

Olli Ruponen

## **Paineilmaverkoston suunnittelu**

Opinnäytetyö

Kevät 2016

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Auto- ja työkonetekniikan suuntautumisvaihtoehto



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Olli Ruponen

Työn nimi: Paineilmaverkoston suunnittelu

Ohjaaja: Hannu Ylinen

Vuosi: 2016

Sivumäärä: 60

Liitteiden lukumäärä: 4

---

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Seinäjoen Ammattikorkeakoulu Oy, jonka auto- ja työkonetekniikan laboratorio siirtyi uusiin tiloihin vuoden 2015 aikana. Valmistuneeseen laboratoriorakennukseen siirtyi myös rakennustekniikan laboratoriot. Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä selvitys paineilmajärjestelmästä sekä niiden vaatimuksista.

Opinnäytetyössä tehtiin kirjallisuuskatsaus paineilmajärjestelmään sekä siihen liittyviin komponentteihin. Paineilmajärjestelmän suunnittelussa rakennukseen asennettaessa kiinnitettiin huomiota polttoainelaitteiden testauksessa käytettävään puhdistilan paineilmavaatimukseen. Samalla kiinnitettiin huomiota järjestelmän putkiston muokattavuuteen.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi suunnitelma paineilmajärjestelmästä, joka täyttää polttoainelaitteiden testaukseen tarkoitetun puhdistilan asettamat vaatimukset. Opinnäytetyötä voidaan käyttää hyväksi laboratorion paineilmajärjestelmää kehitettäessä.

Avainsanat: autotekniikka, paineilma, paineilmakoneet, suunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Olli Ruponen

Title of thesis: Compressed air network layout

Supervisor: Hannu Ylinen

Year: 2016

Number of pages: 60

Number of appendices: 4

---

The principal for the thesis was Seinäjoki University of Applied Sciences, the car and machine engineering laboratory of which moved to new premises during 2015. Also the construction engineering laboratory was moved to the new premises at the same time. The goal for the thesis was to make research about the compressed air system and requirements for it.

A literature overview was made in the thesis on the compressed air system and related components. The focus, when planning a compressed air system to the building, was on the compressed air requirements for the sterile room, which was being used to test fuel equipment. Also the formability of the piping was focused on.

The result of the thesis was a plan of a compressed air system which would fulfill the requirements for a sterile room to test fuel equipment. The thesis abstract could be used when the laboratory's compressed air system would be developed.

Keywords: automotive technology, compressed air, compressed air machines, layout

# SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuvaluettelo .....	5
1 JOHDANTO .....	7
1.1 Tausta.....	7
1.2 Tavoitteet .....	7
1.3 Menetelmät .....	7
2 Paineilmaverkosto.....	8
2.1 Yleistä paineilmasta .....	8
2.2 Kompressorit.....	8
2.2.1 Mäntäkompressori .....	9
2.2.2 Ruuvikompressori .....	11
2.2.3 Lamellikompressori.....	13
2.2.4 Kineettiset kompressorit.....	14
2.3 Tuotetun ilman varastointi & käsittely.....	15
2.3.1 Paineilmasäiliö.....	15
2.3.2 Jälkijäähdytin .....	16
2.3.3 Adsorptiokuivain .....	17
2.3.4 Jäähdytyskuivain .....	19
2.4 Paineilman suodattaminen paineilmaverkossa .....	21
2.4.1 Partikkelien suodatus.....	21
2.4.2 Öljyn suodatus paineilmaverkostosta.....	22
2.4.3 Kompressorin imuilman suodatus .....	24
2.5 Takaiskuventtiili.....	24
2.5.1 Takaiskuventtiili mäntäkompressorissa.....	24
2.5.2 Takaiskuventtiili pyörivissä kompressoreissa.....	25
2.6 Paineilmajärjestelmän huolto .....	26
2.6.1 Varoventtiili .....	26
2.6.2 Ohjaus- ja säätöjärjestelmä .....	27

2.6.3	Painelaitteiden tarkastus.....	27
2.6.4	Säiliön tarkastus ja vedenpoisto .....	28
<b>3</b>	<b>Paineilmaverkoston suunnittelu.....</b>	<b>29</b>
3.1	Paineilmaputkiston suunnittelu.....	29
3.1.1	Suora verkko.....	29
3.1.2	Rengasverkko.....	30
3.2	Paineilmaputkiston mitoitus .....	30
3.3	Paineilmaputkiston rakenne .....	32
3.3.1	Märkä paineilmaverkko .....	32
3.3.2	Kuiva paineilmaverkko .....	33
3.4	Paineilmakeskus .....	34
3.4.1	Voideltu / öljytön paineilmakeskus .....	35
3.5	Paineilman laatuvaatimukset .....	38
<b>4</b>	<b>Paineilmajärjestelmän suunnittelu laboratorioon .....</b>	<b>40</b>
4.1	Kohdeympäristön esittely.....	40
4.2	Paineilmaputkisto.....	40
4.2.1	Materiaalin valinta.....	41
4.2.2	Putkiston liittimet.....	43
4.2.3	Paineilmakelat & paineletkut.....	44
4.3	Suodattimet.....	46
4.4	Kompressori.....	50
<b>5</b>	<b>Yhteenveto.....</b>	<b>53</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>Liitteet .....</b>	<b>56</b>

## Kuvaluettelo

Kuva 1. Kompressorien sukupuu (Airila ym. 1983, 25). .....	8
Kuva 2. Mäntäkompressorin toimintaperiaate (Fonselius ym. 1997, 40).....	9
Kuva 3 Öljyttömän mäntäkompressorin mäntä & tiivisteet (Airila ym. 1983, 26). .	10
Kuva 4 Puristuksen kulku ruuvikompressorissa (Airila ym. 1983, 30).....	11
Kuva 5 Ruuvikompressorin imu- ja poistoaukkojen sijainti (Airila ym. 1983, 34)...	12
Kuva 6 Imuilman kuristaminen läppä tai lautasventtiilillä (Airila ym. 1983, 34). ....	13
Kuva 7 Ruuvikompressorin SRM-Profiili (Airila ym. 1983, 31). .....	13
Kuva 8 Lamellikompressorin paineen tuotto (Airila ym. 1983, 35). .....	13
Kuva 9 6-vaiheinen radiaalikompressor (Airila ym. 1983, 37). .....	14
Kuva 10 Korkeapainesäiliö (Atlas Copco Oy, [Viitattu 17.1.2016]).....	15
Kuva 11 ACA-jälkijäähdyttimet (Kaeser Kompressorit Oy, [Viitattu 20.1.2016])....	16
Kuva 12 Kaeser lämpöelvytteinen adsorptiokuivain (Kaeser Kompressorit Oy, [Viitattu 20.1.2016]).....	17
Kuva 13 Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate (Airila ym. 1983, 59). .....	17
Kuva 14 Suorapaisuntainen jäähdytyskuivain (Airila ym. 1983, 57).....	19
Kuva 15 Varaavamassainen jäähdytyskuivain (Airila ym. 1983, 57). .....	20
Kuva 16 Jäävesijäähdytteinen jäähdytyskuivain (Airila ym. 1983, 57). .....	20
Kuva 17 Yhdistymissuodatin (Airila ym. 1983, 65). .....	22
Kuva 18 Hieno- ja aktiivihilisuodatin yhdistettynä (Airila ym. 1983, 65).....	23
Kuva 19 Takaiskuventtiili (Airila ym. 1983, 77). .....	25

Kuva 20 Yhdistetty takaisku-/minimipaineventtiili (Airila ym. 1983, 78).....	25
Kuva 21 Suora tyyppinen paineilmaverkko (Airila ym. 1983, 96).....	29
Kuva 22 Rengastyyppinen paineilmaverkko (Airila ym. 1983, 96). ....	30
Kuva 23 Märkä verkko (Airila ym. 1983, 98). ....	32
Kuva 24 Kuiva verkko (Airila ym. 1983, 99). ....	33
Kuva 25 Kompressorikeskus (Ellman ym. 20021 42).....	35
Kuva 26 Öljyvoideltu kompressorikeskus (Airila ym. 1983, 71).....	36
Kuva 27 Öljytön kompressorikeskus (Airila ym. 1983, 73). ....	36
Kuva 28 Muovi paineilmaputki (Projecta Oy, 2014 [Viitattu 7.2.2016]).....	42
Kuva 29 Alumiini paineilmaputki (Projecta Oy, 2014. [Viitattu 7.2.2016]).....	42
Kuva 30 Letkukela Nederman 889 (MY-Trading Oy, [Viitattu 12.2.2016]). ....	44
Kuva 31 Atlas Copco RUBAIR paineilmaletku (Isojoen Konehalli Oy, [Viitattu 14.1.2016]).....	45
Kuva 32 Atlas Copco CABLAIR paineilmaletku (Isojoen Konehalli Oy, [Viitattu 14.1.2016]).....	46
Kuva 33 Donaldson Ultrafilter (Teca Oy, [Viitattu 16.1.2016]).....	48
Kuva 34 QDT-Aktiivihilitorni (Atlas Copco Oy, [Viitattu 16.1.2016]).....	49
Kuva 35 ABAC Genesis ruuvikompressori (Airsupplies Co. [Viitattu 17.1.2016])..	51

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella toimiva ja laboratoriokäyttöön soveltuva paineilmajärjestelmä uusista komponenteista. Tarve paineilmajärjestelmän suunnitteluun ilmeni, koska auto- ja työkonetekniikan sekä rakennuspuolen koulutusohjelmalle oli määrä valmistua uusi laboratoriorakennus. Laboratoriossa tullaan käyttämään vanhasta laboratorion rakennuksesta tulleita käsityökoneita sekä suutintentestauspenkkiä. Laboratorioon tulee uusi alustadynamometri sekä puhdastila. Puhdastila vaikuttaa paineilmajärjestelmän suunnitteluun oleellisesti, koska järjestelmä tulee suunnitella sen kohteen pohjalta, mikä vaatii laadultaan puhtaimman paineilman.

## 1.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella sekä suunnitelman perusteella toteuttaa toimiva sekä rakenteeltaan yksinkertainen paineilmajärjestelmä, joka palvelee laboratorion käyttäjän tarpeita aiheuttamatta turhia taukoja. Koska laboratorioon tulee puhdastila, jossa tullaan käsittelemään herkkiä komponentteja, kuten esimerkiksi suuttimia, tulee tuotetun paineilman olla puhdasta. Näin ollen paineilmaasta tulee poistaa kaikki epäpuhtaudet, jotka aiheuttaisivat mahdollisia komponenttien vaurioitumisia.

## 1.3 Menetelmät

Opinnäytetyön suorittamiseen tullaan käyttämään laskukaavoja painehäviöiden sekä järjestelmän mitoittamiseen tarvittavien arvojen laskemiseksi. Paineilmaputkiston pituus tullaan määrittelemään rakennuksen pohjapiirustusten pohjalta sekä komponenttien sijoittelusta rakennukseen. Paineilmaputkistojen mutkien kanssa tullaan käyttämään ekvivalenttista putken pituutta, mikä määrittää, kuinka paljon tietynlainen mutka tai venttiili paineilmaputkistossa lisää pituutta paineilmaputkiston kokonaispituuteen. Tämä vaikuttaa mm. painehäviöön järjestelmässä.

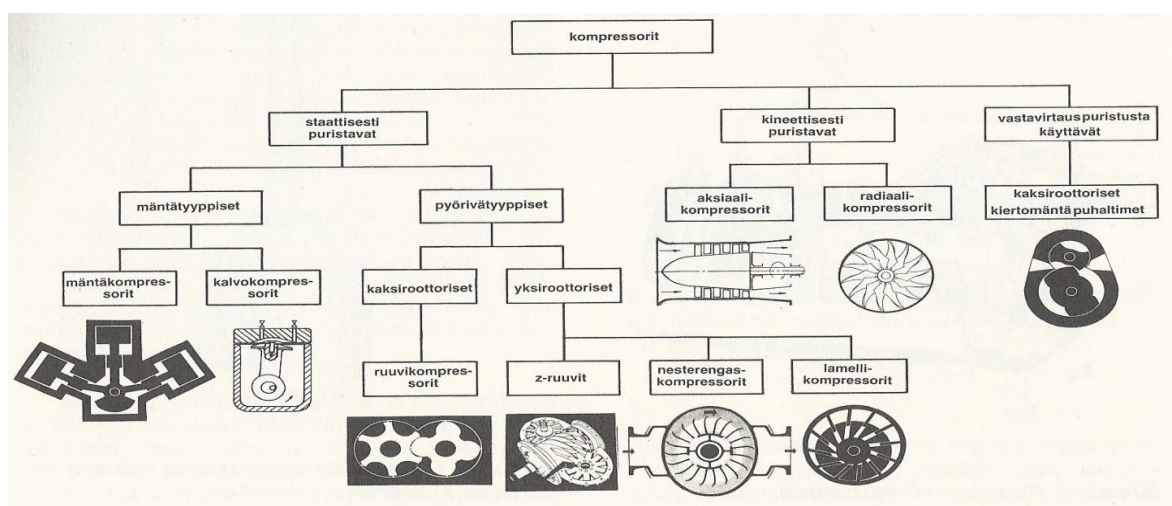


## 2 Paineilmaverkosto

### 2.1 Yleistä paineilmastä

Säiliöstä paineilma johdetaan putkistoa pitkin käyttökohteeseen, joka voi olla mikä tahansa, minkä käyttövoimana on paineilma, esimerkiksi paineilmapora tai rengaskone. Paineilmaputkistot voivat isossa tuotantolaitoksessa olla todella pitkiä, ja vaativat paljon kompressorilta ja myös itse putkistoilta. Paineilmaputkien materiaaleina on pääasiallisesti muovi, alumiini ja ruostumaton teräs.

### 2.2 Kompressorit



Kuva 1. Kompressorien sukupuu (Airila ym. 1983, 25).

Kompressoriksi nimitetään yleensä laitetta, joka kehittää ilmanpainetta vähintään kaksinkertaiseksi imupaineeseen verrattuna. Kompressorin tulee palvella montaa eri käyttötarkoitusta, mikä tarkoittaa näin ollen eri loppupaineita. Normaalisissa teollisuuden paineilmaverkossa käytetään yleisesti 6 - 10 barin painetta, ja ns. korkeapaineverkossa käytetään 15 - 20 barin painetta. Joissakin laboratorio-olosuhteissa voidaan tarvita jopa yli 1000 barin painetta joidenkin tiettyjen kokeiden suorittamiseksi, kun taas pneumaattisessa siirrossa käytetään vain 0,5 - 3 barin painetta. Koska eri paineilmasovellusten loppupaine ja ilmantarve vaihtelee

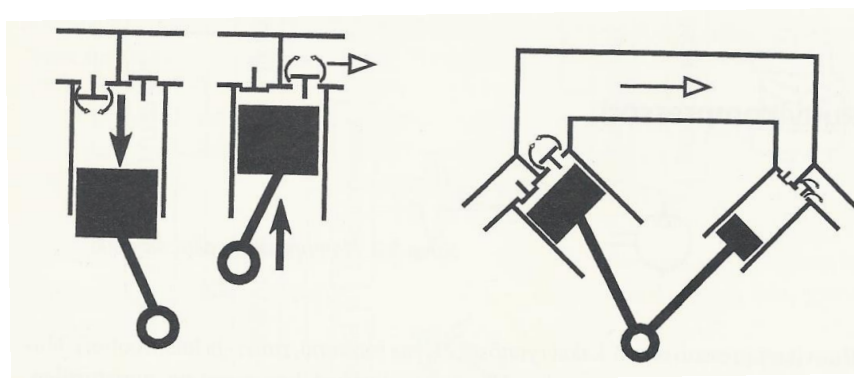
suuresti, tarvitaan erityyppisiä kompressoreita, jotka pystyvät vastaamaan mahdollisimman hyvin sovellusten eri tarpeisiin. (Airila ym. 1983, 25).

Kuten kuvasta 1 käy ilmi, kompressorit voidaan jakaa joko staattisesti puristaviin tai kineettisesti puristaviin. Jako tehdään kompressoreiden puristustavan ja mekaanisen rakenteen perusteella. Myös muita kompressorityyppejä on markkinoilla, mutta niiden käyttöalue on hyvin rajallinen ja sen vuoksi niitä ei esitellä. (Airila ym. 1983, 25 – 26).

### 2.2.1 Mäntäkompressori

Mäntätyyppiset kompressorit jaotellaan toimintaperiaatteensa mukaan joko kalvo- tai mäntäperiaatteella toimiviin kompressoreihin. Koska mäntäkompressoreiden soveltuvuusalue on laaja (1 bar – 1000 bar), myös niiden rakenne vaihtelee suuresti.

