



# Paineilmajärjestelmän suunnittelu

Panu Ansio

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2020

Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Tuotekehitys

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Tuotekehitys

ANSIO PANU  
Paineilmajärjestelmän suunnittelu

Opinnäytetyö 34 sivua.  
Huhtikuu 2020

---

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä Tampereen Sähkölaitoksen omistamaan Sarankulman pellettilaitoksen paineilmajärjestelmän suunnitteluun sekä kriittisyyteen käynnissäpidon kannata. Tavoitteena on suunnitella uusi kompressorijärjestelmä tukemaan vanhaa yhden kompressorin järjestelmää ja tuomaan lisää käyttövarmuutta laitokselle. Työssä käsitellään paineilmajärjestelmän suunnittelua teoreettisesti sekä mitoitusta uudelle paineilmaverkostolle.

Sarankulman pellettilaitoksen käyttötunnit ovat kasvaneet alkuperäisestä suunnitelmasta, joten yhden kompressorin järjestelmää ei pidetty tarpeeksi luotettavana. Opinnäytetyössä tutkitaan toisen kompressorin liittämistä vanhaan paineilmajärjestelmään tuomaan lisää varmuutta laitokselle. Uuden kompressorin hankkiminen lisääisi laitokselle käyttövarmuutta ja on epäilemättä järkevää pitkällä tähtäimellä olettaen, että käyttötunnit jatkavat kasvuaan. Käyttötuntien kasvuun vaikuttavat myös maakaasun ja öljyn hinta, muiden tuotantolaitoksen hintataso sekä tuotannot ja myös Tampereen sään lämpötila.

Opinnäytetyön perusteella Sarankulmaan olisi järkevää hankkia toinen kompressoriturvaamaan laitoksen käynnissäpitoa. Kompressoriturvaamaan yhdistää samaan järjestelmään Sarankulman maakaasu- ja öljylaitoksen kanssa ja poistaa siellä oleva vanha mäntäkompressoriturva.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Bachelor of Engineering studies in Mechanical Engineering  
Product Development

ANSIO PANU  
Compressed air system design

Bachelor's thesis pages 34.  
April 2020

---

The purpose of the thesis was to get acquainted with the design of the compressed air system of the Sarankulma pellet plant owned by Tampere Sähkölaitos and the criticality of the operation. The goal was to design a new compressor system to support the old single-compressor system and bring more operational reliability to the plant. The work dealt with the design of the compressed air system theoretically and the dimensioning for the new compressed air network.

The operating hours of the Sarankulma pellet plant have increased from the original plan, so the single-compressor system was not considered reliable enough. The thesis investigated the connection of a second compressor to an old compressed air system to bring more certainty to the plant. Acquiring a new compressor would increase the reliability of the plant and it proves out in the long run, if the operating hours continue to grow. The increase in operating hours is also affected by the price of natural gas and oil, the price level and production of other production plants, and also the weather temperature in Tampere.

Based on the thesis, it would be reasonable to acquire a second compressor in Sarankulma to ensure the operation of the plant. The compressor could be connected to the same system as the Sarankulma natural gas and oil plant and the old piston compressor there would be removed.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	YRITYSESITTELY .....	8
	2.1 Historia .....	8
	2.2 Konserniyhtiöt .....	9
3	PAINEILMA .....	10
	3.1 Kompressorit .....	10
	3.2 Mäntäkompressori .....	12
	3.3 Ruuvikompressori .....	13
	3.3.1 Ilman kulku .....	14
	3.3.2 Öljyn kulku .....	16
	3.3.3 Jäähdytyskuivain .....	16
	3.4 Paineilman jälkikäsitteily .....	16
	3.5 Kuivaus .....	16
	3.6 Partikkeleiden suodatus .....	17
4	PAINEILMAVERKOSTON SUUNNITTELU .....	19
	4.1 Tarvittava käyttöpaine .....	19
	4.2 Paineilmasäiliö .....	20
	4.3 Putkiston mitoitus .....	21
	4.4 Kompressorin sijoitus .....	24
	4.5 Energiatehokkuus .....	25
5	SARANKULMAN LÄMPÖLAITOKSEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄN KRIITTISYYSANALYYSI .....	26
	5.1 Sarankulman paineilmajärjestelmä .....	27
	5.1.1 Kompressori .....	28
	5.1.2 Toimilaitteet ja putkisto .....	28
6	SARANKULMAN LÄMPÖLAITOKSEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU .....	30
	6.1 Laitosesittely .....	30
	6.2 Kompressorin valinta .....	30
	6.3 Kompressorin sijoitus .....	32
7	POHDINTA .....	33
	LÄHTEET .....	35

**LYHENTEET JA TERMIT**

kW	Kilowatti
MVA	Megavolttiamppeeri
GWh	Gigawattitunti
MW	Megawatti
h	Tunti
$\mu\text{m}$	Mikrometri
Pa	Pascal
kPa	Kilopascal
MPa	Megapascal

## 1 JOHDANTO

Tampereen Sähkölaitoksen omistamassa Sarankulman pellettilaitoksessa tuotetaan kaukolämpöä Tampereen ja naapurikuntien asiakkaille, missä lämmitystapana toimii kaukolämpö. Pellettilaitos pystyy tuottamaan lämpöä, jos sen paineilmajärjestelmä toimii moitteettomasti. Paineilmajärjestelmällä ohjataan laitoksessa monia eri toimilaitteita sekä antureita, jotka mahdollistavat laitoksen käynnissäpysymisen.

Paineilmajärjestelmä on kiinteä koko laitoksen kattava verkosto. Kompressorin tuottama ilma suodatetaan ja kuivataan, josta se ohjataan paineilmaputkistoa pitkin käyttökohteisiin erilaisille toimilaitteille. Paineilma on ylipaineistettua ilmaa, jota käytetään esimerkiksi toimilaitteiden sekä työkalujen käyttövoimana. Paineilman hyötyjä esimerkiksi hydraulikkaan ja sähköön verrattuna ovat sen paloturvallisuus sekä nopeus sylintereitä ohjatessa. Ilmaa on myös aina saatavilla sekä se on melko vaaratonta. Paineilmalla on myös haittapuolensa; esimerkiksi sen huono hyötysuhde sekä sen kokoonpuristuvuus.

Opinnäytetyön avulla pyritään selvittämään Sarankulman pellettilaitoksen paineilmajärjestelmän kriittisyyttä laitoksen käynnissäpidon kannalta sekä suunnitella laitokselle toinen kompressorin tuomaan lisää varmuutta. Opinnäytetyössä käydään myös läpi sääolosuhteita ja niiden vaikutusta käyttötunteihin.

Paineilmajärjestelmän suunnittelu on aiheena ollut hyvin suosittu opinnäytetöissä, mutta näissä kyseisissä töissä suunniteltiin kokonaan uutta järjestelmää, eikä uuden kompressorin lisäystä vanhaan, kuten tässä työssä. Opinnäytetyössä keskitytään myös laitoksen kriittisyysanalyysiin, jota muissa ei ole otettu huomioon.

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Tampereen Sähkölaitoksen kanssa. Paineilmajärjestelmä suunnitellaan Tampereen Sähkölaitoksen omistamaan Sarankulman pellettilaitokselle. Sarankulman pellettilaitos on vuonna 2013 valmistunut lämpölaitos, jonka alkuperäinen tarkoitus oli toimia huippukuorma- ja varavoimalaitokseksi. Laitoksen käyttötuntien kasvaessa alkuperäisestä suunnitelmasta, yhden

kompressorin järjestelmää ei voi pitää tarpeeksi luotettavana laitoksen käynnissäpidon kannalta.

Työn alkuosassa käydään läpi paineilmajärjestelmän, paineilman sekä mitoituksen suunnittelun teoreettista puolta, joiden avulla pystytään työn loppupuoliskolla valitsemaan oikeaoppisesti tarpeita vastaava paineilmajärjestelmä. Opinnäytetyössä käydään myös läpi Sarankulman pellettilaitoksen paineilmajärjestelmää sen kriittisyyden kannalta. Kriittisyysanalyysissä käydään läpi paineilmajärjestelmän eri kohteita ja kuinka tärkeää niiden toiminta on laitoksen käynnissäpidon kannalta.

## 2 YRITYSESITTELY

Tampereen Sähkölaitos on Pirkanmaan alueella toimiva energia-alan yritys, joka tuottaa sähköä, kaukolämpöä, kaukojäähdytystä ja maakaasua yksityis- ja yritysasiakkaille pääasiassa Pirkanmaalla. Tampereen kaupungin omistama Sähkölaitos-konserni on toiminut jo vuodesta 1888 lähtien.

### 2.1 Historia

Tampereen Sähkölaitos on kunnallinen sähkölaitos, joka on perustettu vuonna 1888 ratkaisuna Tampereen pimeiden katujen valaistusongelmaan. Tampereen ensimmäinen vesivoimalla tuotettu sähkövalo syttyi vuonna 1891. (Anttila 1993, 22–48.) Ulkovalaistuksen lisäksi Sähkölaitoksen tehtäviin oli vuodesta 1957 kuulunut liikenteenohjaus, valojen sähkötekniinen suunnittelu ja asennus sekä ohjauskojeiden kunnossapito. Sähkölaitoksen kunnossapidon vastuulla oli vuonna 1994 kaikkiaan 120 valo-ohjattua liittymää. (Toiva 2017, 43–123.)

Vuonna 1929 Imatralle valmistui suuri vesivoimalaitos ja sieltä aloitettiin rakentamaan Etelä-Suomeen kantaverkoksi kutsuttua 110 kW siirtolinjaa. Koska 1930-luvulla sähkön kysyntä Tampereella jatkoi kasvuaan, Sähkölaitos päätti liittyä Imatran Voiman asiakkaaksi kantaverkkoon. Ostosähkön 110 kW jännitteen alentamiseksi Sähkölaitoksen 20 kW siirtoverkkoon hankittiin Rautaharkkoon 12,5 MVA muuntaja. (Toiva 2017, 43–45.)

