

Lauri Järvinen

## **PAINELMAJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU**

# PAINELMAJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Lauri Järvinen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2024  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikka

---

Tekijä(t): Lauri Järvinen

Opinnäytetyön nimi: Paineilmajärjestelmän suunnittelu

Työn ohjaaja(t): Niko Peltokangas

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2024

Sivumäärä: 27

---

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin paineilmajärjestelmään ja paineilmajärjestelmän pienen laajennuksen suunnitteluun. Tavoitteena oli suunnitella tarpeelliset muutokset pientä laajennusta varten. Suunnittelun tuloksena saatiin valittua uusi kompressori toisen vanhan tilalle ja tarvittut jälkikäsitteilylaitteet. Teoriaosuudessa käydään läpi paineilmajärjestelmää yleisesti ja paineilmajärjestelmän mitoitus.

Tehtaassa tapahtuva laajennus lisää paineilman tarvetta, jota nykyiset kompressorit eivät pysty yhdessä tuottamaan. Tehtaassa on kaksi kompressoria, joista toinen on hieman isompi ja toinen hieman pienempi. Laajennuksesta aiheutuva suurempi paineilman tarve saataisiin toteutettua vaihtamalla pienemmän kompressorin tilalle uusi kompressori. Molemmilla kompressoreilla on jo valmiiksi jäähdytyskuivimet. Kompressoreille olisi hyvä saada pienet paineilmasäiliöt, jotka toimisivat paineilmaputkiston kanssa paineilma varastona.

Opinnäytetyön lopputuloksena laajennus saataisiin toteutettua vaihtamalla nykyisistä kompresso-  
reista pienempi uuteen. Lisäksi kompressoreille olisi hyvä saada paineilmasäiliöt.

---

Asiasanat: Paineilma, kompressori, mitoitus, suunnittelu

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Service

---

Author(s): Lauri Järvinen  
Title of thesis: Compressed air system design  
Supervisor(s): Niko Peltokangas  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024  
Number of pages: 27

---

In this thesis, the focus was on studying compressed air system and designing a small expansion for the compressed air system. The goal was to plan necessary modifications for a small expansion. As a result of the design, a new compressor was selected to replace one of the old ones, along with the required post-processing equipment. The theoretical part covers compressed air systems in general and dimensioning of compressed air system.

The expansion taking place in the factory increases the need for compressed air, which the current compressors cannot collectively meet. The factory has two compressors, one slightly larger and the other one slightly smaller. The increased demand for compressed air due to the expansion could be addressed by replacing the smaller compressor with a new one. Both compressors already have cooling dryers. It would be beneficial to have small, compressed air tanks for both compressors, serving as compressed air storage in conjunction with the compressed air piping system.

As a result of the thesis, the expansion could be implemented by replacing the current compressors with a smaller new one. Additionally, it would be advisable to have compressed air tanks for the compressors.

---

Keywords: Compressed air, compressor, dimensioning, design

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	PAINEILMAN TUOTTAMINEN JA VARASTOINTI .....	7
2.1	Kompressorit .....	7
2.1.1	Mäntäkompressori .....	8
2.1.2	Ruuvikompressori .....	8
2.2	Jälkikäsittely .....	9
2.2.1	Ilman kuivaus .....	10
2.2.2	Ilman suodatus.....	12
3	PAINEILMAJÄRJESTELMÄN MITOITUS.....	13
3.1	Putkisto .....	13
3.2	Kompressori .....	15
3.3	Energiatehokkuus.....	16
3.4	Paineilmasäiliö .....	17
4	TOTEUTUS .....	19
4.1	Ilmankulutus ja käyttöpaine .....	19
4.2	Kompressorit .....	19
4.3	Putkisto .....	21
4.4	Jälkikäsittelylaitteet.....	22
5	YHTEENVETO .....	25
	LÄHTEET.....	26

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on oma aihe, jossa referenssinä käytetään Reikälevy Oy:n paineilmajärjestelmää. Tehtaassa on suurempia koneita ja pienempiä työkaluja, jotka tarvitsevat paineilmaa toimiakseen. Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella mahdollinen laajennus paineilmajärjestelmään siten, että tehtaaseen tulee uusi paineilmaa tarvitseva kone.

Opinnäytetyössä tarkoituksena oli tehdä paineilmajärjestelmän suunnitelma mahdollisten tulevaisuuden laajennusten varalle. Työn alussa käydään läpi paineilman, paineilmalaitteiden ja niiden toimintaperiaatteiden teoriaa. Työssä käydään läpi myös paineilmajärjestelmän mitoituksen ja suunnittelun perusteita, joita käytetään apuna työn loppuosassa. Työn loppuosa sisältää itse suunnitteluosion. Suunnitteluvaiheessa tuotantolaitokseen suunniteltiin laajennus, jossa paineilman tarve kasvoi. Paineilman kasvun seurauksena uusi paineilman tarve täytyi määrittää ja sitä kautta saatiin mitoitettua uusi kompressorin vastaamaan uutta paineilman tarvetta ja laajennuksen tarpeita. Kompressorin mitoituksen lisäksi tarkasteltiin jälkikäsitteilylaitteiden, kuten paineilmasäiliön mitoitusta uudelle kompressorille.

## 2 PAINEILMAN TUOTTAMINEN JA VARASTOINTI

Paineilma on korkeaan paineeseen puristettua ilmaa, joka on varastoitu säiliöön tai paineilmaputkistoon. Paineilma eroaa tavallisesta ilmasta niin, että se on puristettu tiheämmäksi ja suurempaan paineeseen. Paineilman valmistus tapahtuu kompressoreilla, jotka puristavat ilman ja nostavat sen paineen, jonka jälkeen ilma siirtyy säiliöön tai putkistoon odottamaan käyttöä. (CompAir 2023.)

Paineilma toimii puhdistusaineena, voimanlähteenä, voimansiirtona ja monissa muissa asioissa. Paineilmaa käytetään lääketieteellisissä laitteissa, useissa mekaanisissa sovelluksissa ja monissa teollisuuden käyttökohteissa. Teollisuudessa paineilmaa käytetään puhdistukseen, voimanlähteenä monille työkaluille ja suuremmille koneille. (CompAir 2023.)