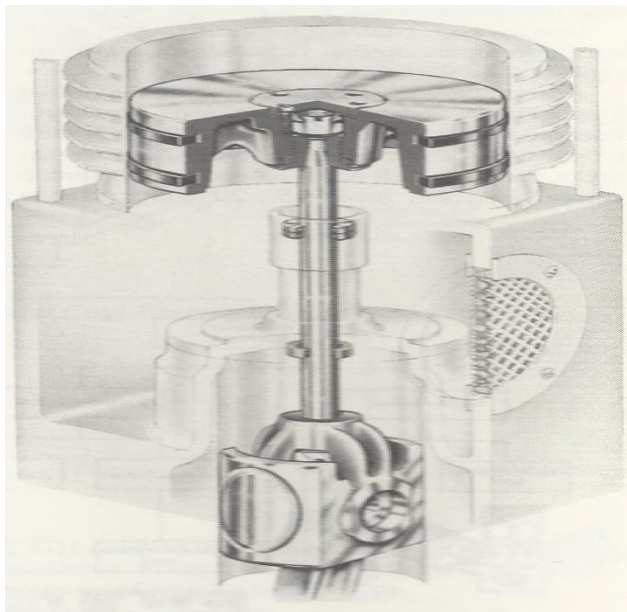
Mäntätyyppiset kompressorit ovat pääasiassa yksi- tai kaksivaiheisia. Mäntäkompressoreissa on pääasiassa yksi tai kaksi sylinteriä, mutta useampikin sylinterisiä valmistetaan suuremmille tuotoille. Yksivaiheisessa kompressorissa ilma puristetaan suoraan haluttuun loppupaineeseen, kun taas kaksivaiheisessa ilma puristetaan ensin tiettyyn paineeseen, josta se johdetaan toiseen sylinteriin, joka puristaa sen loppupaineeseen. Kaksisylinteriset kompressorit voivat myös olla yksivaiheisia, jolloin kumpikin sylinteri puristaa ilman suoraan loppupaineeseen. (Fonselius ym. 1997, 40–41).



Kuva 2. Mäntäkompressorin toimintaperiaate (Fonselius ym. 1997, 40).

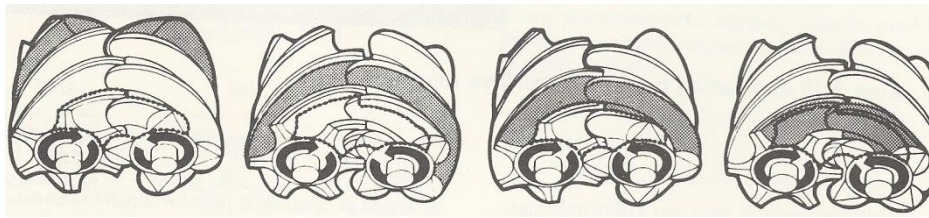
Kuvasta 2 käy ilmi mäntäkompressorin toimintaperiaate. Kompressorissa olevat venttiilit toimivat paine-erolla, joten siellä ei ole mekaanista ohjauskoneistoa tms. Männän mennessä alaspäin, kun paine-ero kasvaa tarpeeksi suureksi, aukeaa imuventtiili, josta pääsee paineistamatonta ilmaa sylinteriin. Männän lähtiessä ylöspäin alakuolokohdan jälkeen, mäntä alkaa puristamaan ilmaa. Paineen kasvaessa tarpeeksi suureksi aukeaa pakoventtiili, jonne paineistettu ilma virtaa. (Airila ym. 1983, 26-27).

Mäntäkompressoreita on saatavilla öljyvoideltuina tai öljyttöminä. Öljyttömiä kompressoreita käytetään ilman tuottamiseen paikoissa, joissa pääosa käyttökohteista vaatii öljytöntä paineilmaa. (Fonselius ym. 1997, 41).



Kuva 3 Öljyttömän mäntäkompressorin mäntä & tiivisteet (Airila ym. 1983, 26).

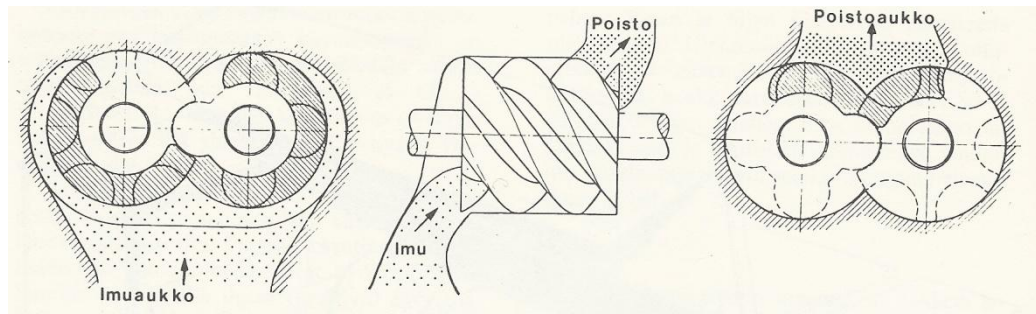
## 2.2.2 Ruuvikompressor



Kuva 4 Puristuksen kulku ruuvikompressorissa (Airila ym. 1983, 30).

Ruuvikompressor koostuu kahdesta roottorista ja kompressorin rungosta, jotka yhdessä muodostavat puristustilan. Roottorit ovat rynnössä toisiaan kohtaan. Roottoreita kutsutaan luisti- ja ruuviroottoreiksi. Yleensä voima johdetaan ruuviroottorille, jolloin luistiroottorille on siirrettävä vain 10...40 % kokonaistehosta, tämä riippuu roottoreiden profiileista. Yleisimmin käytössä oleva profiili on ns. SRM-profiili (Kuva 7). Pienissä voidelluissa ruuvikompressoreissa käytetään ns. luistikäyttöä yleisemmän ruuviroottorivedon ohessa. Tällöin voima tuodaan poikkeuksellisesta luistiroottorille. Tällä järjestelyllä saadaan kompressorin pyörimisnopeutta nostettua ilman ylennysvaihdetta roottoreiden päissä. (Airila ym. 1983, 30–31).

Kuten mäntäkompressoreita, myös ruuvikompressoreita on öljyttöminä sekä öljyvoideltuina. Kompressoreissa, joissa käytetään öljyä voiteluaineena, roottorit koskettavat toisiaan, joten tahdistushammaspyöriä ei ole tarpeen käyttää, koska teho siirtyy roottorista toiseen niiden pintojen välityksellä. Näissä kompressoreissa öljyä ruiskutetaan jatkuvasti puristustilaan, jossa se toimii voiteluna roottoreille, vuotojen tiivistämisenä sekä puristuksessa tapahtuvan lämmön poisjohtamiseen. Paineilmassa oleva öljy erotetaan kahdessa vaiheessa, esierotuksessa ja hienoerotuksessa. Öljy pitää jäähdyttää ennen kun se voidaan käyttää uudelleen, koska 60 – 80 % ilman puristamisessa syntyvästä lämmöstä siirtyy öljyn mukana ulos kompressorin puristustilasta. (Airila ym. 1983, 32).



Kuva 5 Ruuvikompressorin imu- ja poistoaukkojen sijainti (Airila ym. 1983, 34).

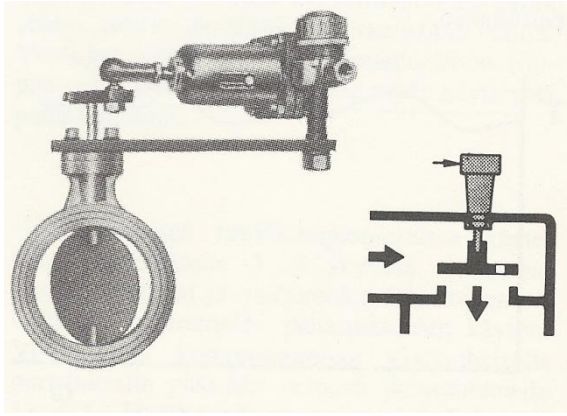
Sisään tulevan ilman ja ulospäin poistuvan paineistetun ilman kulkua ohjataan poistoaukoilla. Aukot avautuvat ja sulkeutuvat roottoreiden pyörimisliikkeestä eli ovat ns. pakko-ohjattuja. Painesuhde öljyttömissä 3 - 5 ja öljyvoidelluissa 13 - 15, mutta hyötysuhteen takia alennettu kaksivaiheisessa puristuksessa 8 - 11. (Airila ym. 1983, 32–33).

Öljyvoidellun ruuvikompressorin tuottoa säädetään yleisesti kolmella ratkaisulla: pyörimisnopeuden muuttamisella (nostetaan tai lasketaan), sisään tulevan imuilman kuristamisella ja luisti- tai kiertoventtiilisäädöllä. Ruuvikompressoreissa, joissa ei käytetä öljyä voiteluaineena, tuottoa säädetään pyörimisnopeutta muuttamalla sekä imuvirtauksen kuristamalla. (Airila ym. 1983, 34).

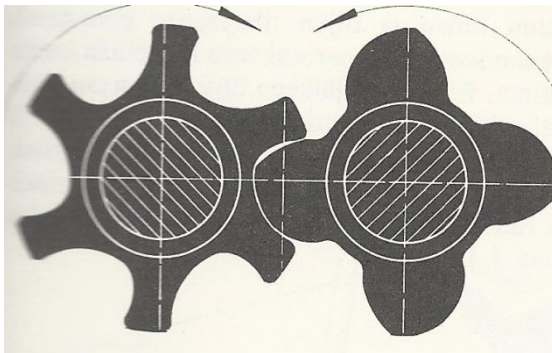
Kun kompressoria käytetään polttomoottorilla, pyörimisnopeuden muuttaminen on helpompaa (100 % - 50 % maksimituotosta) kuin oikosulkusähkömoottorilla. Kun oikosulkumoottorin yhteydessä käytetään taajuusmuuntajaa, se mahdollistaa pyörimisnopeuden muuttamisen. (Airila ym. 1983, 34).

Imuilman kuristaminen tapahtuu sijoittamalla läppä- tai lautasventtiili kompressorin imuputkeen (kuva 6). Kuristaminen voidaan toteuttaa kahdella tavalla: jatkuvana tai sitten ns. "kaksipistesäädöllä". Jatkuvassa kuristamisessa venttiiliä säädetään tuotto alueella 0 – 100 %. Kaksipistesäädössä käytetään venttiiliä vain 100 % tai 0 % eli täysin auki tai kiinni. Käytettäessä kaksipistesäätöä tulee kompressorin jälkeen olla paineilmasäiliö, johon tuotettu paineilma varastoituu. Tämä mahdollistaa paineilman käytön, kun kompressorin on tyhjäkäynnillä. (Airila ym. 1983, 34).



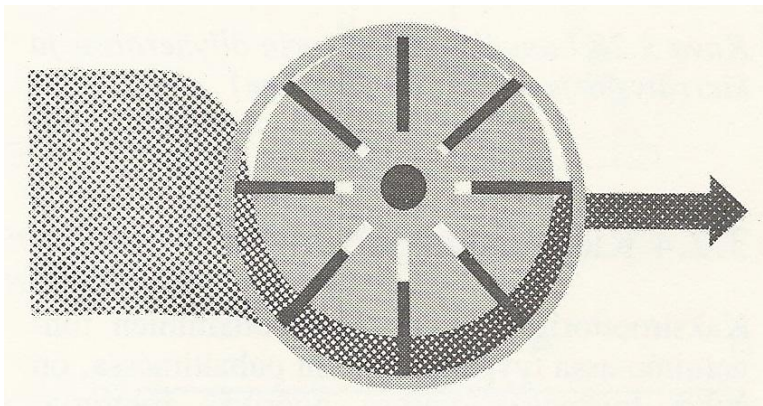


Kuva 6 Imuilman kuristaminen läppä tai lautasventtiilillä (Airila ym. 1983, 34).



Kuva 7 Ruuvikompressorin SRM-Profiili (Airila ym. 1983, 31).

### 2.2.3 Lamellikompressori

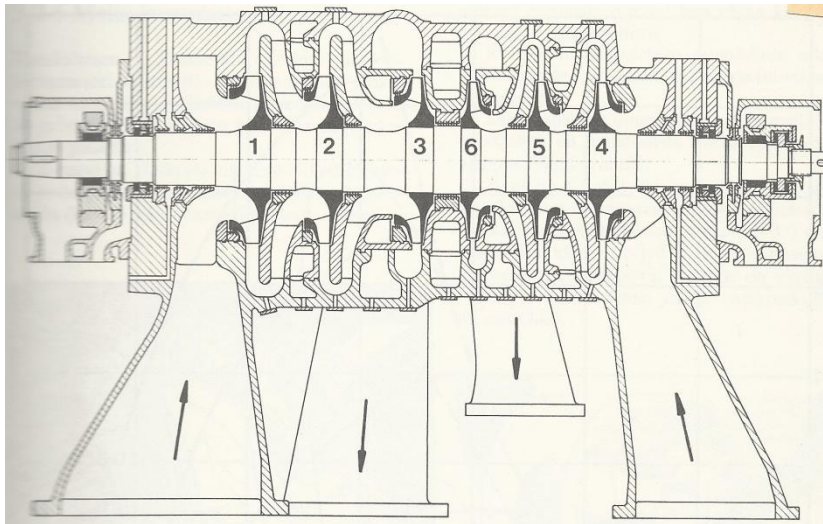


Kuva 8 Lamellikompressorin paineen tuotto (Airila ym. 1983, 35).

Lamellikompressori koostuu sylinterinmuotoisesta pesästä, jonka keskellä on epäkeskeisesti laakeroitu roottori. Roottorissa olevat siivet painautuvat pesän seinämiä vasten roottorin pyöriessä muodostaen näin taskuja, joissa ilman puristuminen tapahtuu. (Airila ym. 1983, 35).

Pienemmillä paineilla (alle 8 bar) lamellikompressoreita saadaan myös öljyttöminä, mutta mentäessä yli 8 barin paineen kompressorit on varustettu öljyruiskutuksella. Lamellikoneet rakennetaan isoimmissa kokoluokissa kaksivaiheiseksi vähentäen näin vuotoja ja mekaanista rasitusta roottoriin. Öljyvoideltuun ruuvikompressorisiin sekä lamellikompressorisiin rakennetaan öljynerotus- ja jäähdytysjärjestelmät, koska öljy toimii voitelevana sekä jäähdyttävänä elementtinä kompressorissa. Öljyä ei kuitenkaan haluta poistuvan kompressorista edelleen säiliöön eikä putkistoon. (Airila ym. 1983, 35).

#### 2.2.4 Kineettiset kompressorit



Kuva 9 6-vaiheinen radiaalikompressor (Airila ym. 1983, 37).

Kineettiset kompressorit voidaan jaotella kahteen päätyyppiin: aksiaalinen ja radiaalinen malli, ja ne tunnetaan myös turbokompressorin nimityksellä. Kineettisissä kompressoreissa tuotto riippuu hyvin voimakkaasti painesuhteesta. Jos kompressorin tuottopuolen virtausta kuristetaan liikaa, ei se pysty toimimaan täysin ongelmitta, koska kompressorin siivistö sakkaa. Tämä aiheuttaa virtauksen kääntymisen hetkellisesti päinvastaiseksi. Sakkkaus aiheuttaa voimakkaan värähtelyn virtauksessa, joka saattaa vaurioittaa kompressorin siivistöä. (Airila ym. 1983, 37).

Ilman puristaminen tapahtuu kineettisissä kompressoreissa monessa osassa, radiaalityyppisissä kompressoreissa painesuhteen ollessa 3 - 5 ja aksiaali-tyyppisissä n. 1. Tämä tarkoittaa pyrittäessä teollisuuspaineilman tuottamiseen kompressori tarvitsee useita vaiheita (jopa kymmenittäin), jotta vaadittava paine saavutetaan.

(Airila ym. 1983, 37).

## 2.3 Tuotetun ilman varastointi & käsittely

### 2.3.1 Paineilmasäiliö



Kuva 10 Korkeapainesäiliö (Atlas Copco Oy, [Viitattu 17.1.2016]).

Paineilmasäiliö toimii varastona tuotetulle paineilmalle, tällä tavoin se tasaa järjestelmässä tapahtuvia kulutus huippuja, ja samalla se mahdollistaa kompressoreiden joustavan käynnin. Koska kompressorista tuleva paineilma on kuumaa, tullessaan säiliöön se alkaa jäähtymään ja ilmassa oleva kosteus kondensoitumaan. Kondensoitunut vesi valuu säiliön pohjalle, josta se voidaan helposti poistettavissa. Paineilmasäiliö toimii myös vedenerottimena.

(Airila ym. 1983, 99).



### 2.3.2 Jälkijäähdytin



Kuva 11 ACA-jälkijäähdyttimet (Kaeser Kompressorit Oy, [Viitattu 20.1.2016]).

Jälkijäähdytin on eräänlainen lämmönvaihdin, minkä tehtävänä on erottaa tuotetusta paineilmaasta vettä jäähdyttämällä sitä. Jälkijäähdyttimessä käytetään yleisesti paineilman jäähdyttämiseen vettä tai ilmaa. Jälkijäähdytin on yleensä kompressorisyksikön osa ja sijaitsee heti kompressorin jälkeen. (Airila ym. 1983, 53).

Kompressorissa tuotettu paineilma on sieltä tullessaan hyvin kuumaa ja kaikki siinä oleva vesi on höyrymäisenä. Jälkijäähdytin täten laskee paineilman lämpötilaa joko veden tai tuulettimen tuottaman ilmvirran avulla tavoitteena mahdollisimman matala lämpötila, jolloin kosteuden tiivistyminen on suurinta. (Airila ym. 1983, 54-55).

Jälkijäähdyttimen päätehtävänä on edellä mainittu kosteuden poisto tuotetusta paineilmaasta sen lämpötilaa alentamalla. Samalla se mahdollistaa paineilman jatkokäsittelyn joko suodattamalla tai kuivaamalla.

