

Juuso Vettenranta

PAINEILMAJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU- JA
TYÖOHJEISTUS

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2018

PAINEILMAJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU- JA TYÖOHJEISTUS

Vettenranta, Juuso
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
syyskuu 2018
Sivumäärä:26
Liitteitä: 1

Asiasanat: pneumatiikka, paineilma, järjestelmä, suunnittelu, työohje

Opinnäytetyön aiheena oli Cimcorp Oy:n suunnitteluosastolla käytössä olevan paineilma suunnitteluohjeen päivittäminen ja lisäksi luoda räätälöity työohje Cimcorpille. Työn tavoitteena on saada lukija ymmärtämään paineilmajärjestelmän suunnittelu. Opinnäytetyö toimii samalla Cimcorpin sisäisenä työohjeena yrityksen omassa pneumatiikkasuunnittelussa.

Tutkielman teoreettisessa osuudessa käydään paineilmajärjestelmän perusteet sekä komponenttien toimintaperiaatteita, mm. venttiilit, sylinterit, kompressorityypit sekä säätimet. Teoriaosuus perustuu kirjallisuuteen.

Tutkielmassa käydään läpi myös paineilmaverkoston suunnitteluun liittyviä huomioita, laskuja, koneturvallisuus, standardit, puhtausluokat sekä komponenttien valinta-perusteita.

Suunnitteluohjeen sisältämän luottamuksellisen tiedon vuoksi tässä raportissa on käsitelty pneumatiikan perusosat ja niiden suunnittelu vain yleisellä tasolla. Varsinainen suunnitteluohje pidettiin salassa ja erillään tästä raportista.

PNEUMATIC DESIGN AND WORKING INSTRUCTIONS

Vettenranta, Juuso

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in mechanical and production engineering

September 2018

Number of pages:26

Appendices:1

Keywords: pneumatics, compressed air, system, design, instructions

The purpose of this thesis was to update and create a new design guideline that is used in Cimcorp ltd design department and also to create instruction manual for pneumatics. The aim of the thesis is to get the reader to understand the design of the compressed air system. The thesis also works as an instruction manual for Cimcorp ltd.

In theoretical part of this thesis is told about basics of pneumatic systems and component operation principles for example valves, cylinders, compressor types and regulators. Theoretical part is based on literature.

Thesis covers also remarks, calculations and selection criteria of components in pneumatic system designing.

Because there is confidential information contained in the design guideline, in this report is introduced the basics of the pneumatics and instruction manual in general level. The actual design guideline was kept secret and separate from this report.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	YRITYSESITTELY	6
3	PAINEILMA.....	7
3.1	Koneturvallisuusmääräykset	8
3.2	Koneturvallisuuden standardien hierarkia	8
4	PAINEILMAJÄRJESTELMÄN LAITTEET.....	9
4.1	Kompressori.....	10
4.2	Huoltolaite	12
4.3	Venttiilit.....	13
4.4	Säiliö.....	14
4.5	Putkisto	15
4.6	Jälkikäsittelylaitteet.....	17
4.7	Suodatus ja lauhde.....	18
5	PAINEILMAN LAATU	19
6	SUUNNITTELUOHJEISTUS.....	21
6.1	Kompressori.....	21
6.2	Jälkikäsittelylaitteet.....	23
6.3	Venttiilit.....	23
6.4	Huoltolaite	23
6.5	Säiliö ja putkisto.....	24
	LÄHTEET	25
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena oli paineilmajärjestelmän suunnittelu- ja työohjeen teko Cimcorp OY:lle. Cimcorp on erikoistunut logistiikkarobottien suunnitteluun sekä valmistukseen. Cimcorp on nykyään Japanilaisomisteinen yritys. Cimcorpin pääkonttori sijaitsee Ulvilassa, Satakunnassa. Suunnittelupuolella on olemassa todella vanha työohje, joka on tehty 1997 ja näin ollen on siis päivittämätön ja asiat sekä käytetyt komponentit ovat vanhentuneet. Suunnitteluosastolla on pneumatiikan vähentyneen tarpeen ja sähköön helppokäyttöisyyden vuoksi vain pääsääntöisesti yksi suunnittelija hoitamassa paineilmasuunnittelua. Tästä syystä suunnitteluohje on tärkeä tehdä tulevaisuuden varalle.

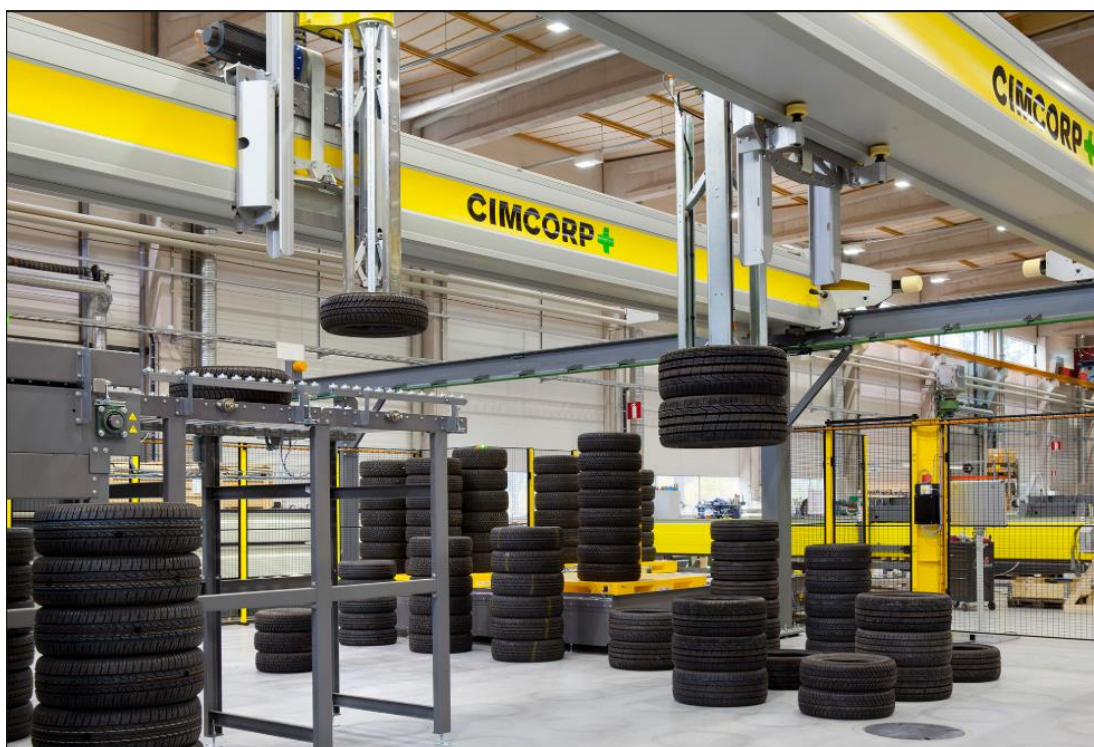
Uudella suunnitteluohjeella pyritään vähentämään tai jopa kokonaan hoitamaan perehdyttäminen paineilmasuunnitteluun Cimcorpissa. Uudella ohjeella pyritään myös helpottamaan suunnittelua ja helpottamaan mm. komponenttien valintaa. Suunnitteluohje sisältää paineilman suunnitteluun liittyvän ohjeistuksen lisäksi tietoa komponenteista, materiaaleista ja valintaperusteista.