Kaukolämmön sekä oman sähkön tuotanto kasvoivat vuosina 1971–1994, kun sähkön jakeluun painottunut toiminta muuttui energialaitoksen toiminnaksi. Sähkön jakelun rinnalle tuli voimakkaasti laajeneva kaukolämmitys. 1970-luku olikin kaukolämmityksen voimakkaan kasvun aikaa, jolloin asiakasmäärä nelinkertaistui 290 lämmön käyttäjästä 1160 käyttäjään ja lämpömäärä 354 GWh:sta 1060 GWh:iin. (Toiva 2017, 43–100.)

Sähkölaitoksen virallinen nimi Tampereen Kaupungin Sähkölaitos oli ollut käytössä yli sata vuotta. Kun toiminta 1970-luvulla oli laajentunut sähkölaitostoimin-



nasta energialaitostoinnaksi, nimi haluttiin vaihtaa, mutta säilyttää sana Sähkölaitos nimessä. Vuonna 1998 käyttöönotetulla uudella nimellä ”Tampereen Sähkölaitos” haluttiin helpottaa markkinointia ja korostaa siirtymistä pois energiahuollollisesta ajattelusta energiapalveluja tarjoavaksi yritykseksi. (Toiva 207, 60–123.)

## 2.2 Konserniyhtiöt

Tampereen Sähkölaitos -konsernin (KUVA 1.) emoyhtiö on Tampereen Sähkölaitos Oy. Sen tytäryhtiöitä ovat Tammervoima Oy, Tampereen Sähköverkko Oy, joka on erikoistunut sähköverkon rakentamiseen, sekä Tampereen Vera Oy, joka vastaa sähkönsiirrosta. Tampereen kaupunki omistaa Tampereen Sähkölaitos Oy:n sataprosenttisesti. Tammervoima Oy vastaa Tarasjärven hyötyvoimalaitoksesta. Tampereen Sähkölaitos Oy:ssä on töissä 388 henkilöä. (Tampereen Sähkölaitos 2018.)



KUVA 1. Tampereen Sähkölaitos konsernirakenne (Tampereen Sähkölaitos 2018)

### 3 PAINEILMA

Paineilmalla lämmöntuotannossa ja teollisuudessa on varsin keskeinen merkitys. Monet paineilmatyökalut, kuten sylinterit ja moottorit, saavat paineilmasta voimanlähteensä. Myös erilaiset venttiilit ja mittauslaitteet toimivat pneumaattisesti eli paineilmalla. On jopa kohteita, joiden on toimittava ja saatava paineilmaa sähkökatkoksenkin aikana esimerkiksi kattilalaitoksen instrumentoinnin on turvallisuussyistä toimittava tietyn ajan, vaikka sähköä ei olisikaan saatavilla. Paineilman tuottamisen keskeytyminen aiheuttaa lähes poikkeuksetta laitoksen alasajamisen ja tuotannon keskeytymisen. (Ammattikasvatushallitus 1981, 95.)

Termodynamiikan ensimmäisen lain mukaan energiaa ei voida luoda eikä hävittää, mutta se voi muuttaa muotoaan energiasta toiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tietty määrä mekaanista työtä vastaa samaa määrää lämpöä.

Paine on tiettyyn pinta-alaan kohdistuva voima jaettuna tällä pinta-alalla, joka on nähtävissä kaavassa 1.

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

p       paine, N/m<sup>2</sup>

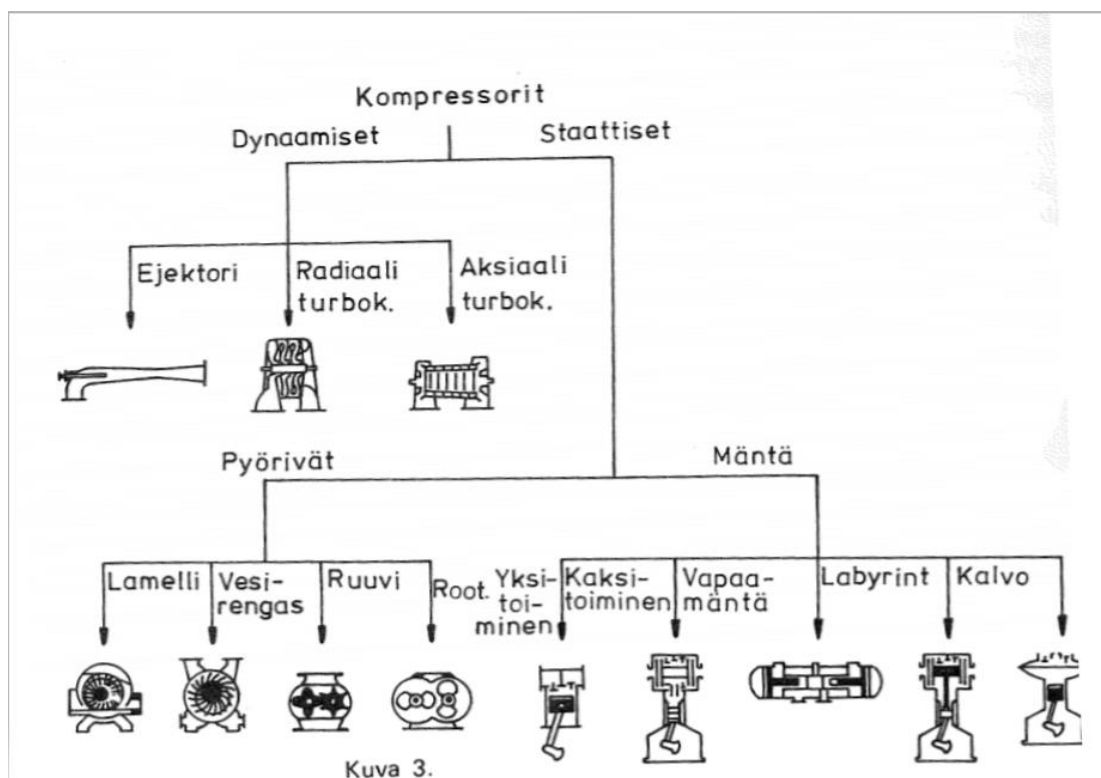
F       voima, N

A       pinta-ala, m<sup>2</sup>

Paineen SI-yksikkönä on Pa eli pascal. Paineen yksikkönä pneumatiikassa käytetään myös kPa sekä MPa. SI-järjestelmässä myös paineen yksikkönä on käytettävissä bar, 1bar tarkoittaa 100 kPa

#### 3.1 Kompessorit

Kompessorit jaotellaan toimintatavaltaan kahteen eri ryhmään: dynaamisiin kompressoreihin ja staattisiin kompressoreihin (KUVA 2).



KUVA 2. (Opetusmoniste voimalaitoskäyttäjille 1981)

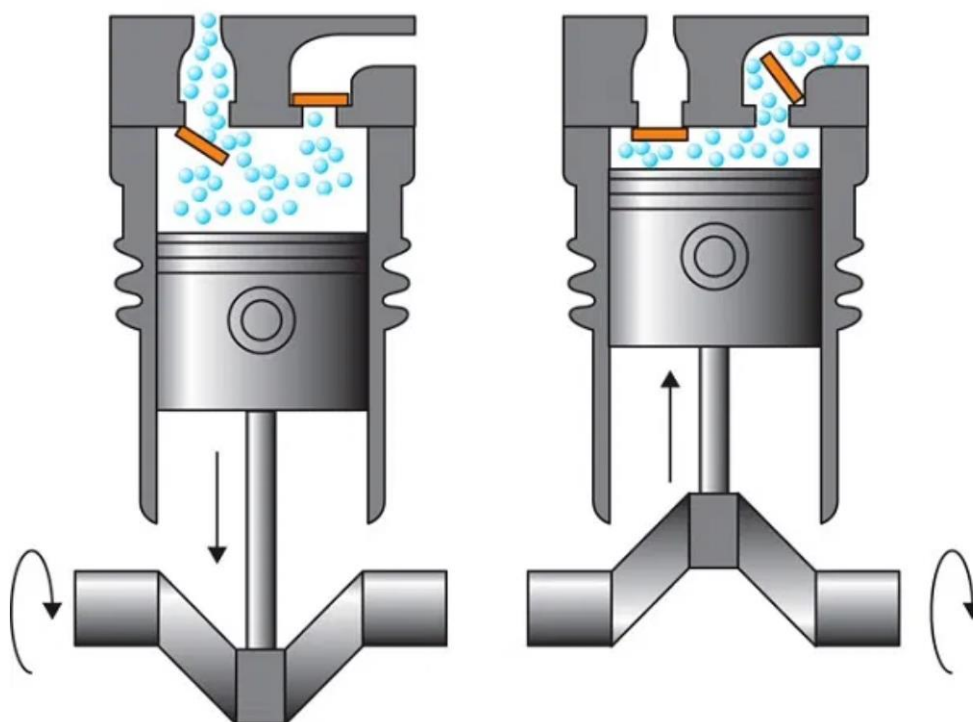
Staattisissa kompressoreissa ilma imetään puristustilaan, jota pienennetään imu-puolen sulkemisen jälkeen. Tämä tarkoittaa sitä, että paine kasvaa. Paineen saa-vutettua tuottoputken paineen venttiili avautuu ja ilma johdatetaan painepuolelle. Tällä menetelmällä toimivat mäntä-, ruuvi-, lamelli- ja nesterengaskompressorit. (Ammattikasvatushallitus 1981, 98.)

Dynaamisessa puristuksessa ilmalle annetaan pyörivässä pyörässä suuri nopeus ja kehitetty liike-energia muunnetaan poistopuolen suuttimissa paineeksi. Tähän ryhmään kuuluvat radiaaliset ja aksiaaliset turbokompressorit. Yleisesti voidaan sanoa, että staattisesti toimivat kompressorit ovat tarkoitettu pienemmille ilma-määrille ja dynaamisesti toimivat suurille ilmamäärille. (Ammattikasvatushallitus 1981, 95.) Dynaamisen ryhmän kompressorityyppeä ei käsitellä tässä opinnäyte-työssä tarkemmin, koska ne eivät liity kohteeseen.