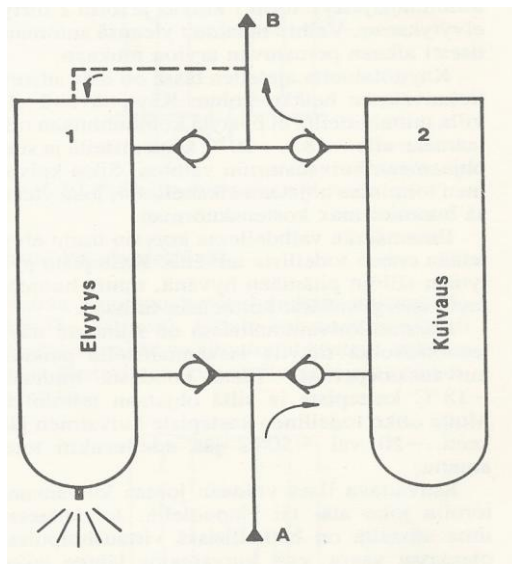
Verkoissa, joissa paineilman tuottamiseen käytetään öljyvoideltua mäntäkompressoria, jälkijäähdytin suojaa säiliöpaloilta. Kun mäntäkompressori on erittäin kulu- nut, saattaa lämpötila nousta yli öljyn syttymispisteen. Tässä tapauksessa jälkijäähdytin estää palon eteenpäin leviämisen verkostossa. (Airila ym. 1983, 78 – 79).

### 2.3.3 Adsorptiokuivain



Kuva 12 Kaeser lämpöelvytteinen adsorptiokuivain (Kaeser Kompessorit Oy, [Viitattu 20.1.2016]).

Adsorptiokuivauksessa käytetään nestemäistä tai kiinteää ainetta, jolla on kykyä sitoa vesimolekyylejä pinnalleen, mikä näin ollen poistaa tuotetusta paineilmastasta kosteutta. Tämän kuivausmenetelmän avulla saavutetaan todella alhainen kastepiste ( $-30^{\circ}\text{C}$  ...  $-90^{\circ}\text{C}$ ), jolloin paineilmaa voidaan myös käyttää ulkona. (Ellman ym. 2002, 55).



Kuva 13 Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate (Airila ym. 1983, 59).

Yleisemmin käytössä olevat aineet adsorptiokuivaimessa ovat silikageeli, aktivoitu alumiinioksidi ja molekyyliseula. Viimeksi mainitulla molekyyliseulalla päästään,

kun verrataan kastepisteitä, kaikkein alhaisimpaan, mutta se aiheuttaa myös eniten kuluja verrattaessa muihin. (Airila ym. 1983, 60).

Adsorptiokuivaimet voidaan jakaa niiden elvytystavan mukaisesti lämmöllä, puhaltamalla kuivaaviin tai ilman lämpöä elvyttäviin kuivaimiin. Toimintaperiaate on kuitenkin sama elvytystavasta riippumatta.

Adsorptiokuivaimissa on kaksi kuivaustornia, joista toisessa tornissa kuivataan paineilmaa samanaikaisesti kun toisessa tornissa poistetaan kuivainaineeseen sitoutunut vesi eli sitä ns. elvytetään. Kuivaavan tornin kuivainaineen saavuttaessa suurimman sallitun kastepisteen, tapahtuu vaihto, minkä seurauksena torni, jossa tapahtui elvytys, alkaa kuivaamaan paineilmaa ja toinen, joka kuivasi paineilmaa, alkaakin elvyttämään kuivainainetta. Vaihto perustuu aika-arvioon, mikä kuuluu maksimikastepisteen saavuttamiseen. Tätä toimintaa ohjataan ajastinkellolla. (Airila ym. 1983, 60-61).

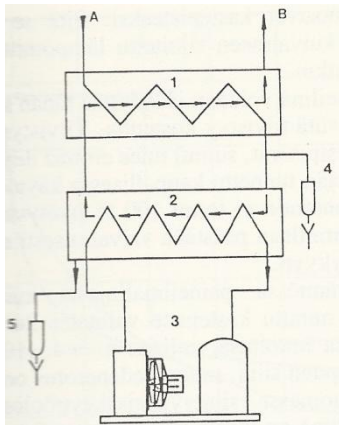
Adsorptiokuivaimissa joita elvytetään lämmöllä, on käytössä sähkövastukset tai höyry, jonka avulla saadaan tornin lämpötilaa nostettua. Samanaikaisesti johdetaan kuivattua paineilmaa tornin lävitse, joka näin poistaa sinne sitoutuneen kosteuden. Kun tornissa oleva kosteus on saatu poistettua, aletaan tornia jäähdyttää, jolloin lämpö katkaistaan ja toisessa tornissa kuivatun paineilman annetaan virrata tornin lävitse, kuten Kuvassa 13 vasemmanpuoleisesta tornista käy ilmi. (Airila ym. 1983, 61).

Puhallin-elvytteisissä adsorptiokuivaimissa toimintaperiaate on kuin lämmöllä elvyttävissä, sillä erotuksella, että lämmityselementit sijaitsevat ulkopuolisen puhallimen yhteydessä. Puhallin hoitaa kuivaimen tarvitsevan elvytysilman, jonka lämpötilan tulee olla korkea sekä määrän riittävän korkea. (Airila ym. 1983, 61).

Ilman lämpöä elvyttävissä adsorptiokuivaimissa toimintaperiaate perustuu lyhyisiin kuivausjaksoihin, pituudeltaan 1-10 minuuttia. Tällä tavoin kuivaimen sisällä oleva kuivainaine ei ehdi kyllästyä, vaan kerääntynyt kosteus saadaan elvytettyä toisessa tornissa kerran kuivatulla ilmavirralla. (Airila ym. 1983, 61).

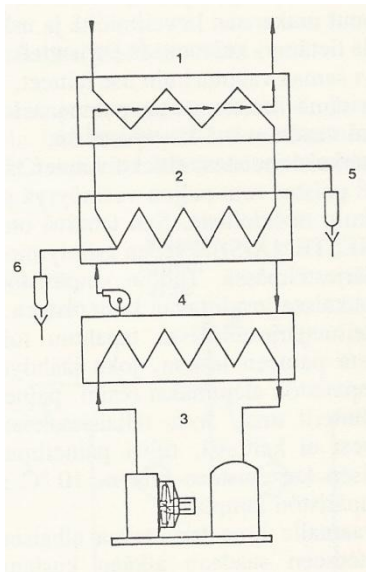
### 2.3.4 Jäähdytyskuivain

Jäähdytyskuivauksessa tuotetun paineilman lämpötilaa lasketaan säädettyyn arvoon, minkä jälkeen poistetaan siinä lämpötilassa tiivistynyt kosteus ja annetaan paineilman lämmetä takaisin käyttölämpötilaansa. Jäähdytyskuivaimia on kolmea erilaista toimintaperiaatteen perusteella: suoraan paisuntaan, varaavaan massaan ja jäävesijäähdytykseen perustuvia.



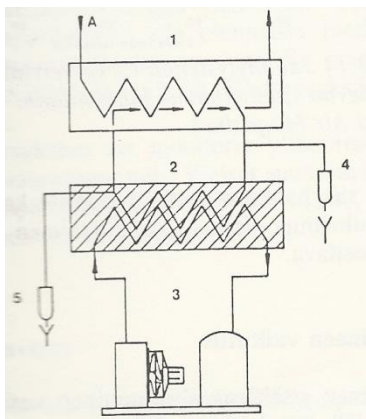
Kuva 14 Suorapaisuntainen jäähdytyskuivain (Airila ym. 1983, 57).

Kuvassa 14 on esitettyä suoraan paisuntaan perustuva jäähdytyskuivain. Siinä A:sta tuleva lämmin ilma ohjataan lämmönvaihtimeen (1). Siellä toisesta lämmönvaihtimesta (2) tuleva kylmä ilma esijäähdyttää sitä. Tästä tiivistynyt vesi johdetaan ulos kohdan 4 venttiilin kautta, ilman jatkaessa matkaa toiseen lämmönvaihtimeen (2), siellä ilma jäähdytetään jäähdytyskoneikon avulla (3). Tämän jälkeen kylmä ilma johdetaan takaisin ensimmäiseen lämmönvaihtimeen (1), missä se lämpenee itse jäähdyttäessään sisään tulevaa ilmaa jatkaessaan matkaa käyttöverkkoon (B). Toisessa lämmönvaihtimessa (2) syntynyt kosteus johdetaan ulos 5 kohdan venttiilin kautta. (Airila ym. 1983, 57).



Kuva 15 Varaavamassainen jäähdytyskuivain (Airila ym. 1983, 57).

Kuvan 15 varaavamassaisessa jäähdytyskuivaimessa toimintaperiaate on vastaava kuin suorapaisuntaisessa, sillä erotuksella, että toisessa lämmönvaihtimessa (2) käytetään kosteuden varaavaa väliainetta. Tämä varaava aine voi olla joko kiinteää tai nestettä, esimerkiksi glykolia. (Airila ym. 1983, 57).



Kuva 16 Jäävesijäähdytteinen jäähdytyskuivain (Airila ym. 1983, 57).

Jäävesijäähdytteisissä jäähdytyskuivaimissa toimintaperiaate on sama kuin aiemmin, mutta paineilman jäähdyttämisen suorittaa vesi, joka kiertää kolmannessa (3) lämmönvaihtimessa, kuten kuvasta 16 ilmi. (Airila ym. 1983, 57).

## 2.4 Paineilman suodattaminen paineilmaverkossa

Kompressorilla tuotettu paineilma sisältää aina epäpuhtauksia. Näistä merkittävimpinä pidetään kiinteitä hiukkasia, öljyä, bakteereita ja viruksia, ympäristön kaasuja, vesihöyryä sekä jälkikäsittelyssä lähteviä epäpuhtauksia.

(Airila ym. 1983, 47).

### 2.4.1 Partikkelien suodatus

Partikkeleiden suodatukseen käytetään suodattimia. Suodatinasteeltaan karkein suodatin on esisuodatin, joka pystyy erottelemaan partikkeleita 5-40 µm väliltä. Näillä tarkoitetaan kiinteitä partikkeleita ja öljyä, suodatin estää myös vesipisaroiden päätymistä kuivaimeen. Esisuodatin on yleensä valmistettu sintratusta pronssista. (Ellman ym. 2002, 56).

Hienosuodattimessa käytetään suodatinelementtejä, jotka pystyvät erottelemaan partikkeleita 0,1 - 0,01 µm väliltä. Suodattimen käyttötarkoitus määrittää, kuinka suodatustehokas suodatinelementti siihen asennetaan. (Ellman ym. 2002, 57).

Mikrosuodattimet kykenevät suodattamaan partikkeleita, joiden koko on noin 0,01 µm. Näin ollen mikrosuodatin sopii parhaiten pääosin hienompaan yleissuodatukseen. (Ellman ym. 2002, 57).

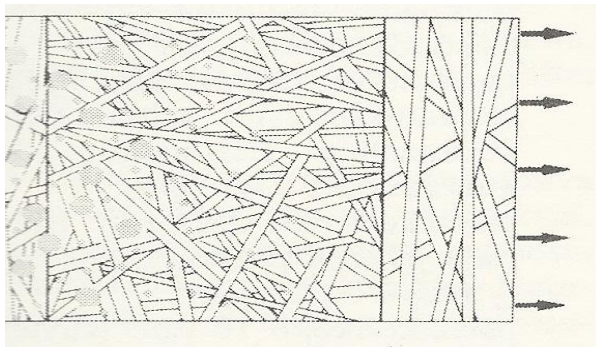
Sovelluksissa, joissa tarvitaan ehdottoman puhdasta sekä bakteeritonta paineilmaa, käytetään steriilisuodattimia ilman puhdistamiseen. Näitä ovat sairaalat ja lääketeollisuus. (Ellman ym. 2002, 57).

Mikäli paineilman käsittelyyn käytetään höyrysterilointia, tulee suodattimen kestää yli 200 °C:n lämpötiloja. Suodattimissa käytettävien suodatinelementtien tulee olla täysin neutraaleja kemiallisesti, biokemiallisesti sekä biologisesti. (Airila ym. 1983, 67).

## 2.4.2 Öljyn suodatus paineilmaverkostosta

Kompressoreissa voiteluaineena käytettävästä öljystä siirtyy aina osa tuotetun paineilman joukkoon, missä se esiintyy nesteinä, hienojakoisena sumuna tai kaasuna. Öljyn ollessa sumun muodossa siinä partikkelikoot saattavat vaihdella 0,001 - 10 µm välillä. Öljyn poistamiseksi paineilmaverkostosta on käytössä öljynsuodattimia, jotka perustuvat eri suodatusmenetelmiin, mekaaniseen suodatukseen, yhdistymissuodatukseen sekä adsorptiosuodatukseen. (Airila ym. 1983, 63-64).

Mekaanisessa suodatuksessa paineilman joukossa olevan partikkelin eteneminen estetään verkolla. Suodattimia on kahdenlaisia, paperielementtityyppisiä tai sintrat-  
tuja, mikä sisältää pakattua suodatinainetta. Mekaaninen suodatin päästää lävitseen öljyhöyryt ja syntyneet kaasut. Tämä voidaan estää suodattimen verkon ollessa tiheä, mutta se taas nostaa se virtausvastusta, mikä näin ollen nostaa suodattimessa tapahtuvaa painehäviötä. Painehäviötä on mahdollista pienentää, kun suodattimen pinta-alaa kasvatetaan reikäkoon pysyessä samana.



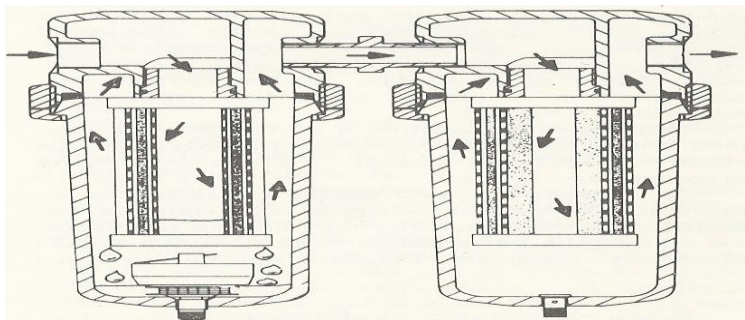
Kuva 17 Yhdistymissuodatin (Airila ym. 1983, 65).

Yhdistymissuodattimissa erisuuntaiset sekä -paksuiset kuidut aiheuttavat suodattimeen paineilman mukana kulkeutuneen öljyn ja muiden partikkeleiden yhdistymisen, kuten kuvasta 17 käy ilmi. Öljypartikkeleiden törmätessä kuituihin ne muodostavat vähitellen isomman pisaran, mikä voidaan näin ollen poistaa paineilmassa. Yhdistymissuodatin on tarkoitettu lähinnä vain kompressorista tulevan öljyn suodatukseen. Jos suodattimeen joutuu kiinteitä partikkeleita, kuten esimerkiksi pölyä, tukkii se suodattimessa olevat kuidut nopeasti. Tämä aiheuttaa paine-eron kasvun suodattimessa, mikä näin ollen merkitsee suodatinelementin vaihtoa. Yhdistymissuodatin pystyy erottamaan 99 % tuotetussa paineilmassa olevasta nestemäisestä

tai sumussa olevasta öljystä. Kaasumaisena/höyrynä olevia hiilivetyä se ei kykene suodattamaan. (Airila ym. 1983, 65-66).

Adsorptiosuodatuksessa partikkelit sidotaan suodattimessa sijaitsevaan kiinteään adsorptioaineeseen, kuten esimerkiksi aktiivihiileen. Aktiivihiilen raekoko on suodattimissa pieni (n. 70  $\mu\text{m}$ ) mahdollistaen näin mahdollisimman suuren tilavuus/pinta-ala-suhteen. Toisin kuin yhdistymissuodattimessa, adsorptiosuodattimessa partikkelit sitoutuvat adsorptioaineeseen, mikä ei aiheuta merkittävää paine-eron kasvua. Adsorptiosuodattimen tehtävänä on suodattaa tuotetusta paineil-  
masta kaasu- ja höyrymäiset hiilivedyt.

Jotta adsorptiosuodattimessa oleva aine ei kyllästyisi nopeasti eikä näin ollen vaati vaihtoa usein, tulisi paineilmassa oleva kosteus sekä öljy suodattaa mahdollisimman hyvin ilman johtamista adsorptiosuodattimeen.



Kuva 18 Hieno- ja aktiivihiilisuodatin yhdistettynä (Airila ym. 1983, 65).

Adsorptiosuodattimen aineen kyllästymistä pystytään hidastamaan yhdistymissuodattimella, mikä sijaitsee ennen adsorptiosuodatinta paineilmaverkostossa kuten kuvassa 18 (Airila ym. 1983, 65).

Verkostossa käytetään myös poistoilmasuodattimia estämään öljyhöyryjen leviäminen. Poistoilmasuodattimet sijaitsevat toimilaitteessa, joka käyttää paineilmaa toimintaansa. Rakenteeltaan ja toiminnaltaan poistoilmasuodattimet ovat hyvin samanlaisia kuin itse verkostossa sijaitsevat suodattimet. (Airila ym. 1983, 67).



### **2.4.3 Kompressorin imuilman suodatus**

Kompressorin imuilman suodattamiseen käytetään paperielementtisiä suodattimia, öljyllä kostutettuja labyrinttisuodattimia, huopasuodattimia tai öljykylpyisiä suodattimia (Airila ym. 1983, 74).

