysäiliön jäähtymiseen käytettävää ilmaa menee noin $3,5\text{m}^3/\text{min}$, mikä on aika merkittävä määrä noin pienelle elementille. Öljysäiliön jäähtymys voitaisiin korvata vaikka esimerkiksi vesikierrolla, jolloin tämäkin ilmapuoto poistuisi. Jatkossa on kuitenkin syytä korjata Sarlinin havaitsemat vuodot ja tällä toimenpiteellä saadaan pienennettyä turhat vuodot, jolloin säästöä sähkössä syntyy kymmeniä kilowatteja.

$$\frac{5,9\text{m}^3/\text{min}}{235,3\text{m}^3/\text{min}} * 100\% = 2,5\% \quad (1)$$

Taulukko 1. Sarlinin tekemät taulukot (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013c.)

Sellutehdas	
Sellutehtaan keskikulutus	150,40 m ³ /min
Vuotojen lukumäärä	41 kpl
Vuodon määrä (m ³ /min)	4,5 m ³ /min
Vuodon määrä muutettuna kompressoritehoksi	31,5 kW

Kartonkitehdas	
Kartonkitehtaan keskikulutus	84,9 m ³ /min
Vuotojen lukumäärä	13 kpl
Vuodon määrä (m ³ /min)	1,4 m ³ /min
Vuodon määrä muutettuna kompressoritehoksi	10 kW

Tehtaan paineilmaverkko	
Tehtaan keskikulutus	235,3 m ³ /min
Vuotojen lukumäärä	54 kpl
Vuodon määrä (m ³ /min)	5,9 m ³ /min
Vuodon määrä muutettuna kompressoritehoksi	41,5 kW



Kuva 8. Kartonkitehtaan öljysäiliöstä, joka jäähdytetään ilmalla. (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013c.)

5.1 Paineilmajärjestelmän ohjaus

Ensisijaisesti vuotojen korjaamisten jälkeen seuraava parannusehdotus on koko paineilma-verkon ohjausjärjestelmä, jonka alaisena toimisivat sekä Atlas Copcon, että Kaeserin kompressorit. Ohjausjärjestelmällä pystyttäisiin ohjailemaan kaikkia kompressoreja ja saamaan enemmän tietoa niiden toiminnasta, löytämään paras toiminta-alue sekä mahdollisesti laskemaan koko paineilma-verkon kokonaispainetta. Ohjausjärjestelmä soveltuu myös Kemin tehtaan paineilma-verkkoon, joka on rengasverkon ja suoran verkon yhdistelmä. Sarlinin tekemän vuotokartoituksen mukaan tällaisella ohjausjärjestelmällä ja vuotojen korjauksella saataisiin jopa 21% säästöjä aikaiseksi. (Metsä Fibre Kemin tehdas 2013c.)

5.2 Taajuusmuuttajaohjattu ruuvikompressor

Mahdollisia parannusehdotuksia ovat vuotojen korjausten ja paineilma-verkon ohjausjärjestelmän lisäksi myös kompressorien uusiminen, koska osa tehtaan kompressoreista on jo melko vanhoja. Haihduttamon ja valkasimo 2:n kompressorit ovat Atlas Copcon öljyttömiä ruuvikompressoreja, jotka ovat 2000-luvun vaihteessa tehtyjä tai vanhempia. Haihduttamon yksi kompressoreista on valmistettu vuonna 1973 ja on siten tehtaan vanhin kompressor. Tämä kompressor voisi olla potentiaalinen vaihdettava kompressor. Kompressoreja alettaessa uusimaan kannattaa harkita, että tilalle ei välttämättä kannata laittaa samanlaista vastaavaa ruuvikompressoria, vaan yksi öljyttömistä ruuvikompressoreista voitaisiin korvata taajuusmuuttajaohjatulla ruuvikompressorilla.