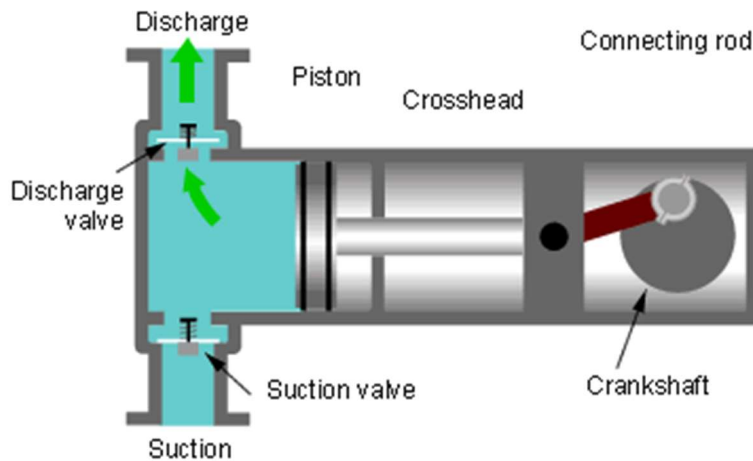
### 2.1 Kompressorit

Kompressori on paineilmajärjestelmän sydän, sillä kompressoreilla tuotetaan paineilma varastoon, josta se saadaan verkoston kautta käyttöön. Paineilmakompressorit toimivat yleensä niin, että ne imevät ilmaa ympäriltään ja puristavat ilman mekaanisesti ja nostavat sen painetta. Kompressorilta ilma puristetaan verkostoon tai paineilmasäiliöön varastoon. Riippuen käyttötarkoituksesta kompressorin syöttämä ilma voi olla kuivaa tai se voi sisältää kosteutta, ja sitä voidaan tarvittaessa puhdistaa tai kuivata.

Erilaisilla kompressoreilla voidaan tuottaa eri laatuista paineilmaa. Öljytiivistetyillä kompressoreilla voidaan tuottaa paineilmaa, joka soveltuu vähemmän puhtaisiin käyttötarkoituksiin. Öljyttömällä kompressoreilla tuotetaan täysin puhdasta paineilmaa, joka soveltuu puhtaisiin käyttötarkoituksiin. Paineilmakompressorit jaetaan kahteen pääryhmään: dynaamisiin kompressoreihin ja staattisiin kompressoreihin. Yleisimpiä kompressoreita ovat mäntäkompressori ja ruuvikompressori. (Alup Kompressoren 2023.)

### 2.1.1 Mäntäkompressori

Mäntäkompressori toimii nimensä mukaisesti männän avulla. Mäntäkompressori imee ilmaa imuventtiilin kautta ja mäntä puristaa sen sylinterissä korkea paineiseksi käyttöä varten. Mäntäkompressoreja on, joko yksivaiheisia tai kaksivaiheisia. Yksivaiheiset kompressorit puristavat ilmaa yhdessä mäntävaiheessa, kun taas kaksivaiheiset kompressorit puristavat ilman kahdessa vaiheessa näin saavuttaen korkeamman paineen. Alla olevassa kuvassa 1 näkyy mäntäkompressorin toimintaperiaate.



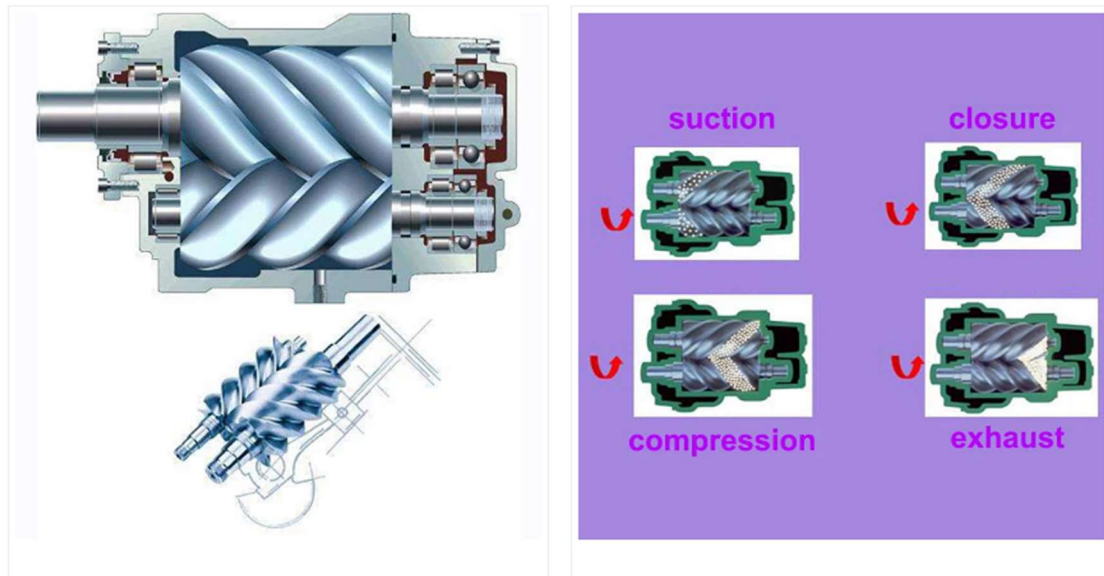
KUVA 1. Mäntäkompressorin toimintaperiaate (Wenling Fine Air Compressor 2023)

Mäntäkompressoreita käytetään usein monissa pienissä sovelluksissa, kuten pienissä ja keskikoisissa paineilmajärjestelmissä. Mäntäkompressoreita löytyy teollisuudesta, rakennustyömaalta, korjaamoilta ja kotikäytöstä. Mäntäkompressorit ovat yksinkertaisia ja helppoja huoltaa, mutta ne pitävät kovaa ääntä. (Alup Kompressoren 2023.)

### 2.1.2 Ruuvikompressori

Ruuvikompressorit ovat toinen hyvin yleinen paineilmakompressori tyyppi. Ruuvikompressorit sisältävät kaksi ruuvia, jotka sijaitsevat kotelossa rinnakkain. Ruuvit pyörivät vastakkain toisiinsa nähden. Ruuvikompressori imee ilmaa sisäänmenoaukon kautta ja puristaa sen asteittain ruuvien kiertyessä. Ilma kulkee ruuvien välissä samalla puristuen kohti ruuvikompressorin päätyä, josta saadaan valmis paineilma käyttöön. Alla olevassa kuvassa 2 näkyy ruuvikompressorin poikkileikkaus ja toiminta.





KUVA 2. Ruuvikompressorin toimintaperiaate (Xiamen Itä Aasia Koneet 2023)

Ruuvikompressorit soveltuvat loistavasti teollisuuden käyttökohteisiin, joissa tarvitaan jatkuvaa ja runsasta paineilman tuotantoa. Ruuvikompressorit soveltuvat erinomaisesti vaativiin teollisiin ympäristöihin, kuten voimalaitoksiin, metalliteollisuuteen, öljy- ja kaasuteollisuuteen sekä moniin muihin sovelluksiin. Parhaiten ruuvikompressorit toimii sovelluksissa, joissa tarvitaan jatkuvaa ja tasalaatua paineilmaa. (Kompressorikauppa 2023.)