## **2.5 Takaiskuventtiili**

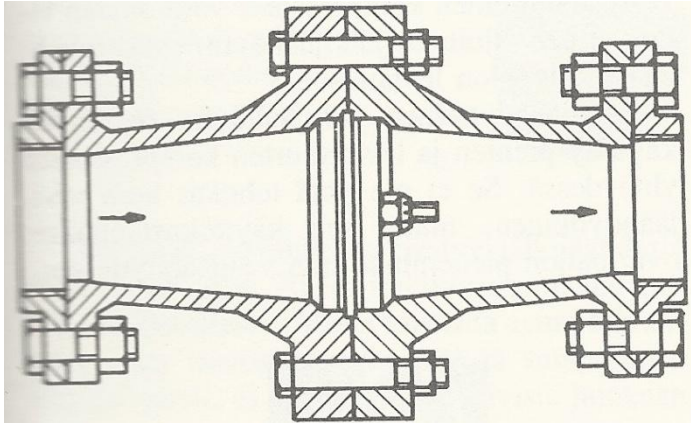
Takaiskuventtiilin pääasiallisena tehtävänä on suojella kompressoria ja siellä sijaitsevia venttiileitä. Takaiskuventtiili estää myös sen, ettei kompressoria pysty käynnistämään paineenalaisena. (Airila ym. 1983, 76).

### **2.5.1 Takaiskuventtiili mäntäkompressorissa**

Takaiskuventtiilien käyttö on välttämätöntä sovelluksissa, joissa käytetään enemmän kuin yhtä mäntäkompressoria paineilman tuottamiseen. Takaiskuventtiileillä pystytään estämään paineilma-verkossa olevien paineiskujen vaikutukset kompressorissa sijaitseviin venttiileihin. Kun yksi kompressori ei ole käynnissä, estää takaiskuventtiili sen, ettei muiden käytössä olevien kompressorien tuottama ilma pääse vaikuttamaan kompressoriiin.

Mäntäkompressoreissa takaiskuventtiili sijoitetaan mahdollisimman lähelle painesäiliötä, tällä tavoin paineputki saadaan tehtyä paineettomaksi kompressorin ja takaiskuventtiilin välillä, mikä näin ollen mahdollistaa kompressorin käynnistämisen paineettomana.

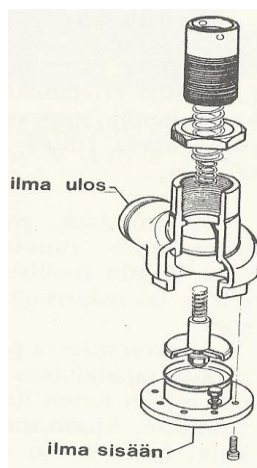
Mäntäkompressoreiden yhteydessä käytettävissä takaiskuventtiileissä käytetään vastaavanlaista venttiiliä kuin mäntäkompressoreiden paineventtiili. Tämä mahdollistaa venttiilin asentamisen verkostossa mihin asentoon hyvänsä vaikuttamatta toimintaperiaatteeseen. (Airila ym. 1983, 77).



Kuva 19 Takaiskuventtiili (Airila ym. 1983, 77).

### 2.5.2 Takaiskuventtiili pyörivissä kompressoreissa

Takaiskuventtiiliä käytettäessä pyörivien kompressorien, kuten ruuvi- ja lamelli-kompressoreiden, yhteydessä se suojaa koko kompressoria esimerkiksi sähkökatkojen varalta. Verkon ollessa paineen alaisena ja kompressorin ollessa pysähtyneenä estää takaiskuventtiili kompressorin pyörimisen väärinpäin. Koska pyörivätyyppiset kompressorit eivät aiheuta verkkoon paineiskuja, voidaan kompressoreiden yhteydessä käyttää lautas-, läppä- tai mäntätyyppisiä takaiskuventtiileitä. (Airila ym. 1983, 77).



Kuva 20 Yhdistetty takaisku-/minimipaineventtiili (Airila ym. 1983, 78).

Öljyvoldelluissa lamelli- ja ruuvikompressoreissa käytetään takaiskuventtiiliä, jossa on yhdistetty minimipaineventtiili, kuten kuvassa 20 on esitetty. Minimipaineventtiilin

tehtävänä on estää liian suuren ilmamäärän kulkeutuminen öljynerotussuodattimen läpi. Koska takaiskuventtiilit eivät yleisesti ole valmistettu ruostumattomista materiaaleista, tulisi venttiilin sijainti olla näin ollen ennen jälkijäähdytintä. Ennen jälkijäähdytintä lämpötilat ovat niin korkeat, ettei kosteutta ilmene nestemäisessä muodossa. Tämä taas aiheuttaa venttiilille tiiviimpää huoltoa sen karstoituessa ja likaantuessa helpommin. (Airila ym. 1983, 78).

## **2.6 Paineilmajärjestelmän huolto**

Paineilmajärjestelmää huollettaessa tulee ottaa huomioon, että painelaitteiden ja varusteiden säätäminen sekä korjaaminen on ammattilaisen tehtävä, taas kun niiden kunnan seuranta on painejärjestelmän käyttäjän vastuulla. (Painelaitteiden kunnossapito 2004, 9).

### **2.6.1 Varoventtiili**

Varoventtiilin tehtävänä on suojata järjestelmää ylipaineelta eli normaalin suurimman käyttöpaineen ylittymiseltä. Varoventtiili suojaa ylipaineelta tulipalon sattuesssa tai painesäätimen rikkoutuessa, jolloin paine säiliössä nousee edelleen. Tässä tapauksessa varoventtiili toimii viimeisenä turvatoimena estäen näin mahdollisen räjähdysten. Tämän takia on tärkeää huolehtia varoventtiilin toiminnasta paineastioiden kanssa toimiessa. Varoventtiilin toimintavarmuuteen vaikuttaa se, minkälaisessa ympäristössä paineastia sijaitsee, yhtäläillä kuin venttiilin tyyppi sekä minkä tyyppistä ainetta paineastia varastoi. Esimerkiksi astioille, joissa säilytetään kaasuja (esimerkiksi paineilmasäiliö), ei saa käyttää nesteille tarkoitettua varoventtiiliä, koska venttiilin puhalluskyky ei riitä kaasuille. Mikäli paineastian sisältö luokitellaan vaaralliseksi tai astian sisällön purkautuminen varoventtiilin kautta aiheuttaa vaaratilanteen, ei käyttäjä saa itse koestaa venttiiliä, vaan sen on tehtävä koulutettu ammattilainen. Venttiilin koestus tulisi tehdä 1-2 kertaa vuodessa, mutta mikäli ympäristö on esimerkiksi pölyinen tai erityisen kostea, tulee koestus tehdä useammin. (Painelaitteiden kunnossapito 2004, 9).

Varoventtiilin koestus tehdään yleisimmin käsivivusta tai kevennysruuvista, joiden avulla kevennetään varoventtiiliä niin paljon, että ilmaa alkaa tulemaan venttiilin kautta ulos. Samalla tarkistetaan painemittarista, että paineastian paine todellisuudessa laskee. Koestusta suoritettaessa tulee säiliöpaine nostaa mahdollisimman lähelle sitä painetta, missä varoventtiilin tulisi aueta, eli maksimaalista käyttöpainetta. Varmistuttua venttiilin toiminnasta tulee varoventtiilin sulkuvaiheessa varmistua siitä, että venttiili sulkeutuu kunnolla eikä jää vuotamaan, mikä näin aiheuttaisi järjestelmän käynnistymistä turhaan.

Varoventtiilin on tarkoitus toimia ainoastaan poikkeustilanteissa, joissa paineen kehittyminen säiliöön ei pysähdy, mutta mikäli venttiili toimii jatkuvasti, on painejärjestelmän säätö- / ohjausjärjestelmä epäkunnossa, varoventtiili on säädetty väärin tai maksimi käyttöpaine on asetettu liian korkeaksi, jolloin varoventtiili laukeaa liian suuren paineen vuoksi. (Painelaitteiden kunnossapito 2004, 10).

### **2.6.2 Ohjaus- ja säätöjärjestelmä**

Paineastian käynnistymis- ja sammutusarvoja säädetään painekeytkimien sekä termostaattien avulla normaalin käytön aikana. Näin on mahdollista seurata, milloin kompressori lähtee päälle ja sammuu, kompressori sammuu kun ennalta asetettu paine säiliössä saavutetaan ja taas käynnistyy, kun paine säiliössä laskee asetetun arvon alle. Eli mikäli kompressori käy koko ajan, on se joko alimitoitettu järjestelmän muuhun kokoon nähden, säätöjärjestelmä säädetty väärin tai järjestelmässä on vuotoja. (Painelaitteiden kunnossapito 2004, 10).

Painemittarilla seurataan säiliön sisällä vallitsevaa painetta, joten sen on myös oltava toimintakuntoinen. Sen täytyy palautua näyttämään asteikolla nollaa (0), kun paineastiassa ei ole enää painetta. (Painelaitteiden kunnossapito 2004, 10).

### **2.6.3 Painelaitteiden tarkastus**

Painelaitteen kuntoa tulee seurata säännöllisesti käyttäjän sekä huolto-ohjeissa annettuja huoltoaikoja tulee noudattaa. Erityisesti painelaitteita käytettäessä vai-

keissa, kosteissa ja pölyisissä olosuhteissa huollon merkitys korostuu. Maalipinnan kunnan tarkastus on tärkeä osa huoltoa, koska paineastia voi syöpyä nopeasti puhki erityisesti kosteissa olosuhteissa käytettäessä. Samoin kuin kolhut, joiden seurauksena yleisesti maalipinta on rikki, aiheuttaa itse astian jännityskeskittymän, mikä voi edelleen aiheuttaa astian räjähtämisen. Käyttäjä ei saa itse oikoa paineastiaan tulleita lommoja mahdollisten uusien materiaalin muodonmuutoksien vuoksi. (Painelaitteiden kunnossapito 2004, 11).

#### **2.6.4 Säiliön tarkastus ja vedenpoisto**

Säiliön pohjalle kertyy vettä, mikä ruostuttaa säiliötä sisäpuolelta. Ruostumisen edetessä muodostuu säiliön pohjalle ruostesakkaa, johon tiivistynyt vesi jää seisomaan kiihdyttäen näin syöpymistä sekä vaikeuttaen vedenpoistoa säiliöstä. Tämän vuoksi vedenpoisto tulee suorittaa käyttäjän vähintään kerran viikossa. (Painelaitteiden kunnossapito 2004, 11).

Paineilmalaitteet on yleisesti suunniteltu tarkastuksia varten, joten niistä löytyy tarkastusluokkuja/yhteitä, joiden kautta on mahdollista tutkia laitteen kuntoa sekä mahdollisia muutoksia. Tehdessä tarkistuksia tai puhdistusta painelaitteiden sisäpuolelle tulee varmistua siitä, että laite on täysin paineeton eikä sinne ole mahdollista tulla painetta huoltotöiden aikana. Tämä onnistuu parhaiten irrottamalla kompressori sähköverkosta sekä avaamalla säiliön tyhjennysyhde. (Painelaitteiden kunnossapito 2004, 12).

Painelaitteiden, joiden on mahdollisuus aiheuttaa merkittävää vaaraa ympäristölleen tai käyttäjilleen, sijoituksensa tai käyttöarvojen (paine, lämpötila, sisältö) vuoksi tulee suorittaa lakisääteiset tarkastukset. Näitä tarkastuksia saa tehdä vain TUKES:in hyväksymät tarkastuslaitokset. Kyseisten painelaitteiden pakollisista tarkastuksista on tehty kauppa- ja teollisuusministeriön päätös (953/1999), jonka mukaisesti tarkastukset tulee tehdä. Tällaisia ovat esimerkiksi painesäiliöt, joiden suurin sallittu käyttöpaine on suurempi kuin 1000 bar ja sijaitsee sisätiloissa, yleisötiloissa tai kulkuväylän välittömässä läheisyydessä. (Painelaitteiden kunnossapito 2004, 13).

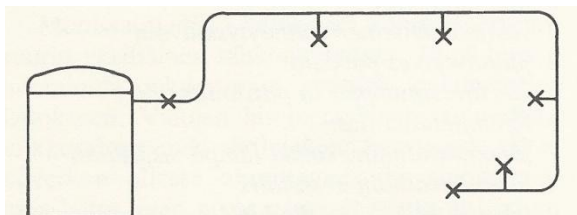
## 3 Paineilmaverkoston suunnittelu

### 3.1 Paineilmaputkiston suunnittelu

Paineilmaputkiston pääasiallisena tehtävänä on siirtää tuotettu paineilma kompressorilta sitä käyttävälle toimilaitteelle. Putkistoa suunniteltaessa suurimmat määrävät tekijät ovat paineilman laadun lisäksi paineilman kuljetuksessa putkistossa pitkin aiheutuvat siirtohäviöt ja vuodot. Paineilman käyttöympäristö vaikuttaa suunnitteluun, esimerkiksi jos paineilmaa suunnitellaan käytettäväksi kylmässä, jolloin vallitsevat ympäristötekijät vaikuttavat tuotetun paineilman kosteussisällölle.

Paineilmaputkiston suunnittelussa tulee ensimmäiseksi tehtäväksi selvittää putkiston sijoitus. Mikäli paineilman käyttöympäristö on kovin vaihteleva, tulee se ottaa suunnittelussa huomioon vain periaatetasolla. Kuitenkin pääkohdiksi suunnittelussa muodostuvat eri kulutuskohteiden jakaantuminen sekä siirtoetäisyydet putkistossa. Putkiston suunnittelu voidaan jakaa kahteen verkstorakenteeseen suoraan tai rengasverkkoon. (Airila ym. 1983, 96).

#### 3.1.1 Suora verkko

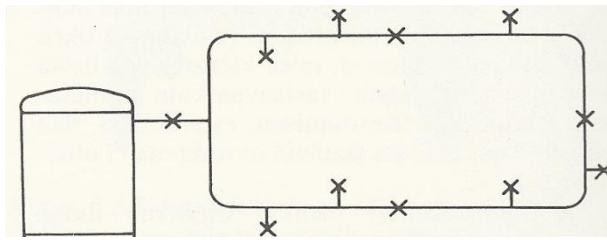


Kuva 21 Suora tyyppinen paineilmaverkko (Airila ym. 1983, 96).

Suoran verkon rakenne on yksinkertainen, siinä koko verkoston ilmamäärä kulkee yhtä runkoputkea pitkin, kuten kuvasta 21 käy ilmi. Putkiston loppupäätä kohden myös virtausmäärä pienenee, jolloin runkoputken kokoa voidaan tarvittaessa pienentää. Suoran verkon huono puoli on se jos putkiston huoltotarpeen tai rikkoutumisen vuoksi paineilman jakelu häiriintyy, keskeyttää se koko verkoston jakelun. Myös jos verkon loppupäähän asennetaan paljon ilmaa kuluttavia käyttölaitteita,

tuottaa se vaikeuksia verkostopaineen ylläpitämisessä. Paljon ilmaa kuluttavien toimilaitteiden verkostohaaran eteen voidaan myös asentaa ylimääräinen paineilmasäiliö verkoston paine heilahteluita tasaamaan. (Airila ym. 1983, 96).

### 3.1.2 Rengasverkko



Kuva 22 Rengastyypinen paineilmaverkko (Airila ym. 1983, 96).

Rengasverkolla on suoraan verkkoon verrattuna monia etuja, mitkä tekevät siitä vartenotettavan vaihtoehdon erityisesti laajoihin paineilmasovelluksiin. Rengasverkon ollessa suoraa verkkoa monimutkaisempi on se tällöin myös hankintahinnaltaan kalliimpi. (Airila ym. 1983, 96).

Koska tuotettu paineilma kulkee käyttökohteeseen kahta tietä, voidaan runkolinjan putkikokoa pienentää virtauksen pysyessä kuitenkin samana. Myös rengasverkossa paine pysyy vakaampana ilman tullessa kahdesta suunnasta ja myös verkon kokonaistilavuuden ollessa suurempi vaikuttaa paineen tasaisuuteen. Rengasverkossa tulisi käyttää sopivassa kohtaa sulkuventtiileitä, näin ollen pystytään eristämään osa verkosta mahdollisten vuotojen havaitsemiseksi tai huollon ajaksi. (Airila ym. 1983, 96).











### 3.2 Paineilmaputkiston mitoitus

Paineilmaverkostoissa, erityisesti laaja-alaisissa verkoston tarkka mitoitus on lähes mahdotonta paineilman kulutuksen ollessa jaksottaista ja vaihtelevaa.

Kun tuotettu paineilma kulkee putkistossa käyttökohteeseen syntyy tästä liikkeestä kitkaa mikä itsessään aiheuttaa painehäviöitä. Paineilman käytöstä syntyvät paineilman suunnanmuutokset yhdessä aiheuttavat verkkoon painehäviöitä. Putkis-

tossa syntyvien painehäviöt tulisi minimoida, tarkoittaen ettei painehäviön määrä ylittäisi 0,1 bar uudessa verkossa. (Airila ym. 1983, 97).

Taulukko 1 Ekvivalentti putkipituus (Airila ym. 1983, 97).