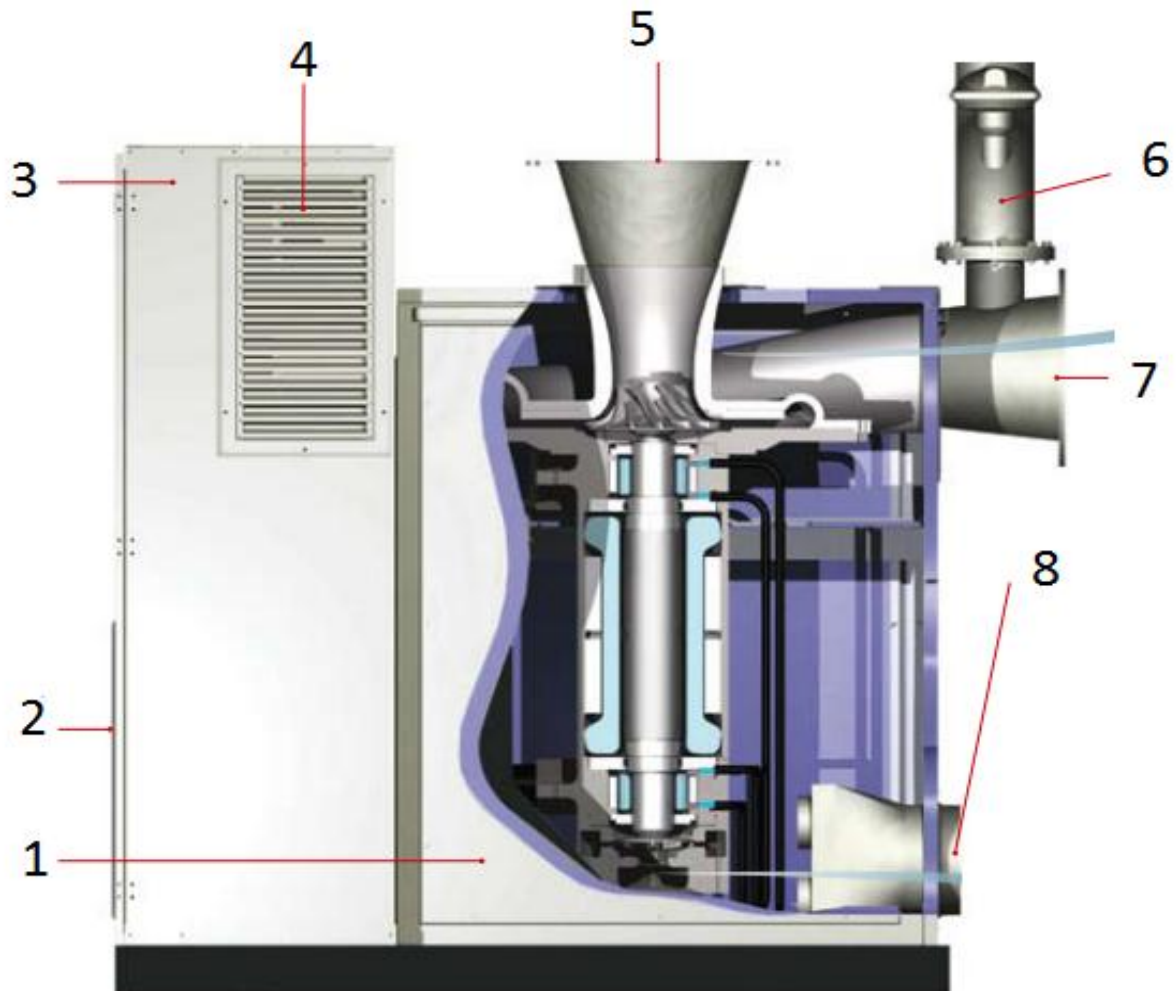
Taajuusmuuttajaohjattu ruuvikompressor on normaalia ruuvikompressoria energiatehokkaampi ja hiljaisempi vaihtoehto. Sarlinin ilmoittaman tiedon mukaan öljyttömän ruuvikompressorin tehontarve tuotettua ilmamäärää kohden on $6 \text{ kW/m}^3/\text{min}$. Taajuusmuuttajaohjattu kompressor tarvitsee vain vähän lattiapinta-alaa ja olisi siksi sopiva vanhan ruuvikompressorin tilalle. Tällä kompressorilla voitaisiin tasata paineilma-verkossa olevat vaihtelut ja saada tasaisempi ilman tuotto, koska taajuusmuuttajassa on laaja säätöalue. Säätöalue voi taajuusmuuttajaohjatulla kompressorilla olla jopa 70-80%. Muita kuormitus/kevennysruuvikompressoreja voitaisiin käyttää pohjakuormakoneina ja taajuusmuuttajaohjatulla kompressorilla voitaisiin säätää lopullinen kuorma. (Atlas Copco 2013. Tuote-esite; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013c.)