## 2.2 Jälkikäsittely

Paineilman jälkikäsittelyllä tarkoitetaan prosessia, jossa paineilmaasta poistetaan epäpuhtaudet ja sen laatua parannetaan käyttöön sopivaksi. Kompressorilta tullut paineilma sisältää usein epäpuhtauksia, kuten öljyä, vesihöyryä ja muita hiukkasia. Epäpuhtaudet voivat alentaa järjestelmän tehokkuutta, vahingoittaa paineilmalaitteita tai aiheuttaa muita ongelmia, mikäli puhtaus ei ole tarpeenmukainen. Alla olevassa kuvassa 3 näkyy kompressorit ja erilaisia jälkikäsittelylaitteita.

Paineilman jälkikäsittely tapahtuu erillisillä jälkikäsittelylaitteilla kuten kuivaimilla, suodattimilla, öljynerottimilla ja vesierottimilla. Jälkikäsittelylaitteiden tarve riippuu käyttökohteen paineilman laadun tarpeista. Eri sovelluksissa on tarve erilaisille paineilman laatuluokille. Esimerkiksi teollisuudessa, jossa paineilmaa tarvitaan työkalujen ja koneiden käytössä, voi olla sallittua hieman epäpuhtaampi paineilma, kuin elintarviketeollisuudessa, jossa paineilmaa käytetään suoraan valmistuksessa. (Satapaine 2023.)

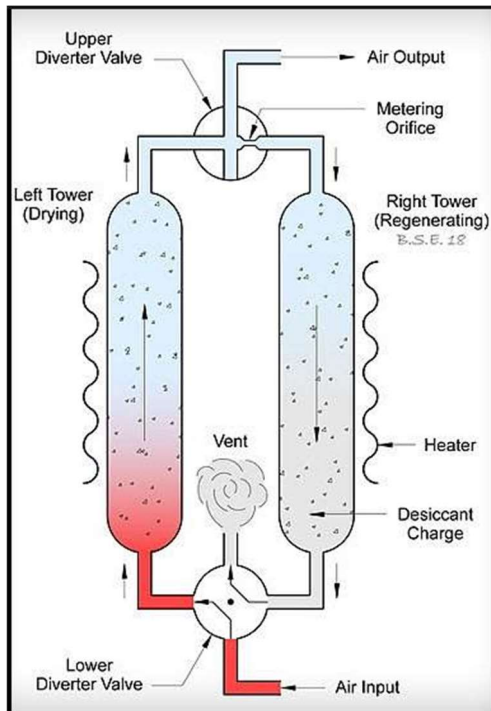


KUVA 3. Kompressorit ja jälkikäsittelylaitteet (Edu.fi 2023)

## 2.2.1 Ilman kuivaus

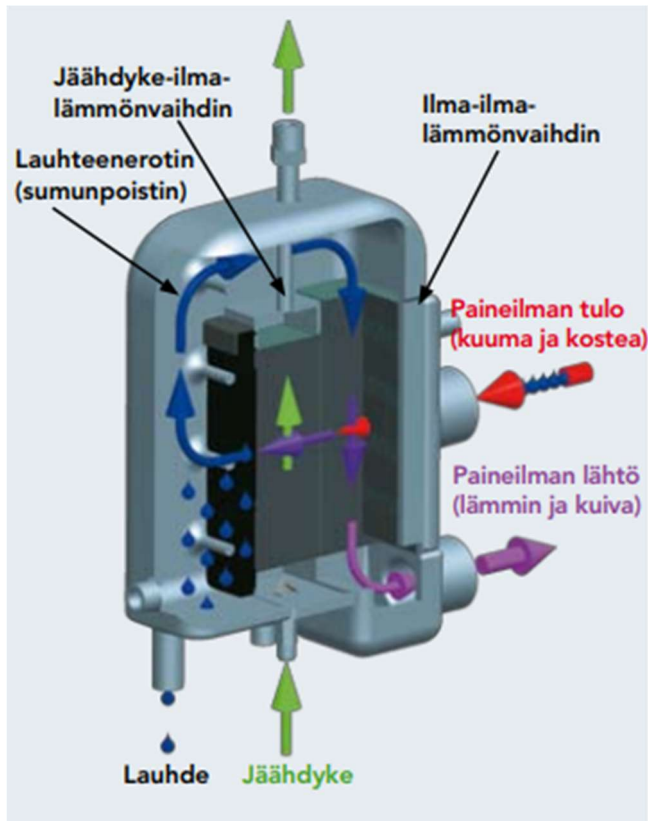
Paineilman kuivauksessa poistetaan kosteus paineilmaa sisältävästä ilmavirrasta. Kosteus voi aiheuttaa vaurioita laitteille ja häiritä prosesseja monissa teollisissa sovelluksissa, joten sen poistaminen on todella tärkeää. Paineilman kuivaus suoritetaan yleensä käyttämällä erilaisia kuivauslaitteita, joista yleisimmät ovat adsorptiokuivaimet ja jäähdytyskuivaimet.

Adsorptiokuivain käyttää kuivausainetta, kuten piidioksidia tai aktiivihiiltä, kosteuden poistamiseen paineilmaasta. Paineilma kulkeutuu adsorptiokuivaimen läpi, jossa kuivausaine sitoo kosteutta. Kuivausaine on yleensä kahdessa säiliössä kuivaimen sisällä. Säiliöt vuorottelevat kuivaus- ja elvytysjaksoja, joissa toinen suorittaa kuivausta ja toinen elpyy, kunnes ne taas vaihtavat. Adsorptiokuivaimet ovat tehokkaita ja pystyvät tuottamaan erittäin kuivaa paineilmaa. Alla olevassa kuvassa 4 näkyy adsorptiokuivaimen toimintaperiaate. (Atlas Copco 2023.)



KUVA 4. Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate (Borg 2021)

Jäähdytyskuivaimen periaate perustuu siihen, että kylmä ilma pystyy pidättämään vähemmän kosteutta kuin lämmin ilma. Jäähdytyskuivaimessa paineilma johdetaan kuivaimen jäähdytysyksikköön, jossa sitä jäähdytetään voimakkaasti. Paineilman jäähtyessä, sen suhteellinen kosteus nousee ja kosteus alkaa tiivistyä vesipisaroiksi. Vesipisarot kerätään säiliöön talteen tai poistetaan järjestelmästä. Kuivattu paineilma lämmitetään takaisin käyttölämpötilaan ennen sovelluksille syöttöä. Jäähdytyskuivaimet ovat yleisiä teollisuudessa ja ne ovat myös tehokkaita. Alla olevassa kuvassa 5 näkyy jäähdytyskuivaimen toimintaperiaate. (Atlas Copco 2023.)