Varuste ja putkiosa	Ekvivalentti putkipituus (m)						
	Sisähalkaisija (mm)						
	25	40	50	80	100	125	150
Istukkaventtiili 	6	10	15	25	30	50	60
Virtausventtiili 	3	5	7	10	15	20	25
Kalvoventtiili 	1,2	2,0	3,0	4,5	6	8	10
Luistiventtiili 	0,3	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5
Putkikäyrä 	1,5	2,5	3,5	5	7	10	15
Putkikäyrä 	1	2	2,5	4	6	7,5	10
Putkikäyrä, R=d 	0,3	0,5	0,6	1	1,5	2	2,5
Putkikäyrä R=2d 	0,15	0,25	0,3	0,5	0,8	1	1,5
Letkuliitin T-kpl 	2	3	4	7	10	15	20
Supistuskappale 	0,5	0,7	1	2	2,5	3,5	4

Kun paineilmaputkistoa mitoitetaan, ei yleisesti käytettäviä virtausnopeuksia (6 - 20 m/s) tulisi käyttää, koska niissä ei oteta huomioon verkostossa olevia mutkia, haaroituksia, venttiileitä eikä myöskään paineilmaverkoston pituutta. Helpoin, yksinkertaisin ja tarpeeksi tarkka mitoitusperiaate on laskea putkiston kokonaispituus ja lisätä sen jälkeen siihen Taulukko 1:n mukaisesti jokaisen verkossa olevan komponentin ekvivalentti putken pituus kokonaispituuteen. (Kompressorikirja 1983, Airila ym. 1983, 97).

Paineilmaputkistossa käytettävä paine vaikuttaa suoraan siihen, minkä kokoista putkea tulisi käyttää verkostossa. Hieman isompi ns. ylikokoinen verkko tulee ottaa huomioon suunniteltaessa, mikäli tarkoituksena on laajentaa verkkoa myöhemmin. Samanaikaisesti suurempi runkoputki toimii tuotetun paineilman varastona näin ollen tasaten paineilman kulutushuippuja. (Airila ym. 1983, 97).

Runkoputkesta käyttölaitteelle otettavan ulostuloputken mitoituksessa tulee ottaa huomioon paineilmaa käyttävät toimilaitteet. Toimilaitte/-laitteet, jotka käyttävät eniten, määräävät ulostuloputken koon. Putkiston huoltoa ja kytkennän yksinkertaisuutta varten tulisi ulostuloputket mitoittaa samankokoisiksi pikaliittimien, venttiilien yms. vuoksi. (Airila ym. 1983, 97).



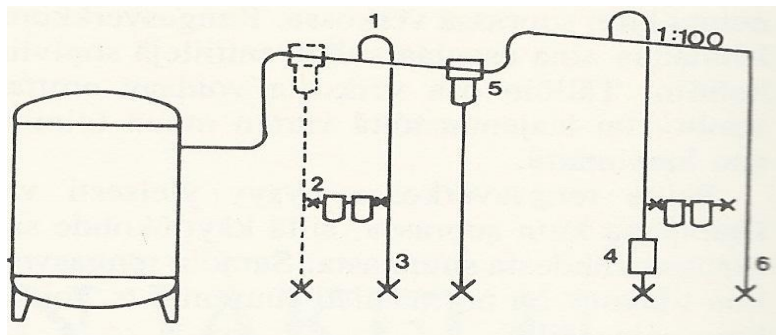
### 3.3 Paineilmaputkiston rakenne

Paineilman laatu määrittää putkiston sijoittelun sekä rakenteen, toisinsanoin onko verkko kuiva vai märkä. (Airila ym. 1983, 98).

#### 3.3.1 Märkä paineilmaverkko

Mikäli paineilmaverkostossa ei käytetä paineilman jälkikäsittelyssä kuivainta, esiin-tyy verkossa kosteutta, mikä aiheuttaa haasteensa verkon suunnittelussa. Näin ollen verkosta tulee monimutkainen ja myös kallis.

Putkiston runkoputkiston tulee laskea paineilman virtaussuuntaan 1:50 - 1:100, jotta tiivistynyt kosteus saadaan johdetuksi pois verkostosta. (Airila ym. 1983, 98).



Kuva 23 Märkä verkko (Airila ym. 1983, 98).

Kuvassa 23 on märän verkon peruskaavio. Runkoputkesta otettava ulostulo toimilaitteelle tulee ottaa joutsenkaulalla (1), mikä estää, ettei putkessa oleva tiivistynyt vesi kulkeudu paineilman mukana toimilaitteelle.

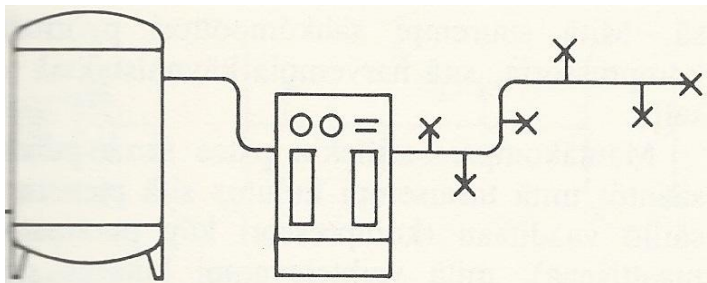
Varsinaisessa ulostulossa (2) tulee sulkuventtiilin sijainti olla ennen öljyttömiä sekä vedenerottimia. Tämä siksi, että ne voidaan huoltaa tarvittaessa.

Koska runkoputkesta otettuun ulostuloputkeen lauhtuu kosteutta, tulee putken ulottua vähintään 60 cm toimilaitteen paineilman ulostulopisteen alapuolelle. Tätä putkea kutsutaan vesitaskuksi (3) ja se tulee varustaa tyhjennysventtiilillä, näin lauhtunut kosteus voidaan poistaa verkostosta.

Vesitasku on mahdollista korvata vedenkerääjällä (4), mikä luokitellaan painesäiliöksi. Vedenkerääjän tehtävänä on niin ikään kerätä ulostuloputkeen tiivistynyt vesi. Se ei tarvitse yhtä säännöllistä tyhjennystä kuin vesitasku. Jokaiseen kohtaan verkostosta mihin vesi voi kerääntyä/tiivistyä tulee varustaa vedenerottimella (5), mikä on varustettu tyhjennysventtiilillä.

Verkoston viimeinen ulosottoputki (6) tulee liittää runkoputken alapuolelle, koska tiivistyneellä vedellä on esteetön pääsy putkeen, ja tästä putkesta ei pidä ottaa ulosottopistettä paineilmapisteele. Märässä verkossa putkistoon kertyy veden lisäksi imuilman mukana kulkeutuneet epäpuhtaudet sekä kompressorin voiteluöljy. Nämä yhdessä muodostavat verkostoon kiinteää tahnamaista emulsiota. Märässä verkossa putkiston materiaalin valintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Tavallisesta teräksestä valmistettua putkistoa ei tulisi käyttää, koska se ruostuu hyvin nopeasti kosteudesta johtuen. (Airila ym. 1983, 98).

### 3.3.2 Kuiva paineilmaverkko



Kuva 24 Kuiva verkko (Airila ym. 1983, 99).

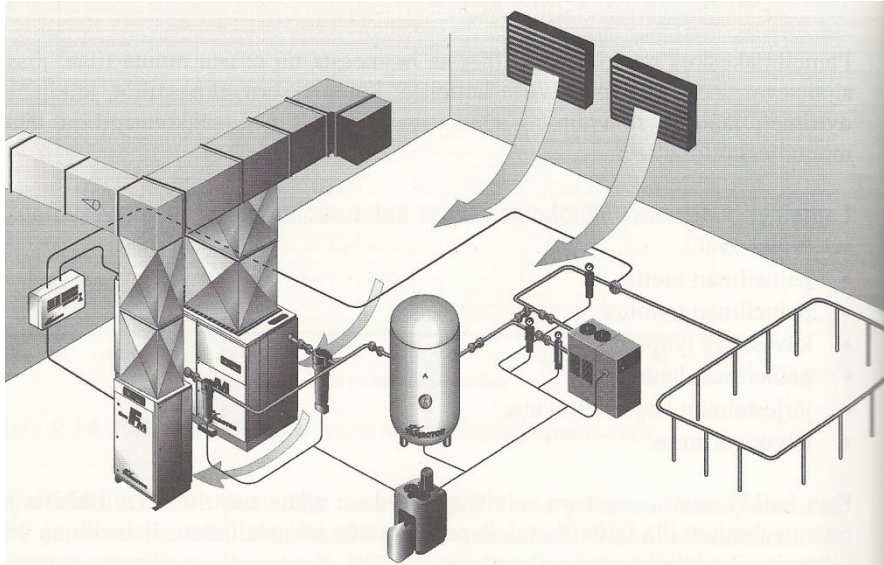
Kun verkostossa käytetään paineilman kuivainta, ei siellä esiinny kosteutta eikä näin ollen tiivistynyttä vettä. Tämä tekee verkosta yksinkertaisemman, kuten kuvasta 24 käy ilmi. Paineilmapisteeille voidaan ottaa ulosottoputket suoraan alapäin kuivassa verkossa. Tämä helpottaa verkoston sijoittelua ja samalla itse putkistoa koskevat vaatimukset poistuvat. Paineilmaputkiston tulee pysyä ympäristössä, missä ympäröivä lämpötila on korkeampi kuin kuivatun paineilman kastepiste, joka on ainoana vaatimuksena kuivassa verkostossa. (Airila ym. 1983, 99).

### 3.4 Paineilmakeskus

Paineilmakeskus käsittää erillisen huoneen tai tilan, jossa paineilman tuottamiseen tarvittavat komponentit sijaitsevat. Näitä komponentteja ovat ilmasäiliö, jälkijäähdytin, kompressori, suodatin, jäähdytyskuivain sekä sähkökaappi. Nämä komponentit ovat nähtävillä kuvasta 25. Paineilmajärjestelmää suunniteltaessa tulee ensin määrittää, mitä vaatimuksia paineilmakeskukseen liittyen on. Nämä vaatimukset määrittävät hyvin pitkälle laitevalinnat sekä verkostonmallin. Nämä vaatimukset ovat: paljonko paineilmaa kulutetaan, paljonko on käytettävä paine laitteilla, paineilman tuotto, paineilmalle asetetut laatuvaatimukset, tulevaisuudessa verkoston laajennettavuus sekä käyttövarmuus sekä taloudellisuus. (Ellman ym. 2002, 41).

Paineilmakeskusta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon komponenttivalinnoissa, millä laitteilla päästään mahdollisimman taloudelliseen lopputulokseen. Paineilman tuottaminen ja sen jälkikäsitteily aiheuttaa järjestelmässä painehäviöitä, ja ne tulee myös ottaa huomioon suunnittelussa.

Kaikki paineilmakeskuksessa olevat komponentit voivat olla oma yksikkönsä, mutta yleisesti pienemmissä sovelluksissa käytetään valmiita kompressoriyksiköitä. Niissä on valmiiksi kompressorin lisäksi tuotetun paineilman jälkikäsitteilyä varten olevat laitteet, kuin myös käynnistystoiminnot sekä automatiikkaohjaus. (Ellman ym. 2002, 41).

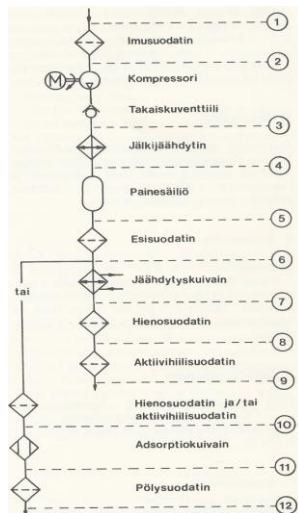


Kuva 25 Kompressorikeskus (Ellman ym. 20021 42).

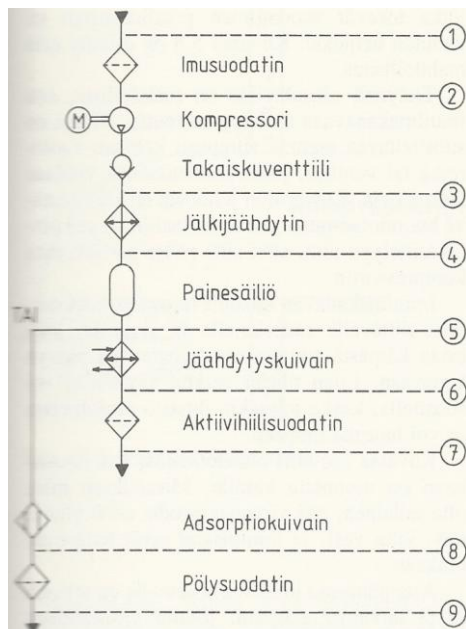
### 3.4.1 Voideltu / öljytön paineilmakekus

Paineilmakeskusta suunniteltaessa määrittää tuotetun paineilman laatuvaatimukset, tuleeko keskuksen olla voideltu vaiko täysin öljytön.

Öljyvoidelluissa paineilmakeksuksissa imuilman suodatuksessa tulee käyttää suodattimia, joiden partikkeleiden erottelukyky on 5-10  $\mu\text{m}$ , tämä riittää suojaamaan kompressoria sitä kuluttavilta hiukkaspattikkeleilta. Öljyttömissä keskuksissa tulee suodatinten olla öljyttömiä, paperi- tai huopasuodattimia. Samoin kun imuilmanotto tulee suorittaa mahdollisimman puhtaasta paikasta. (Airila ym. 1983, 71-72).



Kuva 26 Öljyvoideltu kompressorikeskus (Airila ym. 1983, 71).



Kuva 27 Öljytön kompressorikeskus (Airila ym. 1983, 73).

Öljyvoidellussa kompressorissa tuotetussa paineilmassa on kompressorissa käytettyä voiteluöljyä, käymisjätteitä sekä kosteutta vesihöyryn muodossa, myös imusuodattimesta päässeet partikkelit päätyvät verkostoon.

Öljyttömissä kompressoreissa ei esiinny öljyä, mutta kompressorin kulumisjätteitä kylläkin.

Jälkijäähdyttimessä paineilmassa oleva vesihöyry tiivistyy nestemäiseksi, johon samanaikaisesti sitoutuu myös kompressorin kulumisjätteet sekä öljyvoidelluista

kompressoreista tullut öljy, kuten myös muut epäpuhtaudet, jotka on näin helppo poistaa järjestelmästä veden mukana. Jälkijäähdytin alentaa samanaikaisesti myös paineilman lämpötilaa merkittävästi. (Airila ym. 1983, 72).

Painesäiliö muodostaa alueen, missä paineilma jäähtyy lisää sekä mahdollinen kosteus tiivistyy näin ollen säiliön seinämille, joka näin ollen valuu pohjalle, mistä se on poistettavissa. Painesäiliössä tapahtuvat ilmavirtaukset ovat pieniä, joten se muodostaa verkostossa ns. rauhallisen alueen.

Jäähdytyskuivaimella päästään alhaiseen kastepisteeseen, mikä näin ollen tiivistää mahdollisimman paljon paineilmassa olevaa kosteutta kiinteäksi nesteeksi, samanaikaisesti jäähdytyskuivain on kykenevä erottelemaan voidellun kompressorin tuottamaa öljyä verkostosta. Mikäli jäähdytyskuivainta käytetään öljyttömässä paineilmaverkossa se ei tarvitse esisuodatinta ennen.

Mikäli tuotetulle paineilmalle on hyvin tarkat laatuvaatimukset, tulee käyttää aktiivihiilisuodatinta. Mikäli paineilman täytyy olla myös bakteeritonta, tulee käyttää erillisiä bakteerisuodattimia. Näin ollen paineilmasta saadaan täysin puhdasta, bakteeritonta sekä niin ikään hiilivedytöntä.

Adsorptiokuivainta käytettäessä paineilman kuivaamiseen, voidaan paineilmaa käyttää myös ulkotiloissa. Kuten kappaleessa 2.3.3 kerrottiin, adsorptiokuivain laskee paineilman lämpötilaa yli -40 asteen, mikä ennaltaehkäisee järjestelmän jäätymistä. Käytettäessä öljytöntä kompressoria, ei adsorptiokuivain tarvitse esi- tai hienosuodatusta ennen laitetta.

Kuten vertailussa huomataan, on öljyttömän kompressorin yhteydessä tarvittavien suodattimien määrä pienempi ja tätä kautta myös ylläpito- sekä korjauskustannukset ovat pienemmät. Jokaisen suodattimen aiheuttaessa painehäviöitä verkostoon vaatii se myös sitä kautta kompressorilta enemmän paineilman tuottamiseen. (Airila ym. 1983, 73).

### 3.5 Paineilman laatuvaatimukset

Taulukossa 2 on esitettyä ISO 8573-1:2010 standardin mukaisesti paineilman laatuluokka vaatimukset kiinteiden partikkeleiden maksimimäärä, paineenalaisen kastepisteen sekä öljypitoisuuden pitoisuuden.

Taulukko 2 Paineilman laatuluokitus (Fonselius ym. 1997, 35).