5.3 Turbokompressorit

Kineettisiä kompressoreja nimitetään usein myös turbokompressoreiksi ja ne koostuvat aksiaalisesta ja radiaalisesta mallista. Radiaalikompressoria, jonka voimanlähteenä toimii kaasuturbiini, kutsutaan turbokompressoriksi. Joissain tapauksissa pelkkää radiaalikompressoria kutsutaan turbokompressoriksi, vaikka sitä pyöritettäisiin esimerkiksi sähkömoottorilla. Radiaalikompressoria kutsutaan myös keskipakokompressoriksi. (Airila 1983, 37)

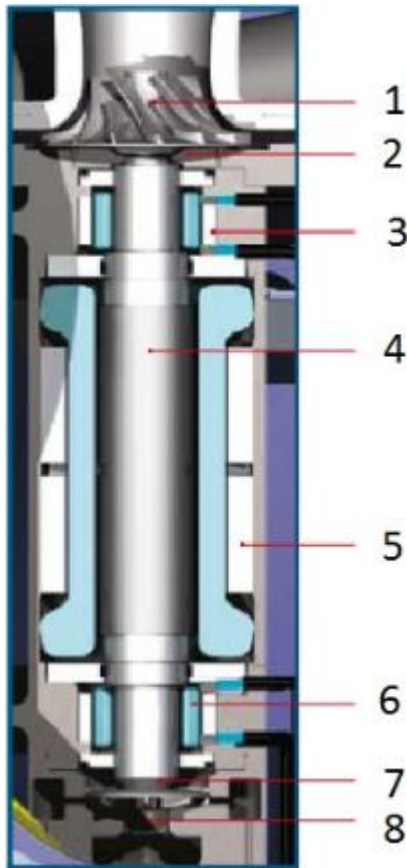
Kineettisissä kompressoreissa paineilman tuotto tapahtuu kineettisesti puristamalla. Toisin sanoen pyörivä roottori kiihdyttää kaasun nopeaan liikkeeseen, jonka jälkeen liike-energia muutetaan paineeksi virtausta jarruttamalla. Kineettisissä kompressoreissa on huomioitava, ettei tuottopuolen virtausta tule kuristaa liikaa, koska silloin kompressorin siivistö alkaa sakkaamaan ja virtauksen suunta kääntyy hetkellisesti päinvastaiseksi. Kun siivistö alkaa sakkaamaan, tapahtuu voimakasta virtauksen värähtelyä joka saa kompressorin ulvomaan ja voi vaurioittaa siivistöä. (Airila 1983, 37; Lehtisare 2011, 32)

Teollisuudessa käytettävä kompressorin yleinen rakenne (Kuva 9) koostuu yleisesti kuvanmukaisesti äänenvaimennuskotelosta (1), jäähdytysilman tulosta (2), ohjauskotelosta (3), ohjauskotelon jäähdytysilman poistosta (4), prosessi-ilman tulosta (5), tyhjennysventtiilistä (6), prosessi-ilman lähdöstä (7) sekä moottorin jäähdytysilman poistosta (8). (Sarlin www-sivut 2013, Hakupäivä 12.01.2014)



Kuva 9. Turbokompressorin yleinen rakenne (Sarlin www-sivut 2013, hakupäivä 12.01.2014)

Itse turbokompressorin akselin (Kuva 10) rakenne koostuu siipipyörästä (1), käyttöpään kosketuslaakerista (2), käyttöpään magneettilaakeriasetelmasta (3), teräksisestä roottorin akselista (4), moottorin kelasta (5), käytetyn pään magneettilaakeriasetelmasta (6), käytetyn pään kosketuslaakerista (7) sekä jäähdytyspuhaltimesta (8). (Sarlin www-sivut 2013, Hakupäivä 12.01.2014)