KUVA 5. Jäähdytyskuivaimen toimintaperiaate (Painepiste 2023)

## 2.2.2 Ilman suodatus

Paineilma sisältää hiukkasia ja muita epäpuhtauksia, jotka pyritään poistamaan suodattamalla paineilma. Suodatus varmistaa, että paineilma on riittävän puhdasta ja soveltuu oikeisiin käyttötarkoituksiin. Paineilman suodatus auttaa myös suojelemaan laitteita, säilyttämään hyvän laadun ja varmistamaan tehokkaan ja hyvän toiminnan. Paineilman suodatukseen käytetään erilaisia suodattimia erityyppisille epäpuhtauksille, kuten pölylle, partikkeleille, öljylle, kaasuille ja muille epäpuhtauksille. Partikkelisuodattimet poistavat paineilmasta kiinteitä hiukkasia, kuten pölyä ja muita partikkeleita. Partikkelisuodattimien toiminta perustuvat mekaaniseen suodatukseen, jossa epäpuhtaudet jäävät suodattimen pintaan kiinni. Öljynsuodatus tapahtuu erikoissuodattimilla, jotka ovat suunniteltu poistamaan hienoja öljypisaroita paineilmasta. Aktiivihillisuodatus poistaa paineilmasta orgaanisia kaasumaisia yhdisteitä ja haluja. Aktiivihillisuodattimissa aktiivihilli absorboi epäpuhtauksia. Kaasusuodattimet poistavat kaasuja ja kemikaaleja paineilmasta. (Sawochka-Dalton & Modrow 2021.)

### 3 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN MITOITUS

Paineilmajärjestelmän suunnittelun avulla saadaan tuotannon käyttöön toimiva ja tehokas paineilmajärjestelmä. Oikein mitoitettulla paineilmaputkistolla taataan paineilman tasainen paine koko paineilmaverkostolle, sekä riittävä virtaus verkoston joka puolelle. Hyvä paineilmaputkisto mahdollistaa ison energian säästöpotentiaalin, kun paineilmakompressorin säätö saadaan optimaaliselle tehohyötysuhteelle ja kun tuotanto saadaan toimimaan ongelmitta ilman turhia paineilman paineenvaihtelun aiheuttamia seisakkeja. Hyvin suunniteltu paineilmajärjestelmä sisältää paineilmakompressorin, paineilmasäiliön, paineilmaputkiston ja paineilman jälkikäsitteilylaitteet oikein mitoitettuna. (Satapaine 2023.)

#### 3.1 Putkisto

Huono paineilmaputkisto voi johtaa alhaiseen tuottavuuteen, korkeisiin energialaskuihin ja heikkoon paineilmalaitteiden suorituskykyyn. Tehottomuuden välttämiseksi on täytettävä kolme vaatimusta, jotka ovat alhainen painehäviö kompressorin ja kulutuspisteen välillä, jakeluputkiston vuodon vähäisyys ja hyvä lauhteen erotus, jos kuivainta ei ole. Kolme vaatimusta on pääasiassa pääputkille, jotka ovat tarkoitettu paineilman nykyiseen ja tulevaan kulutukseen. Jos myöhemmin käy ilmi, että on tarve asentaa suurempi putki, kustannukset ovat merkittävästi alhaisemmat kuin jos koko jakelujärjestelmä uudelleenrakennettaisiin.

Paineilman kiinteät jakeluverkot on mitoitettava niin, että painehäviöt putkissa eivät ylitä 0,1 baaria. Painetta laskettaessa täytyy ottaa huomioon kytketyt liittimet ja taipuisat letkut, sillä suurin paineen pudotus tapahtuu usein näissä kohdissa. Suoran putken suurin sallittu pituus saadaan laskettua kaavalla 1: (Atlas Copco 2023.)

$$l = \frac{\Delta p * d^5 * p}{450 * q_c^{1.85}}, \quad (\text{KAAVA 1})$$

jossa

$l$  = putken kokonaispituus (m)

$\Delta p$  = sallittu painehäviö (bar)

$p$  = absoluuttinen tulopaine (bar(a))

$q_c$  = kompressorin vapaa ilmantuotto (l/s)

$d$  = sisäputken halkaisija (mm)

Paineilmaverkoston mitoitus aloitetaan usein laiteluettelosta, jossa on lueteltuna kaikki kulutuspiisteet ja niiden sijainnit. Suuri paineilmaverkosto jaetaan yleensä neljään osaan, jotka ovat korottimet, jakeluputki, huoltoputki ja paineilmaliittimet. Korottimet kuljettavat paineilman kompressorilta käyttöalueelle. Jakeluputki jakaa paineilman jakelualueelle. Huoltoputkilla paineilma reititetään kulutuspiisteisiin.

Paineilman jakautuminen verkostossa aiheuttaa painehäviöitä, jotka johtuvat putkien sisäpinnan aiheuttamasta kitkasta. Lisäksi venttiileissä ja putkiston mutkissa tapahtuvat virtaussuunnan muutokset ja kuristustehosteet aiheuttavat myös painehäviöitä. Painehäviöitä voidaan laskea kaavalla 2: (Atlas Copco 2023.)

$$\Delta p = 450 * \frac{q_c^{1.85} * l}{d^5 * P}, \quad (\text{KAAVA 2})$$

jossa

$\Delta p$  = painehäviö (bar)

$q_c$  = kompressorin vapaa ilmantuotto (l/s)

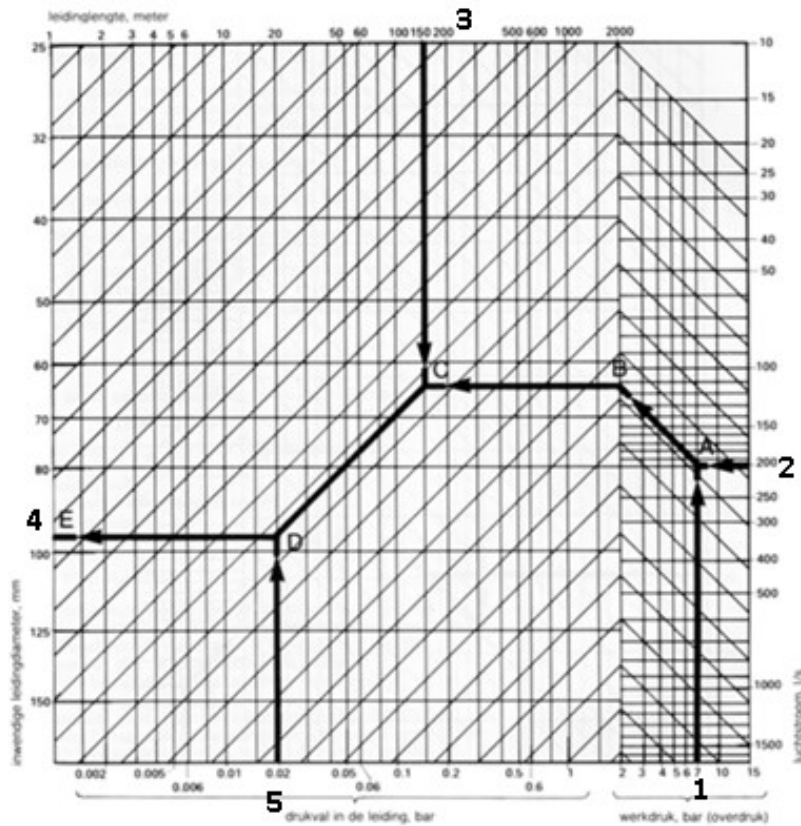
$d$  = putken sisähalkaisija (mm)