Laatuluokka	Kiinteät partikkelit (Max koko $\mu$ )	Partikkelien maksimimäärä ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Kastepiste ( $^{\circ}\text{C}$ )	Öljypitoisuus ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
1	0,1	0,1	-70	0,01
2	1	1	-40	0,1
3	5	5	-20	1
4	15	8	+3	5
5	40	10	+7	25
6	-	-	+10	-
7	-	-	Ei vaatimusta	-

Kiinteiden partikkeleiden suodatuksessa otetaan huomioon tietyllä suodatusasteella pääsee 1/120 läpi suodattamisesta ( $N=120$ ). Laatuluokituksen maksimipitoisuus ilmoitetaan partikkelien määrä vapaassa ilmassa  $\text{mg}/\text{m}^3$  (milligrammaa per kuutiometri). (Fonselius ym. 1997, 34).

Kastepisteen laatuluokitus määräytyy kastepisteen mukaisesti. Kastepisteen lämpötila määritetään tilanteessa, missä kaasun vesihöyryn paine vastaa kylläistä höyryn painetta.

Öljypitoisuus mitataan vapaasta ilmasta mitattuna maksimimäärä  $\text{mg/m}^3$  (milligrammaa per kuutiometri).

(Fonselius ym. 1997, 35).

Taulukko 3 Paineilman laatuluokituksia (Fonselius ym. 1997, 35).

Käyttökohde	Tyypillinen laatuluokka		
	Kiinteät epäpuhtaudet	Kastepiste	Öljysisältö
Paineilmaejektorit	3	5	3
Ilmalaakerit	2	2	1-3
Instrumentti-ilma	2	2-4	1-3
Ilmaturbiinit	1-2	2	3
Paineilman puhdistus (puhalukset)	3	3	3
Rakennuskoneet	4	5	5
Pneumaattinen siirrot (rakeet)	1-4	1-4	1-4
Pneumaattinen siirrot (jauheet)	1-4	1-4	1-4
Fluisidorit (toimilaitteet)	4	4	1-3
Fluisidorit (anturit)	2	2-1	2
Pesulakoneet	3	3	1-4
Elintarvikkeiden käsittely	1-2	2-4	1-2
Paineilmatyökalut	4	2-4	5
Metallintyöstökoneet	4	2-4	5
Kaivoskoneet	4	2-4	5
Tekstiiliteollisuuden koneet	4	2-4	2-3
Valokuvien valmistusprosessi	1	1-2	1
Paineilmasyliinterit	2-3	2-4	2-4
Tarkkuuspaineen säätimet	2-3	2-4	2-3
Hiekkapuhallus	-	2-4	3
Ruiskumaalaus	3	3-4	2-3
Hitsauskoneet	4	4	5
Tehdasilma (metalliteollisuus)	4	4	5



## 4 Paineilmajärjestelmän suunnittelu laboratorioon

### 4.1 Kohdeympäristön esittely

Tarkoituksena oli suunnitella valmistuvaan auto- ja työkonelaboratorioon toimiva nykyaikainen paineilmajärjestelmä, joka vastaa kaikkia tarpeita, joita laboratoriossa ilmenee. Laboratorion kokonaislattiapinta-ala 1920 m<sup>2</sup> mukaan lukien samaan rakennukseen tuleva rakennuspuolen laboratoriotilat betoninkoetustiloineen. Paineilmajärjestelmän tullessa laboratorio-olosuhteisiin eikä niinkään korjaamolle, asettaa se tietynlaisia rajoituksia komponenttien valinnalle lähinnä tuotetun ilmanlaadun suhteen. Toisaalta koska paineilman käyttö laboratoriossa ei ole samaa luokkaa kuin esimerkiksi korjaamossa, antaa se näin ollen hieman vapauksia komponenttien, erityisesti putkiston sekä kompressorin valintaan. Tämä sen vuoksi, koska laboratoriossa ei ole välttämättä käytössä samanaikaisesti kaikki siellä sijaitsevat laitteet (rengaskoneet, paineilmakäyttöisen käsityökalut yms.), jotka näin ollen nostaisivat kompressorilta vaadittavaa tuottoa huomattavasti.

Suurin rajoittava tekijä suunniteltaessa paineilmaverkostoa laboratorioon on puhdastila, missä käsitellään epäpuhtauksille herkkiä komponentteja, esimerkiksi moottorin polttoainesuuttimia. Puhdastilan vaatima tuotetun ilmanlaatu vaikuttaa jo sinällään komponenttien valintaan sekä näin ollen verkon rakenteeseen.

### 4.2 Paineilmaputkisto

Paineilmajärjestelmää suunniteltaessa ensimmäiseksi tulee määrittää putkiston pituus sekä samalla minkä tyyppisen verkkorakenteen putkisto muodostaa. Muodostaako putkisto nk. suoran verkon (kappale 3.2.1) vai rengasverkon (kappale 3.2.2).

Laboratorion pohjapiirustuksien perusteella rengasverkko on yksinkertainen ja helppo toteuttaa verrattuna suoraan verkkoon. Kuten kappaleessa 3.2.2 on kerrottu, voidaan rengasverkon runkoputkissa käyttää pienemmän halkaisijan omaamia putkia toisin kuin suorassa verkossa. Tämä osaltaan antaa mahdollisuuden käyt-

tää pienemmän tuoton omaavaa kompressoria, paineen tullessa kummastakin suunnasta käyttöpisteeseen. Näin ollen verkostopaine pysyy samana verkoston sisällä. Kuten kappaleessa 3.2.1 on kerrottu, paljon paineilmaa käyttävien laitteiden käyttäminen suorassa verkossa aiheuttaa verkostopaineen putoamisen. Ongelman poistamiseksi tulisi toinen paineilmasäiliö liittää järjestelmään, kohtaan missä sijaitsee paljon paineilmaa tarvitsevia laitteita. Tämä nostaa kustannuksia kuitenkin tarpeettomasti ja mutkistaa verkoston rakennetta. Tämän vuoksi rengasverkko sopii käyttötarkoitukseen paremmin.

Koska paineilman tulee olla äärettömän puhdasta, tulee paineilmaputkiston materiaalia valittaessa olla tarkkana, koska putkiston ikääntyessä myös epäpuhtauksien määrä lisääntyy. Koska paineilmaputkistot ovat alttiina ympäristön lämpötilavaihteluille mahdollistaa se myös kosteuden tiivistymisen putkistoon. Vaikka järjestelmässä olisi kuinka hyvät kosteuden poistomenetelmät, kuivaimet, vedenerottimet yms., tiivistyy putkistoon kosteutta joka tapauksessa.

#### **4.2.1 Materiaalin valinta**

Paineilmaputkiston materiaalina on aiemmin käytetty pääsääntöisesti teräsputkea, galvanoitua teräsputkea sekä kuparia. Nykypäivänä näiden materiaalien käyttö on vähentynyt huomattavasti alumiinin ja muovin yleistymisen myötä. Toki isoimmissa tuotantolaitoksissa, missä paineilmaputkistolta vaaditaan suurempaa käyttöpainetta, putkistot valmistetaan edelleen teräksestä. Putkiston valmistus teräksestä on huomattavasti työläämpää kuin vastaavasti muovista. Teräsputki tulee ensin katkaista oikeaan mittaan putkileikkurilla. Tämän jälkeen tarvitsee tehdä jengat, että putken voi liittää liittimeen. Kuparista valmistettaessa saa kierrepakan kansi pysyä visusti kiinni, koska putkiston kiinnitys liittimiin tehdään juottamalla. Kupariputken katkaisu tarvitsee edelleen tehdä putkileikkuria avuksi käyttäen.

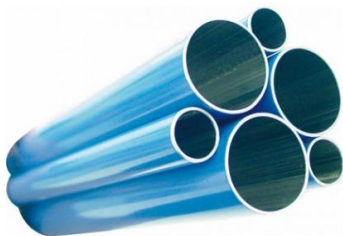
Laboratorio edustaa valmistuessaan tämän hetken uusinta ja hienointa tekniikkaa, joten myös paineilmajärjestelmä tulisi olla sen mukainen. Tämän vuoksi putkiston materiaali vaihtoehtoiksi valikoituu alumiini sekä muov. Vertailussa käytetään John Guestin valmistamia alumiini- (Kuva 28) ja muoviputkia (Kuva 29).

Taulukko 4 Virtausnopeus putkessa (John Guest, 2016. [Viitattu 3.2.2016]).

Putken ulkohalkaisija (mm)	Muoviputki (m <sup>3</sup> /min)	Alumiiniputki (m <sup>3</sup> /min)
15 mm	0,2059	-
18 mm	0,4984	0,6514
22 mm	0,8241	1,0195
28 mm	1,3452	1,7219

Taulukossa 4 on esitetty putkistojen virtausnopeudet putken ulkohalkaisijan funktiona. Taulukossa on ilmoitettu, kuinka paljon ilmaa pystyy virtaamaan putkistossa 8 barin järjestelmäpaineella. Tulokset on ilmoitettu kuutiometreinä minuutissa.

Tuloksista on selvästi luettavissa alumiiniputken virtaavuuden olevan parempi, vastaavasti taas hinta on kalliimpi suhteessa muoviputkeen. Molemmille materiaaleille annetaan maksimi käyttöpaineksi huoneenlämmössä (+23°C) 10 bar sekä korkeammassa lämpötilassa (+70°C) 7 bar. Molempien putkin käyttölämpötilat ovat identtiset. Kummatkin on suunniteltu käytettävän -20°C....+70°C asteen välillä.



Kuva 29 Alumiini paineilmaputki (Projecta Oy, 2014. [Viitattu 7.2.2016]).



Kuva 28 Muovi paineilmaputki (Projecta Oy, 2014 [Viitattu 7.2.2016]).

Koska tarkoituksena on käyttää saman valmistajan putkea, käyvät kaikki samat liittimet ja kiinnikkeet kumpaankin putken materiaaliin. On siis mahdollista käyttää esimerkiksi runkoputkistona alumiiniputkea ja jakeluputkisto rakentaa muovista liittimien puolesta. Tämä aiheuttaa taas laskennallista haastetta, koska alumiinissa on järjestäen parempi virtausnopeus kuin muovisessa, kuten taulukosta 4 on nähtävissä.

Laskettu runkoputkiston pituus järjestelmässä on 111 metriä eli tarkoittaen 37 kappaletta 3 metrin pituista kankea. John Guestin putket ovat ainoastaan saatavilla 3 metrin pituisina, koskee siis kumpaakin alumiinista sekä muovista valmistettuja. Esimerkiksi 22 mm ulkohalkaisijaltaan alumiiniputken hinta per kanki on 36 € (sis. alv). Vastaavasti vastaavan muoviputken hinta per kanki on 21,1 €. Näin ollen runkoputkiston hinnaksi tulisi alumiinista valmistettuna 1332 € ja muovista 780,7 €. Eli pelkästään hankintahinnassa on 551,3 € ero muoviputken eduksi. Hintaero pysyy samana liittimien sekä muiden osalta, koska vastaavat seinäkiinnikkeet sekä putkien liittimet käyvät kumpaankin putkistomateriaaliin.

#### **4.2.2 Putkiston liittimet**

Laboratorioon tuleva paineilmajärjestelmä valmistetaan John Guestin valmistamat muoviputket ja kuten kappaleessa 4.2.1 kerrottiin, sopivat liittimet myös saman valmistajan alumiinisiin putkiin. Putket toimitetaan 3 metrin pituisina "kankina", joiden yhteen liittämiseen käytetään John Guestin jatkoliittimiä hyvien virtausominaisuuksien vuoksi ja koska putket liitetään siihen työntämällä, joten putken uudelleen irrotus ja kiinnitys on helppoa.

Paineilmajärjestelmän putkitusta tehtäessä ei voi välttyä mutkilta, joten tarvitaan myös kulmaliittimiä, joilla selvitään rakennuksen kulmista jouhevasti. Kulmaliittimet ovat kaarevia eivätkä jyrkkiä 90 asteen kulmia. Tämä sen vuoksi, koska jyrkkä putki aiheuttaa 1,5 metrin ekvivalentti pituuden laskettaessa järjestelmän pituutta, kun taas kaareva mutkaputki, jonka säde mutkassa on kaksi kertaa putken halkaisija ( $R=2d$ ), jonka ekvivalentti putken pituus on vain 0,3 metriä.

Koska paineilma tarvitsee saada alas runkoputkistosta käyttölaitteelle, käytetään nk. joutsenkaulaliitosta missä paineilma liitos toteutetaan runkoputken yläpuolelta. Näin vältetään veden kulkeutumisesta käyttölaitteisiin, koska tiivistynyt vesi on putken pohjalla. Jos liitos tehtäisiin alapuolelta kulkeutuisi kaikki putkistossa oleva vesi käyttölaitteeseen ja aiheuttaisi siellä korroosiota sekä jumiutumisia, mahdollisesti pahimmillaan laiterikkoja.

### 4.2.3 Paineilmakelat & paineletkut

Koska paineilman pitää päästä myös käyttökohteeseensa, tarvitsee jakeluputkiston ja paineilman käyttölaitteen välillä olla letku. Tämän avulla saadaan paineilma siirrettyä sitä tarvitsevalle käyttölaitteelle.

Laboratorion yleisen ilmeen sekä letkujen käytön helppouden vuoksi päädyttiin valitsemaan letkukelat sellaisiin paikkoihin, joissa niitä tultaisiin eniten tarvitsemaan sekä irralliset letkut aiheuttavat kompastumisvaaran sekä eivät näytä esteettisesti hienoilta. Toki irrallisia letkuja on käytettävä laboratorio-oloissa, kun tarvitaan kahta paineilmaletkua. Toisella esimerkiksi nostetaan kuorma-autoa paineilmatoinimisen tunkin avulla ja toisella taas avataan pyöränmutterit 1" vääntiöllä olevalla paineilmakäyttöisellä mutterinvääntimellä. Tai mahdollisesti siinä vaiheessa kun letkukelan ulottuvuus ei ole riittävä käyttökohteeseen.



Kuva 30 Letkukela Nederman 889 (MY-Trading Oy, [Viitattu 12.2.2016]).

Kuvassa 30 on Nederman 889 -paineilmaletkukela, joita tullaan käyttämään laboratoriossa paineilman siirtoon jakeluputkistosta paineilmakäyttöisille käsityökoneille. Kelassa oleva letku sopii käytettäväksi myös öljyn ja veden siirtämiseen, mikä lisää sen käyttöarvoa, mikäli laboratoriossa tehdään muutoksia paineilmajärjes-

telmään ja halutaankin kelan siirtävän esimerkiksi vettä painepesurille tai vastavasti siirtävän öljyä isommasta varastosäiliöstä auton moottoriin.

Letku on öljynkestävää kumia, mikä on ykkösprioriteetti, kun valitaan paineilmaletkua laboratorioon. Tämä sen vuoksi, koska laboratorioissa tullaan olemaan tekemisissä autojen ja työkoneiden kanssa, jotka sisältävät öljyä moottorissa, hydraulijärjestelmässä ym. Laboratorioon on suunniteltu 7 kpl paineilmapistettä, joihin tulisi kyseiset paineilmakelat. Paikat on valittu käytön sekä kelojen kantaman mukaisesti. Tällä tavoin saadaan katettua lähes koko laboratorio että jonkin kelan pituus riittää kulloinkin tarvittavaan pisteeseen. Yhden kelan hinta on 868 € (sis. ALV), jolloin yhteishinta kaiken kaikkiaan on 6076 €. Kelat liitetään tavallisilla 1/2" liittimillä paineilmaverkoston jakeluputkistoon. Sama liitin tulee olemaan itse kelan letkun päässä, koska se on yleisimmin käytössä olevien liittimien koko.

Koska paineilmakelojen kantama (20m) ei aina riitä, tarvitaan sen lisäksi myös irrallisia paineilmaletkuja. Myös tilanteita, joissa letkun tulee kestää hieman kipinöitä ja lämpöä esimerkiksi hitsattaessa tai kulmahiomakonetta käytettäessä tarvitaan siihen tarkoitettua letkua.



Kuva 31 Atlas Copco RUBAIR paineilmaletku (Isojoen Konehalli Oy, [Viitattu 14.1.2016]).

Kuvassa 31 on Atlas Copcon valmistama RUBAIR- letku, joka niin ikään öljynkestävä, kuten kuvassa 30 oleva Nedermanin paineilmaletkukela. Tämän lisäksi Rubair-letku kestää hitsaus- sekä kulmahiomakoneella tapahtuvassa hiomisessa syntyviä kipinöitä ja roiskeita. Letkun käyttölämpötila on -21 °C...+60 °C, joten letkun voi myös tarvittaessa vetää pihalle kovalla pakkasella ja se pysyy elastisena eikä murru. Painehäviö on ilmoitettu olevan 0,2 bar 5 metrin matkalla, joten jos käytetään koko 20 m kerä kerralla, on sen kokonaispainehäviö tällöin 0,8 bar 20 metrin matkalla. Maksimi ilmavirtaus on ilmoitettu 21 l/s, joka on hyvin tavanomainen ylei-

sesti letkuista puhuttaessa. Letkun sisähalkaisijan ollessa 12,5 mm sopii 1/2" liitin käytettäväksi kyseisen letkun kanssa. Letkua on saatavilla 10 tai 20 metrin pituisena. 10 metrin kiekun hinta on 109 € ja 20 metrin 169 €. Tässä tapauksessa paremmaksi ja kustannustehokkaammaksi pituudeksi tulee 20, josta on mahdollista tehdä myös lyhyempiä pätkiä. 20 metrin pituisia letkuja tulisi laboratorioon 4 kappaletta, niiden yhteishinta olisi 676 € (sis. ALV).