Kuva 10. Turbokompressorin rakenne (Sarlin www-sivut 2013, hakupäivä 12.01.2014)

Tällainen turbokompressorin olisi yksi mahdollisuus, kun aiotaan päivittää paineilmajärjestelmää. Turbokompressorin ominaisuuksiltaan hiljainen ja energiaa säästävä. Sarlinin ilmoittama tehontarve turbokompressorille on tuotettua ilmamäärää kohden 5 kW/m³/min. Tämä kompressorin on esimerkiksi ruuvikompressorin verrattuna huoltovaampi ja se voidaan asentaa kompaktin kokonsa vuoksi samalle alustalle kuin ruuvikompressorin. Turbokompressorin voidaan rinnastaa erityyppisten kompressorien kanssa ja se voi toimia pohjakuormakoneena tai säätävänä kompressorina. Säätoalue voi teollisuudessa käytettävällä turbokompressorilla olla 30-35% välillä. (Sarlin www-sivut 2013, hakupäivä 12.01.2014; Metsä Fibre Kemin tehdas 2013c.)

Tulevaisuudessa suosittelen, että olisi kannattavaa investoida molemmat mallit, koska taajuusmuuttajaohjattu ruuvikompressorit toimisi hyvänä säätävänä kompressorina ja turbokompressorit olisivat vahvat pohjakuormakoneet. Näin tehdas pääsisi parhaaseen lopputulokseen tuottaessaan paineilmaa.