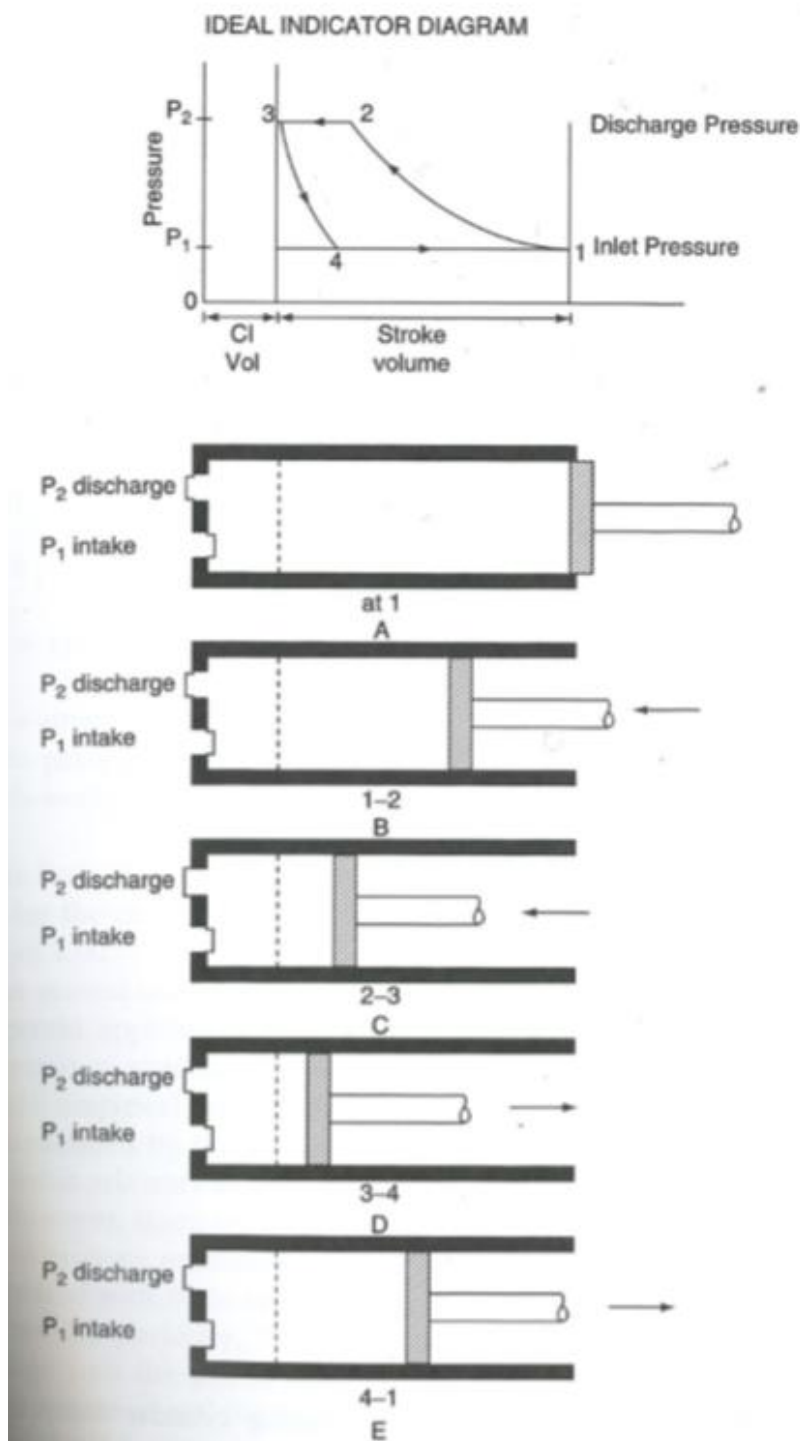
### 3.2 Mäntäkompressori

Eri kompressorityypeistä yleisin ja vanhin on mäntäkompressori, jossa sylinterissä liikkuva mäntä puristaa ilman imu- ja paineventtiileiden ajoittaessa ilmanvirtausta sylinteriin ja sieltä pois. Yleensä venttiilit liikkuvat automaattisesti paineron vaikutuksena, mutta joissakin malleissa saattaa olla myös pakkotoimisia venttiileitä. Polkupyörän pumppu on yksinkertaisin versio mäntäkompressorista, jossa ilma vedetään sylinteriin ja siellä se paineistetaan liikkuvan männän avulla. (Ammattikasvatushallitus 1981, 100.)

Mäntäkompressorit jaotellaan toimintatapansa mukaan kahteen eri ryhmään: yksi- (KUVA. 3) ja kaksitoimisiin. Mäntäkompressoreiden tuottoalueet vaihtelevat 0:sta aina 1700 litraan sekunnissa ( $0-100\text{m}^3/\text{min}$ ) ja painealue yhdestä baarista useisiin tuhansiin baareihin. Mäntäkompressoreiden etuna voidaan mainita edullinen energiankulutus ja yksinkertainen huolto. Toisaalta mäntäkompressorit sisältävät myös paljon kulutusosia, (mäntä, männänrenkaat, laakerit, venttiilit), jotka lisäävät huollon tarvetta. (Ammattikasvatushallitus 1981, 95.) Kuvassa 4 esitellään perinteisen mäntäkompressorin yhden kierroksen paineen tuottoa.



KUVA 3. Yksitoiminen mäntäkompressorin toimintaperiaate (Rolexforum 2020)

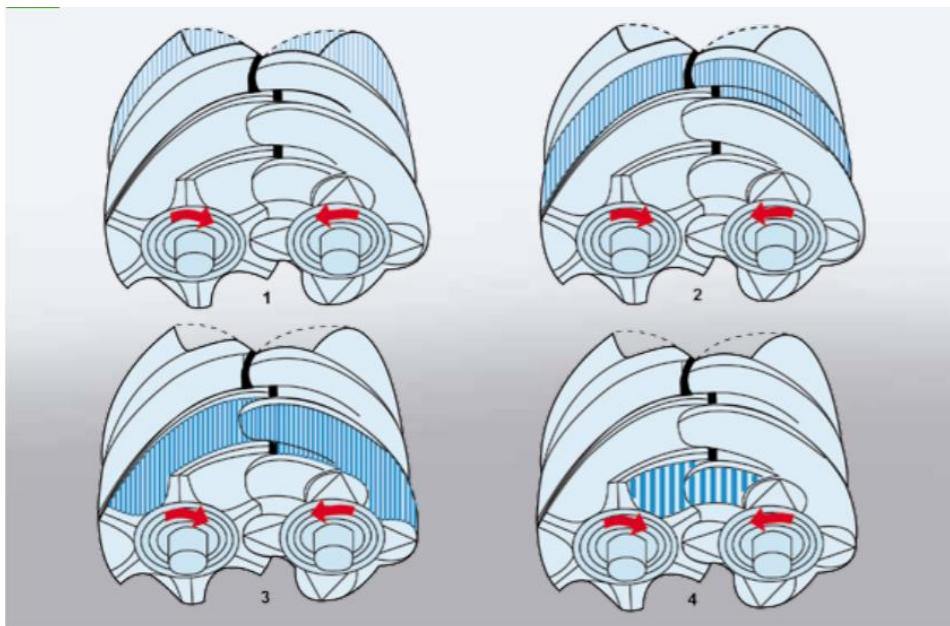


KUVA 4. Mäntäkompressorin kierto (Brown 2005, 59)

### 3.3 Ruuvikompressor

Ruuvikompressor (KUVA 5) kehitettiin 1930-luvulla, kun tarvittiin kovia paineita sekä tasaista paineen tuottavuutta. Ruuvikompressorin tärkeimpiin komponentteihin kuuluvat uros- ja naarasruuvit, jotka pyörivät vastakkain suuntiin ja kierteen nousu tihenee loppu kohden. Jokaisessa ruuvissa on kiinteä painesuhde,

joka riippuu ruuvin pituudesta, muodosta ja kierteen tiheydestä. (Atlas copco 2019.) Öljykäyttöisissä ruuvikompressoreissa puristustilaan ruiskutetaan öljyä ilman mukaan noin yhden tilavuusprosentin verran ilman määrästä. Tuottomäärältään ruuvikompressoreita öljyruiskutettuja  $10 - 30^3 \frac{l}{s}$  ( $1.5 - 60 \frac{m^3}{min}$ ) ja öljyttömiä  $30 - 10^4 \frac{l}{s}$  ( $1.5 - 600 \frac{m^3}{min}$ ). (Opetusmoniste voimalaitoskäyttäjille 1981, 105–106)