Koska laboratorioissa on monta kiinteää laitetta, jotka tarvitsevat toimintaansa paineilmaa (rengaskoneet, alustadynamometri), tarvitaan myös niille oma paineilmaletku jakeluputkistosta käyttökohteeseen. Koneet ovat pääsääntöisesti paikallaan eikä niiden lähettyvillä oletettavasti tehdä työtä, mistä syntyy kipinöitä / erityistä kuumuutta.



Kuva 32 Atlas Copco CABLAIR paineilmaletku (Isojoen Konehalli Oy, [Viitattu 14.1.2016]).

Kuvassa 32 on paineilmaletku, jota käytetään takaamaan näiden kiinteiden koneiden ilmansaanti. CABLAIR letku on hieman erilainen kuin RUBAIR muun muassa sen keveyden ja helpon käsiteltävyyden vuoksi. Molempien letkujen tiedot ovat hyvin samankaltaiset, samat käyttölämpötilat, letkun sisähalkaisija sekä maksimaalinen ilmavirta. Suurin ero on kuitenkin, ettei kuvan 32 letku kestä öljyä eikä kipinöitä, mutta koska se tulee ainoastaan palvelemaan kiinteiden koneiden paineilman siirrossa, sen ei näin ollen tarvitse täyttää samoja kriteerejä kuin letkulle, jota tullaan käyttämään haastavammissa olosuhteissa.

### 4.3 Suodattimet

Laboratorioon tuotetun paineilman laatuvaatimukset ovat lähestulkoon samat kuin tavalliseen korjaamoon, missä ei suoriteta maalaustöitä, mikäli laboratorion puh-

dastilaa ei oteta huomioon. Siinä tilanteessa ei tarvitsisi kiinnittää niin suurta huomiota suodatukseen, eli kuinka paljon öljyä, partikkeleita tai vettä järjestelmästä järjestelmä "tuottaa" käyttölaitteeseen. Suodatusta ei tietenkään voi täysin unohtaa siinä tilanteessa, mutta ISO 8573-1:2010 standardin mukaisesti normaali korjaamo ei tarvitse erityistä suodatusastetta.

Koska paineilmajärjestelmää suunniteltaessa tulee ottaa huomioon myös puhdas-tila, tulee koko järjestelmä suunnitella sen mukaisesti eli mikä tila tai käyttölaitte tarvitsee kaikkein puhtaimman ilman käyttöönsä. Kuten liitteestä 4 on luettavissa, tarvitsee puhdas-tila laadultaan kaikkein puhtainta ilmaa verrattuna muihin, ainoastaan lääketeollisuuden vaatimukset ovat yhtä korkeat. Ilmanlaatua tarkastellaan kolmella eri kategorialla: pöly/partikkelit, öljy ja vesi. Jokaiselle kategorialle on omat luokkansa, missä määritellään kuinka paljon saa olla tietyn kokoisia partikkeleita/hiukkasia per kuutiometri ( $m^3$ ) tuotetussa ilmassa. Partikkeleista puhuttaessa on käytössä yhdeksän (9) eri kategoriaa, kun taas vedestä puhuttaessa on yksitoista (11) eri kategoriaa. Veden eri kategoriat 0 - 6 määrittelevät järjestelmän painekastepisteen celsiusasteina ( $^{\circ}C$ ) ja 7 - X kategoriat nestemäisen vedenosuuden grammaa per kuutiometri ( $g/m^3$ ). Öljyn luokituksessa on kuusi (6) luokkaa, joissa mitataan öljyn kokonaispitoisuutta järjestelmässä milligrammaa per kuutiometri ( $mg/m^3$ ).

Puhdas-tila vaatii pölyn/partikkeleiden osalta ykkösluokitusta (1) eli 0,1 - 0,5 mikrometrin ( $\mu m$ ) kokoisia partikkeleita pitää olla alle 20000 per tuotettu kuutiometri ( $m^3$ ), 0,5 - 1,0 kokoisia partikkeleita tulee olla alle 400 ja 1,0 - 5,0 kokoisia alle 10. Veden osalta ei mennä missään luokituksessa alle 4 luokan, eli paineellisen kastepisteen tulee olla maksimissaan  $+3^{\circ}C$ . Öljyn tulee olla luokassa 1, eli järjestelmän kokonaisöljypitoisuus tulisi olla alle 0,01 milligrammaa per kuutiometri ( $mg/m^3$ ).

Liitteestä 4 käy ilmi, mitä suodattimia tulee käyttää, jotta saadaan edellä mainitut luokat saavutettua puhdas-tilan vaatimalle tasolle. Kompressorin imuilma tullaan suodattamaan pulssisuodattimen avulla, että jo kompressorin sisään imemä ilma on mahdollisimman puhdasta. Koska järjestelmässä tullaan käyttämään jäähdytyskuivainta kompressorin jälkeen täytyy  $+3^{\circ}C$  vaatimus veden kastepisteen suhteen. Jäähdytyskuivaimen jälkeen tullaan käyttämään ensimmäistä mikrosuodatin-



ta (merkitty taulukossa 8 FF merkinnällä). Mikro-suodatinta käytetään vesilauhde-  
 pisaroiden, öljyhöyryjen sekä partikkeleiden/hiukkasten suodattamiseen ennen  
 aktiivihilitornia (taulukossa 8 ACT). Mikro-suodatin on kykenevä suodattamaan  
 yhtä suuret ja isommat partikkelit kuin  $0,1 \mu\text{m}$  (mikrometri). Järjestelmän tilavuus-  
 virran ollessa  $1,2 \text{ m}^3/\text{min}$  (kuutiometriä minuutissa) valitaan suodatin, mikä on  
 suunniteltu yli  $1,2 \text{ m}^3/\text{min}$  tilavuusvirralle. Tämä valittiin, koska kokoa pienempi  
 suodatin olisi ollut juuri maksimi tilavuusvirran rajalla ja mikäli tarvitsee nostaa tila-  
 vuusvirtaa, on se myös mahdollista suodattimien puolesta, mikä saattaa toimia  
 rajoittavana tekijänä.



Kuva 33 Donaldson Ultrafilter (Teca Oy, [Viitattu 16.1.2016]).

Kuvassa 33 on esitetty Donaldson:in Ultrafilter suodatin, mikä kykenee suodatta-  
 maan  $25 - 0,01 \mu\text{m}$  (mikrometri) eli reilusti alle mikä on vaatimuksena puhdistilal-  
 le. Suodattimesta valitaan 0120 malli minkä maksimi tilavuusvirta on  $2 \text{ m}^3/\text{min}$ ,  
 mikä on näin enemmän kuin tarpeeksi meidän tilavuusvirrallemme. Mikro-suodatti-  
 mista käytetään lyhennettä "M" sekä hienosuodattimesta lyhennettä "V".

Hienosuodatinta tullaan käyttämään aktiivihilitornin jälkeen suodattamaan tornista  
 mahdollisesti lienneet suodatinmateriaalit pysähtyvät tähän ns. pölysuodattimeen  
 eivätkä kulkeudu eteenpäin käyttölaitteeseen. Vielä yksi mikro-suodatin sijaitsee  
 verkostossa ennen käyttölaitetta varmistaakseen sen ettei mitään epäpuhtauksia  
 pääse puhdistilassa käytettävään ilmaan. Kaikki suodattimet aiheuttavat  $0,11 \text{ Bar}$   
 painehäviön järjestelmään joten näin ollen yhteensä niiden aiheuttama painehäviö  
 on  $0,33 \text{ Bar}$ .

Standardin ISO 8573-1:2010 luokituksen mukaiseen pitoisuuksiin päästäkseen  
 tulee järjestelmässä käyttää aktiivihilitornia poistamaan öljyhöyryt tuotetusta pai-

neilmasta. Tällä menetelmällä saadaan öljypitoisuus järjestelmässä putoamaan alle  $0,003 \text{ mg/m}^3$  (milligrammaan per kuutiometri).



Kuva 34 QDT-Aktiivihiihtorni (Atlas Copco Oy, [Viitattu 16.1.2016]).

Kuvassa 34 on kuvattuna Atlas Copco:n valmistama aktiivihiihtorni mikä on kykenevä tuottamaan luokituksen vaatimaa paineilmaa. Aktiivihiihtorni laajentaa myös järjestelmään soveltuvien kompressoreiden kategorialaajentaa, koska kompressorin ei tarvitse olla öljyvapaa, koska aktiivihiihtorni kykenee erottelemaan öljypartikkelit tuotetusta paineilmaasta. Kuten aiemmin tässä kappaleessa oli kerrottu, tulee aktiivihiihtornin jälkeen käyttää vielä hienosuodatinta mahdollisen hiilipölyn suodatukseen.

#### 4.4 Kompressorit

Kompressorit ovat koko paineilmajärjestelmän perusta, koska ne tuottavat kaiken tarvittavan ja käytetyn ilman, joten niiden valintaan tulee käyttää aikaa sekä kartoittaa tarkasti paineilman tarve sekä käyttöaste eli kuinka paljon kompressoria tullaan käyttämään vuositasolla. Tästä saatua käyttötuntimäärää per vuosi voidaan käyttää valintaan mäntä- ja ruuvikompressorin välillä.

Kompressoreita on useita eri tyyppiä, jokainen on toimintatavaltaan erilainen kuten kappaleessa 2.2 on kerrottu, mutta laboratorioon valittaessa kompressoria tullaan keskittymään kahteen yleisimpään kompressorityyppiin: mäntä- sekä ruuvikompressorin. Mäntäkompressoreissa painenvaihtelut sekä painepulssit ovat huomattavasti korkeammat kuin ruuvikompressoreissa, samoin kuin paineilman tuotannosta muodostuva ääni on pienempi ruuvityyppisissä kuin mäntätyyppisissä kompressoreissa. Kummastakin kompressorityypistä on saatavilla öljytöntä mallit, joissa ei käytetä öljyä voiteluaineena. Mäntätyyppisissä kompressoreissa pitää käyttää monitasoista puristusta, että päästään korkeaan paineeseen sekä tilavuusvirtaan, kun taas ruuvikompressoreissa päästään kertapuristuksella vaadittaviin arvoihin. Samoin mäntäkompressoreiden fyysinen koko on huomattavasti suurempi kuin vastaavan tehoisen ruuvikompressorin, tämä on eräs vaikuttava tekijä valittaessa kompressoria erityisesti pieniin ja ahtaisiin tiloihin.

Ruuvikompressoreita on saatavilla täysin valmiina paketteina, missä on kaikki tarvittavat, itse kompressorit, painesäiliö ilman varastointiin, tuotetun paineilman kuivaamiseen tarvittava komponentti (esimerkiksi jäähdytyskuivain) sekä suodatin kompressorin imuilmalle. Näissä paketeissa on myös valmistajan itse tekemä ohjausjärjestelmä, jolla pystytään ohjaamaan kompressoria mahdollisimman kustannustehokkaasti, sekä käyttäjä pystyy tekemään haluamansa säädöt näytön kautta (esimerkiksi käynnistyspaine ym.) Mäntäkompressoreissa on saatavilla niin ikään vastaavanlaisia paketteina, mutta niiden tilavuusvirta ei yllä vastaavan ruuvikompressorin tasolle.

Koska laboratorioissa vaaditaan paineilmanlaadulta lähes sairaalaolosuhteita tietyiltä osin (puhdastila) näin ollen ei mäntätyyppisiä kompressoreita voida käyttää, koska ne eivät kykene tuottamaan tarpeeksi puhdasta ilmaa mitä olisi mahdollista-

jatko puhdistaa suodattimilla sekä erityyppisillä kuivaimilla (adsorptio- / jäähdytyskuivain). Joten ainoaksi järkeväksi ja kustannustehokkaaksi ratkaisuksi jää ruuvikompressori.

Ruuvikompressoreita on saatavilla kuten edellä mainittu niin ikään öljyvoideltuina kuin öljyttöminä. Koska paineilmavaatimukset ovat korkeat tulisi valita öljytön kompressori, mikä taas yksinkertaistaisi muun paineilmaverkoston rakennetta, mutta koska juuri meidän käyttöömme ja tuottovaatimukselle ei löytynyt sopivaa kompressoria tullaan valitsemaan tavallinen öljyvoideltu ruuvikompressori. Öljyttömät kompressorit on yleisesti tarkoitettu suurempiin laitoksiin ja niin ikään suurempiin paineilmajärjestelmiin.

Koska laboratorioon tuleva kompressorin tulisi olla hiljainen sekä kompakti tulee tällöin kyseeseen valmis paketti mikä sisältää kaiken tarvittavan paineilman tuottamiseen. Liitteestä 3 käy ilmi laboratorioon tulevien laitteiden tarvitsema paineilmamäärä litraa per sekunnissa (l/s). Näistä laitteista mikä tarvitsee eniten ilmaa on 1 tuuman vääntiöllä oleva paineilmakäyttöinen mutterinväännin mikä tarvitsee 26,4 litraa ilmaa sekunnissa. Tosin mutterinvääntimen käyttö on hyvin jaksottaista, joten riittävä paineilmasäiliö riittää kattamaan tämän paineilmantarpeen. Yleisesti myös laboratorion paineilman käyttö tulee olemaan hyvin jaksottaista eikä niinkään jatkuvaa, joten kompressorin vaatimaa tuottoa voidaan hieman pienentää.



Kuva 35 ABAC Genesis ruuvikompressori (Airsupplies Co. [Viitattu 17.1.2016]).

Kuvassa 35 on ABAC:in valmistama Genesis-sarjan kompressorikokonaisuus. Sen tuottama tilavuusvirta on  $1,15 \text{ m}^3/\text{min}$  8bar:in paineella, mikä on laboratorion tarpeeseen riittävä, sen sisältämän 270 litran paineilmasäiliön vuoksi. Se sisältää myös jäähdytyskuivaimen tuotetun paineilman kuivaamista varten. Se on myös varustettu imuilman suodattimella sekä öljynerotussuodattimella. Kompressorikes-

kus on hyvin kompakti (1150 x 642 x 1837 leveys x syvyys x korkeus mm), joten se sopii hyvin sille suunniteltuun paikkaan IV-konehuoneeseen. Keskuksen hinta on 3790 € (ALV 0%).

Koko paineilmajärjestelmän paine tullaan asettamaan 7 bariin, koska tällöin kaikki liitteessä 3 olevat käyttölaitteet on suunniteltu käytettäväksi kyseisessä paineessa, joten se määrää hyvin pitkälti järjestelmäpaineen. Painehäviön ollessa luokkaa noin 1 bar kompressorilta käyttölaitteeseen tulee kompressorin tuottaa 8 bar paine säiliöön, jotta vaadittu järjestelmäpaine saavutetaan.

## 5 Yhteenveto

Laboratorion paineilmajärjestelmän on suunniteltu niin, että kompressorille ei tulisi liikaa tai vastaavasti liian vähän kuormitusta. Tämä tarkoittaa oikein mitoitettua paineilmasäiliötä sekä runkoputkistoa suhteessa käytettävään paineeseen järjestelmässä. Nämä asiat yhdessä määrittelevät, kuinka paljon kompressorin joutuu käymään ylläpitääkseen järjestelmäpaineen, kun paineilmaa käytetään.

Laboratorio ei ole täysin verrattavissa autokorjaamoon paineilman käytön/-tarpeen osalta, koska laboratoriossa ei ole jatkuvaa paineilmankäyttöä monella eri paineilmakäyttöisellä työkalulla, vaan laboratoriossa käytetään paineilmaa lyhyinä jaksoina. Kuten liitteessä 3 on esitetty, suurin yksittäinen paineilmakäyttöinen laite on 1" vääntiöllä oleva paineilmamutterinväännin, jota tullaan pääsääntöisesti käyttämään kuorma-autojen pyöränpulttien avaamiseen sekä muiden isojen mutterien avaamiseen.

Koska laboratorion paineilmankäyttö sekä -tarve on varsin vähäistä sekä hetkellistä, nousee paineilmajärjestelmän vuotojen merkitys suureksi. Mitä vähemmän vuotoja, sitä harvemmin kompressorin tarvitsee käynnistyä tuottamaan paineilmaa. Tämä pienentää vuositasolla järjestelmän käyttökustannuksia huomattavasti huoltotarpeen sekä niin ikään käytetyn sähkön vuoksi.

Suurimmaksi haasteeksi osoittautui puhdistila, jonka paineilman suodattamiseen tarvitaan useampia suodattamia, jotka itsessään aiheuttavat painehäviötä järjestelmään, mikä niin ikään vaatii tehokkaampaa kompressoria sekä isomman putkikoon valintaa paineilmaputkistoon.

## LÄHTEET

Airila, M., Hallikainen, K., Käätä, J. & Laurila T. 1983. Kompressorikirja. Vantaa: Korpivaara Oy Hydor Ab.

Fonselius, J., Hautanen J., Mutikainen, T., Pekkola, K., Salmijärvi, O. & Simpura, A. 1997. Pneumatiikka: Koneautomaatio. 8.- 9. painos. Helsinki: Edita.