2 YRITYSESITTELY

Cimcorp on johtava portaalirobottijärjestelmien valmistaja rengas- ja elintarviketeollisuudelle sekä postin jakelukeskuksiin. Yhtiön tarjoamat ratkaisut logistiikan ja tuotannon automatisointiin parantavat asiakkaiden toiminnan kannattavuutta ja kilpailukykyä. Ratkaisut perustuvat korkeatasoiseen omaan robotti- ja ohjelmistoteknologiaan sekä tuotteistettuihin palvelukonsepteihin. Cimcorp on toimittanut jo yli 5000 robottiyksikköä vaativiin materiaalinkäsittelysovelluksiin.

Cimcorp Oy toimii kansainvälisillä markkinoilla. Yhtiön palveluksessa on yli 300 ammattilaista, jotka palvelevat asiakkaitamme monipuolisesti ja laaja-alaisesti automaatioalan ongelmien ratkaisussa.

Yhtiön päätoimipaikka on Ulvilassa. Lisäksi on huoltoa tarjoavia toimipisteitä Tuusulassa, Lahdessa ja Jyväskylässä. Kansainvälisiä asiakkaita palvelee laaja edustajaverkosto.



Kuva 1. Kuvassa Cimcorpin rengastarttuja.

Aiheeseen tähän opinnäytetyöhön tarjosi Cimcorp Oy.

3 PAINEILMA

Paineilmaa on käytetty teollisuudessa jo 1800-luvun loppupuolella. Nykyisin sen käyttö on hyvin laajaa. Suomessa paineilman tuottamiseen käytetään 8% koko sähköenergian tuotannosta. Paineilmalla voidaan käyttää monia työkaluja, kuten kiristää ruuveja, hioa, niitata, leikata jne. Sillä voidaan siirtää hienojakoisia aineita paikasta toiseen, raepuhaltaa tai käyttää ruiskumaalauksessa. Teollisuusautomaatiossa 1970-luvulta alkaen sylinteripneumatiikka on ollut mekanisoinnin ja automatisoinnin tyypillinen valinta etenkin kuljetin- ja pakkaustekniikassa.

Paineilman rajoituksina voidaan pitää turvallisuussyistä alhaisena pidettävää käyttöpainetta, yleensä 4-10 baaria (0.4-1.0 MPa), kokonaispuristusmisesta johtuvaa epätarkkuutta ja kokonaisjärjestelmän alhaista hyötysuhdetta. Paineilma soveltuu koneautomaatioon, jossa vaaditaan nopeita liikkeitä, käsitellään keveitä kappaleita, liikkeet tapahtuvat rajalta rajalle, vaaditaan hygieenisyyttä tai kun toimitaan palo- tai räjähdysherkässä ympäristössä

Vanhakantainen käsitys, että paineilmalla ei pystytä tekemään tarkkoja liikkeitä on väistymässä tai väistynyt jo pois. Markkinoille on jo 2005 alkanut tulla sylintereitä joilla asemointitarkkuus on saatu ± 0.2 mm luokkaan. Tarkkuuden lisäys on kallista.

Paineilmaa käytetään pääasiallisesti erilaisten toimilaitteiden liikkeiden luomiseen. Liikkeet aikaansaadaan sylintereillä, paineilmamoottoreilla ja tarttujilla. Liikkeiden ohjaukseen tarvitaan joukko erilaisia venttiileitä. Niitä ohjataan yleensä mekaanisesti, pneumaattisesti tai sähköisesti. Sähköohjauksella on tekniikassa merkittävin osa, koska ne mahdollistavat älykkään ohjauslogiikan käytön. Pelkästään mekaanisesti ohjattua järjestelmiä käytetään mm. räjähdysvaarallisissa tai hyvin kosteissa olosuhteissa.

Paineilma soveltuu myös imutehtäviin, koska ejektoreilla saadaan tuotettua helposti alipainetta. Tätä tarvitaan imukupein tapahtuvissa keveissä nostoissa. Paine- tai imuilman mukana voidaan kuljettaa myös esim. sokeria, jyviä ym. raemaisia tuotteita. Samaa kuljetustekniikkaa käytetään mm. apteekkien ja laboratorioiden putkiposteissa (Toimi Keinänen & Pentti Kärkkäinen, 2005).

3.1 Koneturvallisuusmääräykset

Koneturvallisuuden standardit määrittävät vain yhden pneumaattista tehonsiirtoa koskevan säännöksen (SFS-EN ISO 4414). Pneumaattinen tehonsiirto. Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset.

3.2 Koneturvallisuuden standardien hierarkia

- A-tyyppin standardit määrittelevät koneturvallisuuden perusfilosofian (perusterminologia, riskin arvioinnin periaatteet ja turvallisuussuunnittelun periaatteet; standardi SFS-EN ISO 12100)
- B-tyyppin standardit käsittelevät suunnittelijoiden tarvitsemaa horisontaalista perustietoa (kuten melun ja värinän hallinta ja mittaaminen, ergonomia, turvalaitteet, suojuukset, kulkutiet ja turvaetäisyydet)
- C-tyyppin standardit sisältävät yksityiskohtaisia yksittäisten koneiden tai koneryhmien turvallisuusvaatimuksia, jotka osittain toteutetaan viittaamalla A- tai B-tyyppin standardeihin (Inspecta.fi)

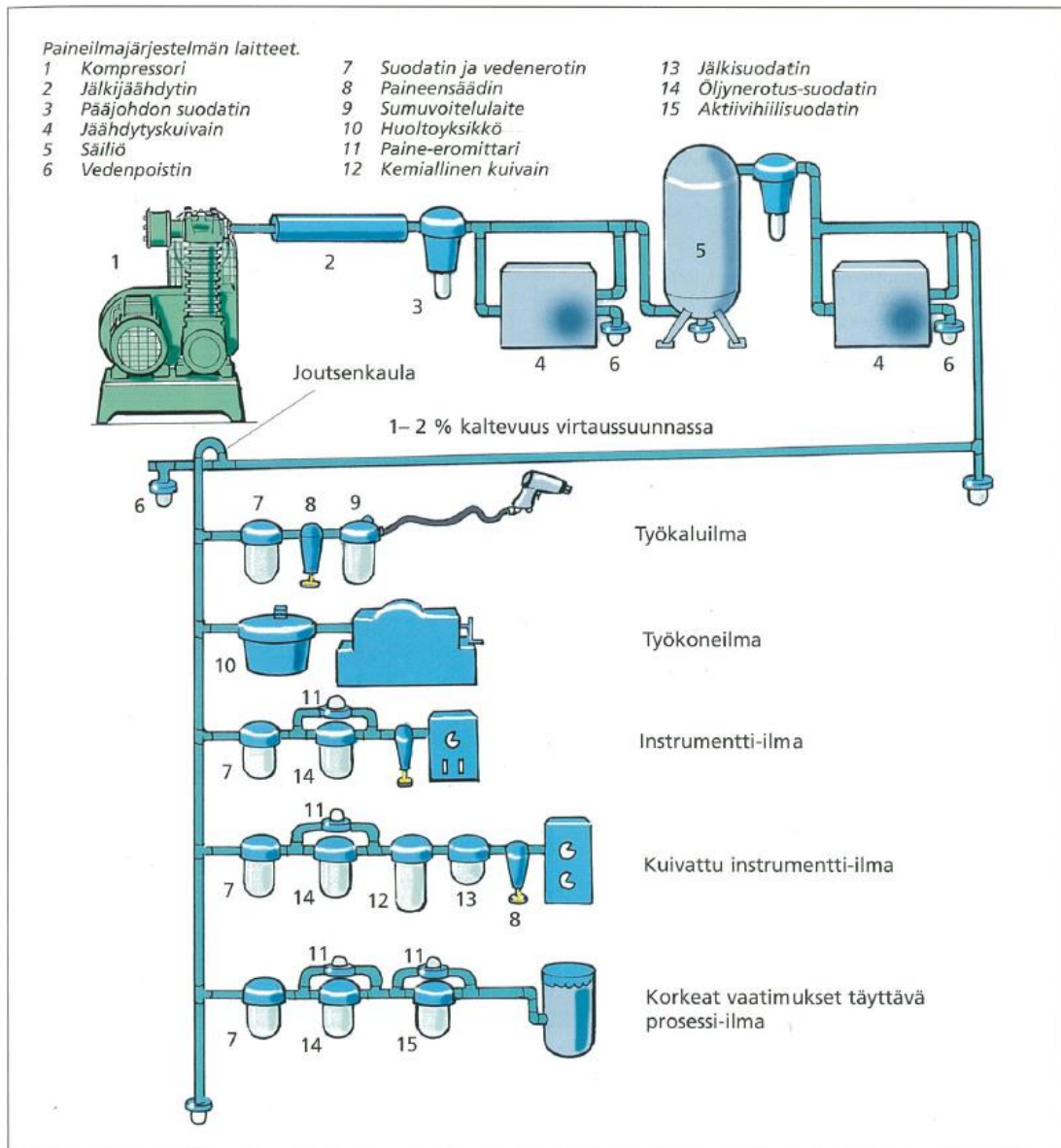
Taulukko 1, standardityypit (Inspecta.fi)

