

Mia Nikula

Finnladyn työilmakompressorin päivitys

Opinnäytetyö
Merenkulun koulutus

2020



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkintonimike	Aika
Mia Nikula	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2020
Opinnäytetyön nimi		39 sivua
Finnladyn työilmakompressorin päivitys		
Toimeksiantaja		
Finnlines		
Ohjaaja		
Joel Paananen		
Tiivistelmä		
<p>Aluksella m/s Finnladyn työilmaverkon mäntäkompressorit ollaan päivittämässä ruuvikompressoriin. Tällä hetkellä aluksen työilmalinja on erotettu kahteen osaan väliventtiilillä. Aluksen perässä sekä keulassa on mäntäkompressorit. Mäntäkompressoreiden huoltotarve ja käyntitunnit ovat lisääntyneet eikä tuotto kaikissa tilanteissa riitä. Mäntäkompressorit korvataan yhdellä ruuvikompressorilla.</p> <p>Tämä työ käsittelee mäntä- ja ruuvikompressoreita sekä paineilman käsittelyn komponentteja. Työssä selvitettiin uuden kompressorin sähkönkulutus ja tuotto sisäalusten käyttökemusten ja vanhojen mäntäkompressoreiden perusteella. Kompressorille oli tutkittava sijoituspaikka, sillä mäntäkompressorit jäävät paikoilleen varalle. Myös kuivainten tehon riittävyys päivityksessä oli huomioitava.</p> <p>Työssä käy ilmi, että on valittava ruuvikompressori, jota pyörittää 22 kW:n sähkömoottori. 22 kW:n sähkömoottorilla löydetään työilmalinjaan kompressoreita, joiden tuotto on noin 250 m³/h. Tämä tuotto todettiin riittäväksi. Uuden kompressorin tuotto on suurempi kuin vanhan mäntäkompressorin, joten myös ilmankuivain on päivityksessä uusittava. Uusi kompressori tullaan sijoittamaan aluksen keulaan. Sijoituksen suunnittelussa tuli huomioida missä on tilaa ja mahdollisuus yhdistää kompressori paineilmalinjaan. Kompressorille löytyi muutama mahdollinen sijoituspaikka, joista paras on ilmastointikonehuoneessa.</p> <p>Työtä voidaan hyödyntää aluksen uuden kompressorin hankinnassa.</p>		
Asiasanat		
ruuvikompressori, paineilma, ilmankuivain		

Author (authors)	Degree	Time
Mia Nikula	Bachelor of Engineering	May 2020
Thesis title		39 pages
Update of working air compressor on Finnlady		
Commissioned by		
Finnlines		
Supervisor		
Joel Paananen		
Abstract		
<p>The two piston compressors in m/s Finnlady's working air system will be replaced by one screw compressor. Currently, the working air system is divided into two separate units with a valve in the middle. Piston compressors are located in the fore and aft of the vessel. The compressors' operation hours and need for maintenance have increased, and sometimes the working air pressure suddenly drops so a compressor update is required.</p> <p>This thesis concentrates on piston compressors, screw compressors and air dryers. The electric power and maximum air production rate of the new compressor was defined on the basis of the technical data of old compressors and information obtained from sister vessels which have screw compressors. The old piston compressors will stay onboard as redundancy machinery, so the location of the new compressor had to be considered carefully. Also, the possible need for an air dryer update had to be considered.</p> <p>It was found out that the vessel needs a screw compressor with a 22 kW electric motor. Screw compressors with a 22 kW electric motor can produce approximately 250 m³/h of compressed air. This was considered sufficient. The new compressor will produce more compressed air than the old ones, so the capacity of the old air dryer was insufficient. The new compressor will be located in the fore of the vessel where it can be connected to the existing working air system.</p> <p>This thesis can be used as a reference when updating a compressor.</p>		
Keywords		
screw compressor, compressed air, air dryer		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KOMPRESSORIT	5
2.1	Mäntäkompressori	7
2.2	Ruuvikompressori	9
3	PAINEILMAN KÄSITTELY.....	10
3.1	Ilman kuivaaminen.....	10
3.1.1	Jälkijäähdytin	11
3.1.2	Adsorptiokuivain	12
3.1.3	Jäähdytyskuivaimet.....	15
3.2	Paineilmasäiliö.....	18
3.3	Suodattimet.....	19
3.4	Huoltolaitteet.....	23
4	FINNLADYN PAINEILMAVERKKO	24
5	KOMPRESSORIN VALINTA	28
5.1	Kaeser	28
5.2	Atlas Copco	29
5.3	Yhteenveto kompressorin valinnasta	30
6	RUUVIKOMPRESSORIN SIJOITUS	30
7	YHTEENVETO	33
	LÄHTEET.....	35
	KUVALUETTELO	

1 JOHDANTO

Tämä työ käsittelee uuden työilmakompressorin hankintaa alukselle m/s Finnlady. Aluksella ollaan korvaamassa kaksi mäntäkompressoria yhdellä ruuvikompressorilla, sillä vanhojen kompressoreiden tuotto on riittämätön ja ne ovat käynnissä lähes ympäri vuorokauden. Tämä luonnollisesti lisää kompressoreiden mekaanista kulumista ja huoltokustannukset ovat nousseet lisääntyneen öljynkulutuksen vuoksi. Tähän ovat vaikuttaneet uudet paineilmakuluttajat esimerkiksi pakokaasunpesujärjestelmässä.

Työssä tutustutaan Finnladyn työilmaverkkoon ja mäntä- ja ruuvikompressoreihin. Paineilma on kompressorin puristuksen jälkeen jälkikäsiteltävä, joten työssä tutustutaan myös kuivaimiin, suodattimiin ja paineilmasäiliöön.

On päätetty, että uusi kompressor on tyypiltään ruuvikompressor, sillä sisäraluksilla on toteutettu tämä ratkaisu jo aiemmin. Nyt on tarkoituksena selvittää, millainen tuotto ruuvikompressorilla on oltava sekä kuinka paljon sen sähkönkulutus voi olla. Kompressorin tuotto ja sähkönkulutus selvitetään kyselyillä käyttökokemuksista sisäraluksilta ja verraten vanhoihin mäntäkompressoreihin. Sähkönkulutuksen on oltava samoissa rajoissa kuin aiemminkin, mikä rajoittaa myös kompressorivaihtoehtoja. Selvitetään myös, onko nykyinen kuivain tarpeeksi tehokas ja olisiko toisella toimintaperiaatteella toimiva parempi. Vanhat mäntäkompressorit tulevat jäämään paikoilleen varalle ja paineilmasäiliöt jäävät käyttöön, joten on tutkittava mahdollista sijoituspaikkaa. Vanhan kompressorin sijainti määrittää uuden kompressorin sijainnin, sillä sen luona on myös paineilmasäiliö ja yhteys paineilmaverkkoon. Tarkemman sijainnin määrittää kompressorin fyysinen koko ja helppo saavutettavuus. Uusi kompressor on sijoitettava aluksen keulaan, sillä konehuoneessa ei ole tilaa.

2 KOMPRESSORIT

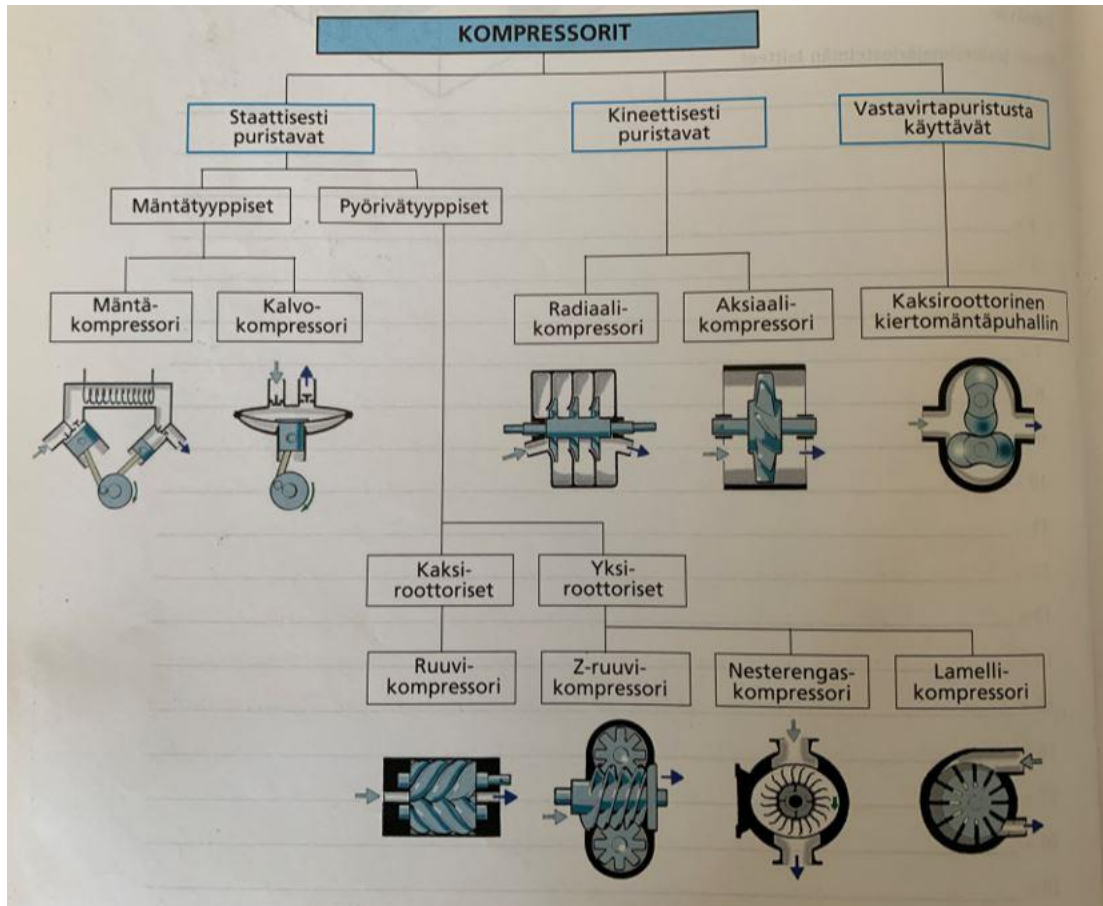
Kompressor on laite, jolla nostetaan ilmanpainetta vähintään kaksinkertaiseksi imupaineeseen verrattuna. Laivalla kompressorin voimanlähteenä toimii sähkömoottori. Kompressorit jaetaan kineettisesti puristaviin kompressoreihin sekä staattisesti puristaviin kompressoreihin, jotka on esitetty kuvassa 1. Eri tyyppisten kompressoreiden toiminta-alueet on esitetty kuvassa 2.