$l$  = putken pituus (m)

$p$  = absoluuttinen tulopaine (bar(a))

Painehäviöitä voidaan kaavan 2 lisäksi saada selville käyttämällä kuvan 6 nomogrammia. Lisäksi putken sopivan halkaisijan löytämiseksi voidaan käyttää kuvan 6 nomogrammia. Nomogrammissa kohta 1 on ilmanpaine (bar), kohta 2 on ilmamäärä (l/s), kohta 3 on putkipituus (m), kohta 4 on putken nimelliskoko (mm), kohta 5 on painehäviö (bar). Nomogrammin käyttö aloitetaan kohdasta 1 ilmanpaine, josta vedetään viiva oikean ilmamäärän kohdalle kohtaan 2 ilmamäärä. Kohdasta 2 viivaa jatketaan tausta viivojen mukaisesti 45 asteen kulmassa vasemmalle, kunnes kohdataan vaakasuora viiva. Vaakasuoraa viivaa jatketaan pitkälle, kunnes se risteyytään kohdasta 3 putkipituus alaspäin piirretyn viivan kanssa. Kohdan 3 viiva aloitetaan piirtämään pisteestä, joka saadaan selville laskemalla se kaavan 1 avulla. Tästä risteys pisteestä lähdetään 45 asteen kulmassa valitun putken nimelliskoon kohdalle, joka katsotaan kuvion vasemmalta sivulta. Nimelliskoon löydyttyä

vedetään viiva alas ja saadaan tietoon putkiston aiheuttama painehäviö. Mikäli painehäviö on tiedossa, voidaan sitä käyttää löytämään oikea nimelliskoko putkelle menemällä 45 asteen kulmassa painehäviön kohdalle ja katsomalla siitä pisteestä putken nimelliskoko. Putken nimelliskokoa valittaessa valitaan lähimmistä aina suurempi. (Atlas Copco 2023.)



KUVA 6. Nomogrammi (Tribology-abc 2023)

### 3.2 Kompressorin

Kompressorin mitoituksessa on tärkeää määrittää oikea kompressorin koko ja teho vastaamaan paineilman kulutusta ja työpaineen tarpeita. Kompressorin mitoituksessa kannattaa huomioida paineilman kriittisyys, käyttöpaine, tarvittava ilmamäärä, varakapasiteetti, paineilman laatu ja tulevaisuuden varasuunnitelmat. Kompressorin mitoittamiseksi tarvitsee määrittää tarvittava käyttöpaine ja tarvittava ilmamäärä.

Määrittäessä käyttöpainetta täytyy ottaa huomioon kaikki paineilmaa käyttävät laitteet. Oikea käyttöpain ei aina ole riippuvainen laitteista, jotka käyttävät paineilmaa, vaan käyttöpaineseen vaikuttavat myös jälkikäsittelylaitteet, venttiilit ja paineilmaputkisto. Eri laitteilla saattaa olla eri suuruisen paineen tarve. Usein maksimipaine määräytyy korkeimman paineentarpeen omaavan laitteen mukaan, ja muille alemmaa painetta tarvitseville laitteille asennetaan paineenalennusventtiilejä. Käyttöpain voidaan määrittää myös lisäämällä painehäviö tarvittavaan paineeseen.

Kaikki paineilmaa käyttävät laitteet otetaan huomioon, kun määritetään tarvittavaa ilmamäärää. Paras mitoitusperuste tarvittavalle ilmamäärälle on laitteiden yhteenlaskettu keskimääräinen paineilmankulutus. Tarvittavan paineilman määrän voi mitata, laskea tai arvioida kokemuksen perusteella. (Oketola 2021.)

### **3.3 Energiatehokkuus**

Paineilman energiatehokkuus suunnitteluvaiheessa on erittäin tärkeää ottaa huomioon, sillä suurin osa paineilman kustannuksista ja energiankulutuksesta määräytyy juuri suunnitteluvaiheessa. Tehokas suunnittelu voi vähentää energiankulutusta ja alentaa käyttökustannuksia merkittävästi. Yritykset voivat saavuttaa yli 30 %:n energiansäästöt paineilmajärjestelmän optimoinnilla melko vaivattomasti, ja parhaimmissa tapauksissa säästöt voivat nousta jopa 50 %:iin. Energiatehokkuuden parantamiselle on neljä hyvää keinoa, jotka voivat vaikuttaa suuresti energiatehokkuuteen.

Ensimmäinen keino on paineilmajärjestelmän suunnitteluun panostaminen. Energiatehokkaasti suunniteltaessa minimoidaan tyhjäkäynti, painehäviöt ja käyttöpainet. Energiasäästöjä suunnitellessa voidaan saavuttaa myös käyttämällä sopivia kuivaus-, puristus- ja suodatusmenetelmiä sekä hyödyntämällä keskusohjausta.

Toinen keino on puristuslämmön talteenotto. Paineilman tuotannossa käytetty sähköenergia muuttuu suurilta osin lämmöksi, josta jopa 90–95 % on mahdollista kerätä talteen. Tätä kerättyä lämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotantotilojen lämmitykseen talvella.

Kolmas keino on taajuusmuuttajaohjatun kompressorin käyttö. Taajuusmuuttajaohjattu kompressori kuuluu paineilma-alan energiatehokkaimpiin kompressoreihin. Taajuusmuuttajalla varustettu



kompressori käyttää vain tarvittavan määrän kilowatteja vastaamaan sen aikaista paineilman kulu-  
tusta. Taajuusmuuttajaohjatut kompressorit eivät toimi kevennys- tai tyhjäkäynnillä eivätkä vuoda  
ilmaa ulos.