A-TYYPIN STANDARDI SFS-EN ISO 12100		
B-TYYPIN STANDARDIT	MATERIAALIT JA PÄÄSTÖT	Tulipalo ja räjähdys, hygienia
	PÄÄSTÖJEN HALLINTA JA MITTAUS	Melu, värinä, säteily, aineet
	SUOJAUSTEKNISET LAITTEET	Suojukset, turvalaitteet
	TEHONSYÖTTÖJÄRJESTELMÄT	Sähkö, hydraulikka ja pneumatiikka
	OHJAUSJÄRJESTELMÄT	Rakenneperiaatteet, odottamattoman käynnistyksen estäminen, hätäpysäytys
	IHMISEN JA KONEEN VÄLINEN VUOROVAIKUTUS	Ohjaus- ja näyttölaitteet, signaalit, merkinnät, ohjeet
	ERGONOMIA	Ihmisen henkiset kyvyt, fyysinen ympäristö, antropometria ja biomekaniikka
	ETÄISYYSSUOJAUS	Turvaetäisyydet, puristumissuojaetäisyydet
	KULKUTIET	Tasot, kaiteet, portaat, tikkaat

4 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN LAITTEET

Toimivaan paineilmajärjestelmään kuuluu yleensä kompressor, jälkikäsitteilylaitteet, säiliö, verkosto, venttiilit ja toimilaitteet kuten sylinterit.

Kuvassa 2. yleisesti paineilmajärjestelmään kuuluvat laitteet.



Kuva 2. paineilmajärjestelmän komponentit (Toimi Keinänen, Pentti Kärkkäinen, 2005)

4.1 Kompressori

Kompressori on paineilmajärjestelmän painetta tuottava laite. Kompressori on yleisnimi laitteelle, jolla voidaan nostaa kaasun painetta vähintään kaksinkertaiseksi verrattuna imupaineeseen. Pienempiä paineita kehittäviä laitteita kutsutaan puhaltimiksi tai ahtimiksi. Puhaltimia käytetään ilmanvaihdossa ja kuljetustehtävissä. Kompressoreiden tuottomäärät vaihtelevat suuresti, muutamista litroista tuhansiin kuutiometreihin minuutissa. Tuotto ilmoitetaan paineilman tilavuusvirtana, jonka yksikkö voi olla l/min, m³/min tai m³/s. Pienillä paineilla toimivat kompressorit yksivaiheisia, jolloin puristus suoritetaan kerralla. Korkeammissa paineissa lämpörästitusten vähentämiseksi puristus tehdään vaiheittain (Toimi Keinänen, Pentti Kärkkäinen, 2005).

Kompressorit voidaan jakaa kahteen. Kineettisesti puristavissa kompressoreissa, eli turbokompressoreissa, ilma kiihdytetään suureen nopeuteen, jonka jälkeen ilman virtausta kuristetaan ja paine kasvaa. Kun vaaditaan suuria tilavuusvirtoja, valitaan kineettisesti puristava kompressori. Staattisesti puristavassa puolestaan ilma ohjataan kompressoriin, jossa se puristuu kasvattaen painetta. Mäntä- ja ruuvikompressorit ovat yleisimpiä staattisesti puristavia kompressoreja. (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simppu 2002).

Taulukko 2. kompressorien kapasiteetti (Toimi Keinänen & Pentti Kärkkäinen, 2005).

Kompressorikapasiteetti

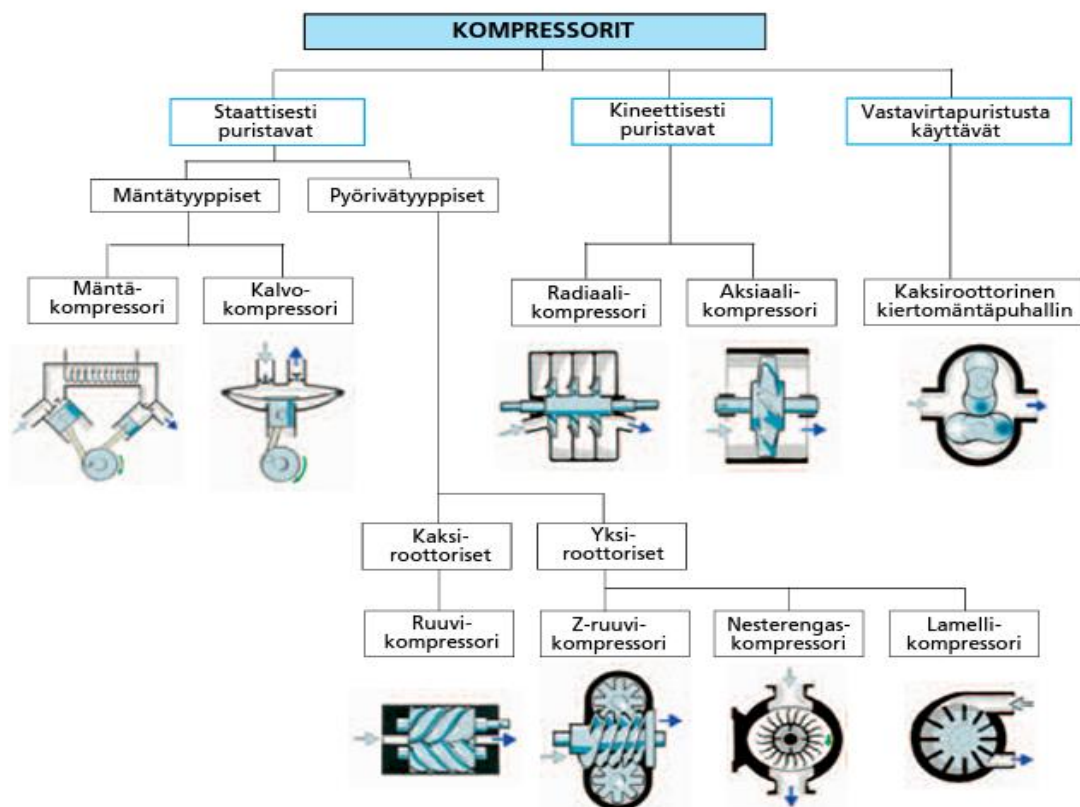
l/s	m ³ /min	Ilmasäiliön tilavuus m ³
1,6–4,0	0,1–0,25	0,150
8,0–10,5	0,5–1	0,375
50,0–270	3–16	1
500–1000	30–60	4

Kompressoria mitoitettaessa on selvittävä paineilmajärjestelmältä tarvittava minimi- ja maksimipaine, kulutuksen vaihtelu ja kulutus. Lisäksi on huomioitava paineilman saatavuus sekä paineilman laatuvaatimukset.