Kineettisesti puristavilla kompressoreilla saadaan tuotettua suuria tilavuusvirtoja. Ilma johdetaan nopeasti pyörivään juoksupyörään, jossa se saadaan kiihdytettyä suureen nopeuteen, minkä jälkeen ilma menee johtolaitteeseen, jossa sen virtausta vastustetaan ja sen kineettinen energia muuttuu potentiaalienergiaksi eli staattiseksi paineeksi. Kineettisesti puristavan kompressorin imu- ja painetilat ovat yhteydessä toisiinsa. (Ellman ym. 2002, 43.) Laivalla tällaiseen voi törmätä kylmäkompressorissa.

Staattisesti puristavassa kompressorissa ilma virtaa kompressorin kammioon, jossa staattinen paine kasvaa tilavuutta pienentämällä (Ellman ym. 2002, 43). Suurin osa kompressoreista on staattisesti puristavia.

Vastavirtapuristusta käyttävissä kompressoreissa paine saadaan nousemaan, kun ilma siirtyy imupuolelta painepuolelle ja ilman virtausta vastustetaan (Fonselius ym. 1997, 37).

On paljon erilaisia kompressoriratkaisuja erilaisiin käyttötarkoituksiin (kuva1). Erilaisilla kompressoreilla saadaan puristettua ilma eri paineeseen. Kuvassa 2 on esitetty kompressorityyppien työalueet. Matalammalla paineella saadaan aikaan suurempi tilavuusvirta. Kompressorivalintaan vaikuttaa myös valmiin paineilman puhtaus: jos tarvitaan täysin öljytöntä paineilmaa, on valittava ilmajäähdytetty kompressorit. Tässä työssä tutustutaan vain mäntä- ja ruuvikompressoreihin, sillä vain niillä on merkitystä tämän työn osalta.



Kuva 1. Kompressoreiden sukupuu (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26)

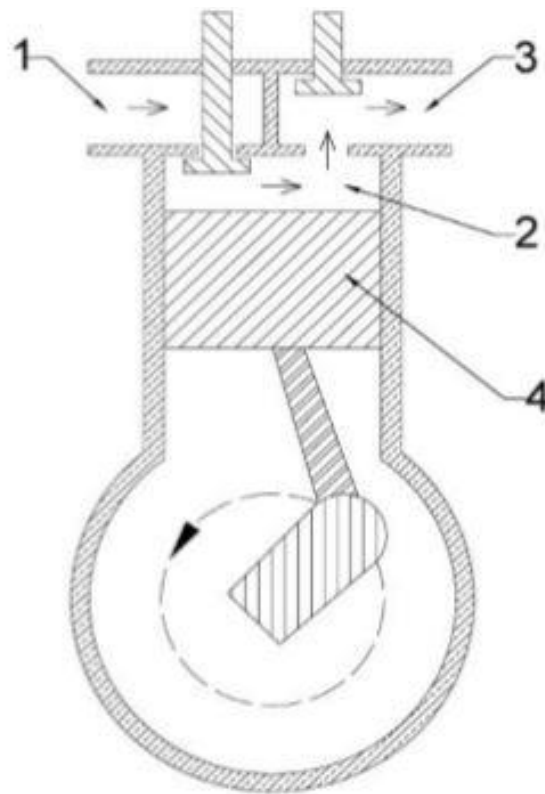
Tyyppi:	Tuotettu paine (MPa):	Tilavuusvirta (m ³ /min):
Mäntäkompressorit	0,1 – 100	0,005 – 3
Ruuvikompressorit	0,08 – 3	0,25 – 10
Lamellikompressorit	0,02 – 0,8	0,08 – 2
Radiaaliturbokompressorit	0,07 – 30	0,1 – 50
Aksiaaliturbokompressorit	0,08 – 0,5	10 – 100

Kuva 2. Kompressoreiden toiminta-alue (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26)

2.1 Mäntäkompressori

Mäntäkompressoreilla saadaan tuotettua erilaisilla rakenteilla laaja painealue, noin 1 baarin paineesta jopa 1000 baariin asti (kuva 2). Mäntäkompressoreita on pääasiassa yksi- ja kaksivaiheisia. Yleensä mäntäkompressorissa on yksi

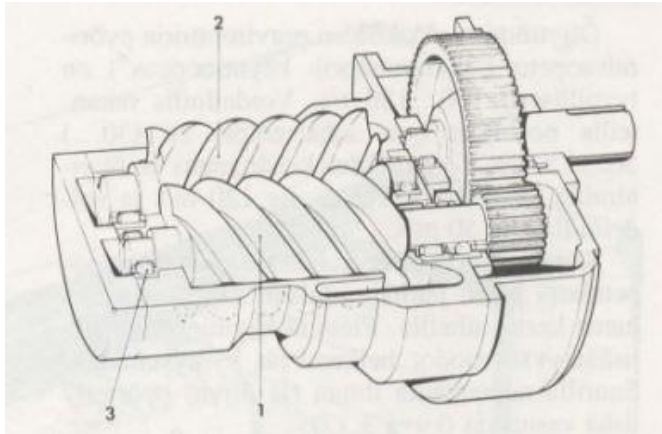
tai kaksi sylinteriä. Yksivaiheinen kompressoripuristaa ilman suoraan haluttuun loppupaineeseen. Kaksivaiheisessa kompressorissa on kaksi sylinteriä, jolloin ilma puristetaan ensin matalampaan paineeseen ja seuraavassa puristusvaiheessa loppupaineeseen. Myös kaksisylinterinen kompressor voi olla yksivaiheinen, jolloin molemmat sylinterit puristavat ilman loppupaineeseen. (Fonselius ym. 1997, 40.)



Kuva 3. Mäntäkompressorin toimintaperiaate (Gudza & Szmolke 2015, 74)

Kuvassa 3 on esitetty mäntäkompressorin toimintaperiaate. 1 on ilman imu-
linja. Kampa akselin pyörivästä liikkeestä johtuen mäntä (4) liikkuu alas, jolloin
paine-erosta johtuen imuventtiili aukeaa ja ilma pääsee virtaamaan sylinteriin.
Alakuolokohdasta (BDC) männän lähtiessä liikkumaan ylöspäin ilma alkaa pu-
ristua kasaan, kun imuventtiili sulkeutuu. Kohdassa 2 mäntä on saavuttanut
yläkuolokohdan (TDC) ja ilma on saavuttanut paineen, jolla pakoventtiili au-
keaa. Paineistettu ilma virtaa paineilmasäiliöön (3).

2.2 Ruuvikompressor

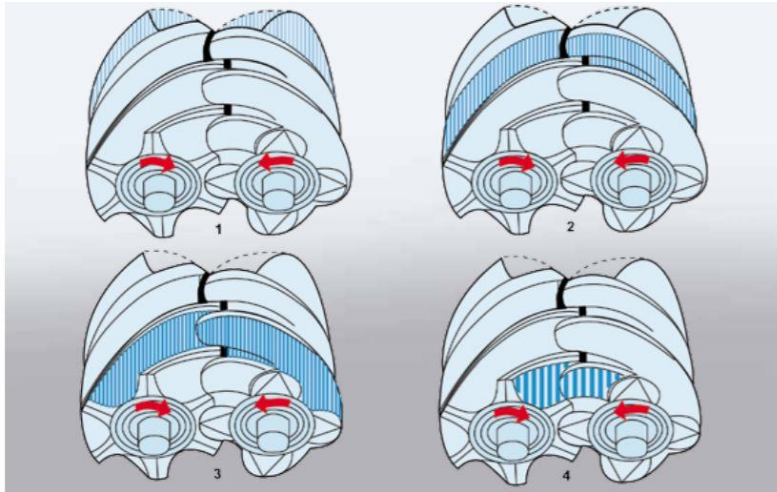


Kuva 4. Voidellun ruuvikompressorin yleiskuvaus (Airila ym. 1983, 31)

Kuvassa 4 on esitetty ruuvikompressorin yleisrakenne. Kompressorin rungon sisällä ovat (1) ruuvi- ja (2) luistiroottorit, jotka ovat laakeroitu (3). Roottorit ovat rynnössä toisiaan vasten. Ilmaa puristetaan ruuvien väliin jäävässä tilassa. Puristustapahtuma on staattinen. (Ellman ym. 2002, 45.)

Ruuvikompressoreita on öljyvoideltuja sekä ilman öljyä toimivia. Öljyttömissä kompressoreissa ruuvit eivät ole kosketuksissa toisiinsa ja niitä pyöritetään hammaspyöräkäytöllä. Öljyttömässä kompressorissa on voideltua kompressoria huonompi painesuhde johtuen ilman puristamisesta aiheutuvasta lämpötilan noususta. Öljyttömiä ruuvikompressoreita käytetään kohteissa, joissa on tärkeää, että paineilmassa ei ole öljyä. (Ellman ym. 2002, 46.)

Öljyvoidelluissa ruuvikompressoreissa ruuvit ovat kosketuksissa toisiinsa ja niitä voidellaan yleensä öljyllä, jolla on myös jäähdyttävä vaikutus. Puristetusta ilmasta on erotettava ilmaan jäänyt öljy. Öljyvoidelluilla ruuvikompressoreilla saavutetaan parempi painesuhde ja ne ovat hankintahinnaltaan edullisempia verrattuna öljyttömään ruuvikompressorin. Ruuvikompressorilla saadaan tasaisempi tuotto kuin mäntäkompressorilla, eikä se välttämättä tarvitse paineilmasäiliötä. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 27.)