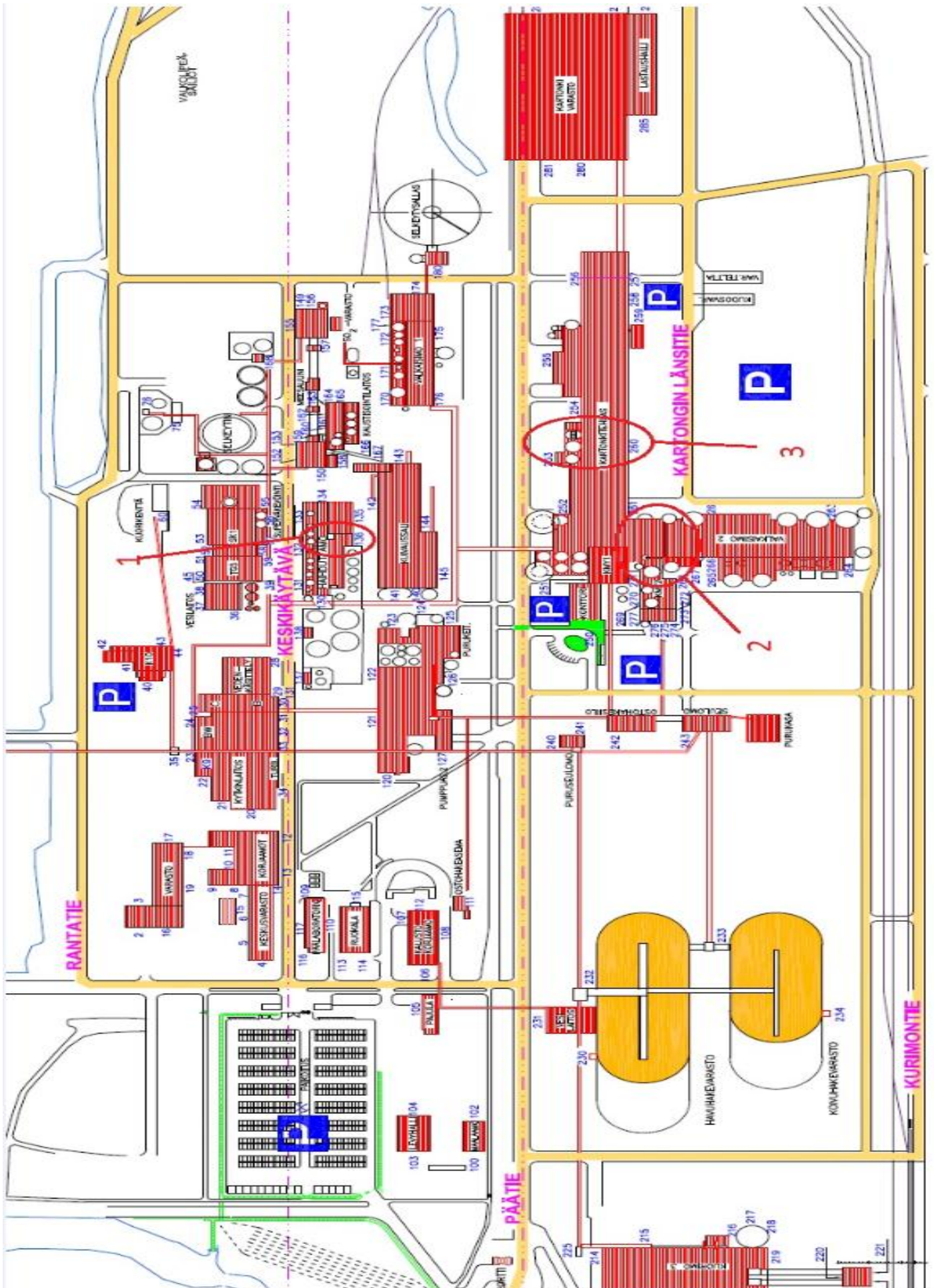
LÄHTEET

- Airila, Mauri & Hallikainen, Keijo & Kääpä, Juha & Laurila, Timo 1983. Kompressorikirja. Helsinki: Korpivaara Oy Hydor Ab.
- Atlas Copco 2013. Tuote-esite (2935 0538 11)
- Ellman, Asko & Hautanen, Juha & Järvinen, Kari & Simpura, Antti 2002. Pneumatiikka. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Kaeser www-sivut 2013. Hybritec-yhdistelmäkuivain. Hakupäivä 02.12.2013
<<http://fi.kaeser.com/Images/P-016-FI-tcm18-158789.pdf>>
- Keinänen, Toimi & Kärkkäinen, Pentti 2000. Hydraulikka ja pneumatiikka: koneautomaatio 1. 2., painos. Porvoo: WS Bookwell Oy.
- Lehtisare, Mika 2011. Taajuusmuuttajan hyödyntämismahdollisuudet kompressorijärjestelmien elinkaarikustannusten optimoimisessa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Lappeenranta.
- Metsä Fibre Kemin tehdas 2013. SAP-toiminnanohjausjärjestelmä.
- Metsä Fibre Kemin tehdas 2013a. Sisäinen raportti. Atlas Copcon öljyttömät Z-pack ruuvikompressorit: käyttö- ja huolto-ohjekansio.
- Metsä Fibre Kemin tehdas 2013b. Sisäinen raportti. Kaeser kompressorit: käyttö- ja huolto-ohjekansio kompressoreille.
- Metsä Fibre Kemin tehdas 2013c. Sisäinen raportti. Sarlin raportti Syynijärjestelmäanalyysistä
- Metsä Fibren www-sivut 2013. Metsä Fibre. Hakupäivä 13.11.2013
<<http://www.metsafibre.fi/Pages/Default.aspx> >
- Posti, Pekka, Metsä Fibre. Metsä%20Fibre%20General%20Presentation%20FI.ppt. Sähköpostiviesti pekka.posti@metsagroup.com 25.11.2013.
- Sarlin www-sivut 2013. Tinkimätöntä suorituskykyä. Hakupäivä 12.01.2014
<http://www.sarlin.com/includes/file_download.asp?deptid=6573&fileid=2462&file=ABS%20HST_turbokompressori%202011.pdf&pdf=1>
- Äänekosken kaupunkisanomat 2012. Metsä-Botniasta tulee Metsä Fibre. Hakupäivä 11.10.2013 <<http://aksa.fi/metsa-botniasta-tulee-metsa-fibre/>>