Taulukko 3. tilavuusvirta (Toimi Keinänen & Pentti Kärkkäinen, 2005).

Tyyppi:	Tuotettu paine (MPa):	Tilavuusvirta (m ³ /min):
Mäntäkompressorit	0,1 – 100	0,005 – 3
Ruuvikompressorit	0,08 – 3	0,25 – 10
Lamellikompressorit	0,02 – 0,8	0,08 – 2
Radiaaliturbokompressorit	0,07 – 30	0,1 – 50
Aksiaaliturbokompressorit	0,08 – 0,5	10 – 100

Paineilmajärjestelmä pitää suunnitella kulutuskohteen vaatimuksen mukaan. Kompressorin valinnassa on ratkaisevana tekijänä vaadittu ilman laatu. Saatavilla on öljyvoideltuja sekä öljyttömiä. Öljyvoidelluissa kompressoreissa paineilmaan sekoittuu kompressorin käydessä öljyä. Jos paineilmajärjestelmään ei sallita öljyä, voidaan käyttää öljytöntä kompressoria tai suodattaa öljy pois verkostosta. Kompressorin paineilman tuoton ilmoittaminen on määritelty standardeissa. (Toimi Keinänen, Pentti Kärkkäinen, 2005).



Kuva 3. Kompressorien tyypit (Toimi Keinänen & Pentti Kärkkäinen, 2005)

4.2 Huoltolaite

Jotta toimilaitteet toimisivat moitteetta, on välttämätöntä, että niille menevä paineilma on puhdasta, tasapaineista sekä jos tarvitaan, siinä on mukana voiteluainetta.

Huoltolaite käsittää laitteista koostuvan kokoonpanon jossa on suodatin-vedenerotin, paineensäädin, sekä tarvittaessa sumuvoitelu.

Suodatin-vedenerotin poistaa epäpuhtaudet sekä ottaa järjestelmässä laitteelle mahdollisesti menevän veden talteen josta se poistetaan joko manuaalisesti tai automaattisesti. Paineensäätimellä laitteelle menevä paine säädetään oikeaksi.

Yleisesti kompressorilta tuleva paine huoltolaitteeseen on n.10 baaria. Huoltolaitteessa se säädetään sopivaksi n.6 baariin joka on yleinen käyttöpaine monissa komponenteissa ja laitteissa.

Sumuvoitelulla voidaan järjestelmään sumuttaa voiteluainetta jolloin esim. paineilmatyökaluille tarpeellinen voitelu voidaan hoitaa suoraan käytössä ilman että manuaalisesti tarvitsee voidella (Toimi Keinänen & Pentti Kärkkäinen, 2005).



Kuva 3, Feston tuottama huoltolaite (Festo.fi)

4.3 Venttiilit

Venttiili on yleisnimitys niille komponenteille, joilla ohjataan ja säädetään pneumaattista järjestelmää. Ne sijaitsevat paineenlähteen, yleensä huoltolaitteen ja toimilaitteen eli moottorien ja sylinterien välissä. Venttiilit jaetaan neljään eri ryhmään

- Suuntaisventtiilit (ohjausventtiilit)
- Vastaventtiilit (apuventtiilit)
- Paineventtiilit
- Sulkuventtiilit

Suuntaisventtiilillä ohjataan syöttöä, esimerkkinä 5/3 venttiili tarkoittaa sitä, että siinä on 5 porttia ja 3 erilaista asentoa. Keski-asentoja on monia erilaisia, suljettu, avoin, lähestulkoon mitä vain. Yleensä käytetään kuitenkin 5/2 ohjausta, jolloin keksiasentoa ei ole ja venttiili toimii kahdella erilaisella toiminnolla.

Vastaventtiilit ovat venttiileitä jotka toimivat samalla tavalla kuin ns. takaiskuventtiili. Vastaventtiili päästää painetta ainoastaan toiseen suuntaan, vastaventtiileitä voidaan ohjata, jolloin ohjaamalla saadaan paine purettua toimilaitteelta. Esimerkiksi letkurikkoventtiilissä se on todella hyvä ja lähes pakollinen. Letkurikkoventtiili tarkoittaa sitä, että letkurikon tai paineen äkillisen katoamisen sattuessa se ei päästä painetta purkaantumaan toimilaitteelta jolloin voisi sattua onnettomuus. Esim. tarttujissa käytetään letkurikkoventtiileitä jolloin turvataan työturvallisuus letkurikon sattuessa, ettei tarttujan kynnet pääse avautumaan paineen hävittyä ja taakka pääsisi putoamaan. Vastaventtiili ei ohjaa sylinterin voimaa, vaan nopeutta.

Paineventtiili, eli paineensäädin. Ohjaa suoraa painetta, eli sylinterin voimaa. Tällä saadaan aikaan esim. sylinterin liike nopeaksi mutta voimaa voidaan säätää pienemmäksi.

Sulkuventtiili sulkee painelinjan (SMC.fi).

4.4 Säiliö

Jokaiseen paineilmajärjestelmään kuuluu yksi tai useampi paineilmasäiliö. Säiliön koko määräytyy kompressorikapasiteetin, säätöjärjestelmän ja ilmantarpeen vaihtelujen mukaan. Säiliön tehtävänä on tasoittaa kompressorin aikaansaamat ilmasysäykset, jäähdyttää, kerätä tiivistynyttä vettä, toimia varastona ja toimia varoventtiilin sijoituskohteena ja lisätä näin käyttöturvallisuutta.

Säiliön mitoittamisessa otetaan huomioon säiliön käyttötarkoitus, paineen vaihtelu sekä kompressorin tuotto. Jos järjestelmässä on useampi säiliö, käytetään mitoituksessa suurimman kompressorin tuottoa. Taulukossa 4 on esitetty kompressorin tarvittava säiliötilavuus eri paineen vaihteluilla. (Keinänen & Kärkkäinen 2005)

Taulukko 4. Tarvittava säiliön koko eri paineiden vaihteluilla. (Paineilmajärjestelmien suunnittelu)

Kompressorin tuotto m ³ /min	Sallittu paineen vaihtelu (bar)			
	0.25	0.5	1	2
	Tarvittava säiliön koko m ³			
0.5	0.2 - 0.5	0.1 - 0.3	0.05 - 0.15	0.03 - 0.1
1	0.4 - 1.0	0.2 - 0.5	0.1 - 0.3	0.05 - 0.15
1.5	0.5 - 2	0.3 - 1	0.15 - 0.5	0.1 - 0.25
2	0.75 - 2.0	0.4 - 1.0	0.2 - 0.5	0.1 - 0.3
3	1.0 - 3	0.5 - 1.5	0.3 - 0.75	0.15 - 0.5
4	1.5 - 4	0.75 - 2	0.4 - 1.0	0.2 - 0.5
6	2 - 6	1 - 3	0.5 - 1.5	0.3 - 0.75
8	3 - 8	1.5 - 4	0.75 - 2.0	0.4 - 1.0
10	4 - 10	2 - 5	1 - 3	0.5 - 1.5
15	6 - 15	3 - 8	1.5 - 4	0.75 - 2.0
20	8 - 20	4 - 10	2 - 5	1 - 3
30	10 - 30	5 - 15	3 - 8	1.5 - 4
50	20 - 50	10 - 25	5 - 15	2.5 - 8

Vedenerotukseen sopivan säiliön tilavuus voidaan laskea yhtälöstä:

$$\frac{Q}{3} = V_s$$

Jossa Q on kompressorin tuotto (m³ /min)

V_s on säiliön tilavuus (m³)

(Keinänen & Kärkkäinen 2005)

Paineilmasäiliötä tarvitsee huomioida, että säiliön on täytettävä paineastia ja painelainsäädännön vaatimukset ja edellytykset. Paineastialainsäädäntö on määritelty direktiivissä 87/404/ETY.