Kuva 5. Ilman puristuminen ruuviyksikössä (Atlas Copco 2015, 35)

Kuvassa 5 on esitetty ilman puristuminen ruvikompressorissa. Kompressorin rungossa olevasta imuaukosta ruuvit imevät ilmaa ruuvien väliin jääviin uriin. Kun ruuvit pyörivät katkeaa yhteys imuaukkoon ja ilma alkaa puristua. Kun haluttu paine on saavutettu, ilma poistuu poistoaukosta.

3 PAINEILMAN KÄSITTELY

Kompressorin tuottamasta paineilmaasta on poistettava vesi- ja öljyjäämät sekä likapartikkelit. Paineilma jälkikäsitellään käyttökohteen vaatimusten mukaan. Tässä luvussa tutustutaan ilmankuivaimiin, öljyerottimiin, suodattimiin sekä painesäiliöiden vaatimuksiin.

3.1 Ilman kuivaaminen

Ilman kosteudella tarkoitetaan ilmassa olevaa vesihöyryä, joka on lämpötilasta riippuvainen. Kylmä sitoo vähemmän kosteutta ja lämmin enemmän. Ilmatieteenlaitos (2019) määrittää ilman kosteuden seuraavilla suureilla.

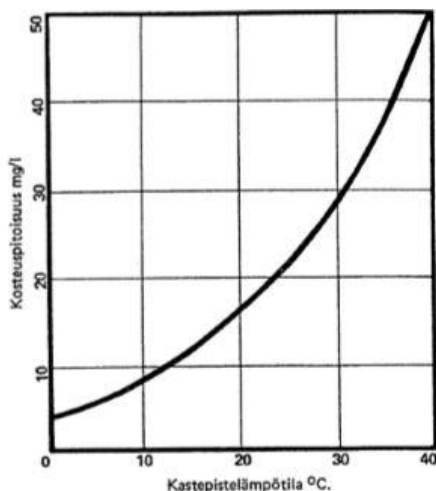
Suhteellinen kosteus on yleisin ilman kosteuden määritelmä. Se ilmaistaa prosentteina kuinka paljon ilmassa voi olla enintään vesihöyryä kyseisessä lämpötilassa.

Kastepistelämpötilalla eli kastepisteellä tarkoitetaan lämpötilaa, johon ilman tulisi jäähtyä, jotta ilman sisältämä vesihöyry alkaisi tiivistyä.

Kosteussisältö ilmaisee, kuinka paljon ilmassa on painoyksikössä kosteutta. Absoluuttinen kosteus ilmaisee vesihöyryn määrän kuutiometrissä ilmassa g/m^3 .

Kyllästyskosteus ilmaisee kuinka paljon ilmassa voi olla vesihöyryä eri lämpötiloissa. Vesihöyry tiivistyy pisaroiksi, kun ilmaan haihdutetaan vettä yli kylästyskosteuden. Näin käy ilman jäähtyessä, kun kylästyskosteus laskee.

Kun ilmaa puristetaan sen suhteellinen kosteus kasvaa, joten paineilma on kuivattava, jotta käyttökohteeseen saadaan kuivaa ilmaa, sillä kosteus aiheuttaa ongelmia putkistossa ja toimilaitteissa. Kuivaimet valitaan kastepisteen perusteella. Kun pysytään kastepistelämpötilan yläpuolella, kosteuden tiivistymistä ei tapahdu merkittävästi. (Fonselius ym. 1997, 42-43.)



Kuva 6. Kastepistekuvaaja (Fonselius ym. 1997, 43)

3.1.1 Jälkijäähdytin

Kompressorin tyypistä riippumatta on puristettu ilma kuumaa, joten järjestelmän muiden komponenttien suojaksi on kompressorissa itsessään yleensä jälkijäähdytin (VMACair s.a). Jälkijäähdytin on kuivauksen esiaste, jonka tarkoitus on saada kompressorin puristaman paineilman lämpötila mahdollisimman matalaksi. Jälkijäähdyttimellä saadaan paineilman lämpötilan laskulla kosteus tiivistymään. Jälkijäähdytin on edullisempi kuin kuivaimet, joten on järkevää kuivata ilmaa jo ennen varsinaista kuivainta kuin hankkia ylimitoitettu

kuivain. (Airila ym. 1983, 54-55.) Kuvassa 7 on esitetty lämpötiloja erilaisten kompressorien jälkeen.

öljyvoideltu ruuvikompressori	93,3°C
öljytön ruuvikompressori	176,7°C
2- vaiheinen mäntäkompressori	148,9°C

Kuva 7. Lämpötila kompressorin jälkeen (VMACair s.a)

Yleisimmät jälkijäähdyttimet ovat vesi- tai ilmajäähdytteisiä. Ilmajäähdytteisessä jälkijäähdyttimessä kompressorilta tuleva ilma johdetaan jäähdyttimen putkistoon, jonka läpi puhalletaan ympäröivää ilmaa. Vesijäähdytteinen jälkijäähdytin on putkilämmönvaihdin. Ilma johdetaan lämmönvaihtimen putkiin ja ympäröivässä tilassa kulkee vesi toiseen suuntaan, jolloin lämpö siirtyy veteen. (VMACair s.a.)

3.1.2 Adsorptiokuivain

Suomisanakirjan mukaan (2020) adsorboida tarkoittaa imeytymistä tai sitoutumista johonkin. Adsorptiokuivain koostuu yleensä kahdesta tornista, joissa on sisällä adsorboivaa ainetta: esimerkiksi silica geeliä eli piidioksidia tai aktivoitua alumiinioksidia. Torneja on kuivaimessa kaksi: kun toiseen johdetaan ilmaa, josta kosteus imeytyy kuivausaineeseen, niin toinen sillä välin elpyy. On myös pienempirakenteinen rumpukuivain. (Atlas Copco 2020.)

Adsorptiokuivaimia on eri tyyppisiä. Yleisimmät ovat kylmäelvytteiset ja lämpöelvytteiset kuivaimet. Adsorptiokuivain on paras ratkaisu, kun paineilmaa tarvitaan ulkotiloissa, sillä niillä saadaan aikaan alhainen kastepiste.



Kuva 8. Kylmäelvytteinen adsorptiokuivain (Atlas Copco 2016, 10)

Kuvassa 8 on esitetty kylmäelvytteisen adsorptiokuivaimen toimintaperiaate. Kosteaa ilmaa kulkee käytössä olevaan kuivaustorniin, jossa kosteus imeytyy kuivausaineeseen. Osa kuivatusta ilmasta ohjataan elvyttämään toista kuivaustornia, jossa kosteus sitoutuu kuivattuun ilmaan ja vapautuu poistiventtiin kautta ilmakehään.

Kylmäelvytteisessä kuivaimessa on yksinkertainen rakenne. Se voi toimia kokonaan ilman sähköä ja hankinta kustannukset ovat alhaiset. Käytössä kuivain tulee kalliiksi, sillä se kuluttaa tuotetusta paineilmasta noin 18 % eli sama häviö on myös kompressorin tuotossa. (Atlas Copco 2016, 10.)



Kuva 9. Lämpöelvytteinen adsorptiokuivain. (Atlas Copco 2016, 11)

Lämpöelvytteisiä kuivaimia on kahden tyyppisiä. Kuvassa 9 on sähkövastuksella lämpiävä kuivain. Periaate on muuten sama kuin kylmäelvytteisessä, mutta kuivattu ilma ohjataan elpyvään torniin lämmittimen kautta. Tämän tyyppinen kuivain on energiatehokkaampi. (Atlas Copco 2020.)



Kuva 10. Lämpöelvytteinen adsorptiokuivain puhaltimella (Atlas Copco 2016, 11)

Kuvassa 10 on lämpöelvytteinen adsorptiokuivain, jossa lämpö siirretään ilmaan puhaltimen avulla. Elpymiseen käytetty ilma imetään puhaltimeen ilma-kehästä. Tämän tyyppisessä kuivaimessa energiatehokkuus on jopa 40 % parempi kuin kylmäelvytteisessä kuivaimessa, sillä kuivattua paineilmaa ei kulu- teta tornien elvyttämiseen. (Atlas Copco 2020.)

Myös ilman puristuksessa syntyvää lämpöä voidaan hyödyntää kuivaimissa. Puristuslämpöelvytteisissä kuivaimissa kuuma ilma johdetaan kuivaimeen eikä jälkijähdyttimeen. Tämän tyylinen kuivain voi koostua aiemmin esiteltyjen kuivainten tyyliin kahdesta kuivaustornista. Myös rumpukuivaimet, joissa ei ole kuivausainetta ovat tämän tyyppisiä adsorptiokuivaimia.

Kaksitorninen puristuslämpökuivain toimii samalla periaatteella kuin muutkin kaksitorniset kuivaimet. Erona näihin on, että elpymiseen tarvittava lämpö saadaan kompressorin puristuksessa aiheutuvasta lämmöstä. Kuuma ilma

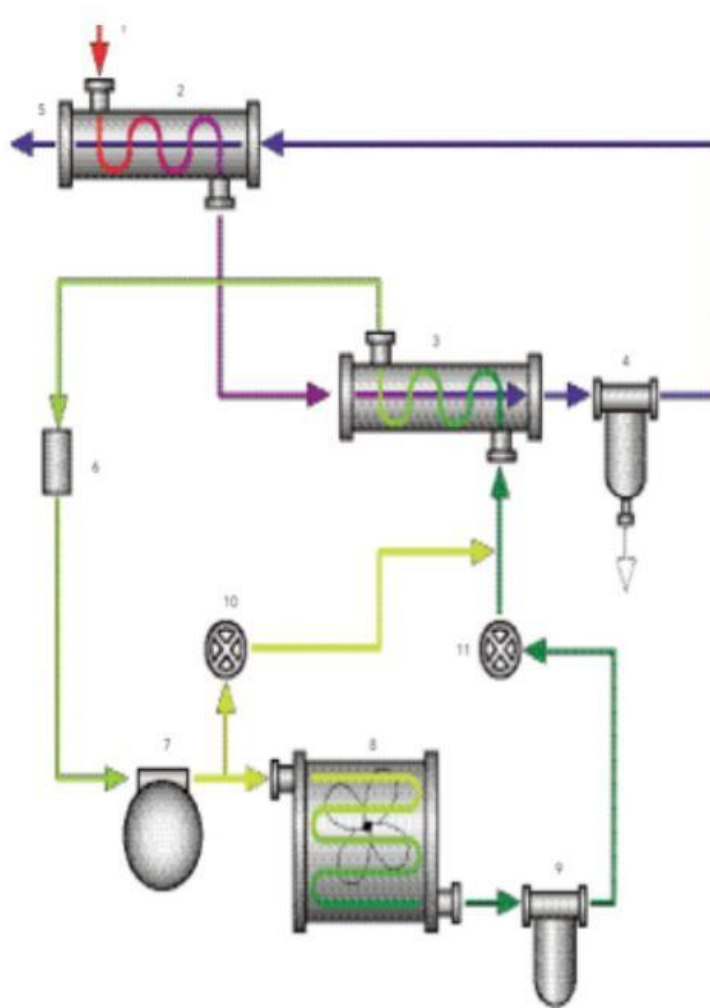
johdetaan ensin elpyvään torniin, josta jäähdyttimen kautta kuivaavaan torniin. (Atlas Copco 2016, 12.)