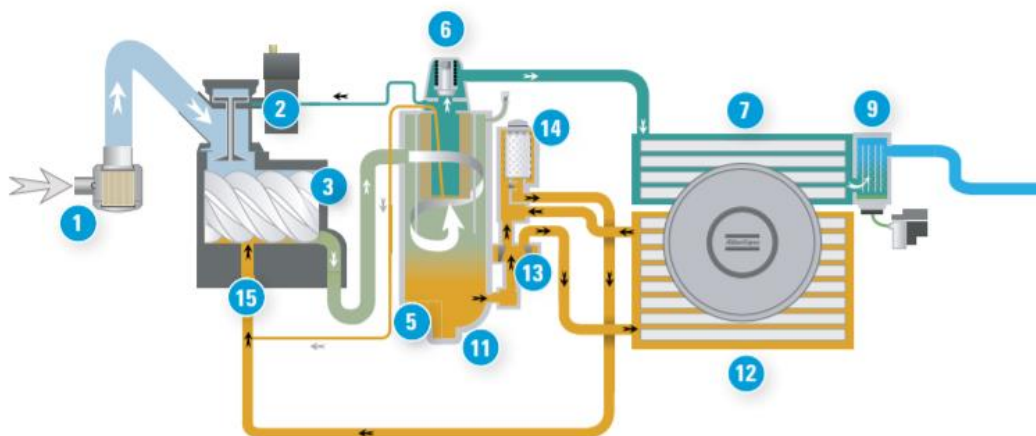
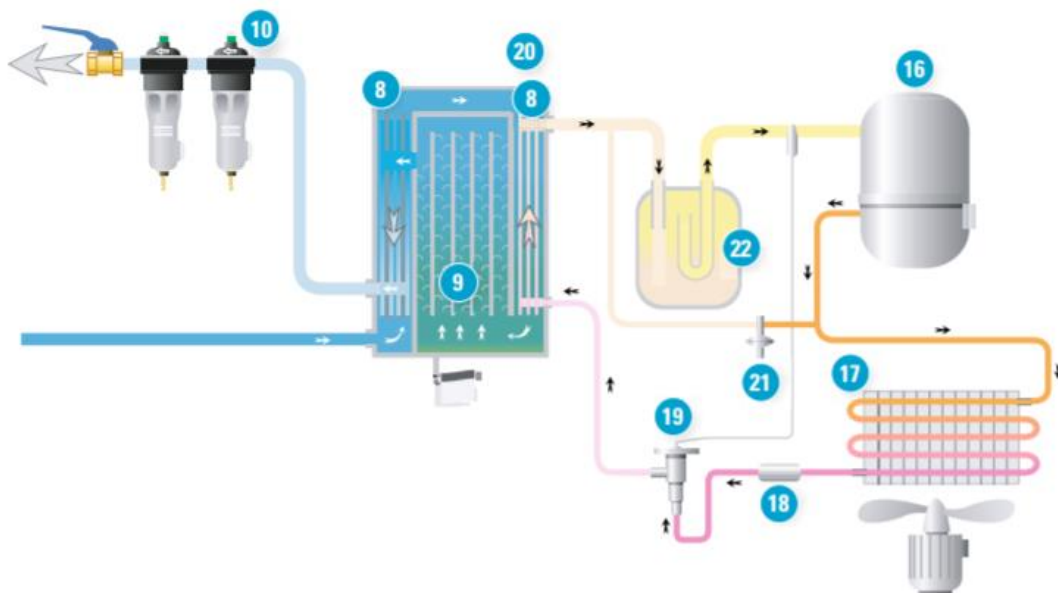


KUVA 5. Ruuvikompressorin ruuvin toimintaperiaate (Atlas copco 2019)

### 3.3.1 Ilman kulku

Öljyvoidellun ruuvikompressorin (KUVA 6) toiminta perustuu siihen että, ilma tulee tuloilmansuodattimen (1) ja tuloventtiilin läpi, jossa se paineistetaan kompressorielementissä (3). Paineilman ja öljyn seos virtaa ilman/öljynerotinsäiliöön (5), jossa öljy ja ilma erotetaan toisistaan. Paineilma virtaa minipaineventtiilin (6), ilmanjäähdyttimen (7), lauhduttimen (8) ja vedenerottimen (9) läpi öljy-suodattimille (10). Minipaineventtiili estää säiliön paineen laskun minimipaineen alapuolelle, venttiili sisältää sulun, joka estää paineistetun ilman takaisin paluun verkosta. Paineilmaerotin poistaa suurimman osan öljystä ilma/öljyseoksesta keskipakoisvaikutuksella.

---

**Standard**

**Full Feature version (FF)**


KUVA 6. Öljyvoidellun ruuvikompressorin toimintaperiaate (Atlas Copco 2019)

### 3.3.2 Öljyn kulku

Kohdassa (11) on öljyä, joka on kerätty paineilman joukosta paineilmasäiliön pohjalle. Öljy ohjataan öljynjäähdyttimeen (12) josta se kulkeutuu termostaattisen ohitusventtiilin (13) läpi öljynsuodattimelle (14) ja sieltä venttiilin (15) kautta takaisin ruuville. Termostaattinen ohitusventtiili estää öljyä kulkeutumasta öljynjäähdyttimeen, kun öljyn lämpötila on liian alhainen. Öljynsuodattimen tehtävä on erotella öljyn joukosta likaa ja estää sitä pääsemästä takaisin kompressorielementtiin.

### 3.3.3 Jäähdytyskuivain

Jäähdytyskuivaimissa (KUVA 6) on jäähdytyskompressori (16) ja yleensä vastavirtatoiminen lämmönsiirrin. Kastepiste saadaan välille  $+3...+5^{\circ}\text{C}$  eli soveltuvaksi sisäpuolisiin putkistoihin. Jäähdytyskuivainten energiankulutus on noin  $0,002-0,0028 \text{ kWh/m}^3$ , mikä merkitsee noin 2 % paineilman tuottamisen energiankulutuksesta. (Tamrotor kompressorit Oy 2020.) Jäähdytyskuivaimeen kuuluu myös lauhdutin (17), josta läpi virtaava höyry muutetaan nesteeksi. Lauhduttimesta kostea ilma kulkee kuivaussuodattimen (18) läpi, josta se menee termostaattiselle venttiilille (19). Venttiililtä kuiva ilma lähtee käyttöön tai takaisin jäähdytyskompressorille, jos ilma on vielä kosteaa.

## 3.4 Paineilman jälkikäsitely

Paineilman jälkikäsitelyllä tarkoitetaan paineilman muuttamista toimilaitteisiin sopivaksi ilmaksi. Paineilmaa tuottaessa ilman joukossa on haitallisia aineita kuten öljy, vesi ja pöly. Jälkikäsitelylaitteilla pyritään poistamaan ilmasta kaikki ylimääräinen. Tehokas jälkikäsitely poistaa epäpuhtaudet ja suojaa verkostoa korroosiolta. Tavalliseen jälkikäsitelylaitteistoon kuuluu kuivain, öljyn suodatin sekä ilman suodatin. (Tamrotor Kompressorit Oy 2020, b.)

## 3.5 Kuivaus

Ilman mukana on aina kosteutta, joka tiivistyy vedeksi puristettaessa ilmaa kaasaan. Esimerkiksi  $35^{\circ}\text{C}$ , jossa ilman kosteus on 60 % neliömetrissä, ilmassa on



arviolta noin 23 grammaa vettä. Puristettaessa ilmaa 7 baariin veden ja vesihöyryn pitoisuus kasvaa kahdeksankertaiseksi. Silloin jokainen neliometri paineistettua ilmaa sisältää 184 grammaa vettä. (Atlas Copco 2020, a.)

Veden poistamiseksi paineistetusta ilmasta on kolme eri tapaa. Ensimmäinen tapa on ylipaineistaminen, jossa ilma paineistetaan tarvittua painetta korkeammaksi, josta vesipisarat siten poistetaan. Seuraavaksi paine tiputetaan takaisin tarvittavaan korkeuteen, jolloin jäljelle jää vain vesihöyry, jonka suhteellinen kosteus tippuu alle 100%. (Atlas Copco 2020, a.)

Toinen tapa on jäähdytyskuivain, jossa paineilma nimensä mukaisesti jäähdytetään. Alemmassa lämpötilassa suhteellinen kosteus ylittää 100 %, joka muodostaa silloin vesipisaroita. Vesipisarot suodatetaan sen jälkeen pois kuivaussuodattimella ja jäljelle jää vain vesihöyry, jonka kosteus on alle 100 %. (Atlas Copco 2020, a.)

Kolmas tapa on kemikaalinen kuivaaminen, jossa kosteus poistetaan imeyttämällä tiettyyn aineeseen. Toisinaan kosteus vangitaan hygroσκοoppiseen eli ilmasta kosteutta imevään nesteeseen tai jauheeseen. Kuivausaineen kapasiteetti adsorboida kosteutta on rajallinen, joten sen adsorboima kosteus on poistettava aika-ajoin joko lämmittämällä tai elvyttämällä. Elvyttämisessä adsorptiokuivaimesta päästetään paine pois, jolloin sitä päästään lämmittämään sähkömoottorilla. Moottorilla lämmitetty ilma siirretään alipainepumpun poiston kautta takaisin ympäristöön. (Atlas Copco 2020, b.) Adsorptiokuivaimilla kastepiste saadaan  $-30^{\circ}\text{C}$  ja  $-75^{\circ}\text{C}$  välille (Tamrotor Kompressorit Oy 2020, b).

### **3.6 Partikkeleiden suodatus**

Kompressorin ottoilman mukana paineilmajärjestelmään pääsee ilmaolosuhteitten mukaan vaihteleva määrä epäpuhtauksia, kuten liikenteen ja teollisuuden tuottamaa pölyä sekä teollisuusalueella esiintyviä kaasuja, kuten rikki- ja hiiliveytyjä. Osa partikkeleista pystytään välttämään kompressorin ottoilman huolellisella valinnalla sekä ilmastointikanavien suodattimilla. Imusuodattimien kustannusten takia ei ole kannattavaa pyrkiä parempaan suodatustehoon kuin 5–10  $\mu\text{m}$ , jolloin

useimmiten pystytään suodattamaan 95 % ottoilman kiinteistä epäpuhtauksista. (Tamrotor Kompessorit Oy 2020, b.)

Instrumentti-ilman suodattimet asennetaan kompressorin jälkeen paineilmajärjestelmässä suodattamaan pienemmät partikkelit pois. Öljynerotus eli mikro-suodattimet ovat suunniteltu poistamaan ilmasta vettä, öljyä sekä likahiukkasia, jotka ovat suurempia kuin 0,01  $\mu\text{m}$ . (Painepiste 2006.)

## 4 PAINELMAVERKOSTON SUUNNITTELU

Paineilmaverkostoa suunniteltaessa avainasemassa on rakentaa tuotannon käyttöön tehokas ja toimiva paineilmajärjestelmä. Paineilmaputkiston oikealla rakenteella ja hyvällä mitoitusyöllä taataan paineilman tasainen paine koko paineilma-verkostossa sekä asianmukainen virtaus tuotantolaitoksen eri käyttökoh-teissa. Oikein rakennettu paineilmaputkisto mahdollistaa myös ison energian säästöpotentiaalin, kun kompressori saadaan säädettyä sille optimaaliselle teho/hyötysuhteelle ja kun laitos saadaan pyörimään ongelmitta ilman turhia paineilman paineenvaihtelujen aiheuttamia seisakkeja. Hyvin suunniteltu paineilma-verkosto koostuu paineilmakompressorin, paineilmasäiliön, paineilman jälkikäsit-telylaitteiden ja paineilmaputkiston oikein mitoitettusta kokonaisuudesta. (Sata-paine Oy 2020.)