Säiliöstä hyödynnettävän vapaan ilman määrä voidaan laskea seuraavasti:

$$V = V_s \times D_p$$

V = Käytettävissä oleva ilmamäärä (m^3 vapaata ilmaa)

V_s = Säiliön tilavuus (m^3)

D_p = Sallittu paineen lasku (bar)

Taulukko 5. Säiliöstä hyödynnettävä hetkellinen ilmamäärä. (Paineilmajärjestelmien suunnittelu)

Säiliön tilavuus m^3	Sallittu paineenlasku bar							
	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	2.5
	Hyödynnettävä ilmamäärä m^3							
0.2	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5
0.3	0.075	0.15	0.225	0.3	0.375	0.45	0.6	0.75
0.5	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75	1	1.25
1	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	2.5
2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4	5
3	0.75	1.5	2.25	3	3.75	4.5	6	7.5
5	1.25	2.5	3.75	5	6.25	7.5	10	12.5
8	2	4	6	8	10	12	16	20
10	2.5	5	7.5	10	12.5	15	20	25
15	3.75	7.5	11.25	15	18.75	22.5	30	37.5
20	5	10	15	20	25	30	40	50

4.5 Putkisto

Paineilmaverkoston mitoitukseen on muutamia eri tapoja. Yleisin mitoitustapa on putkiston mitoittaminen painehäviöiden laskennan avulla (Paineilmajärjestelmien suunnittelu).

Painehäviö paineilmakeksuksen ja kulutuspisteiden välillä tulisi olla alle 0,3 baaria. Putkiston painehäviö tulisi kuitenkin olla enintään 1 baari kompressorin ja paineilmlaitteiden välillä (Keinänen & Kärkkäinen 2005).

4.6 Painehäviö putkessa

Painehäviö putkessa voidaan laskea seuraavalla kaavalla.

$$\Delta p = 1.6 \times 10^{12} \times q_v^{1.85} \times l / (d^5 \times p)$$

Jossa;

q_v = tilavuusvirta

d = putken sisähalkaisija, m³/s

l = putkijohdon pituus, m

p = absoluuttinen paine, kPa

Taulukko 6. Putkiston virtauskapasiteetti (Paineilmajärjestelmien suunnittelu)

Putken vastaavuuspituus,
($\Delta p = 0,1$ bar) 6 bar paineella *)**)

Virtaus m ³ /min	Putken nimelliskoko DN										
	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
0,5	145	495	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
1	40	136	462	912	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
1,5	19	64	217	429	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
2	11	38	127	251	791	>>	>>	>>	>>	>>	>>
2,5	7	25	84	166	522	>>	>>	>>	>>	>>	>>
3	5	18	60	118	372	>>	>>	>>	>>	>>	>>
4	3	10	35	69	218	714	>>	>>	>>	>>	>>
5	2	7	23	46	144	472	>>	>>	>>	>>	>>
6	1	5	16	33	102	336	737	>>	>>	>>	>>
8	1	3	10	19	60	197	432	>>	>>	>>	>>
10	1	2	6	13	40	130	285	>>	>>	>>	>>
12	0	1	5	9	28	93	203	717	>>	>>	>>
14	0	1	3	7	21	69	153	539	>>	>>	>>
16	0	1	3	5	17	54	119	420	>>	>>	>>
18	0	1	2	4	13	44	96	337	892	>>	>>
20	0	1	2	3	11	36	79	277	733	>>	>>
25	0	0	1	2	7	24	52	183	484	>>	>>
30	0	0	1	2	5	17	37	130	345	874	>>
40	0	0	0	1	3	10	22	76	202	512	>>
50	0	0	0	1	2	7	14	50	133	338	>>
60	0	0	0	0	1	5	10	36	95	241	891
80	0	0	0	0	1	3	6	21	56	141	522
100	0	0	0	0	1	2	4	14	37	93	345

Taulukko 7. Putkiston säiliökapasiteetti (Paineilmajärjestelmien suunnittelu)

Pituus/m	5	10	15	20	30	40	50	75	100	150	200
Putkikoko DN	Putken tilavuus / l										
15	1.3	2.6	3.9	5.1	7.7	10.3	12.9	19.3	25.7	38.6	51.5
20	2.2	4.4	6.6	8.8	13.2	17.6	22.1	33.1	44.1	66.2	88.2
25	3.7	7.3	11	14.6	21.9	29.2	36.5	54.8	73.1	110	146
32	6	12.1	18.1	24.1	36.2	48.3	60.3	90.5	121	181	241
40	8	16	24	32	47.9	63.9	79.9	120	160	240	320
50	12.8	25.6	38.4	51.2	76.8	102	128	192	256	384	512
65	20.9	41.7	62.6	83.5	125	167	209	313	417	626	835
80	28.8	57.7	86.5	115	173	231	288	433	577	865	1150
100	48.5	96.9	145	194	291	388	485	727	969	1450	1940
125	72.3	145	217	289	434	579	723	1080	1450	2170	2890
150	106	212	318	424	636	848	1060	1590	2120	3180	4240
200	182	363	545	727	1090	1450	182	2730	3630	5450	7270
250	284	568	853	1140	1710	2270	2840	4260	5680	8520	11400

Aiemmin putkiston materiaalina on käytetty teräksestä valmistettuja putkia mutta niiden paino sekä korroosio-ongelmat aiheuttavat paljon ongelmia ja painehäviöitä.

Näiden syiden takia putkimateriaaliksi on yleistynyt muovi tai alumiini.

(Paineilmajärjestelmien suunnittelu)