Rumpukuivaimessa ei ole varsinaista kuivausainetta, vaan rummun kenomaiseen rakenteeseen on sisällytetty kosteutta imevä materiaali. 75 % rummista kuivaa ilmaa ja loppu 25 % elpyy ohjaamalla kuuma ilma kompressorilta tähän lohkoon, josta se ohjataan jäähdyttimen kautta kuivauslohkoon. (Atlas Copco 2016, 13.)

Puristuslämpöelvytteisissä kuivaimissa on todella pieni paineilmahäviö, mutta kuivain tarvitsee mahdollisesti lisälämmittimen. Kuivaimet sopivat käytettäväksi öljyttömien kompressoreiden kanssa sovelluksiin, joissa vaaditaan öljytöntä ja alhaisen kastepisteen omaavaa paineilmaa. Rumpukuivaimen etuna on myös pieni koko. (Atlas Copco 2020.)

3.1.3 Jäähdytyskuivaimet

Jäähdytyskuivaimessa paineilmaa jäähdytetään kylmäaineella. Kylmä ilma sitoo vähemmän kosteutta kuin kuuma ilma, joten näin saadaan ilma kuivattua. Jäljelle jäänyt kosteus erotetaan vedenerottimessa. Jäähdytyskuivaimia on kahden tyyppisiä, suoralla paisunnalla ja varaavalla massalla. (Ursillo 2020.) Jäähdytyskuivaimilla ei saavuteta yhtä matalaa kastepistettä kuin adsorptiokuivaimilla. Keinäsen ja Kärkkäisen mukaan (2005, 36) kastepisteeksi saadaan jäähdytyskuivaimella +2 °C. Riippuen kuivaimen toimintaperiaatteesta, kastepiste liikkuu todellisuudessa noin +1,7 – +4,4 °C. Tämä kastepiste riittää paineilmajärjestelmiin sisätiloissa ja sen hankinta- ja käyttökustannukset ovat halvat, mikä tekee jäähdytyskuivaimista yleisimmin käytetyn kuivaimen. (Compressed Air & Gas Institute 2020.)

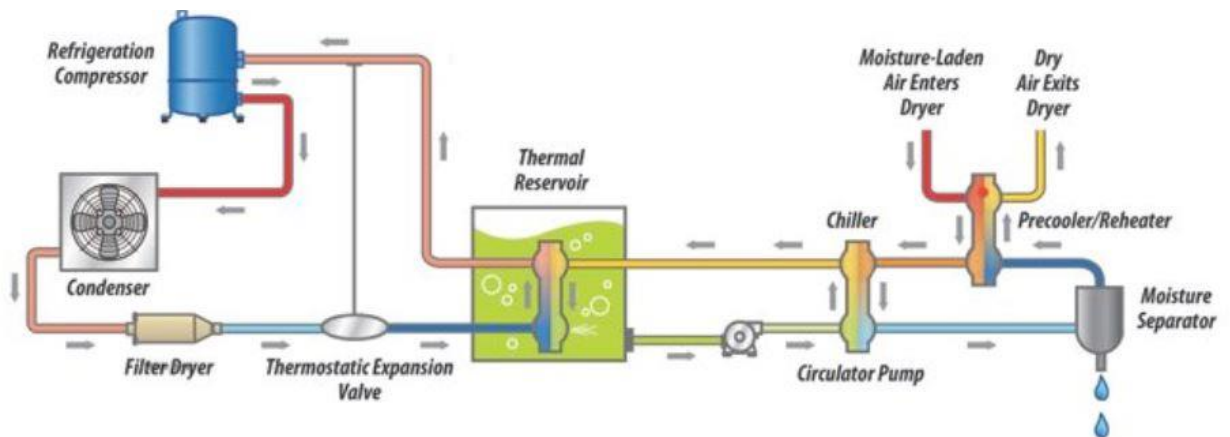


Kuva 11. Jäähdytyskuivain suoralla paisunnalla (Compressed Air & Gas Institute 2020)

Kuvassa 11 on esitetty jäähdytyskuivain suoralla paisunnalla. Ilman käsittely tapahtuu kohdissa 1–5. Kohdassa (1) kompressorilta tuleva kuuma ilma kulkee ilma-ilma-lämmönvaihtimeen (2). Jäähdyke-ilma-lämmönvaihtimessa (3) ilma jäähtyy lisää ja kosteus poistuu lauhteenerottimen kautta (4). Kuivattu ilma (5) kulkee ilma-ilma-lämmönvaihtimen kautta paineilma-verkkoon jäähdyttäen tulevaa paineilmaa. Numerot 6–11 kuvaavat kylmäaineenkiertoa, kylmäaineen olomuoto vaihtuu kierrossa nesteestä kaasuksi. Kompressorilla (7) imee kylmäainetta höyrystimeltä (3), jossa kylmäaineen olomuodonmuutos nesteestä höyryksi sitoo lämmön läpi virtaavasta ilmasta. Kompressorille menevän kylmän aineen on oltava kaasumaisessa muodossa, jottei kompressorin kohdistu nesteiskuja, joten ennen kompressorilla on kuristin (6). Kompressorilta korkeapaineinen kylmäaine siirtyy lauhduttimeen (8), jossa kylmä aine jäähtyy ja nesteytyy. Lauhduttimen jälkeen on nestevaraaja (9). Paisuntaventtiili (11) on kuristinventtiili, jolla virtauspinta-alaa pienentämällä virtausnopeus kasvaa

ja paine putoaa (Suomen Työkalu Oy s.a). Paisuntaventtiililtä kylmä aine siirtyy matalapaineisena kylmänä nesteenä höyrystimelle ja kierto alkaa alusta. Paineilman virtauksen ja lämpötilan muutoksista aiheutuen on järjestelmässä tulistin eli ohitusventtiili, jolla säädetään paisuntaventtiiliä, jotta höyrystimeen virtaa riittävästi höyrystyvää kylmäainetta ja jotta höyrystymislämpötila pysyy tarpeeksi korkeana (Jokela 2011, 3-4).

Suoralla paisunnalla toimivassa jäähdytyskuivaimessa kylmäkompressori on jatkuvasti käynnissä, joten kastepiste ei heittele. Huonona puolena on, että kuivain ei mukaudu kuivattavan ilman määrän muutoksiin, vaan kierto on koko ajan käynnissä, mikä lisää energian kulutusta. (Compressed Air & Gas Institute 2020.)



Kuva 12. Jäähdytyskuivain varaavalla massalla (Compressed Air & Gas Institute 2020)

Jäähdytyskuivain varaavalla massalla (kuva12) toimii samalla periaatteella kuin suora paisunta, mutta kiertopiirien väliin on lisätty jäähdytysmassa. Kylmäaineella jäähdytetään viileyttä sitovaa massaa esimerkiksi glykolia ja vettä. Tämän tyyppinen kuivain tarvitsee enemmän komponentteja kuten pumppu jäähdytysmassan kierrättämiseen ja ilma- massa lämmönvaihtimen sekä säiliön jäähdytysmassalle. Höyrystin on säiliön sisällä ja jäähdyttää massan, joka siirretään pumpulla ilma- massa lämmönvaihtimeen. Paineilma jäähtyy lämmönvaihtimessa ja kosteus erottuu ilmasta. Jäähdytyskuivain varaavalla massalla jäähdyttää massan haluttuun lämpötilaan, jolloin kylmäkone pysähtyy, kunnes massan lämpötila nousee yli raja-arvon. Kastepiste heittelee, sillä

kuivain ei ehdi reagoimaan lämpötilan muutoksiin. Tämän kaltainen kuivain kasvaa isommaksi ja kalliimmaksi. (Compressed Air & Gas Industry 2020.)

3.2 Paineilmasäiliö

Paineilmasäiliön tarkoituksena on tasata kulutushuippuja, joustavoittaa kompressorin käyntiä ja toimia vedenerottimena. Paineilmajärjestelmä voidaan toteuttaa myös ilman paineilmasäiliötä, mutta säiliö toimii myös paineilmasäiliönä esimerkiksi sähkökatkoksen varalta. (Airila ym. 1983, 99.) Paineilmasäiliö säteilee lämpöä ulospäin, mikä edesauttaa jäähtymistä ja tehostaa kosteuden erottumista. Kosteus erottuu painovoiman avulla säiliön pohjalle. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 35.)

Paineilmalaitteita koskee painelaitelaki 16.12.2016/1144, jonka noudattamista valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Alusten osalta valvova viranomaisen on Liikenne- ja viestintävirasto, joka nykyisin tunnetaan nimellä Traficom. Laitteiden CE-merkinnöiden valvonnasta aluksilla vastaa kuitenkin Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Panielaitelaki määrittää säiliölle mm. tarkastusvälit, oikeanlaisen sijoittelun ja turvalaitteet. Valtioneuvoston asetus painelaiteturvallisuudesta 29.12.2016/1549 erittelee tarkemmin painelaitelain määräyksiä. (Panielaitelaki 16.12.2016/1144.)