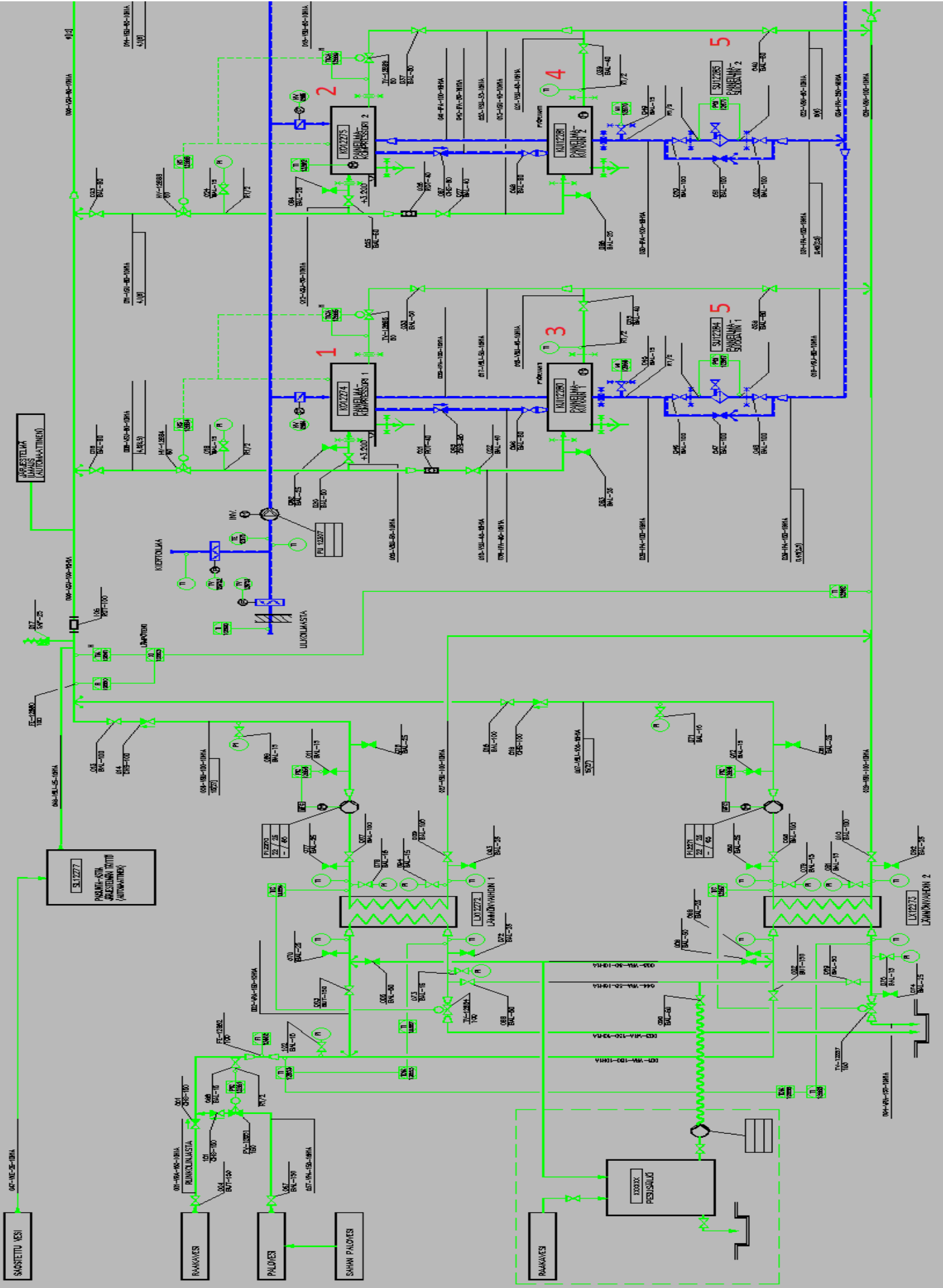
LIITTEET

- Liite 1. Tehtaan ovikartta, jossa numeroituna paineilman tuottajat
- Liite 2. Tehtaan reittikaavio
- Liite 3. 1(2) Haihduttamon pi-kaavio
- Liite 3. 2(2) Haihduttamon pi-kaavio
- Liite 4. Valkaisimo 2:n pi-kaavio
- Liite 5. Kartongin pi-kaavio