Kompressorijärjestelmän oikealla valinnalla voidaan täyttää paineilmatarpeet sekä pitää energia- ja huoltokustannukset alhaisina. Ennen kompressorin valin-taa tuotantolaitoksesta tulee selvittää seuraavat perusasiat, jotta pystytään valit-semaan tarpeita vastaava paineilmajärjestelmä: maksimikulutus, kulutuksen vaihtelu, verkoston paine, tarvittava minimipaine, vuotuinen käyttöaika, paineil-man saatavuuden merkitys, puhtausaste, kastepiste, käyttöolosuhteet, kustan-nukset, lämmön hyväksikäyttömahdollisuudet, automatiikka ja valvonta. (Tam-rotor Kompressorit Oy 2020, a.)

### 4.1 Tarvittava käyttöpaine

Paineilmakompressorin koko tulee valita niin, että kompressorit pystyvät tuotta-maan kulutuksen verran paineilmaa, mutta ei yhtään enempää. Uusissa laitok-sissa tämä saattaa tuottaa ongelmia, koska paineilman kulutusta ei tunneta. Van-hoissa laitoksissa paineilman kulutus pystytään helposti määrittämään seuraa-malla kompressorin käyntiaikaa sekä ilmanpaineen vaihtelua verkossa. (Tam-rotor kompressorit Oy 2020, a.)

Kompressorin tuottopainetta määrittäessä on otettava huomioon putkiston ja tarvittavien jälkikäsitteilylaitteiden aiheuttamat paineilmahäviöt. Laitteiden paineilman kulutus on suoraan verrannollinen absoluuttiseen paineeseen, eikä ylimääräisellä paineella saavuteta kustannuksia vastaavaa etua. Alemmalle paineelle mitoitettut laitteet ovat vastaavasti suurempia kooltaan ja ilmantarve vastaavasti kasvaa. Mikäli laite toimii alun perin noin 7 baarin paineella ja voi kuitenkin toimia kunnollisesti 6 baarin paineessa, paineen alentamisesta saatava säästö on noin 14–19 %. Jos paineen tarve on vain 5 baaria, säästöt ovat 20–35 %. (Tamrotor kompressorit Oy 2020, a.)

## 4.2 Paineilmasäiliö

Paineilmasäiliötä (KUVA 8) käytetään ruuvikompressoreille yleisimmin paineilman varastona, jolloin sillä on kaksi tehtävää. Paineilmasäiliö tasoittaa paineen vaihtelun kulutuksen vaihdellessa mahdollisimman pieneksi sekä säiliön koko ja painesuhteet määräävät käynnistymis- tai tuotolle ohjautumis- tiheyden. Paineilmasäiliön tarvittava tilavuus voidaan laskea kaavalla 2: (Atlas Copco 2019)

$$v = \frac{0.25 \cdot q_c \cdot p_1 \cdot T_0}{f_{max} \cdot (p_u - p_L) \cdot T_1} \quad (2)$$

$v$	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) (yksi kierros joka 30 sekunti Atlas Copcon kompressoreissa)



KUVA 8. Sarankulman lämpölaitoksen paineilmasäiliö (Ansio 2020)

### 4.3 Putkiston mitoitus

Paineilmaputkisto on erityisen tärkeä osa toimivaa paineilmajärjestelmää. Oikein mitoitettuna ja suunniteltuna pystytään varmistamaan riittävä paineilman saanti tuotannon jokaisella osa-alueella. Hyvin mitoitetulla paineilmaputkistolla pystytään myös saamaan aikaan kustannussäästöjä, kun paineilma saadaan pysymään tasaisena koko paineilmanverkostossa. Paineilmaputkiston tasainen paine takaa myös paineilmakompressorin tasaisen käynnin. Paineilmaputkisto tulisi mitoitaa niin, että kompressorin tuottaman paineen ja kaukaisimman toimilaitteen

välille ei tulisi enempää painehäviötä kuin 0,1–0,5 baaria. Suoran putken maksimipituus saadaan laskettua kaavalla 3. (Atlas copco 2019.) Taulukossa 1 esitetään putkien mitat, joista voidaan valita oikea koko vastaamaan tarpeita.

$$l = \frac{\Delta p * d^5 * p}{450 * q_c} \quad (3)$$

- l putken maksimipituus (m)  
 $\Delta p$  sallittu paineen lasku (bar)  
 p käyttöpaine (bar)  
 $q_c$  kompressorin tuottama ilmamäärä (l/s)  
 d putken sisähalkaisija (mm)

TAULUKKO 1. Putkien mitat (Tamrotor Kompressorit Oy 2020, a)

Nimellis- koko DN	Putken ulkohalkaisija mm	Teräsputki		Rst- / Hst-putki	
		Normaali- seinämä mm	Putken sisähalkaisija mm	Normaali- seinämä mm	Putken sisähalkaisija mm
10	17,2	1,8	13,6	1,6	14
15	21,3	2	17,3	1,6	18,1
20	26,9	2,3	22,3	1,6	23,7
25	33,7	2,6	28,5	1,6	30,5
32	42,4	2,6	37,2	1,6	39,2
40	48,3	2,6	43,1	1,6	45,1
50	60,3	2,9	54,5	1,6	57,1
65	76,1	2,9	70,3	1,6	72,9
80	88,9	3,2	82,5	1,6	85,7
100	114,3	3,6	107,1	1,6	111,1
125	139,7	4	131,7	2	135,7
150	168,3	4,5	159,3	2	164,3
200	219,1	6,3	206,5	2	215,1
250	273	6,3	260,4	2	269

Paineilmaputkiston osat, kuten käyrät, haarat, venttiilit ja supistukset aiheuttavat kertaluontoisen painehäviön. Kertausvastusten huomioonottaminen paineilmaputkiston mitoituksessa saadaan parhaiten ilmoittamalla vastuksen vaikutusta vastaavan putken yhdenmukaisella pituudella. Taulukossa 2 on kerrottu putken osien aiheuttama painehäviö joka vastaamaa suoraa putken osaa metreinä. (Tamrotor kompressorit Oy 2020, a.)

TAULUKKO 2. Putkenosien vastuskertoimet ja vastaavuuspituudet (Tamrotor Kompressorit Oy 2020, a)

Putken osat	Putken nimellismitta											
	$f_i$	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
90° kulma	1,15	1,3	1,7	2,3	2,7	3,6	4,9	5,9	8,1	10,3	12,9	17,8
45° kulma	0,82	0,9	1,2	1,7	2	2,6	3,5	4,2	5,8	7,3	9,2	12,7
90° käyrä	0,245	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,3	1,7	2,2	2,8	3,8
90° kaari	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,6
180° käyrä	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,8	2,2	2,8	3,9
T-haara (haarav.)	1,02	1,1	1,5	2,1	2,4	3,2	4,3	5,2	7,2	9,1	11,4	15,8
T-haara (suorav.)	0,35	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,5	1,8	2,5	3,1	3,9	5,4
Supistus	0,43	0,5	0,6	0,9	1	1,4	1,8	2,2	3	3,8	4,8	6,7
Takaiskuventtiili	1,34	1,5	2	2,7	3,2	4,2	5,7	6,9	9,4	11,9	15	20,8
Kalvoventtiili	1,01	1,1	1,5	2	2,4	3,2	4,3	5,2	7,1	9	11,3	15,7
Palloventtiili	0,11	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,7
Luistiventtiili	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1	1,4	1,8	2,2	3,1
Istukkaventtiili	2,69	3	4	5,4	6,4	8,5	11,4	13,8	18,9	24	30,2	41,7

Paineilmaputkiston päinehäviö teräsputkille voidaan laskea riittävällä tarkkuudella kaavalla 4.

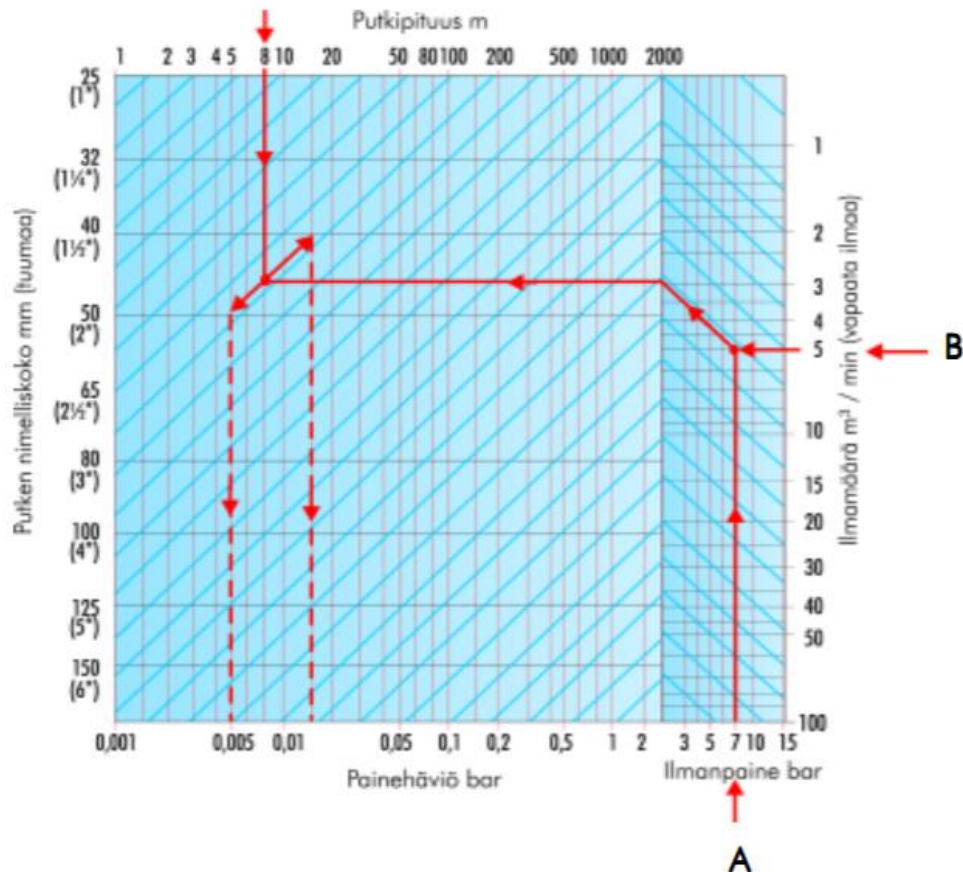
$$D_p = 8,4 * 10^4 * Q^{1,86} * \frac{L}{(D^{4,86} * p_e)} \quad (4)$$

- $D_p$  Painehäviö (bar)  
 $Q$  Virtausmäärä (m<sup>3</sup>/min)  
 $L$  Putkiston vastaavuuspituus (m) [kertavastukset on huomioitu]  
 $d$  Putken sisähalkaisija (mm)  
 $p_e$  Käyttöpaine (bar)

Paineilmaputkiston jokaisen osan laskeminen kaavojen avulla voi olla työlästä. Mitoitukseen onkin siksi käytössä laskentaohjelmia ja nomogrammeja sekä valmiiksi laskettuja taulukoita.