Käyttöönoton yhteydessä tehdään ensimmäinen määräaikaistarkastus, jossa painelaite rekisteröidään, vahvistetaan käyttöarvot, määrätään seuraavan määräaikaistarkastuksen tyyppi ja ajankohta ja merkitään laitteen arvokilpeen rekisterinumero sekä seuraavan määräaikaistarkastuksen ajankohta kuukauden tarkkuudella. Seuraavat määräaikaistarkastukset ovat käyttötarkastuksia, sisäpuolisia tarkastuksia tai määräaikaisia painekokeita. (Panielaitelaki 53§, 55–56§.)

Käyttötarkastuksen aikaväli paineilmasäiliölle on neljä vuotta. Käyttötarkastuksessa tarkastetaan, että painelaitteessa on riittävät käyttöturvallisuuden varmistavat laitteet, niiden toiminta ja että painelaite voi toimia turvallisesti järjestelmässä. (Panielaitelaki 57§.)

Sisäpuolisen tarkastuksen aikaväli painesäiliölle saa olla enintään kahdeksan vuotta, jos sisältö ei syövytä tai vaikuta haitallisesti painelaitteen seinämään, muulloin neljä vuotta. Sisäpuolisessa tarkastuksessa tarkastetaan, ettei laitteessa tai sen varusteissa ole vikoja. (Painelaitelaki 58§.)

Määräaikainen painekoe on tehtävä joka toisen sisäpuolisen tarkastuksen yhteydessä ellei sisäpuolisessa tarkastuksessa ole voitu varmistua rakenteen eheydestä ja lujuudesta. Painekokeessa tarkistetaan koepaineessa rakenteelliset muodonmuutokset ja ovatko painelaitteen paineenalaiset seinämät tiiviit. (Painelaitelaki 59§.) Valtioneuvoston asetus painelaiteturvallisuudesta määrittää kohdassa 11§ määräaikaisesta painekokeesta: ”Määräaikainen painekoe on tehtävä nesteellä. Koe voidaan kuitenkin tehdä kaasulla, jos nesteellä tehty painekoe ei rakenteellisista syistä ole kohtuudella mahdollinen tai painelaitteessa ei voida sallia pieniäkään nestemääriä. Nesteellä tehtävä painekoe on tehtävä vähintään paineella, joka on 1,3 kertaa suurin sallittu käyttöpaine, ja kaasulla tehtävä painekoe paineella, joka on 1,1 kertaa suurin sallittu käyttöpaine. Tarkastuslaitos voi erityisistä syistä hyväksyä käytettäväksi muun koepaineen.”

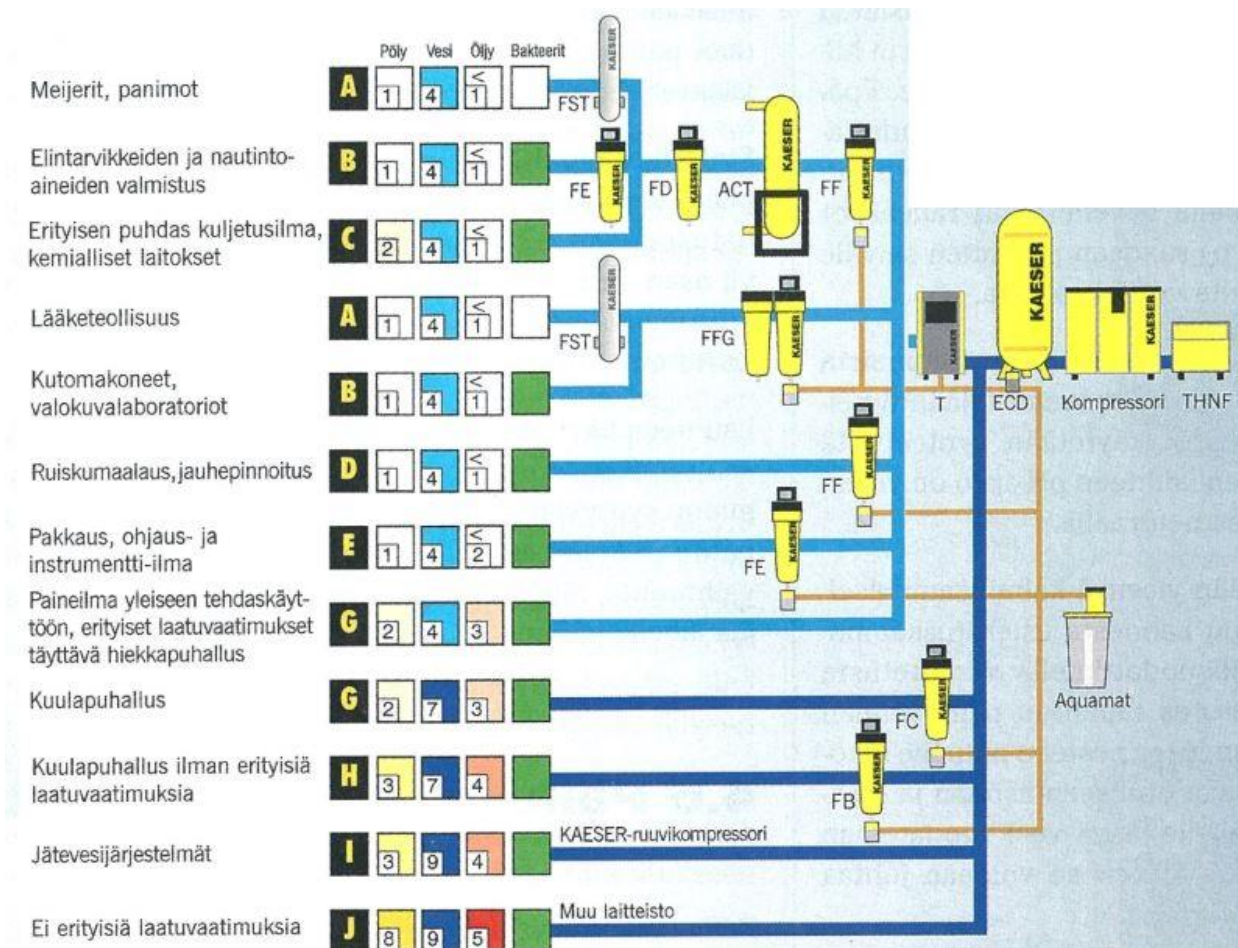
Valtioneuvoston asetusta yksinkertaisista painesäiliöistä 29.12.2016/1550 ei sovelleta aluksiin asennettaviksi tai niiden käyttämiseksi tarkoitettuihin painelaitteisiin.

3.3 Suodattimet

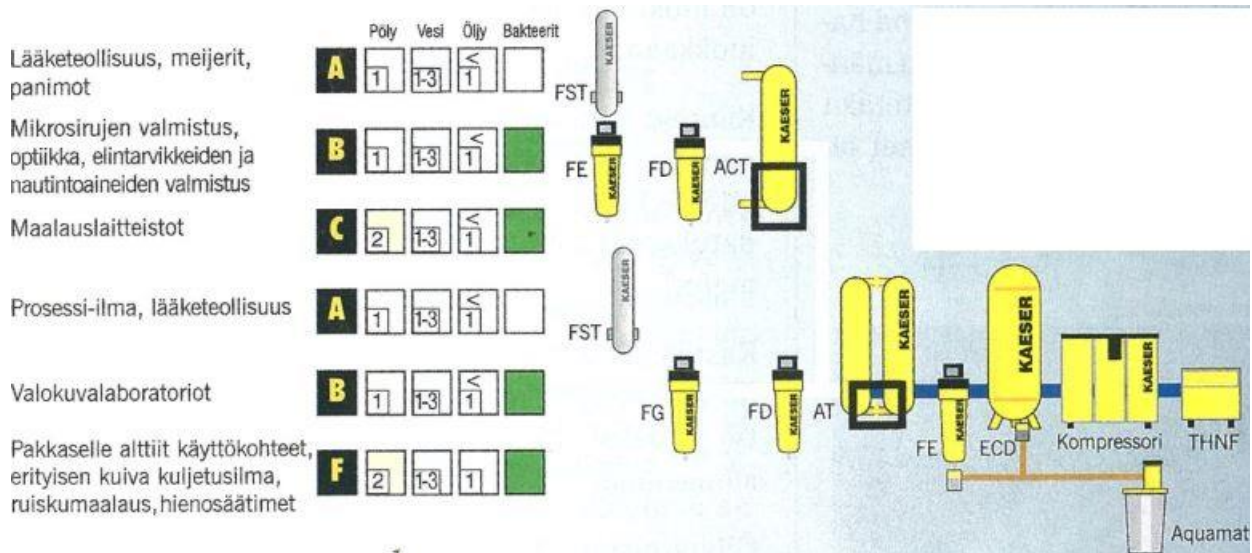
Suodattimia käytetään paineilmalinjassa ennen käyttökohdetta, jolloin ilmasta poistetaan kompressorilta tulevat likapartikkelit ja öljyjäämät. Suodattimia käytetään yleensä linjan päässä, sillä myös putkistosta irtoaa esimerkiksi kosteutta ja sen aiheuttamaa ruostetta. Paineilman laatustandardi ISO 8573-1:2010 määrittelee veden, öljyn ja pölyn hyväksyttävät jäännösmäärät. Käyttökohde ja kuivaintyyppi vaikuttavat siihen, millaisia suodattimia tulisi käyttää. Öljyttömän paineilman saamiseksi on aina käytettävä aktiivihiihisiuodatusta (Heino s.a, 30).