Neljäs keino on paineilma vuotojen vähentäminen. Vuodot ovat väistämätön osa kaikkia paineilma-  
verkostoja, joten niiden vähentäminen parantaa energiatehokkuutta. Vuotojen kokonaismäärä  
vaihtelee vuotokohtien määrän ja verkoston paineen mukaan. Esimerkiksi, kun verkoston paine on  
7 baaria, paineen alentaminen 1 baarilla voi vähentää vuotojen määrää noin 11 prosentilla. Alla  
olevassa kuvassa 7 havainnollistetaan vuotoreikien kokojen vaikutus kustannuksiin ja vuotomää-  
riin. (Atlas Copco 2023.)

Vuotoreiän halkaisija mm	Vuotomäärä 8 bar l/min	Kustannukset euroa/vuosi
1 ●	75	290
1,5 ●	150	580
2 ●	260	1 000
3 ●	600	2 320
4 ●	1 100	4 260
5 ●	1 700	6 580

KUVA 7. Vuotoreiän suuruuden vaikutus (Motiva 2017)

### 3.4 Paineilmasäiliö

Paineilmasäiliö toimii kompressorin tuottaman paineilman varastona. Paineilmasäiliö toimii myös  
puskurina, joka tasoittaa paineen vaihtelua paineilmajärjestelmässä. Alla olevassa kuvassa 8  
kolme erikokoista paineilmasäiliötä. Paineilmasäiliöt mitoitetaan käyttötarpeen mukaan, ja ne val-  
mistetaan kestämään tiettyä enimmäispainetta. Paineilmasäiliön tarvittava tilavuus voidaan laskea  
kaavalla 3. (Atlas Copco 2023.)

$$v = \frac{0,25 \cdot q_c \cdot p_1 \cdot T_0}{f_{max} \cdot (p_u - p_L) \cdot T_1}, \quad (\text{KAAVA3})$$

jossa

$v$  = säiliön tilavuus (l)

$q_c$  = kompressorin tuottama ilmamäärä (l/s)

$p_1$  = kompressorin imuilman paine (bar)

$T_1$  = kompressorin maksimi imuilman lämpötila (K)

$T_0$  = ilman maksimilämpötila säiliössä (K)

$(p_u - p_L)$  = paine-ero tuoton ja kevennyksen välillä (bar)

$f_{max}$  = tuoton maksimitaajuus (1/s)



KUVA 8. Paineilmasäiliö (Avs-yhtiöt 2017)

## 4 TOTEUTUS

Suunnittelu kohteeseen tapahtuu mahdollisten laajennusten takia. Kohteessa on suurempia metalinkäsittely koneita, jotka tarvitsevat paineilmaa. Lisäksi kohteessa on paljon pienempiä paineilmaa tarvitsevia työkaluja. Tehtaassa on laaja rengasverkko, jossa on monia paineilman käyttöpisteitä. Paineilmajärjestelmässä on kaksi ruuvikompressoria, joten paineilman tuotanto on jatkuva.

### 4.1 Ilmankulutus ja käyttöpaine

Ilmankulutus määritetään ottamalla kaikki paineilmaa käyttävät laitteet ja koneet huomioon. Kompressorin ilmantuotto tulee olla yhtä suuri kuin kaikkien paineilmaa käyttävien laitteiden ja koneiden ilmankulutus. Tehtaassa olevista koneista osa oli todella vanhoja eikä niiden manuaaleja löytynyt, joten listaa ilmankulutuksesta ei saatu tehtyä kunnolla. Kompressorien ilmantuotto on kuitenkin selvitetty ja näin ollen nykyinen ilmankulutus tiedetään ilmantuoton kautta. Nykyiseksi ilmankulutukseksi saatiin 5490 normaalilitraa minuutissa. Mahdolliset laajennukset lisäävät nykyistä ilmankulutusta noin neljäläsadalla normaalilitralla minuutissa, joten kokonaisilmankulutus olisi noin 5890 normaalilitraa minuutissa.

Käyttöpaine määräytyy suurimman paineen tarvitsevan koneen tai laitteen mukaan. Suuremmassa osassa koneista käyttöpaine löytämieni tietojen mukaan on 6 baaria ja työpisteissä käytettävien paineilmatyökalujen työpaine on myös 6 baaria. Käyttöpaine järjestelmään valitaan usein suurimman paineentarpeen mukaan, joten tähän järjestelmään valitaan 6 baaria käyttöpaine. Pienemmän paineentarpeen ilmetessä voidaan paineenalennusventtiili asentaa tarvittavalle työpisteelle.

### 4.2 Kompressorit

Kompressorin valinta tapahtuu ilmankulutuksen ja käyttöpaineen kautta. Nykyisessä järjestelmässä on kaksi Atlas Copcon ruuvikompressoria. Toinen kompressoreista on hieman pienempi GA 15 FF, joka on öljyvoideltu ruuvikompressori ja sen ilmantuotto on 2676 normaalilitraa minuutissa ja maksimipaine on 7,5 baaria. Toinen kompressoreista on hieman suurempi GA 15, joka on myös öljyvoideltu ruuvikompressori ja sen ilmantuotto on 2814 normaalilitraa minuutissa ja maksimipaine on 7,5 baaria. Alla olevissa kuvissa 9 ja 10 näkyvät tehtaan nykyiset kompressorit.



*KUVA 9. Nykyisen järjestelmän pienempi kompressori GA 15 FF*



*KUVA 10. Nykyisen järjestelmän suurempi kompressori GA 15*

Laajennuksesta tuleva uusi ilmantarve on noin 5890 normaalilitraa minuutissa, joten nykyisillä kompressoreilla ei siihen päästä niiden yhteisellä ilmantuotolla, joka on 5490 normaalilitraa minuutissa. Kahden kompressorin järjestelmä takaa luotettavuutta ja tehokasta paineilmantuotantoa, joten helpoin ja halvin ratkaisu on korvata toinen kompressori uudella. Pienemmän ruuvikompressori GA 15 FF tilalle voitaisiin valita Atlas Copcon G 18 öljyvoideltu ruuvikompressori, jonka ilmantuotto on 3126 normaalilitraa minuutissa ja maksimipaine on 7,5 baaria. Atlas Copco GA 15 ja Atlas Copco G 18 yhteen laskettu ilmantuotto on 5940 normaalilitraa minuutissa, joka poikkeaa vähän halutusta ilmantarpeesta, joka on 5890 normaalilitraa minuutissa. Alla olevassa kuvassa 11 suunniteltu uusi kompressori paineilmasäiliöllä varustettuna.