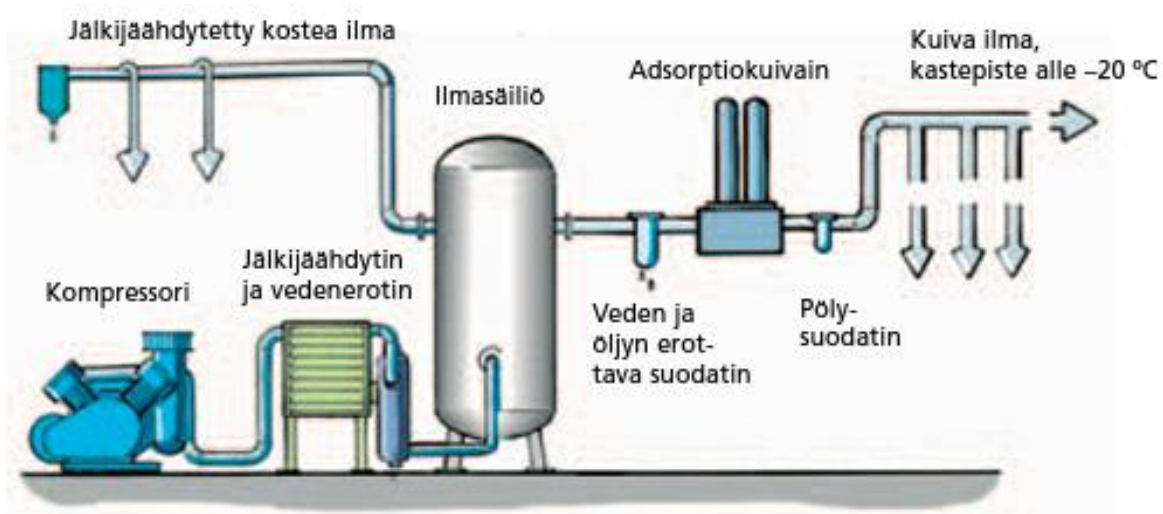
4.7 Jälkikäsittely laitteet

Paineilman jälkikäsittelyn tarkoitus on muuttaa sen laatu käyttökohteisiin sopivaksi. Paineilma voi sisältää osittain haitallisia aineita mm. vettä pisaroina tai höyrynä, öljyä pisaroina tai höyrynä tai kiinteitä partikkeleita. Jälkikäsittelylaitteistoon kuuluu jälkijäähdytin, kuivain, öljynerotin sekä suodattimet. Järjestelmän suodatuksessa on huomioitava suodattimen suodatusteho. Liian tiheää suodatusta ei voi asettaa ilman esi-suodatusta, sillä liian tiivis suodatin tukkeutuu helposti.

Paineilman käyttötarkoituksen mukaan edellä mainitut aineet voivat vaikuttaa ratkaisevasti tuotantotuloksiin, laatuun ja kustannuksiin. Vesihöyry epäpuhtautena paineilmassa voi aiheuttaa suuria kustannuksia mm. korkean kunnossapitokulun, lyhentyneen käyttöiän, ruostumisen ja vuodon, sekä ohjaus- ja laitehäiriöiden takia.

Ilman sisältämä kosteus aiheuttaa ongelmia paineilmajärjestelmässä. Kun ilma jäähtyy, kuten kompressorin puristusprosessin jälkeen tapahtuu, vesihöyry kondensoituu (Keinänen & Kärkkäinen 2005).

Normaalissa 20°C ympäristölämpötilassa ja 75%:n suhteellisessa kosteudessa ilma sisältää noin 11 grammaa vesihöyryä/m³. Jos paineilman tarve on 6m³/min vapaata ilmaa, kompressorin läpi menee yhdessä työvuorossa 37 litraa vettä. Jälkijäähdyttimen ja vedenerottimen avulla voidaan estää 26 litraa vettä joutumasta paineilmaverkostoon ja lisäksi 5 litraa voidaan poistaa verkostosta (Keinänen & Kärkkäinen 2005).



Kuva 5. (Toimi Keinänen, Pentti Kärkkäinen, 2005, 34)

4.8 Suodatus ja lauhde

Kaikki öljyvoidellut kompressorit tuottavat paineilmaan öljyjätöksiä. Nämä voivat olla nesteinä, sumuna ilmassa tai höyrynä. Kuumissa olosuhteissa öljyjätös saattaa myös kiinteytyä ja tehdä pinnoitteen. Öljy lauhdeveteen ei koskaan ole sopiva voiteluaine. Öljypitoinen seos tukkii komponentteja ja vahingoittaa maalattuja pintoja sekä lisää huollon kustannuksia. Järjestelmässä voi olla mekaanista suodatusta, yhdistymis-suodatusta, sekä adsorptiosuodatusta.

Jokaisen ilmakeuutiometrin mukana kompressori imee keskimäärin jopa 190 miljoonaa likahiukkasta, hiilivetyjä, viruksia ja bakteereita. Suurin osa epäpuhtauksista jää paineilmaan. Useissa kohteissa paineilman on oltava puhdasta. Suodattimet määrättyvät vaaditun puhtausasteen mukaan. Järjestelmässä voi olla esi- ja jälkisuodattimia, mikro- ja aktiivihiihliisuodattimia tai niiden yhdistelmiä, sekä steriilisuodattimia.

Jokaisessa paineilmajärjestelmässä syntyy epäpuhtauksia sisältävää vettä, eli lauhdetta. Sen vuoksi luotettava lauhteenpoisto kuuluu välttämättömänä osana jokaiseen paineilmajärjestelmään. Paineilmatuotannon aika syntyvä lauhde on ongelmajätettä eikä sitä tule sellaisenaan päästää viemäristöön. Se sisältää lisääntyvissä määrin rikkiä, hiilivetyjä, kuparia, lyijyä, rautaa jne.

Lauhteesta 70-80% kerääntyy järjestelmän mekaanisiin osiin, olettaen että järjestelmässä on tehokas jälkijäähdytin.

Lauhdetta voidaan erottaa oikeastaan kolmella eri tavalla. Syklonierottimessa lauhde erotetaan keskipakovoimalla, välijäähdyttimessä lauhde poistetaan keräämällä se ja painesäiliö kerää lauhdetta pohjalle (Keinänen & Kärkkäinen 2005).

Kosteuden aiheuttamat ongelmat ilmenevät venttiilien ja toimilaitteiden lyhentyneenä käyttöikänsä, vedenerottajien jatkuvana täyttymisenä, jauheiden paakkuuntumisena, maalausjäljen epätasaisuutena, paineensäätimen hajoamisena, sylinterien voiman häviämisenä tai laitteiden käynnistysvaikeuksina. (Paineilmajärjestelmien suunnittelu)

5 PAINEILMAN LAATU

Paineilma voi sisältää osittain haitallisia aineita, kuten vettä, kiinteitä partikkeleja ja öljyä. Näiden määrät on luokiteltu ISO 8573-1 standardissa seitsemään laatuluokkaan. Kiinteiden hiukkasten eli epäpuhtauksien maksimikoko ilmoitetaan suodatusasteella $N = 120$. Tämä tarkoittaa, että N - halkaisijaisista partikkeleista $1/120$ pääsee suodattimen läpi. Maksimimäärä ilmoitetaan yksikössä mg/m^3 .

Kastepiste on lämpötila, jossa kaasun vesihöyryn paine vastaa kylläisen höyryn painetta eli vesihöyry tiivistyy vedeksi. Tämän lämpötilan alapuolella esiintyy vesiongelmia! Öljypitoisuus ilmoitetaan maksimipitoisuutena, yksikkönä mg/m^3 .

Taulukko 8. (Toimi Keinänen & Pentti Kärkkäinen, 2005)

Laatuluokka	Kiinteiden partikkeleiden maksimikoko μm	Partikkelien maksimimäärä mg/m^3	Kastepiste	Öljypitoisuus mg/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	-

Paineilman laatuluokitus ISO 8573-1 mukaan

Taulukko 9. (Toimi Keinänen, Pentti Kärkkäinen, 2005)

Käyttökohde	Tyypillinen laatuluokka		
	Kiinteät epäpuhtaudet	Kastepiste	Öljy sisältö
Paineilmaejektorit	3	5	3
Ilmalaakerit	2	2	1-3
Instrumentti-ilma	2	2-4	1-3
Ilmaturbiinit	1-2	2	3
Paineilmapuhdistus	3	3	3
Rakennuskoneet	4	5	5
Pneumaattinen siirto (rakeet)	1-4	1-4	1-4
Pneumaattinen siirto (jauheet)	1-4	1-4	1-4
Fluidistorit (toimilaitteet)	4	4	1-3
Fluidistorit (anturit)	2	2-1	2
Pesulakoneet	3	3	1-4
Elintarvikkeiden käsittely	1-2	2-4	1-2
Paineilmatyökalut	4	2-4	5
Metallin työstökoneet	4	2-4	5
Kaivoskoneet	4	2-4	5
Tekstiiliteollisuuden koneet	4	2-4	2-3
Valokuvien valmistusprosessit	1	1-2	1
Paineilmasylinterit	2-3	2-4	2-4
Tarkkuuspaineensäätimet	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

6 SUUNNITTELUOHJEISTUS

Toimivan paineilmajärjestelmän takana on hyvin tehty suunnittelu. Oikein suunniteltu järjestelmä on myös ehtona sille, että järjestelmä toimii ongelmitta. Järjestelmää suunniteltaessa on hyvä pysähtyä hetkeksi ja miettiä, miten järjestelmän halutaan toimivan kohteessa, mitä siltä vaaditaan, sen käyttöaste, sekä millaiset sen kohteen olosuhteet ovat.