PAINAILMAN LAATU ISO 8573-1:2010 STANDARDIN MUKAAN							
Paineilman laatuluokka	KIINTEÄT PARTIKKELIT			Massapitoisuus mg/m ³	VESI		ÖLJY
	Partikkeleiden maks. määrä/m ³				Paineenalainen kastepiste	Neste g/m ³	Öljysumu, -neste ja -höyry mg/m ³
	0,1...0,5 µm	0,5...1 µm	1...5 µm				
0	Laitteiden käyttäjän tai toimittajan määrittelemä ja tiukempi kuin luokka 1.						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5... 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5...5	-
9	-	-	-	-	-	5...10	-
x	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

Kuva 13. Paineilman laatuluokat (Paineilman laatustandardi ISO 8573-1:2010)



Kuva 14. Jäähdytyskuivaimen suodattimet eri käyttötarkoituksiin (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 40)



Kuva 15. Suodattimet adsorptiokuivaimelle eri käyttökohteisiin (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 40)

A Jäljelle jäävä öljyhöyrypitoisuus $\leq 0,003 \text{ mg/m}^3$, hiukkaset $> 0,01 \mu\text{m}$ poistettu, steriili, hajuton ja mauton	D Jäännösöljypitoisuus $\leq 0,001 \text{ mg/m}^3$ hiukkaset $> 0,01 \mu\text{m}$ poistettu	H Jäännösöljypitoisuus $\leq 5 \text{ mg/m}^3$ hiukkaset $> 3 \mu\text{m}$ poistettu
B Jäljelle jäävä öljyhöyrypitoisuus $\leq 0,003 \text{ mg/m}^3$, hiukkaset $> 0,01 \mu\text{m}$ poistettu	E Jäännösöljypitoisuus $\leq 0,01 \text{ mg/m}^3$, hiukkaset $> 0,01 \mu\text{m}$ poistettu	I Jäännösöljypitoisuus $\leq 5 \text{ mg/m}^3$ hiukkaset $> 1 \mu\text{m}$ poistettu
C Jäljelle jäävä öljyhöyrypitoisuus $\leq 0,003 \text{ mg/m}^3$, hiukkaset $> 1 \mu\text{m}$ poistettu	F Jäännösöljypitoisuus $\leq 0,01 \text{ mg/m}^3$ hiukkaset $> 1 \mu\text{m}$ poistettu	J Ei jääkäsittelyä
	G Jäännösöljypitoisuus $\leq 1 \text{ mg/m}^3$ hiukkaset $> 1 \mu\text{m}$ poistettu	

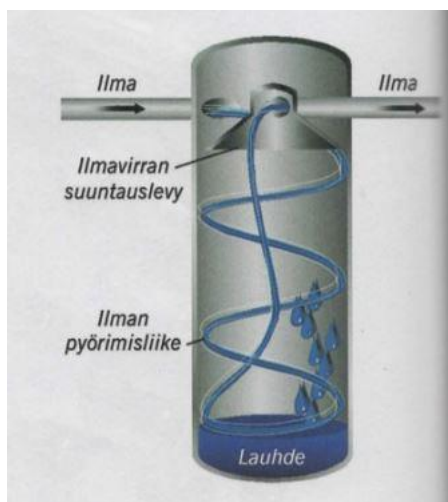
Kuva 16. Käyttökohteen öljy- ja hiukkasvaatimukset kts. kuvat 15 ja 16. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 40)

Kuvissa 14 ja 15 on esitetty, millaisia kuivaimia käytetään jäähdytys- ja adsorptiokuivaimen yhteydessä eri käyttökohteissa. Mustalla pohjalla oleva kirjain ilmoittaa vaaditun puhtausluokan (kuva16). Seuraavissa ruuduissa on pölyn, veden, öljyn sallitut jäännösmäärät käyttökohteeseen, jotka tulevat paineilman laatustandardista ISO 8573-1:2010 (kuva13). Bakteerien osalta valkoinen tarkoittaa erittäin puhdasta ilmaa. Suodattimien lyhenteet tarkoittavat erilaisia suodattimia ja ovat tässä tapauksessa Kaeserin mallistoa. Samaan standardiin perustuvat kaikki paineilman jälkikäsittelyjärjestelmät valmistajasta riippumatta. Seuraavaksi on selitetty, mitä lyhenteet tarkoittavat.

THNF on pussisuodatin, jota käytetään ennen kompressoria, jos imuilma on pölyistä tai erittäin likaista.

ZK on syklonierotin, joka erottaa lauhdetta. Syklonierottimeen johdettava ilma pakotetaan pyörivään liikkeeseen ilmavirran suuntauslevyllä ja keskipakovoima pakottaa kosteuden ja hiukkaset erottimen seinämiin, josta ne valuvat

erottimen pohjalle (kuva 17). Syklonierotinta käytetään ennen varsinaista kuivainta. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 34, 38.)



Kuva 17. Syklonierottimen toiminta (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 34)

ECD eli ECO- Drain on elektroninen lauhteenpoistin. Lauhteenpoisto tapahtuu pinnankorkeusanturin ohjauksesta. Näitä käytetään paineilmasäiliöissä, jolloin säiliö ei tarvitse manuaalista vesitystä.

FB, FC, FD, FE ja FF ovat esi-, jälki- ja mikrosuodattimia, jotka suodattavat eritavoin öljyä, hiukkasia ja vettä. Suodatusaste valitaan käyttökohteen mukaan. Liian tiheä suodatin aiheuttaa painehäviöitä ja huoltotarvetta. Erottunut vesi kertyy suodatinkupin pohjalle, josta se poistetaan manuaalisesti tai automaattisesti. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 42.)

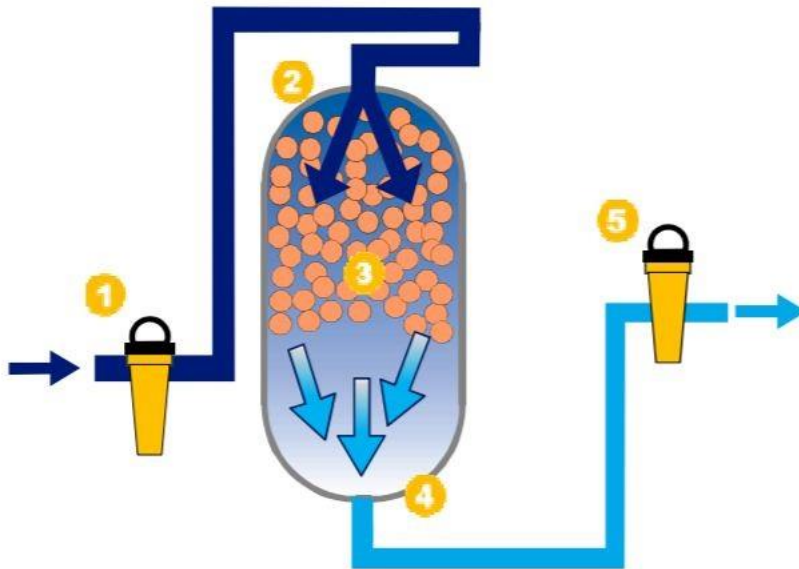
FG on aktiivihiilisuodatin, joka imee öljyhöyryjä laatuluokan yksi vaatimuksiin. Aktiivihiilisuodatin on adsorptiosuodatin, jossa aktiivihiili toimii imeytysaineena.

FFG on FF-mikrosuodattimen ja aktiivihiilisuodattimen yhdistelmä.

T ja AT tarkoittavat jäähdytys- ja adsorptiokuivaimia.

ACT eli aktiivihiilitorni on suurempikokoinen aktiivihiilisuodatin, jossa ilma on pitkään kosketuksissa aktiivihiilen kanssa. Tornissa on öljypitoisuudenilmaisim, joten ilmanlaatua pystytään seuraamaan. Aktiivihiilitorni on toimintavarma ja pitkäikäinen. (Heino s.a, 29.)

Kuvassa 18 on esitetty aktiivihiihtornin toimintaperiaate. Ennen aktiivihiihtornia on mikro-suodatin (1). Ilma johdetaan sisään torniin ja hajautetaan (2). Ilma kulkee aktiivihiihen (3) läpi ja poistuu poistoaukosta (4). Tornin jälkeen on pölysuodatin (5), jossa poistuu mahdolliset aktiivihiihi jäämät.



Kuva 18. Aktiivihiihtornin toimintaperiaate (Heino s.a, 29)

FST on steriilisuodatin. Steriilisuodattimia käytetään meijereissä, panimoissa ja lääketeollisuudessa, missä vaaditaan steriiliä paineilmaa.

Aquamats on lauhteenkäsittelyjärjestelmä. Paineilmajärjestelmässä syntyvää lauhdetta ei saa sellaisenaan päästää viemäristöön. Kompressorin puristuksessa ilmaan sitoutunut öljy tekee lauhteesta ongelmajätettä, joten lauhteesta suodatetaan öljy- ja hiukkasjäämät, jotta vesi voidaan laskea viemäriin. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 39.)

3.4 Huoltolaitteet

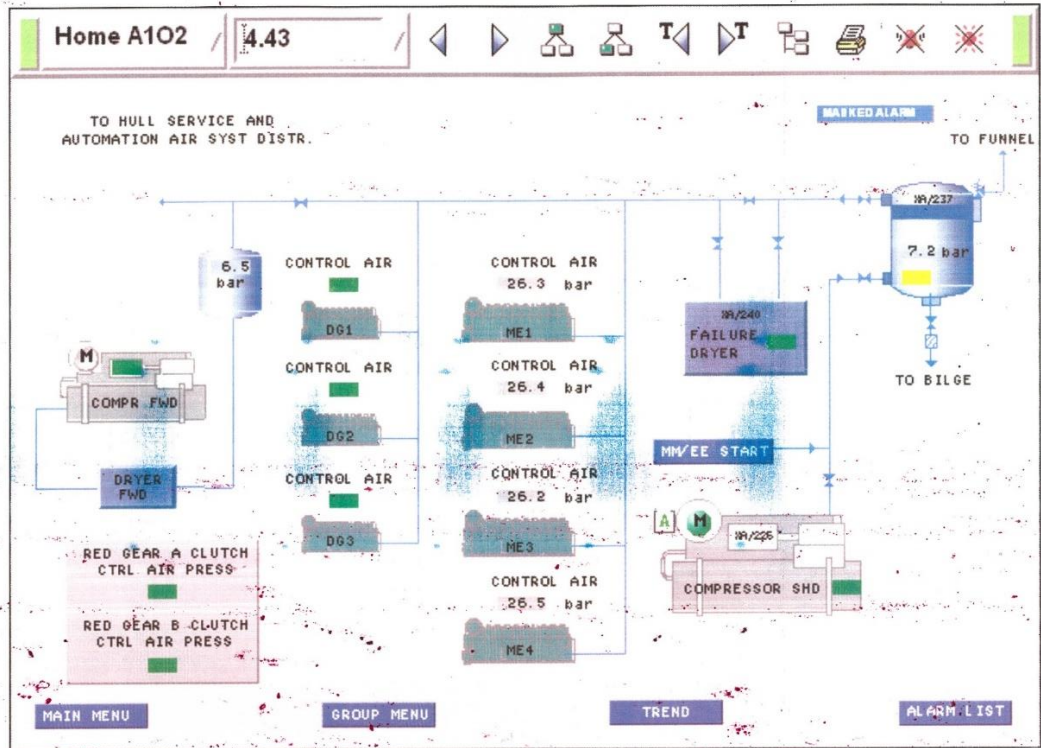
Paineilmaverkossa on ennen toimilaitetta huoltolaite, jotta toimilaitteiden toiminta olisi moitteetonta ja pitkäikäistä. Huoltolaite koostuu suodattimesta, paineensäätimestä ja voitelulaitteesta. Suodattimella erotetaan putkistosta tulevat epäpuhtaudet ja vesi, jotta toimilaitte voi toimia ilman häiriöitä. Paineensäädin on paineenalennusventtiili, jolla suojataan toimilaitetta paineilmaverkon pai-

neenvaihteluilta ja liian suurelta paineelta. Kompressorin öljy ei sovellu toimilaitteiden voiteluun, joten se on erotettu suodattimilla ja voitelulaitteella lisätään paineilmaan tarkoitukseen valmistettua öljysumua, joka voitelee ja suojaa komponentteja korroosiolta. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 43-44.)