Paineilmaputkiston mitoituksessa voidaan käyttää kuvion 1 mitoitusnomogrammeja. Nomogrammin lähdetietoina käytetään siirrettävän paineilman painetta sekä putkiston avulla siirrettävää ilmamäärää. Paineilmaputkiston painehäviön määrittäminen aloitetaan ilmanpaineesta (A), josta vedetään viiva ylöspäin siirrettävän ilmamäärän kohdalle pisteeseen (B). Viivaa jatketaan 45 asteen kulmassa ylös, kunnes saavutaan vaakasuoran viivan kohdalle. Vaakasuoraa viivaa jatketaan, kunnes tullaan kaavalla (2) lasketun putkiston kokonaispituuden kohdalle. Tästä jat-

ketaan taas 45 asteen kulmassa valitun putken nimelliskoon kohdalle. Alas vedetty viiva kertoo putkiston aiheuttaman painehäviön. Mikäli painehäviö ylittää sallitun rajan, valitaan seuraavaa kokoa olevan putken halkaisija ja tarkistetaan paineilmahäviö uudelleen. (Tamrotor Kompessorit Oy 2020, a.)



KUVIO 1. Putkiston mitoitusnomogrammi (Tamrotor Kompessorit Oy 2020, a)

#### 4.4 Kompessorin sijoitus

Kompessorin sijoituspaikkaa suunniteltaessa on tärkeää muistaa, että lähes kaikki kompressorin käyttämästä energiasta muuttuu lämmöksi, joten kompressorihuoneessa tulee olla asianmukainen ilmanvaihto (Tamrotor Kompessorit Oy 2020, a). Kompessorin ottoilma tulisi olla puhdasta kiinteistä hiukkasista, jolloin epäpuhtaudet eivät pääse aiheuttamaan kulumista eivätkä ruostumista. Moottorien pakokaasut voivat olla myös haitallisia kompressoreille, joten ottoilmaa ei suositella otettavaksi parkkipaikkojen välittömästä läheisyydestä. Jos puhdasta







ilmaa ei ole saatavilla, läheisyydestä on asennettava ottoilman suodatin. Suodatin kerää epäpuhtaudet ilmasta; tässä tapauksessa esisuodatin tulee ottaa huomioon kompressorin kokoa valittaessa, koska se voi aiheuttaa paineen putoamista. (Atlas copco 2019.)

#### 4.5 Energiatehokkuus

Suunniteltaessa uutta paineilmajärjestelmää on tärkeää pystyä katsomaan mahdollisimman pitkälle tulevaisuuteen ja yrittää arvioida tulevia tarpeita ja vaatimuksia, jotka vaikuttavat paineilmaverkoston. Tyypillisiä esimerkkejä tulevaisuuden tarpeista ovat energia- ja ympäristövaatimukset sekä mahdolliset tuotannon laajennukset. (Atlas copco 2019.) Kompressorin energian kulutus on yli 90 prosenttia paineilman kehittämiseen tarvittavasta energiasta. Jokaisen baarin nousu tuottopaineessa lisää energian tarvetta 7–9 %. Paineilman kustannukset saadaan sitä alhaisemmaksi mitä lähemmäs paineilmakompressorin tuotto on paineilman oikeaa kulutusta. (Tamrotor Kompressorit Oy 2020, a.)

Ilmavuodot (TAULUKKO 3) ovat yksi varteenotettavimmista energian hävikkikohteista. Vuotojen energiankulutus vuositasolla voi aiheuttaa huomattavia kustannuksia. Useimmissa putkistoissa on jonkin asteen vuotoja, jotka aiheuttavat kustannushäviötä. Ilmavuodot tulee tällöin minimisoida. Paineen alentaminen vain 0.3 baaria vähentää vuotoja 4 prosentilla. (Atlas copco 2019.)

TAULUKKO 3. Ilmavuodot 7 baarin paineella (Atlas Copco 2020, b)

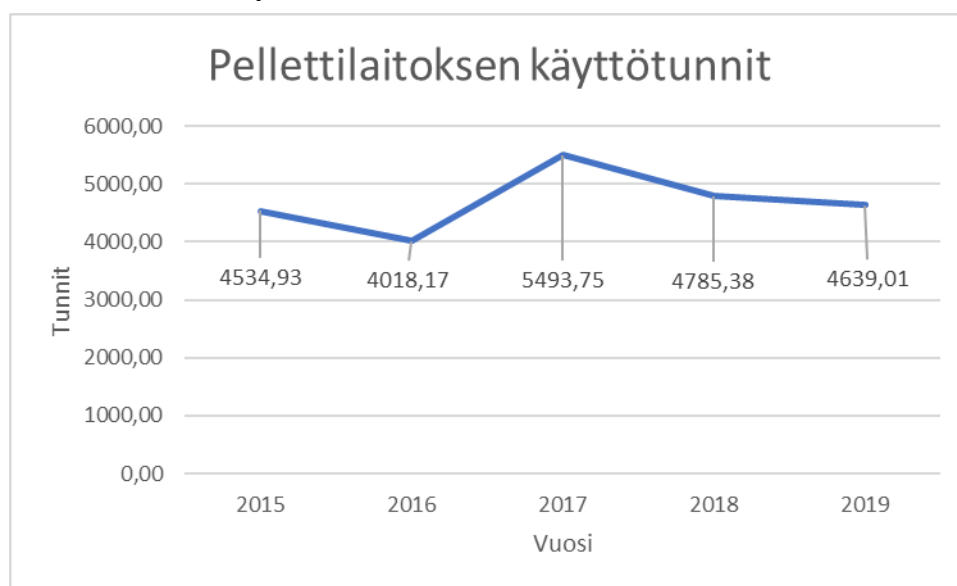
Hole diameter		Output flow at 7 bar working pressure	Power requirement for the compressor
Size	mm	l/s	kW
	1	1.2	0.4
	3	11.1	4.0
	5	31	10.8
	10	124	43

## 5 SARANKULMAN LÄMPÖLAITOKSEN PAINELMAJÄRJESTELMÄN KRIITTISYYSANALYYSI

Sarankulman lämpölaitoksen paineilmajärjestelmän kriittisyysanalyysillä tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä lämpölaitoksen paineilmakäyttöisten laitteiden kriittisyyttä laitoksen käynnissäpidon näkökulmasta. Tehtävänä tällä menetelmällä oli löytää ne kohteet paineilmajärjestelmästä, joiden toiminta on kriittistä ja kuinka suuresti laitteet vaikuttavat laitoksen normaaliin toimintaan.

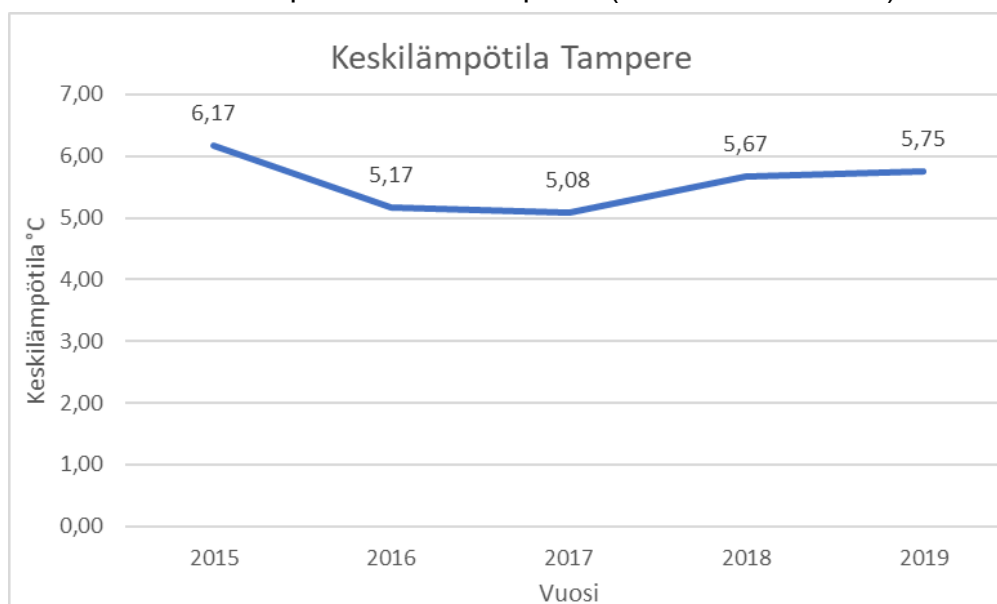
Sarankulman lämpölaitos suunniteltiin vuonna 2013 piikkilaitokseksi, josta syystä sinne ei nähty tarpeelliseksi asentaa kahden kompressorin paineilmajärjestelmää. Laitoksen käyttötunnit ovat kasvaneet alkuperäisestä suunnitelmasta halvan polttoaineen hinnan takia (TAULUKKO 4).