Osa toimivista järjestelmistä toimii todella kuumissa olosuhteissa ja osa todella kylmissä oloissa, se on otettava huomioon komponenttien valinnassa. (Toimi Keinänen & Pentti Kärkkäinen, 2005)

Tässä kohdassa, kun paineilmajärjestelmän laitteistoon on tutustuttu ja komponentit ovat käyty läpi, voidaan alkaa miettiä komponenttien ja latteiden valintaa ja valintaperusteita.

Paineilmajärjestelmän pääomakustannukset kannattaa jakaa useammalle vuodelle (a) jolloin kokonaiskustannuksia voidaan tarkastella paremmin (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002).

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

Jossa

H = hankintahinta

i = korkokanta (% / 100)

n = poistoaika vuosina

6.1 Kompessorori

Kompessorikeskusta suunniteltaessa on otettava huomioon kompressorilta vaadittu tuotto, työpaine sekä ilman laatu. Suuressa osassa kohteista ilman laadulta vaaditaan puhtautta, jolloin on valittava kompressorori joka tuottaa öljytöntä paineilmaa.

Yleisesti huoltolaitteen jälkeen komponenteille menevä työpaine on 6 baaria.

Paineilman tarve määräytyy kulutuksesta, tarvittavan paineilman kulutuksen voi laskea seuraavasti.

$$Q_n = K \times Q_m \times T$$

Jossa Q_n on Nimellinen paineilman tarve

K on kaikkien koneiden lukumäärä

Q_m on maksimaalinen ilman kulutus

T on käyttöaste

Paineilmaa tuotetaan sähköllä lähes aina. Kompressorin kuluttama energia vuodessa voidaan laskea seuraavasti:

$$K = \frac{P_k \times k_t \times H \times \%t \times \%full}{Mt}$$

Jossa:

K on kompressorin sähkömoottorin energiakustannus (€)

P_k on kompressorin teho (kW)

k_t on kompressorin käyttötunnit/vuosi

H on sähkön hinta (€ / kWh)

$\%t$ on kompressorin käyntiaika laskettavalla teholla prosentuaalisesti

$\%full$ on kompressorin käynti täydellä teholla koko ajasta

Mt on kompressorin hyötysuhde

Paineilmajärjestelmän kompressorikeskuksen suunnittelussa on tärkeää järjestää hyvä ilmastointi. Kompressorikeskus kannattaa sijoittaa, jos mahdollista, ulkoseinän viereen mieluiten pohjoispuolelle koska siellä ilma on viileämpi, tällä voidaan ehkäistä osa vesiongelmasta. Kompressorikeskuksen korvausilman tulee myös olla puhdasta, joten sitä ei tule ottaa esim. vilkkaasti liikennöidyn kadun puolelta. Jos kompressorikeskuksen sijoituskohte on tiedossa ja tiedetään, millainen ilmasto siellä vallitsee, voidaan suunnittelussa käyttää apuna Mollier taulukkoa, josta voidaan lukea ilman sisältämä vesihöyry ja kastepiste. (Liite 1) (Keinänen & Kärkkäinen 2005)

6.2 Jälkikäsittelylaitteet

Koska suuressa osassa kohteita ilmalta vaaditaan tiettyä puhtautta pitää ilma käsitellä. Paineilmalta voidaan vaatia myös esimerkiksi puhtauden lisäksi esim. kuivempaa tai kylmempää ilmaa. Jälkikäsittelylaitteisiin kuuluu erilaiset suodattimet sekä jäähdyttimet, kuivaimet.

6.3 Venttiilit

Venttiilit, apu- sekä ohjausventtiilit, ovat pakollisia paineen ohjaimia järjestelmässä. Kun suunnitellaan paineilmajärjestelmää johonkin laitteeseen tai paikkaan, kannattaa miettiä miten laitteen halutaan toimivan ja onko siinä turvallisuusriskejä, jos jokin laite pettää. Kaikki ohjaaminen tapahtuu venttiilien käytöllä.

6.4 Huoltolaite

Huoltolaite on jokaisessa järjestelmässä pakollinen. Huoltolaite sijoitetaan normaalisti kompressorin jälkeen linjassa, jolloin järjestelmää huollettaessa, kompressoria ei tarvitse tyhjentää tai edes sammuttaa. Huoltolaitteessa olevalla painesäätimellä paine säädetään nolnaan, jolloin voidaan turvallisesti huoltaa laite ilman järjestelmän häirintää. Huoltolaitteita voi olla jokaiselle laitteelle oma tai niin että jokin ryhmä laitteita toimii saman huoltolaitteen alla. Tällä taataan turvallinen huolto ilman vaaraa, että kone käynnistyy. Tämä toimii kuten turvakytkin sähkölaitteissa.

Huoltolaitteita kannattaa olla useita, sillä kun jokin linja vaatii huoltoa, voidaan yksittäinen linja katkaista jolloin muu järjestelmä jää kuitenkin käytettäväksi.

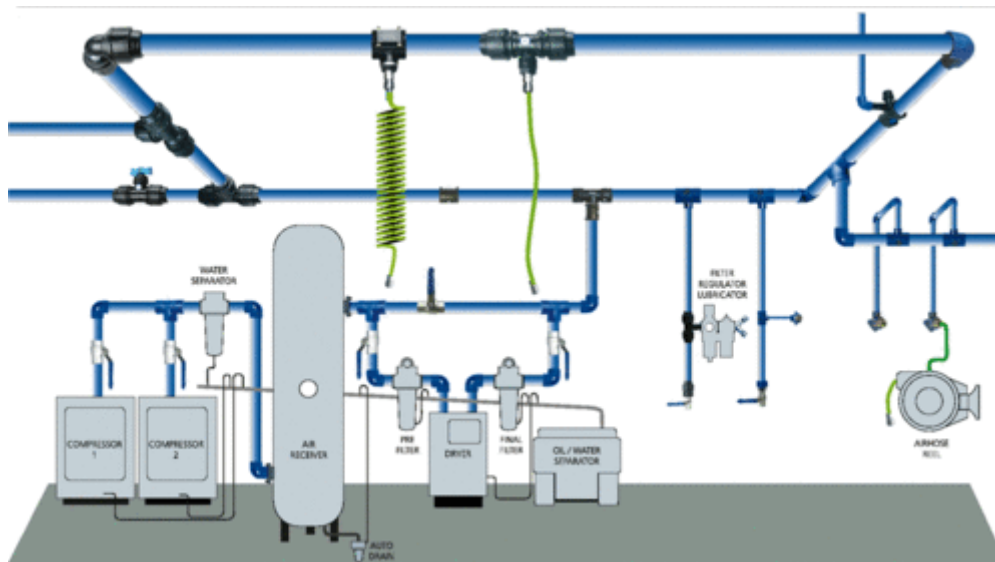
Huoltolaitteeseen voidaan kytkeä, ja usein onkin kytketty pehmeäkäynnistysventtiili, sekä kaksi turvaventtiiliä. Pehmeäkäynnistysventtiili estää järjestelmän käynnistymisen nopeasti jolloin komponentti-, toimilaite- sekä käyttäjäturvallisuus paranee. Turvaventtiilit puolestaan toimivat huoltolaitteessa anturin omaisesti seuraten painetta, kun huoltolaitteesta paine lasketaan alas esim. huoltoa varten. Turvaventtiileitä on yleensä kaksi sarjassa. (Keinänen & Kärkkäinen 2005)