4 FINNLADYN PAINEILMAVERKKO

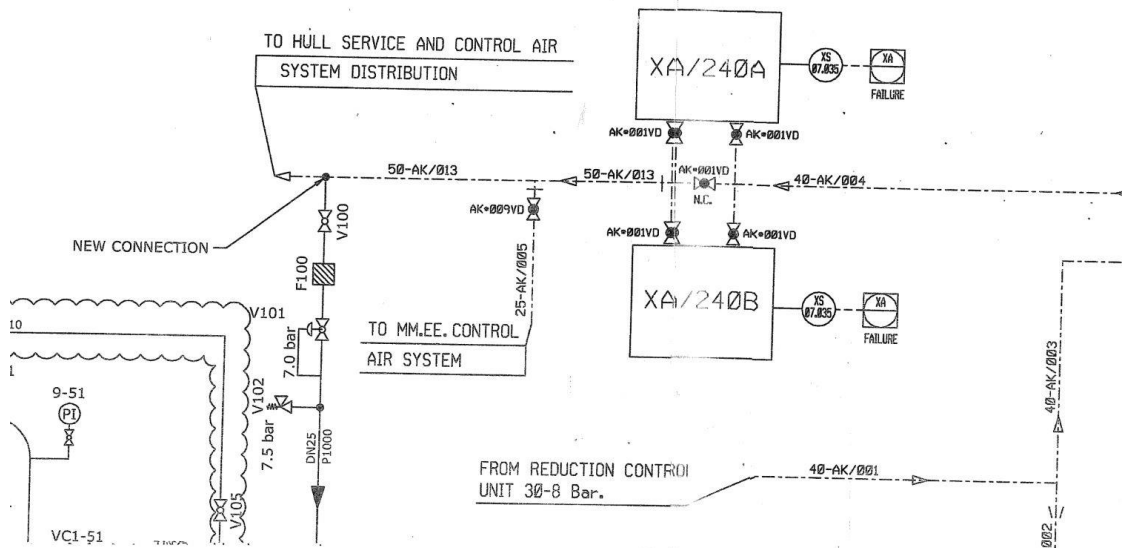
Finnladyn työilmaverkko on yksi laaja järjestelmä, joka on erotettu keskeltä kahdeksi erilliseksi paineilmaverkoksi palloventtiilillä toimintavarmuuden vuoksi. Keulassa oleva kompressori tuottaa koko laivan työilman kuten lastikansille ja asuintiloihin tarvittavan paineilman. Perän kompressori sijaitsee konehuoneessa ja sillä tuotetaan työilma konetiloihin sekä pakokaasunpesujärjestelmään. Tarvittaessa peräntyöilmalinjan paineilma voidaan tuottaa myös startti-ilmakompressorilla. Näin käy usein, jos konehuoneessa on käytössä kalvopumppuja, jolloin työilmakompressorin tuotto ei riitä.

Kuvassa 19 on yksinkertainen kuva Finnladyn työilmaverkosta. Pääkoneiden ohjausilma tehdään perän työilmakompressorilla. Kuvassa 20 on osa työilmalinjasta, jossa näkyy jälkiasennuksena tehty linja pakokaasupesureille, lähtö pääkoneiden ohjausilmalinjaan sekä yhteys startti-ilmaverkosta työilmaverkoon. Startti-ilmakompressori tuottaa 30 baarin paineen ja työilmaverkossa on 8 baaria, joten painetta on alennettava.



4.43 - CONTROL AND HULL AIR 23.01.2020 01:22:24

Kuva 19. Finnladyn kontrolli- ja työilmakaavio (Valmarine 2020)

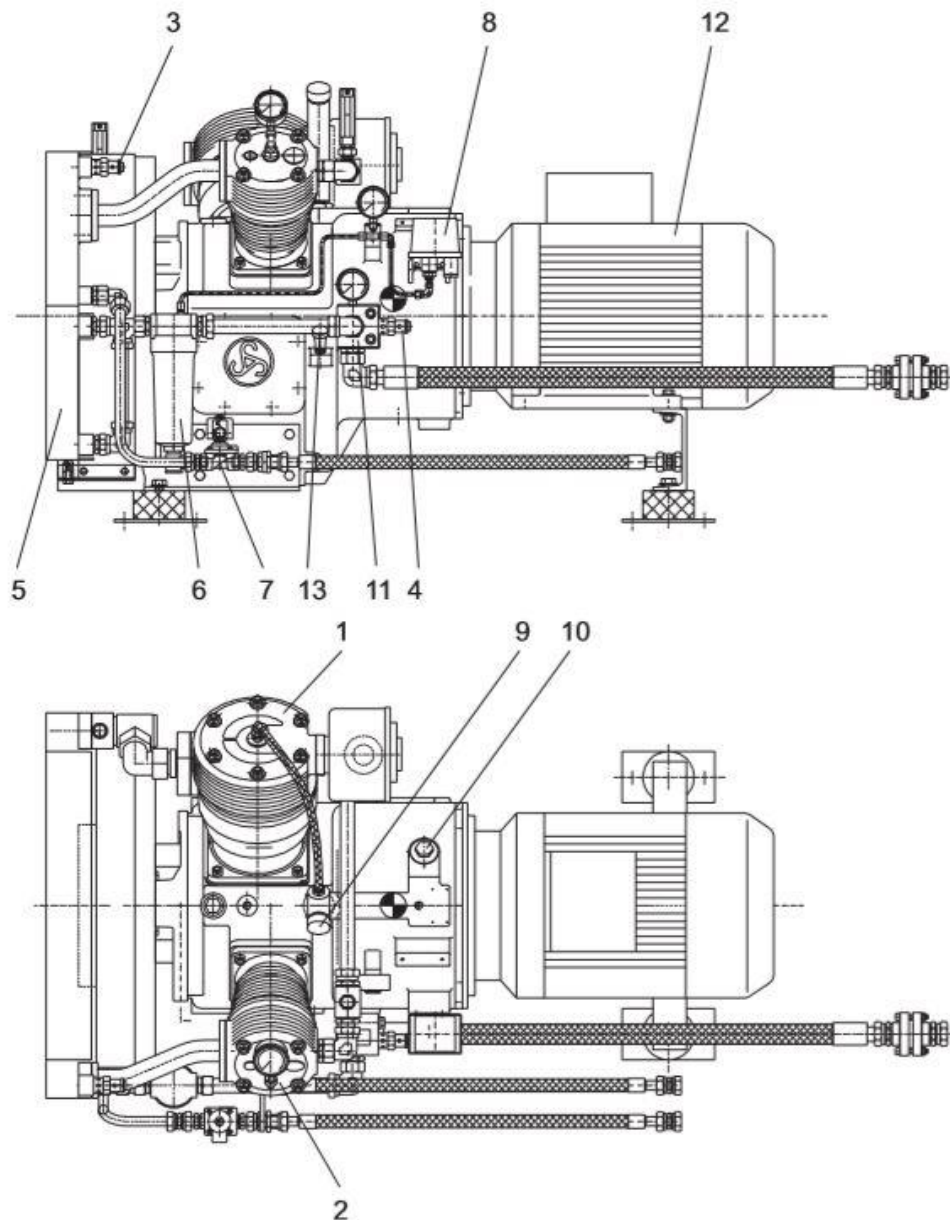


Kuva 20. Finnladyn työilmalinja (Finnlady, Finnmaid, Finnstar & Nordlink Ecospray SO_x reduction system instrument air diagram 2014)

Molemmassa järjestelmissä paineilma tuotetaan samanlaisilla J.P Sauer & Sohn kaksivaiheisilla mäntäkompressoreilla malliltaan WP 146L. Yhden kompressorin tuotto on 145 m³/h ja käyttöpaine 10 baaria. Kompressori toimii 22 kW:n sähkömoottorilla, joka on kytketty kompressoriin kumikoplingilla.

Työilmakompressorin päivitys on ajankohtainen, sillä vanhojen mäntäkompressoreiden tuotto ei kaikissa tilanteissa riitä. Pakokaasunpesujärjestelmä on asennettu jälkikäteen. Suurin osa pakokaasunpesujärjestelmän venttiileistä on paineilmaohjattuja ja pakokaasuja analysoivat SICK-analysaattorit ovat suuri paineilmankuluttaja. Kompressoreiden huoltotarve, öljynkulutus ja käyntitunnit ovat lisääntyneet.