TAULUKKO 4. Käyttötunnit



Taulukoista 4 ja 5 voidaan verrata Tampereen keskilämpötilan sekä laitoksen käyttötuntien välistä eroa. Esimerkiksi, kun Tampereen keskilämpötila on tippunut vuodesta 2015 vuoteen 2017 1,09 °C, niin laitoksen käyttötunnit ovat kasvaneet sillä välillä 958 tuntia, joka tarkoittaa lähes 40 päivää.

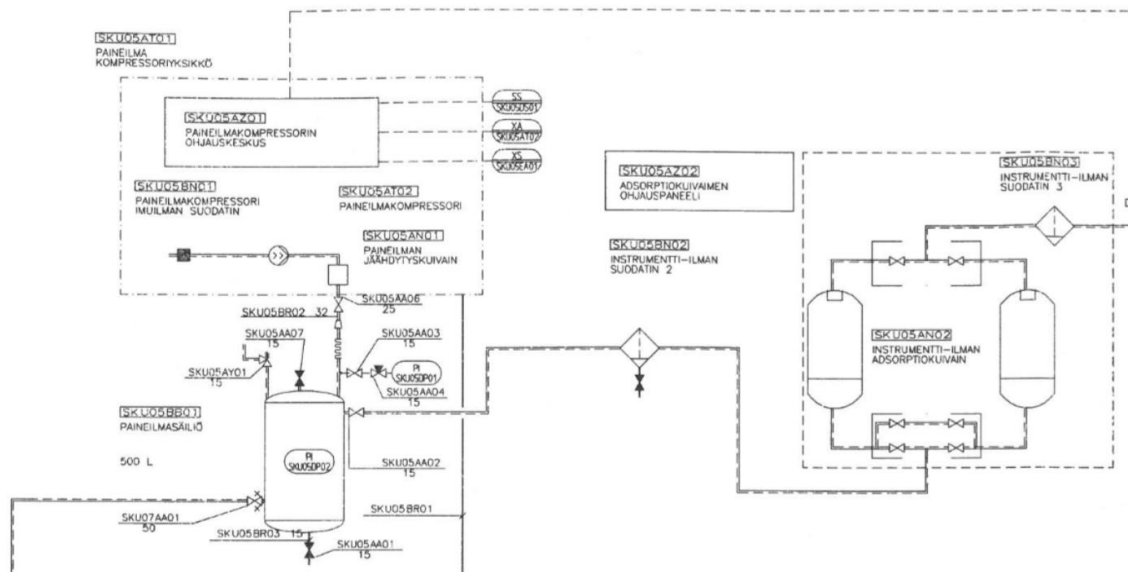
TAULUKKO 5. Tampereen keskilämpötila (Timeanddate 2020)



Peltilaitoksen ajotunnit ovat kasvaneet vuodesta 2013, niin luonnollisesti myös kompressorin käyttötunnit ovat kasvaneet samassa suhteessa. Paineilmajärjestelmän kunnossa pysyminen on laitoksen käynnissäpidon kannalta elintärkeää. Pahimmassa tapauksessa kompressorijärjestelmä voi hajota kovimpien talvipakkasten aikana, jolloin laitos ei pysty tuottamaan tarvittavaa kaukolämpöä. Tässä tapauksessa sama energia voidaan joutua tuottamaan maakaasu- tai öljylaitoksella, joka maksaa 10–20 euroa enemmän per MW/h. Pahimpien talvipakkasten aikana kaikki laitokset voivat olla käytössä ja jos lämpökysyntään ei pystytä vastaamaan hajonneen kompressorijärjestelmän takia, seuraa siitä epäkäytettävyysakkoa.

### 5.1 Sarankulman paineilmajärjestelmä

Sarankulman lämpölaitoksella on yhden ruuvikompressorin järjestelmä. Sarankulman lämpölaitoksessa on käytössä Atlas Copco kompressorin mallia GA26+FF, jonka maksimi tuottopaine on 9,8 baaria, mutta työpaineena laitoksella käytetään 6–7 baaria. Kompressorin tuottama ilma ohjautuu putkistoa pitkin paineilmasäiliölle, josta se ohjataan eri suodattimien läpi adsorptiokuivaimelle. Adsorptiokuivaimelta ilma ohjataan linjaa pitkin eri toimilaitteille, jolla ohjataan esimerkiksi sylintereitä (KUVA 9).



KUVA 9. Sarankulman pellettilaitoksen paineilmajärjestelmä

### 5.1.1 Kompressori

Lämpölaitoksen käynnissäpidon kannalta paineilmajärjestelmän suunnalta katsottuna kompressori on sen tärkein laite. Kompressoria tulee huoltaa tasaisin väliajoin, jotta se pysyy käynnissä ja pystyy tuottamaan sekä vastaamaan laitoksen tarvittavaan tuottoon ja paineeseen. Pellettilämpölaitoksen huoltosopimus on tehty yhteistyössä Atlas Copcon kanssa. Huollot tehdään kompressorille tasaisin väliajoin esimerkiksi 4 000 tunnin, 8 000 tunnin sekä 16 000 tunnin välein. Huoltoon liittyy monia toimenpiteitä; esimerkiksi öljyjen ja suodattimien vaihto, yleistä kompressorin puhdistusta sekä venttiilien ja jäähdyttimen tarkistusta.

### 5.1.2 Toimilaitteet ja putkisto

Paineilmakäyttöiset toimilaitteet ovat yksinkertaisia pneumaattisia sylintereitä. Sarankulman pellettilaitoksen tuhkankestuttimella tehdään hajoamista ennaltaehkäisevää huoltoa toimilaitteille kahden vuoden välein. Toimilaitteiden huollossa vanhat sylinterit korvataan huolletuilla sylintereillä ja käytetyt viedään verstaalle huollettavaksi sekä varastoitavaksi. Muualla laitoksessa oleville sylintereille ja toimilaitteille ei tehdä huoltoa, vaan ne vaihdetaan uusiin hajoessaan.

Paineilmaputkiston huoltoa tulisi tehdä aina, kun laitoksella on hiljaista, jotta pystyttäisiin kuuntelemaan mahdolliset vuodot. Pienistäkin vuodoista voi koitua suuria taloudellisia menetyksiä energian hävikin muodossa. Vuodot voidaan myös paikantaa hyvin käyttämällä ultraäänivuotoilmaisinta. Vuotoilmaisimella voidaan havaita vuodot myös meluisasta ympäristöstä huolimatta.

Pienistäkin vuodoista voi siis kertyä isoja laskuja vuosien mittaan. Esimerkkinä lasku, jossa käytetään Atlas Copcon antamaa ilmanvuototaulukkoa. Laitoksella on 5 mm reikä paineilmaverkostossa ja työpaineena käytetään 7 bar. Vuotomääräksi saadaan silloin 31 l/s, joka vastaa noin 10,8 kW moottoritehoa. Laitoksen ollessa käynnissä vuodessa keskimäärin 4 694 tuntia ja sähkön hinta on 8,934 snt/kWh. Sähkön hintaan on tullut mukaan energia, energian siirto ja sähkövero. Esimerkkilaskussa menetetään  $10,8 \times 8,934 \times 4694 = 455$  euroa vuodessa.

## 6 SARANKULMAN LÄMPÖLAITOKSEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

### 6.1 Laitosesittely

Vuonna 2013 valmistunut Sarankulman lämpölaitos (KUVA 10) on alun perin suunniteltu olemaan huippukuorma- ja varalaitoksena sekä korvaamaan käytössä olevia öljy- ja kaasukäyttöisten kattilalaitoksien käyttöä. Se oli valmistuttuaan Suomen suurin pellettilämpölaitos. Laitoksen pääpolttoaineena toimii puupelletti ja sen maksimilämpöteho on 37 MW. Sarankulman pellettilaitoksen yhteydessä on öljyllä ja maakaasulla toimiva 40 MW lämpölaitos.



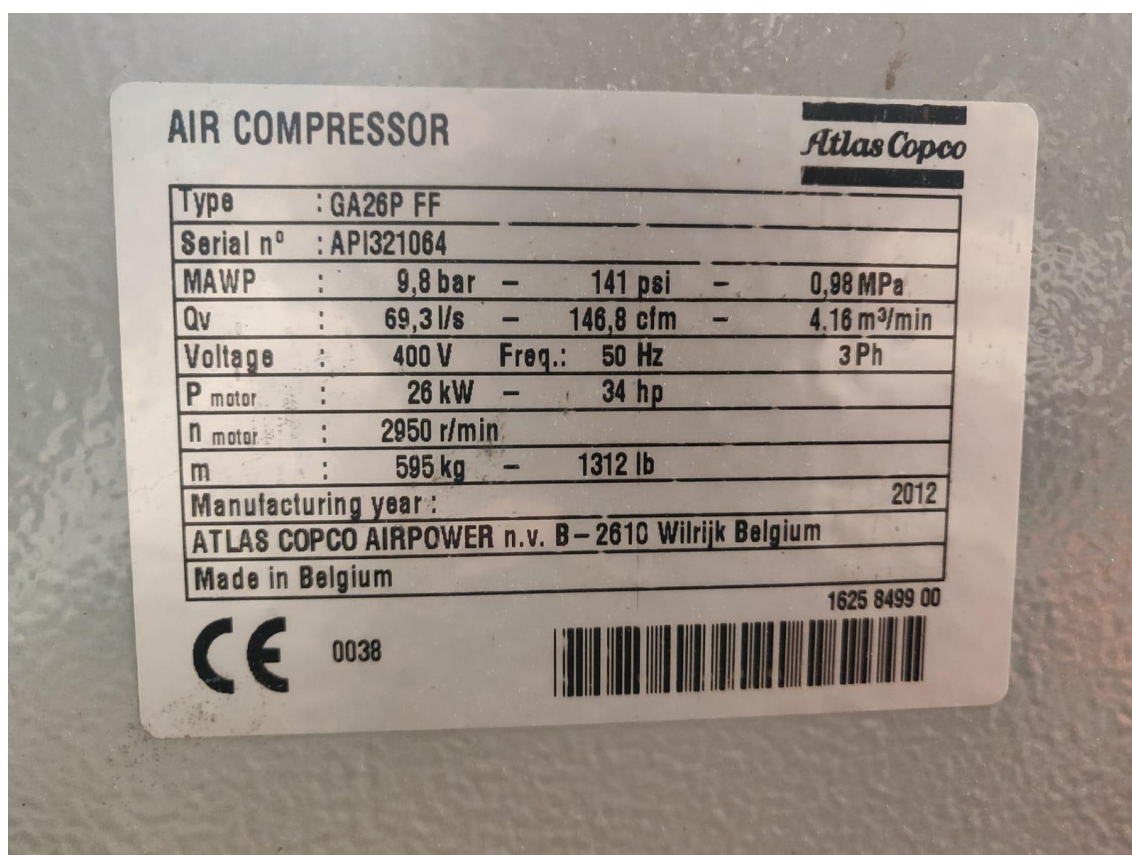
KUVA 10. Sarankulman lämpölaitos (Tampereen Sähkölaitos 2020)