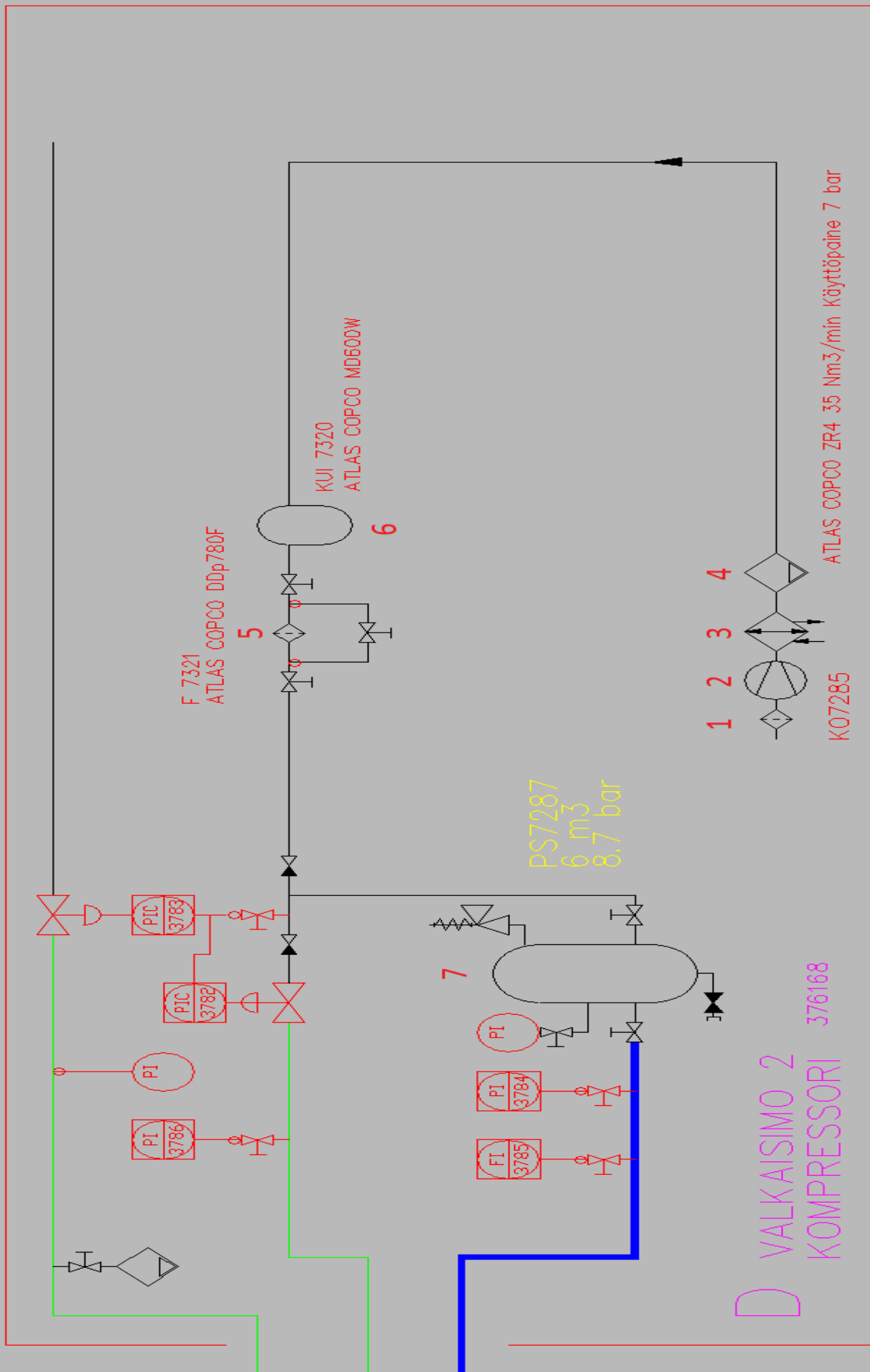
Liite 1. Tehtaan ovikartta, jossa numeroituna paineilman tuottajat



Liite 3. 2(2) Haihuttamon pi-kaavio



Liite 4. Valkaisimo 2:n pi-kaavio



Liite 5. Kartongin pi-kaavio