6.5 Säiliö ja putkisto

Säiliö valitaan järjestelmään sen mukaan, millainen ilman varastoinnin tarve on. Järjestelmässä on hyvä olla säiliö, sillä se toimii mm. vedenerottimena ja varastona, sekä ottaa vastaan mahdollisia paineiskuja. Koska paineilman tuottamisesta suurin osa energiasta kuluu siihen, että ilma kuumenee, toimii järjestelmässä säiliö myös jäähdytyksen apuna. (Keinänen & Kärkkäinen 2005)

Niin kuin säiliö, putkisto toimii myös varastona. Putkiston painehäviön olisi hyvä olla alle 0.3 baaria (0.03MPa) ja enintään 1 baari (0.1MPa). Putkisto kannattaa mieluummin ylimitoittaa. Tulevaisuudessa, jos laitteiden määrä kasvaa ja putkistosta tulee pulonkaula, putkiston vaihto tulee kalliimmaksi, kuin ylimitoitus alun perin.

Putkiston suunnittelu tuotantotilaan kannattaa tehdä alla olevan kuvan kaltaisesti.



(kuva 6. Paineilmaputkisto (MTI 2009.)

Paineilma kulkee helpointa reittiä pitkin. Kun paineilmaverkosto on rakennettu ns. ringiksi, ilman kulutus jakautuu tasaisemmin ja järjestelmä on helpompi hallita ja huoltaa. Jos verkosto olisi suunniteltu niin, että se olisi yksilinjainen, etupään vikaantuessa koko järjestelmä häiriintyy ja jos järjestelmän alkupäässä tarvitsisi huoltaa jokin laite, koko loppujärjestelmä pitäisi myös sulkea.

Tällä rakennusmenetelmällä myös vedenerotus toimii parhaiten. Putkistossa on kaato, ja jokaisessa putkiston alimmassa kohdassa on ventti alaspäin, josta vesi valuu putkistosta pois. Toimilaitteille paineilmaa vietäessä on hyvä käyttää ns. joutsenkaula liitymää, jolloin vesi ei ole toimilaitteille haitaksi (Keinänen & Kärkkäinen 2005).

LÄHTEET

Ellman, A, Hautanen, J, Järvinen, K, Simpura, A. (2002) Pneumatiikka. Edita Prima Oy. Helsinki.

Festo.fi

Inspecta.fi

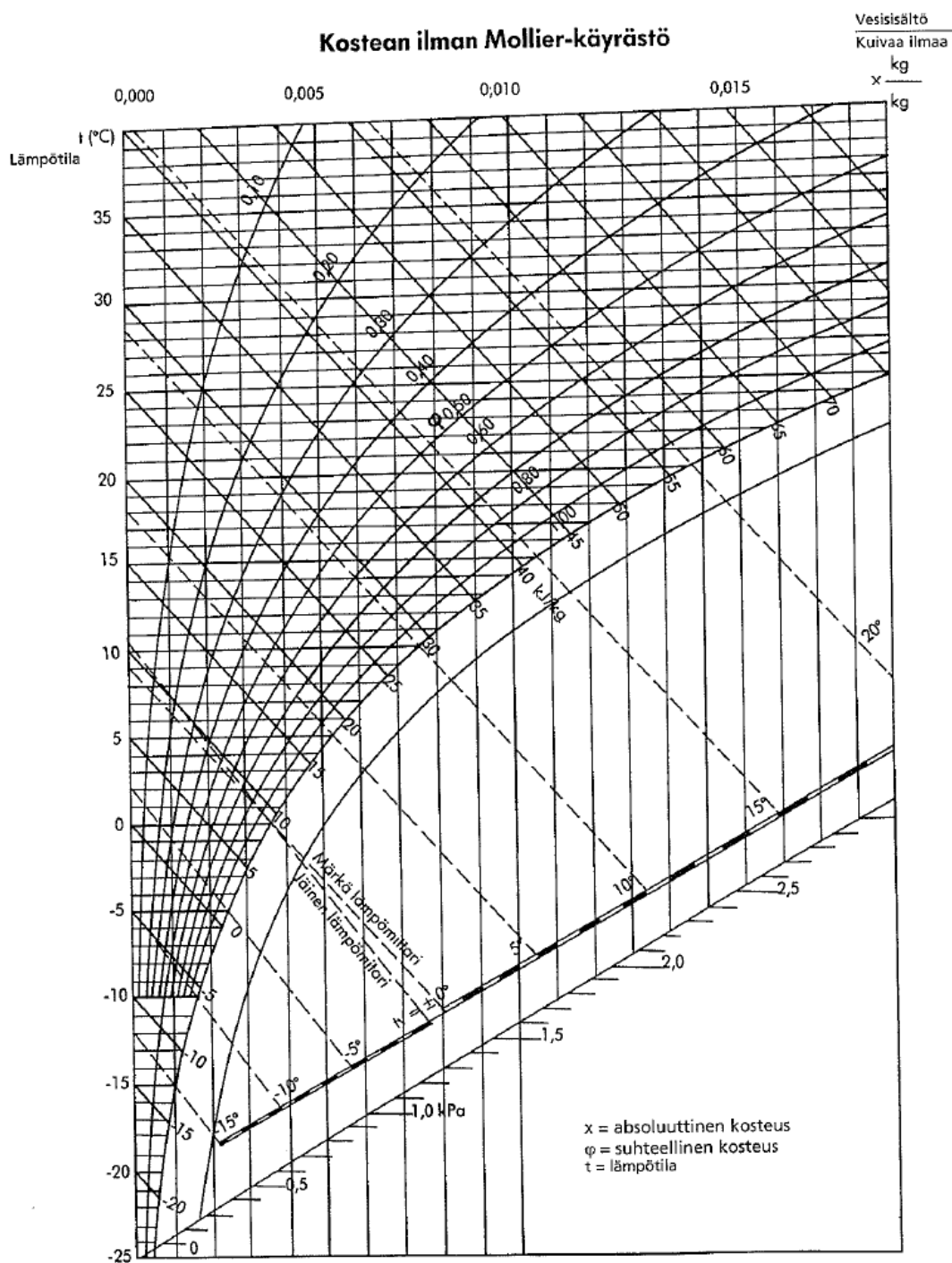
Kompressori.fi, paineilmajärjestelmän suunnittelu, ladattu osoitteesta;
<http://www.compressor.fi/media/EsitePDF/Paineilmajaerjestelmaen%20suunnittelu.pdf> [Viitattu 10.8.2018]

MTI 2009

SMC.fi

Toimi Keinänen, Pentti Kärkkäinen, 2005, Automaatiojärjestelmien hydrauliiikka ja pneumatiikka, WSOY. Porvoo.

LIITE 1



Kuvat 7. Kostean ilman mollier käyrästä, (Toimi Keinänen, Pentti Kärkkäinen, 2005)