### 6.2 Kompressorin valinta

Koska paineilmajärjestelmä on alun perin suunniteltu vain yhden kompressorin järjestelmäksi, sinne ei ole asennettu erillistä jäähdytyskuivainta, vaan se on integroitu sisään alkuperäiseen kompressoriin. Uudessa kompressorissa tulee olla

myös sisällytettynä jäähdytyskuivain. Erillisen jäähdytyskuivaimen hankintaa kannattaa myös harkita, jos nähdään että laitokselle olisi tulossa laajennusta tulevaisuudessa. Uuden kompressorin kokoluokka tulee olla samaa kuin vanhan kompressorin, jotta sillä pystyttäisiin tuottamaan tarvittava paine ja ilmamäärä kuin vanhallakin kompressorilla (KUVA 11). Kompressorin tulee olla samaa kokoluokkaa siksi, että jos toinen kompressoreista hajoaa, voidaan sama ilma tuottaa toisella. Uutta kompressoria ei tule siis miettiä niinkään varakompressorina, joka käy vain, kun vanha kompressori on huollossa. Sitä tulee miettiä tasavertaisena paineen tuottajana laitokselle. Uudelle kompressorille kannattaa myös hankkia oma adsorptiokuivaimensa vähentääkseen riskejä paineilman toimivuuden kannalta.

Toinen vaihtoehto kompressoriksi on hankkia pienempi ja halvempi kompressori avustamaan vanhaa kompressoria, jos se ei pysty vastaamaan tuottoon. Pienemmän kompressorin hankkimisessa ongelmaksi tulee laitoksen käynnissäpysyminen. Jos iso kompressori hajoaa ja sitä joudutaan huoltamaan, ei pienemmällä pystytä vastaamaan koko laitoksen tarvittaviin tuottomääriin.



KUVA 11. Vanhan kompressorin tyyppikilpi. (Ansio 2020)

### 6.3 Kompressorin sijoitus

Kompressorin uutta sijoituspaikkaa miettiessä tulee ottaa huomioon, että kompressorin huollolle on tarpeeksi tilaa. Vaikka nykyaikaisten kompressorien huollon tarve on vähäistä, eivät ne ilman sitä kuitenkaan pärjää. Kompressorit tulee sijoittaa siten, että sen ympärillä on tarpeeksi tilaa tehdä huoltoja.

Mikäli nähdään, että Sarankulman 2:n puolella kompressorille ei ole tilaa, se kannattaisi silloin asentaa Sarankulma 1:n puolelle. Sarankulma 1:llä tarkoitetaan pellettilaitoksen yhteydessä olevaa maakaasu- sekä öljylaitosta ja Sarankulma 2:lla tarkoitetaan pelletillä toimivaa puolta. Sarankulma 1:n puolella on käytössä myös pieni mäntäkompressor, joka tässä tapauksessa voitaisiin poistaa käytöstä ja yhdistää tarvittavat paineilmaa vaativat kohteet samaan linjaan uuden kompressorijärjestelmän kanssa. Paineilmajärjestelmiä yhdistäessä tulee ottaa huomioon seinien läpiviennissä palokatkot.



## 7 POHDINTA

On sanomattakin selvää, että kompressori on paineilmajärjestelmän tärkein komponentti ja sydän. Mikäli epäillään, että yksi kompressori ei pysty tuottamaan tarpeeksi paineilmaa vastaamaan laitoksen kulutukseen, tai että se toisi mielenrauhan käynnissäpidon kriittisyyteen, niin siihen kannattaa sijoittaa. Uuteen kompressoriin sijoittaminen on opinnäytetyön mukaan järkevää. Jos Sarankulman lämpölaitokselle hankitaan uusi kompressori, käynnissäpidon luotettavuus kasvaa paineilman saatavuuden kannalta katsottuna. Jos päätetään olla sijoittamatta uuteen kompressoriin Sarankulman laitokselle, vanha käytössä oleva kompressori kuormittuu entisestään ja vaatii enemmän huoltoa pysyäkseen kunnossa. Kompressorin hajotessa voi tulla kalliiksi, jos laitoksella ei pystytä tuottamaan tarvittavaa lämpöenergiaa ja puuttuva energia joudutaan tuottamaan kalliimmalla maakaasulla tai öljyllä. Maakaasu ja öljy ovat häviäviä luonnonvaroja, joten on oletettavaa, että niiden hinta jatkaa kasvuaan vuosi vuodelta.

Opinnäytetyön perusteella uuden kompressorin tulee olla samaa kokoluokkaa kuin vanha käytössä oleva GA26P+FF mallinen. Uuden kompressorin ollessa samaa kokoluokkaa vanhan mallin kanssa voidaan luottaa siihen, että se pystyy vastaamaan laitoksen paineilman tarpeisiin, jos vanha kompressori on huollossa tai se hajoaa. Jos laitokselle hankitaan pienempi kompressori kuin vanha, pystytään säästämään energiankulutuksessa sekä tukemaan vanhaa kompressoria, joten sen ei tarvitse käydä täydellä teholla. Toisaalta pienemmän kompressorin varjopuolena on sen vajavaisuus tuottaa tarvittavaa paineilmaa laitokselle vanhan kompressorin huoltotoimenpiteiden aikana tai sen hajotessa. Mikäli paineilmatarpeisiin ei pystytä vastaamaan, sylinterit eivät pysty toimimaan kunnolla, eikä silloin laitosta ole mahdollista käyttää normaalisti. Myöskään suuremman kompressorin hankinta ei ole perusteltua. Tamrotor Kompressorit Oy:n (a) mukaan kompressori toimii tarpeettoman suurella kuormitusasteella lisäten energia- ja pääomakustannuksia, jos laitokselle hankitaan liian suuri kompressori.

Paineilmajärjestelmän suunnittelu oli minulle uutta asiaa, joten kaikki tieto tuli minulle uutena. Tampereen Sähkölaitos ei ole kompressoreita valmistava, eikä suunnittele itse paineilmajärjestelmiään, mikä tuotti vaikeuksia tiedon hankkimis-

sessä. Opinnäytetyön jatkotutkimukseksi voisi miettiä paineilmajärjestelmän oikean tuoton määrittämistä. Laskemalla todellinen paineilman kulutus saadaan valittua tarpeisiin sopiva kompressori, joka vastaa käytetyn paineilman kulutukseen.

## LÄHTEET

Ammattikasvatushallitus. (1981). Opetusmoniste voimalaitoskäyttäjille. Moniste 6

Anttila, O. (1993). *Valoa, voimaa, vaurautta*. Tampere: Tampereen kaupunki.

Oy Atlas Copco Kompressorit Ab. (2019). Atlas Copco Compressed Air Manual 9th edition. Wilrijk: Atlas Copco Airpower NV. Luettu 19.3.2020. <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/local-countries/united-kingdom/documents/Compressed%20Air%20Manual%209th%20edition.pdf>.

Oy Atlas Copco Kompressorit Ab. (a). White paper Compressed air drying. Luettu 19.3.2020. <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/compressor-technique/oil-free-air/documents/2937016013%20whitepaper%20EN%20LR.pdf>.

Oy Atlas Copco Kompressorit Ab. (b). Adsorptiokuivaimet. Luettu 19.3.2020. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/products/air-dryers/desiccant-air-dryers>.

Brown, R. (2005). Compressor selection and sizing 3th edition.

Painepiste. (2006). Paineilman huoltolaitteet. Luettu 23.3.2020. <http://www.painepiste.fi/pdf/1174637294-Wilkerson.pdf>.

Rolexforum. (2019). Kompressorin toimintaperiaate. Luettu 7.2.2020. <https://rolexforum.ru/fi/kak-rabotaet-kompressor-princip-raboty-kompressora.html>.

Satapaine Oy. (2020). Paineilmaputkiston suunnittelu. Luettu 19.2.2020. <https://paineilmaputkisto.fi/suunnittelu/>.

Tampereen Sähkölaitos. Vuosikertomus. (2018). Luettu 19.3.2020. <https://www.sahkolaitos.fi/footer-sivut/vastuullisuus/vastuumme-taloudesta/vuosikertomukset-ja-tilinpaatokset/>.

Tamrotor kompressorit Oy. (a). Paineilmajärjestelmän suunnittelu. Luettu 28.2.2020. <http://www.compressor.fi/media/EsitePDF/Paineilmajaerjestelmaen%20suunnittelu.pdf>.

Tamrotor kompressorit Oy. (b). Paineilman suodatus ja kuivaus. Luettu 19.3.2020. [http://www.compressor.fi/www/media/EsitePDF/Suodatus\\_ja\\_kuivaus.pdf](http://www.compressor.fi/www/media/EsitePDF/Suodatus_ja_kuivaus.pdf).

Timeanddate. Past Weather in Tampere, Finland. Luettu 30.3.2020. <https://www.timeanddate.com/weather/finland/tampere/historic?month=12&year=201>.