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

Atlas Copco. Compressed Air Manual. 7. painos. Belgia: Atlas Copco Airpower

Kaesar Kompressorit Oy. Ei päiväystä. Ruuvikompressorit SM-sarja. [WWW-dokumentti]. Kaesar Oy. [Viitattu 13.1.2016]. Saatavana: <http://fi.kaesar.com/Images/P-651-24-FI-tcm18-52847.pdf>

Isojoen konehalli Oy. Ei päiväystä. Cablair paineilmaletku. [WWW-dokumentti]. Atlas Copco. [Viitattu 14.1.2016]. Saatavana: [http://www.ikh.fi/AC003601\\_PAINEILMALETKU\\_13MM\\_30M\\_CABLAIR\\_ERIT\\_TAIN\\_KEVYT](http://www.ikh.fi/AC003601_PAINEILMALETKU_13MM_30M_CABLAIR_ERIT_TAIN_KEVYT)

Isojoen Konehalli Oy. Ei päiväystä. Rubair paineilmaletku. [WWW-dokumentti]. Atlas Copco. [Viitattu 14.1.2016]. Saatavana: [http://www.ikh.fi/Paineilmatarvikkeet/AC162\\_KUMILETKU\\_125MMX20M\\_RUB\\_AIR](http://www.ikh.fi/Paineilmatarvikkeet/AC162_KUMILETKU_125MMX20M_RUB_AIR)

My-Trading Oy. Ei päiväystä. Nederman 889 12,5/20 Paineilmaletkukela. [WWW-dokumentti]. Nederman letkukela. [Viitattu 15.1.2016]. Saatavana: <http://www.my-trading.fi/product.asp?sua=1&lang=1&s=271>

Teca Oy. Ei päiväystä. Donaldson Paineilmasuodatin. [WWW-dokumentti]. Donaldson Ultrafilter paineilmasuodatin. [Viitattu 16.1.2016]. Saatavana: <http://www.teca.fi/tuotteet/paineilma-pneumatiikka/paineilmasuodattimet/1465/donaldson-ultrafilter>

Atlas Copco Oy. Ei päiväystä. Aktiivihiihtorni. [WWW-dokumentti]. Atlas Copco QDT-aktiivihiihtorni. [Viitattu 16.1.2016]. Saatavana: <http://www.atlascopco.fi/fius/products/paineilman-ja-kaasun-k%C3%A4sittely/3507124/1522887/>

Tukes Oy. 2004. Painelaitteiden kunnossapito. [Verkojulkaisu]. Turvatekniikan keskus. [Viitattu 16.1.2016]. Saatavana: [http://www.tukes.fi/tiedostot/painelaitteet/esitteet\\_ ja\\_oppaat/painelaitte-kunnossapito-opas.pdf](http://www.tukes.fi/tiedostot/painelaitteet/esitteet_ ja_oppaat/painelaitte-kunnossapito-opas.pdf)

Airsupplies Co. Ei päiväystä. ABAC Ruuvikompressorit. [WWW-dokumentti]. ABAC Genesis screw air compressor. [Viitattu 17.1.16]. Saatavana: <http://www.airsupplies.co.uk/abac-genesis-rotary-screw-air-compressor-7-5kw-10hp-40-7cfm-at-8-bar-complete-unit-tank-dryer-filters>

Atlas Copco Oy. Ei päiväystä. Korkeapainesäiliö. [WWW-dokumentti]. Atlas Copco HTA: Korkeapainesäiliö. [Viitattu 17.1.2016]. Saatavana: <http://www.atlascopco.fi/fius/products/paineilman-ja-kaasun-k%C3%A4sittely/3507133/1528403/>

Kaeser Kompressorit Oy. Ei päiväystä. Puhaltimien jälkijäähdytin ACA-L lämpöherkkiin käyttökohteisiin. [WWW-dokumentti]. Kaeser Oy. [Viitattu 20.1.2016]. Saatavana: [http://fi.kaeser.com/Current\\_Affairs/Press/press-H-ACA-L.asp](http://fi.kaeser.com/Current_Affairs/Press/press-H-ACA-L.asp)

Kaeser Kompressorit Oy. Ei päiväystä. Lämpöelvytteiset adsorptiokuivaimet. [WWW-dokumentti]. Kaeser Oy. [Viitattu 20.1.2016]. [http://fi.kaeser.com/Products\\_and\\_Solutions/Compressed-air-treatment/Drying/Heated-desiccant-dryers/default.asp](http://fi.kaeser.com/Products_and_Solutions/Compressed-air-treatment/Drying/Heated-desiccant-dryers/default.asp)

John Guest. 2016. Rigid nylon pipe. [WWW-dokumentti]. John Guest. [Viitattu 3.2.2016]. Saatavana: <http://www.johnguest.com/product/pipe-and-accessories/rigid-nylon-pipe/>

Projecta Oy. 2014. John Guest Alumiininen paineilmaputki. [WWW-dokumentti]. Projecta Oy. [Viitattu 7.2.2016]. Saatavana: <https://www.projecta.fi/tuotteet/paineilmalaitteet/paineilmaputkistot/alumiiniset-putkistot/john-guest-alumiininen-paineilmaputki.html>

Projecta Oy. 2014. John Guest Muovinen paineilmaputki. [WWW-dokumentti]. Projecta Oy. [Viitattu 7.2.2016]. Saatavana: <https://www.projecta.fi/john-guest-muovinen-paineilmaputki.html>

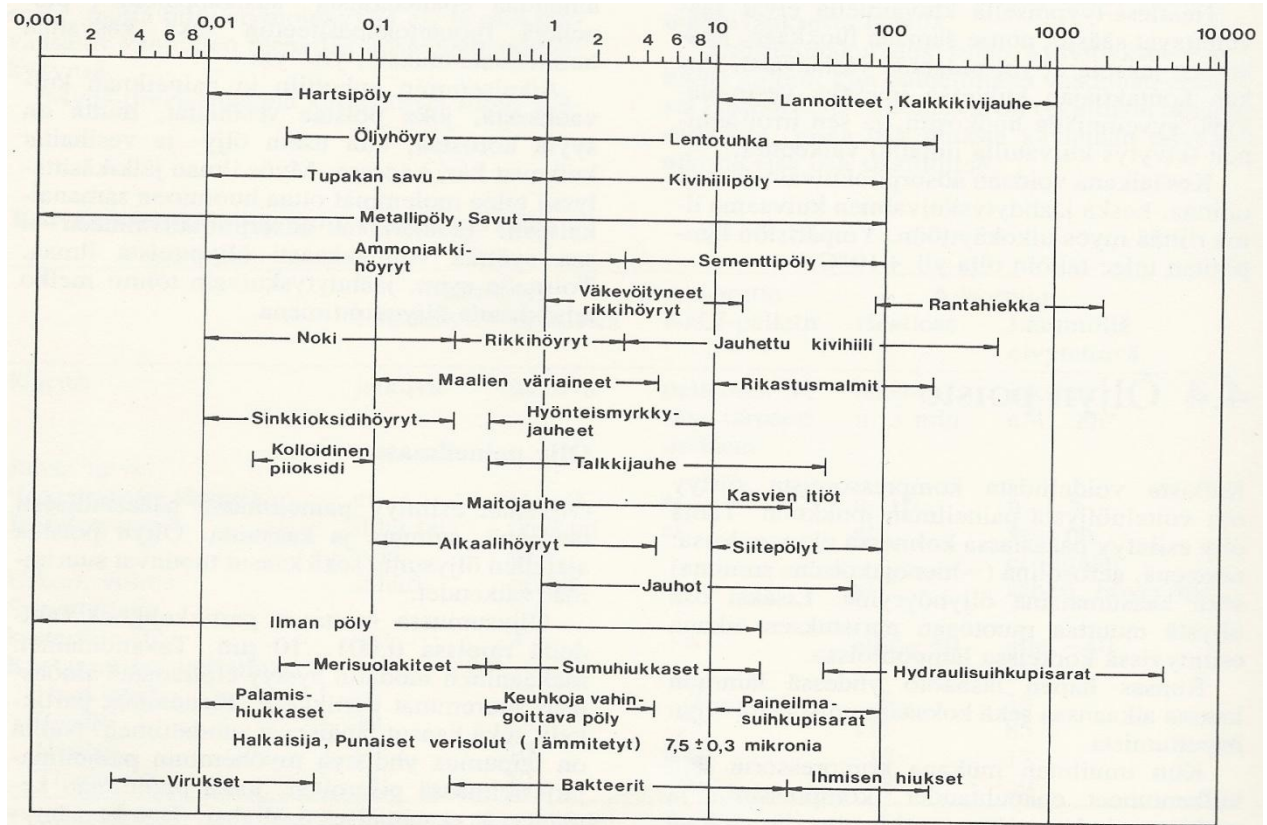


## 6 Liitteet

Liite 1 Eri suodatintyyppien suodatus (Kompressorikirja, Airila ym. 1983, 66.)

Suodatintyyppi	Tehokkuus (%)	Paine-ero (Bar)	Huom.
Esisuodatin	100%	0,02 - 0,03	Sintrattua pronssia. 5, 10, 25, 50, 75 ja 100µm partikkelikoolle
Hienosuodatin	99,99%	0,02 - 0,03	Partikkelikoko 0,01 µm
Mikrosuodatin	99,9999%	0,03 - 0,06	Partikkelikoko 0,01 µm.
Submikrosuodatin	99,99998%	0,07 - 0,1	Partikkelikoko 0,01 µm. Esisuodatin ad- ja absorptiosuodattimille.
Aktiivihiiლისuodatin	100%	0,07 - 0,1	Partikkelikoko 0,01 µm
Pölysuodatin	99,99%	0,02 - 0,04	Partikkelikoko 10 µm. Käytetään adsorptiokuivaimen jälkeen.

## Liite 2 Partikkelien koot (Kompressorikirja, Airila ym. 1983, 64.)



## Liite 3 Laboratoriossa olevat paineilmaa käyttävät laitteet

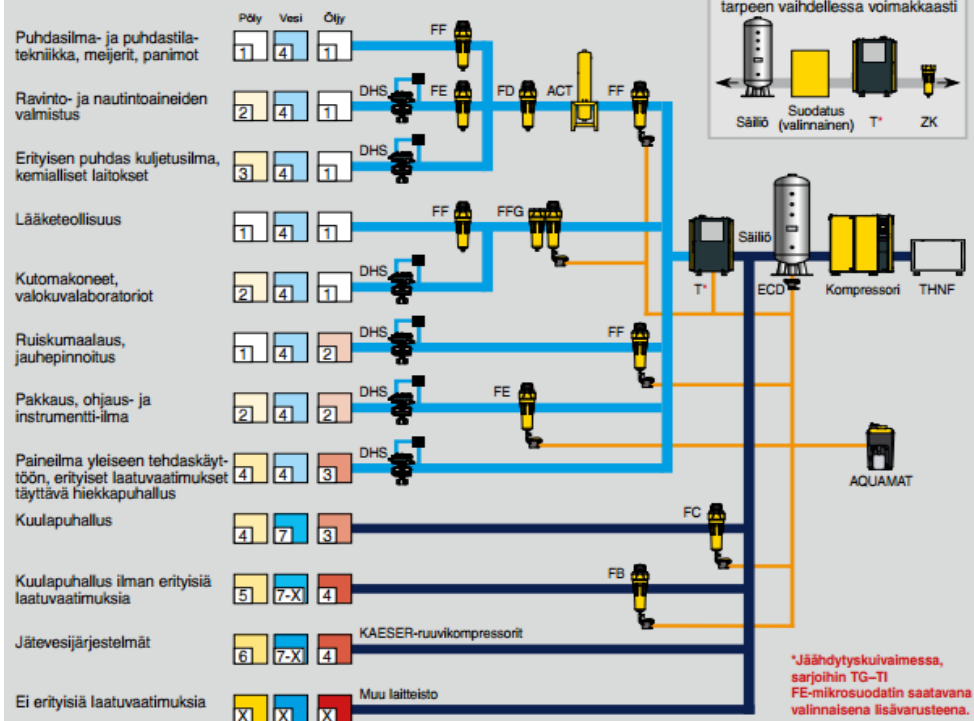
<b>Laite</b>	<b>Määrä (kpl)</b>	<b>Ilmankulutus (l/s)</b>	<b>Käyttöpaine (Bar)</b>	<b>Ilmankulutus yhteensä (l/s)</b>
<b>Mutterinväännin (1/2")</b>	3	11,8	6-8	35,4
<b>Mutterinväännin (1")</b>	1	26,4	6-8	26,4
<b>Puhalluspistooli</b>	3	8,5	5-6	25,5
<b>Ilmaräikkä</b>	1	9,3	6-8	9,3
<b>Hunter TC 3500</b>	1	3,8	8-10	3,8
<b>Hunter GSP 9700</b>	1	2	7-12	2
<b>Ravaglioli G820</b>	1	3,8	8-10	3,8
<b>BETA 1550/1</b>	1	3,75	6-8	3,75
<b>Kwickway</b>	1	1,5	7-8	1,5
<b>Nussbaum Laser-Jack</b>	1	1,5	6-8	1,5
<b>Bosch FLA206</b>	1	10	6-8	10
<b>Paineilmapora</b>	2	7,5	6-8	15
<b>Talttavasara</b>	1	5,5	6-8	5,5
<b>Hiomakone</b>	2	14	6-8	28
<b>Imuvaihtaja</b>	1		6-10	
<b>Yhteensä</b>		109,35		

## Liite 4 Jälkikäsittelyasteet (Kaeser Kompressorit Oy, [Viitattu 13.1.2016].)

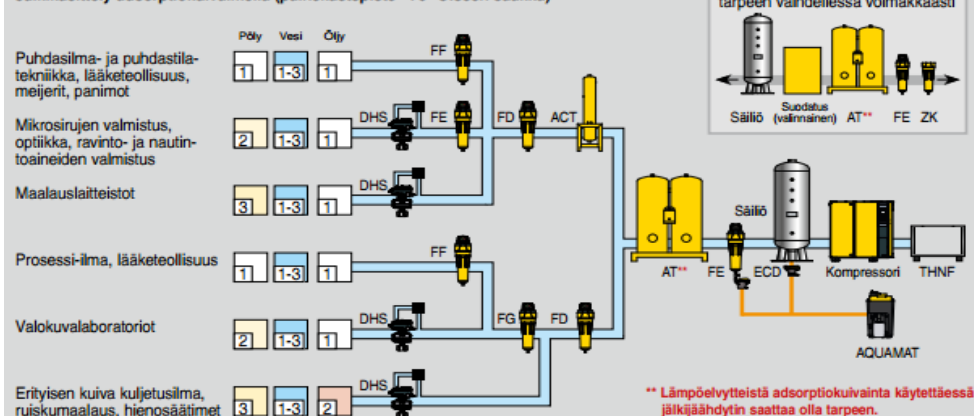
## Alasta ja käyttökohteesta riippuen voitte valita haluamanne jälkikäsittelyasteen:

Jälkikäsittely jäähdytyskuivaimella (painekestepiste +3 °C)

Käyttöesimerkkejä: ISO 8573-1 (2010) -standardin mukainen jälkikäsittelyaste



## Jos paineilmaverkostoa ei ole suojattu pakkaselta: Jälkikäsittely adsorptiokuivaimella (painekestepiste -70 °C:seen saakka)



Lyhenteet	
ACT	Aktiivihiltoini
AQUAMAT	AQUAMAT-lauhteenerötin
AT	Adsorptiokuivain
DHS	Paineilmaverkoston täyttöjärjestelmä
Säiliö	Paineilmasäiliö
ECD	ECO DRAIN -lauhteenpoistin
FB/FC	Esisuodatin
FD	Jälksuodatin
FE/FF	Mikrosuodatin
FFG	Mikro- ja aktiivihiltoinien yhdistelmä
FG	Aktiivihiltoin
T	Jäähdytyskuivain
THNF	Pussisuodatin
ZK	Syklonierötin

ISO 8573-1:2010 -standardin mukainen paineilman laatuiluokitus

## Kiintoaineet/pöly

Luokka	Eri kokoisten hiukkasten määrä per m <sup>3</sup> [d = µm]*		
	0,1 ≤ d ≤ 0,5	0,5 ≤ d ≤ 1,0	1,0 ≤ d ≤ 5,0
0	esim. puhdasilma- ja puhdistilateknikka; lisätietoja KAESERiltä		
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100
3	ei määritelty	≤ 90.000	≤ 1.000
4	ei määritelty	ei määritelty	≤ 10.000
5	ei määritelty	ei määritelty	≤ 100.000

Luokka	Hiukkaspitoisuus C <sub>p</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]*
6	0 < C <sub>p</sub> ≤ 5
7	5 < C <sub>p</sub> ≤ 10
X	C <sub>p</sub> > 10

## Vesi

Luokka	Painekestepiste [°C]
0	esim. puhdasilma- ja puhdistilateknikka; lisätietoja KAESERiltä
1	≤ -70 °C
2	≤ -40 °C
3	≤ -20 °C
4	≤ +3 °C
5	≤ +7 °C
6	≤ +10 °C

Luokka	Nestemäisen veden osuus C <sub>w</sub> [g/m <sup>3</sup> ]*
7	C <sub>w</sub> ≤ 0,5
8	0,5 < C <sub>w</sub> ≤ 5
9	5 < C <sub>w</sub> ≤ 10
X	C <sub>w</sub> > 10

## Öljy

Luokka	Kokonaisöljypitoisuus (nesteen, aerosolin ja kaasun muodossa) [mg/m <sup>3</sup> ]*
0	esim. puhdasilma- ja puhdistilateknikka; lisätietoja KAESERiltä
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0
X	> 5,0

\*) Standardiolosuhteissa (20 °C, 1 bar(a), ilmankosteus 0 %)