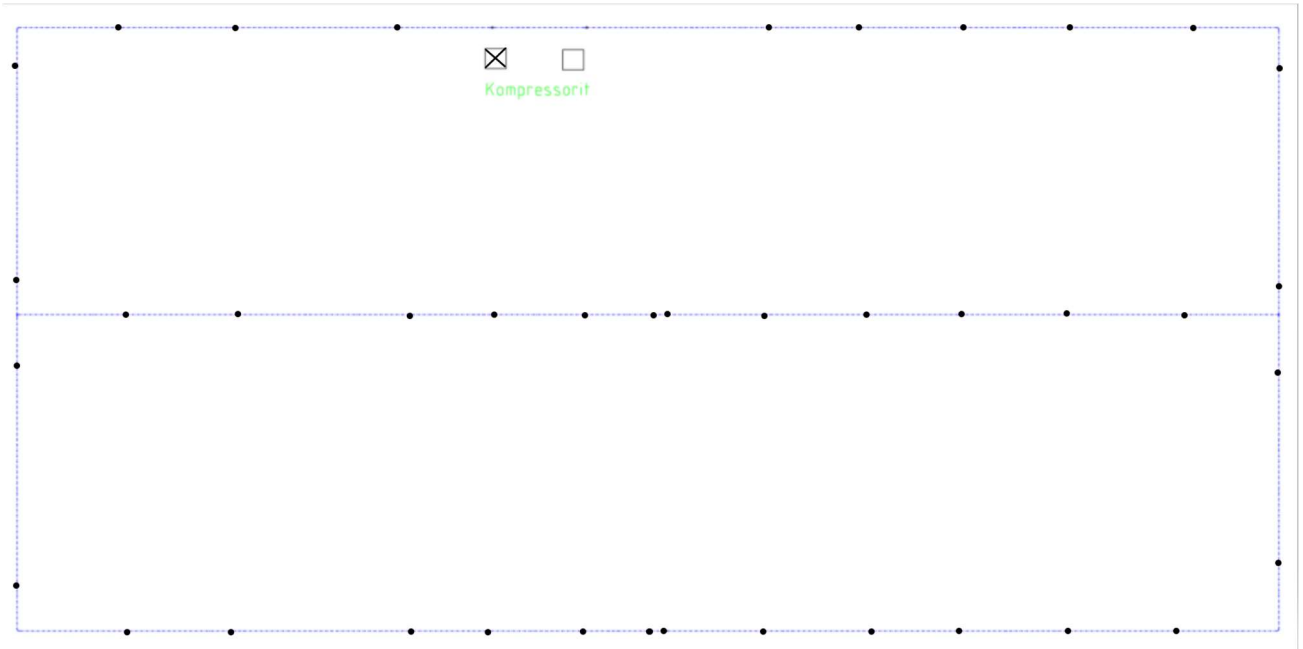


*KUVA 11. Atlas copco G 18 -ruuvikompressori paineilmasäiliöllä varustettuna (Screw-aircompressors 2024)*

### **4.3 Putkisto**

Tehtaassa sijaitseva putkisto on rengasverkosto, jossa on monia käyttöpisteitä, joista paineilma menee koneille ja työpisteille. Molemmat kompressorit sijaitsevat lähekkäin sisäänkäynnin vieressä

maan tasalla. Putkisto on hyvässä kunnossa ja siinä on tarpeeksi monta käyttöpistettä, joten putkistolle tarvitse tehdä mitään. Alla olevassa kuvassa 12 on hahmotettuna tehtaan paineilmaverkosto. Kuvassa mustat pisteet esittävät paineilman käyttöpisteitä. Rastilla merkitty neliö esittää vaihdettavaa kompressoria. Kuva ei ole täysin tarkka mutta suuntaa antava.



KUVA 12. Tehtaan paineilmaverkosto

#### 4.4 Jälkikäsittelylaitteet

Jälkikäsittelylaitteiden valinta tapahtuu halutun laatuluokan mukaan. Halutessa kuivaa ilmaa tarvitaan ilmankuivain ja jos halutaan epäpuhtaudet pois, tarvitaan suodatin. Tehtaassa tarvitaan kuivaa ilmaa. Tehtaassa molemmilla nykyisillä kompressoreilla on omat jäähdytyskuivaimet muttei suodattimia. Pienemmällä kompressorilla jäähdytyskuivaimena toimii Atlas Copcon FX7, jonka tulovirtaus on maksimissaan 3480 normaalilitraa minuutissa. Suuremmalla kompressorilla jäähdytyskuivaimena toimii Atlas Copcon FX50, jonka tulovirtaus on maksimissaan 3620 normaalilitraa minuutissa. Uusi suunniteltu ilmantarve on noin 5890 normaalilitraa minuutissa ja jäähdytyskuivainten yhteenlaskettu maksimi tulovirta on 6480 normaalilitraa minuutissa, joten nykyiset jäähdytyskuivaimet ovat sopivat. Alla olevissa kuvissa 13 ja 14 tehtaan nykyiset jäähdytyskuivaimet.



KUVA 13. Pienemmän kompressorin jäähdytyskuivain FX7



KUVA 14. Suuremman kompressorin jäähdytyskuivain FX50

Paineilmasäiliö toimii paineilman varastona ja se on ottamassa vastaan paineilmajärjestelmässä tapahtuvat paineen muutoksista johtuvat ongelmat. Paineilmasäiliön valinta tapahtuu kompressorin ilmantuoton mukaan. Paineilmasäiliön tilavuus saadaan laskettua kaavalla kolme. Tilavuudeksi saatiin laskettua 2059 litraa. Kyseisessä paineilmajärjestelmässä putkisto on kovin laaja, joten se toimii paineilmanvarastona pienemmän paineilmasäiliön kanssa. Uuden suunnitellun kompressorin saa sisäänrakennetun paineilmasäiliön kanssa, jonka tilavuus on 500 litraa. Vanhassa kompressorissa ei ole sisäänrakennettua paineilmasäiliötä, joten sille olisi myös hyvä saada 500 litran paineilmasäiliö. Pienet paineilmasäiliöt toimisivat paineilmaputkiston kanssa paineilmanvarastona ja ottaisivat vastaan paineen muutoksista tapahtuvat ongelmat.



## 5 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli suunnitella tehtaan paineilmajärjestelmään pieni laajennus tulevaisuuden varalle tilanteeseen, jossa paineilman tarve nousisi kolmellasadalla normaalilitralla minuutissa. Opinnäytetyö oli oma aihe, jossa käytettiin referenssinä Reikälevy Oy:n paineilmajärjestelmää. Paineilmajärjestelmän suunnittelussa huomioitiin kompressorit, jälkikäsitteilylaitteet ja putkisto.

Paineilmajärjestelmän laajennus lisäisi ilmankulutusta kolmellasadalla normaalilitralla minuutissa. Nykyisistä kompressoreista pienempi täytyisi vaihtaa, jotta haluttu laajennuksen ilmantarve saavutettaisiin. Uuden kompressorin kanssa uusi yhteenlaskettu ilmantuotto olisi 5940 normaalilitraa minuutissa. Uudessa kompressorissa on sisäänrakennettu viidensadan litran paineilmasäiliö, joten toisellekin kompressorille olisi hyvä saada viidensadan litran paineilmasäiliö. Paineilmaputkisto toimii kompressorien paineilmasäiliöiden kanssa paineilmapuutarastona.

Opinnäytetyötä tehtiin vapaa-ajalla töiden jälkeen. Paineilmajärjestelmän suunnittelu oli uusi asia työtä tehdessä, joten opinnäytetyötä varten etsitty tieto tuli uutena. Suurin hankaluus opinnäytetyötä tehdessä oli paineilmajärjestelmän ilmankulutuksen selvittäminen. Tehtaassa olevat paineilmaa tarvitsevat koneet ovat vanhoja, joten tietoa niiden tarvitsemasta paineilman määrästä ei löytynyt internetistä. Koneiden dokumentit olivat myös olemattomat, joten niistäkään ei saatu tarpeellista tietoa. Ilmankulutus määritettiin opinnäytetyössä käydyn teorian mukaan kompressorien ilmantuotosta. Määritettyä ilmankulutusta päätettiin koneiden ja käyttöpisteiden paineilmantarve niiden lukumäärien kautta. Laajennuksen ilmantarve päätettiin myös koneiden ja käyttöpisteiden lukumäärästä.

## LÄHTEET

- Alup Kompressoren 2023. Mikä on paineilmakompressorit? Hakupäivä 24.10.2023. <https://www.alup.com/fi-fi/kompressorit-blogi/what-is-an-air-compressor>.
- Alup Kompressoren 2023. Mäntäkompressorit: Kuinka ne toimivat. Hakupäivä 25.10.2023. <https://www.alup.com/fi-fi/kompressorit-blogi/miten-mantakompressorit-toimii>.
- Atlas Copco 2023. Adsorptiokuivaimet. Hakupäivä 7.11.2023 <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/paineilman-perusteet/paineilmakuivain/adsorptiokuivain>.
- Atlas Copco 2023. Jäähdytyskuivain paineilman käsittelyyn. Hakupäivä 7.11.2023 <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/paineilman-perusteet/paineilmakuivain/jaahdytyskuivain>.
- Atlas Copco 2023. Asianmukainen paineilman jakelu. Hakupäivä 7.03.2024 <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/compressed-air-distribution>.
- Atlas Copco 2023. Energiatehokas paineilma. Hakupäivä 29.11.2023 <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/paineilman-perusteet/paineilmalaitteisto-energiatehokkuus>.
- Atlas Copco 2023. Asianmukainen paineilman jakelu. Hakupäivä 30.11.2023 <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/compressed-air-distribution>.
- CompAir 2023. An introduction to compressed air. Hakupäivä 5.10.2023. <https://www.compair.com/en-gb/technologies/compressed-air>.
- CompAir 2023. An introduction to compressed air: where is it used. Hakupäivä 10.10.2023. <https://www.compair.com/en-gb/technologies/compressed-air>.
- Kompressorikauppa 2023. Ruuvikompressorit. Hakupäivä 30.10.2023 <https://www.kompressorikauppa.fi/tuote-osasto/kompressorit/ruuvikompressorit/>.
- Oketola, Temitayo 2021. How to size air compressor and other pneumatic systems. GlobalSpec. Hakupäivä 7.03.2024 <https://insights.globalspec.com/article/15892/how-to-size-air-compressor-and-other-pneumatic-systems>.
- Satapaine 2023. Paineilman jälkikäsittely. Hakupäivä 31.10.2023. <https://www.satapaine.fi/tuotteet/paineilman-jalkikasittely.html>.
- Satapaine 2023. Paineilmaputkiston suunnittelu. Hakupäivä 9.11.2023 <https://paineilmaputkisto.fi/suunnittelu/>.
- Sawochka-Dalton, Peter & Modrow, Peter 2021. Choosing the Right Inline Compressed Air Filters. Sullair. Hakupäivä 8.11.2023 <https://america.sullair.com/en/blog/choosing-right-inline-compressed-air-filters>.

- KUVA 1. Wenling Fine Air Compressor 2023. Öljytön mäntäkompressori. Hakupäivä 30.10.2023. <https://fi.pumpchina.net/air-compressor/industr-air-compressor/oil-free-reciprocating-compressor.html>.
- KUVA 2. Xiamen Itä Aasia Koneet 2023. Ruuvikompressorin toimintaperiaate. Hakupäivä 30.10.2023. <http://fi.compressor-factory.com/info/screw-compressor-working-principle-47946048.html>.
- KUVA 3. Edu.fi 2023. Pneumatiikka. Hakupäivä 31.10.2023 <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/automaatio/pneumatiikka/index.html>.
- KUVA 4. Borg 2021. Rakennamme humpauttimen. Hakupäivä 7.11.2023 <https://konekansa.net/threads/rakennamme-humpauttimen-paineilman-adsorptiokuivain.62668/>.
- KUVA 5 Paine piste 2023. Paineilman jäähdytyskuivaimet. Hakupäivä 7.11.2023 [http://www.painepiste.fi/pdf/1254994951-Euro\\_jaahdytyskuivain\\_09.pdf](http://www.painepiste.fi/pdf/1254994951-Euro_jaahdytyskuivain_09.pdf).
- KUVA 6 Tribology-abc 2023. Pressure loss in air pipelines. Hakupäivä 28.11.2023 [https://www.tribology-abc.com/calculators/pipeflow\\_air.htm](https://www.tribology-abc.com/calculators/pipeflow_air.htm).
- KUVA 7 Motiva 2017. Energia tehokas paineilmajärjestelmä. Hakupäivä 29.11.2023 [https://www.motiva.fi/yritykset/ohjeita\\_ ja\\_vinkkej\\_a\\_tehokkaaseen\\_energian\\_ ja\\_materiaalien\\_kayttoon/paineilmajarjestelma](https://www.motiva.fi/yritykset/ohjeita_ ja_vinkkej_a_tehokkaaseen_energian_ ja_materiaalien_kayttoon/paineilmajarjestelma).
- KUVA 8 AVS-yhtiöt 2017. Paineilmasäiliöt. Hakupäivä 30.11.2023 <https://www.avs-yhtiot.fi/tuotteet/paineilmasailiot/>.
- KUVA 11 Screw-aircompressors 2024. Atlas Copco G series. Hakupäivä 27.02.2024 <https://www.screw-aircompressors.com/sale-14434214-compact-g18-atlas-copco-oil-injected-screw-compressor-18kw-economical.html>.