Kuvassa 21 on yleiskuva Finnladyn nykyisestä työilmakompressorista. Ensimmäisen vaiheen puristus tapahtuu sylinterissä (1) ja ilma puristetaan lopulliseen paineeseen sylinterissä (2). Molemmat sylinterit on varustettu varoventtiileillä (3) ja (4). Välijäähdyttimellä (5) jäähdytetään puristuksessa kuumentunutta ilmaa puhaltamalla ympäröivää ilmaa tuulettimella jäähdyttimen läpi. Lauhteenerotin (6) poistaa paineilmassa olevaa vettä toisen puristusvaiheen jälkeen. Lauhteenerottimeen kertynyt vesi poistuu tyhjennysventtiilin (7) kautta. Öljynpaineanturi (8) mittaa öljynpainetta ja toimii varolaitteena. Kompressori pysähtyy öljynpaineen laskiessa. Kampikammion huohotin (9) tuulettaa kampikammiota. Kumikoplingin tarkastus aukko (10), josta voi tarkistaa koplingin kunnon. Kompressorin rungossa oleva varoventtiili (11) estää kompressorin sisäisen paineen nousemisen. Sähkömoottori (12) pyrittää kompressoria. Öljytikusta (13) tarkistetaan päivittäin kompressorin öljymäärä kompressorin ollessa pysähtyneenä. Mäntäkompressorit tulevat jäämään varalle, kun uusi ruuvikompressori hankitaan.



Kuva 21. Finnladyn työilmakompressori (Sauer & Sohn s.a.)

Kompressorilta paineilma kulkee keulassa jäähdytyskuivaimen kautta paineilmasäiliöön. Perässä jäähdytyskuivain on paineilmasäiliön jälkeen. Tämä aiheuttaa runsasta lauhteen kertymistä paineilmasäiliöön, kuten kohdassa 3.2 todettiin, paineilmasäiliö toimii myös vedenerottimena. Aluksen kuivaimet ovat suoralla paisunnalla, keulassa ja perässä omat. Keulaan on vasta uusittu kuivain. Kuten luvussa 3 todettiin, adsorptiokuivain on tehokkaampi kuivausmenetelmä, mutta Finnladyn tapauksessa jäähdytyskuivain on riittävä.

Finnladyn työilmalinjassa on 3 m³:n paineilmasäiliöt perässä sekä keulassa. Työilmalinjassa on 8 baarin paine ja paineilmasäiliön varoventtiili laukeaa 9,4 baarissa. Luokituslaitos valvoo alusten painelaitteiden käyttöä ja tarkastuksia.

Luokituslaitokselle on riittänyt säännöllisesti tehdyt säiliön omat sisäiset tarkastukset ja samalla varolaitteiden tarkastus. Työilmasäiliöt tulevat jäämään paikoilleen kompressorin päivityksessä.

5 KOMPRESSORIN VALINTA

Luvussa 2 tutustuttiin mäntä- ja ruuvikompressoreihin. Kuvista 3 ja 4 käy ilmi, että mäntäkompressorissa on huomattavasti enemmän huollettavia osia kuin ruuvikompressorissa, kuten venttiilit, männät ja männänrenkaat sekä laakeroinnit. Ruuvikompressorilla saadaan tasaisempi tuotto, mikä tekee siitä järkevämmän vaihtoehdon aluksen vaihtelevaan ilmantarpeeseen. Näin vältetään paineilman nykyiset romahdukset, sekä yhdellä ruuvikompressorilla voidaan korvata molemmat mäntäkompressorit.

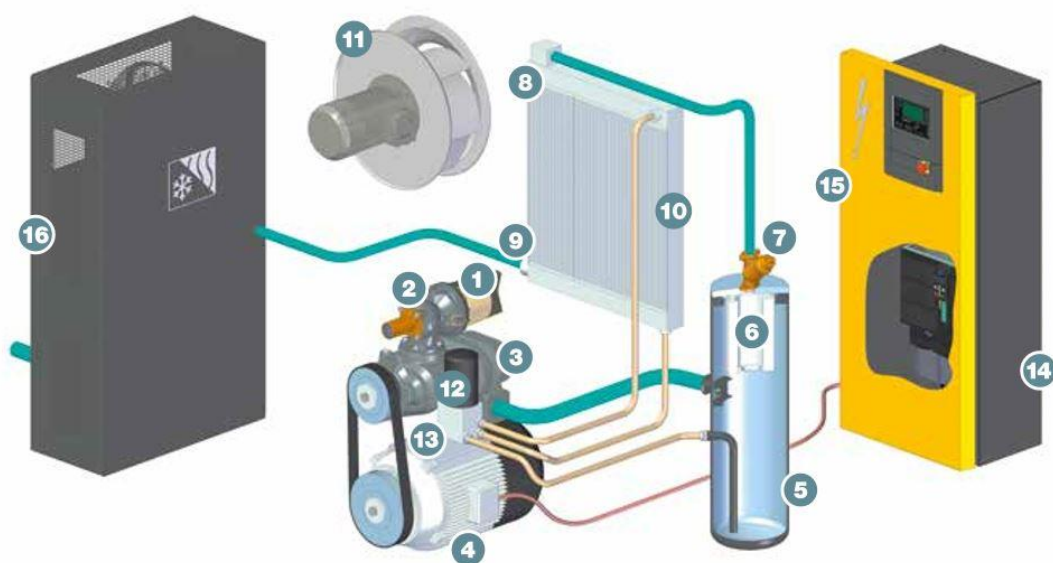
Sisaraluksilla on ollut jo pidempään käytössä ruuvikompressorit ja käyttökokeemukset ovat olleet kyselyiden perusteella hyviä. Samanlaista mallia kuin sisaraluksilla, Kaeser ASK35 T/ 8 bar Sigma Control, ei ole enää saatavilla, mutta tutkitaan vastaavanlaisia muutamalta eri valmistajalta. Sisaralusten kompressorit pyörittää 22 kW:n sähkömoottori ja sillä tuotetaan paineilmaa 210 m³/h.

Näiden tietojen perusteella voidaan todeta, että etsitään 22 kW:n kompressorit ja että sellaiseen sähköntuotanto riittää, sillä vanhoja mäntäkompressoreja-kin pyörittää 22 kW:n sähkömoottori. Kuten luvussa 4 todettiin, vanhat mäntäkompressorit tuottavat 145 m³/h eli yhteensä 290 m³/h. Sisaraluksilla on riittänyt 210 m³/h tuottava ruuvikompressorit. Yhdellä ruuvikompressorilla riittää pienempi tuotto kuin kahdella mäntäkompressorilla johtuen tasaisemmasta tuotosta sekä siitä, että keulassa kulutus on pienempi kuin perässä. Keulan kompressorit käy huomattavasti vähemmän kuin perän kompressorit, mutta useasti keulassakin paine romahtaa johtuen suurista kuluttajista.

5.1 Kaeser

Kaeserin mallistossa on öljyvoideltu ruuvikompressorit ASK 40 Sigma profile, joka teknisten tietojen perusteella olisi riittävä. Sitä pyörittää 22 kW:n sähkömoottori kuten vanhoja mäntäkompressoreita. Sillä saadaan tuotettua 8 baarin paineella paineilmaa 243,6 m³/h. (Kaeser 2020, 14.)

Kuvassa 22 on Kaeserin ASK Sigma profile -ruuvikompressorin komponentit. Sigma profiililla tarkoitetaan roottoreiden muotoilua, jonka on tarkoitus säästää energiaa. Kohdassa yksi on imuilmansuodatin, josta ilma kulkee ilman sisään-tuloventtiin (2) kautta kompressorin ruuvin imupuolelle (3). Kompressoria pyörittää sähkömoottori (4). Kompressorin jäähdytysöljy erotetaan paineilmasta separointitankissa (5). Sen jälkeen ilma virtaa öljynerotussuodattimen (6) läpi, josta ilma virtaa paineensäätöventtiin (7) kautta jälkijäähdyttimeen (8). Ilma poistuu jälkijäähdyttimestä (9) kuivaimeen (16), joka voi kuulua kompressoripakettiin tai suoraan paineilmalinjaan. Jälkijäähdyttimessä jäähdytetään myös kompressorissa lämmennyt öljy (10). Jälkijäähdytintä viilennetään tuulettimella (11). Jälkijäähdyttimestä öljy palaa öljynsuodattimen (12) kautta takasin kiertoon. Termostaattiventtiili (13) ylläpitää öljyn tasaista lämpötilaa. Ohjauskeskus (14) pitää sisällään Sigma Control 2 -kompressorin ohjausyksikön (15).



Kuva 22. Kaeser ASK ruuvikompressor (Kaeser 2020, 13)

5.2 Atlas Copco

Atlas Copcon mallistossa mahdollinen vaihtoehto on GA sarjan GA22+ 8,5 bar öljyvoideltu ruuvikompressor. Kompressorin pyörittää 22 kW:n sähkömoottori. Kompressorilla saadaan tuotettua 250,9 m³/h. (Atlas Copco 2018.)

Atlas Copcolla on myös erityisesti merenkulkuun tarkoitettu kompressorimalisto MAS. MAS-kompressorit pohjautuvat GA -sarjaan. MAS -sarja on myös täysin varusteltu kuten GA sarja. MAS kompressorit ovat suunniteltu korkeampiin lämpötiloihin ja ne toimivat jopa 55 °C:n lämpötilassa. Merenkulkuun suunnattujen kompressoreiden sähkömoottorissa on alhainen käynnistysvirta, jolloin sähköverkko ei kuormitu äkillisesti. MAS 22+ 8,5 bar tuottaa paineilmaa 206 m³/h. (Atlas Copco 2016, 21-23.)

Alhainen käynnistysvirta tukisi MAS-kompressorin valintaa aluksen rajallisen sähköntuotannon kannalta, mutta lämpötilat eivät aluksella kohoa niin korkeiksi, että sille olisi tarvetta. GA-kompressorin suurempi paineilman tuotto tekee siitä järkevämmän ratkaisun.

5.3 Yhteenveto kompressorin valinnasta

Kaeserin sekä Atlas Copcon kompressorit ovat hyvin samanlaisia. Molemmat ovat suuria ja laadukkaita valmistajia. Kummallakin kompressorilla saadaan tuotettua työilma aluksen tarpeisiin. Kaeser-kompressorin valintaa tukee se, että sisaraluksilla on vastaavanlaiset. Järkevää on, että aluksissa on samat komponentit, jolloin varaosat ovat yhteensopivia. Kompressorit ovat ulkoisilta mitoiltaan lähellä toisiaan, joten ulkoisilla mitoilla ei ole väliä sijoituksen kannalta.

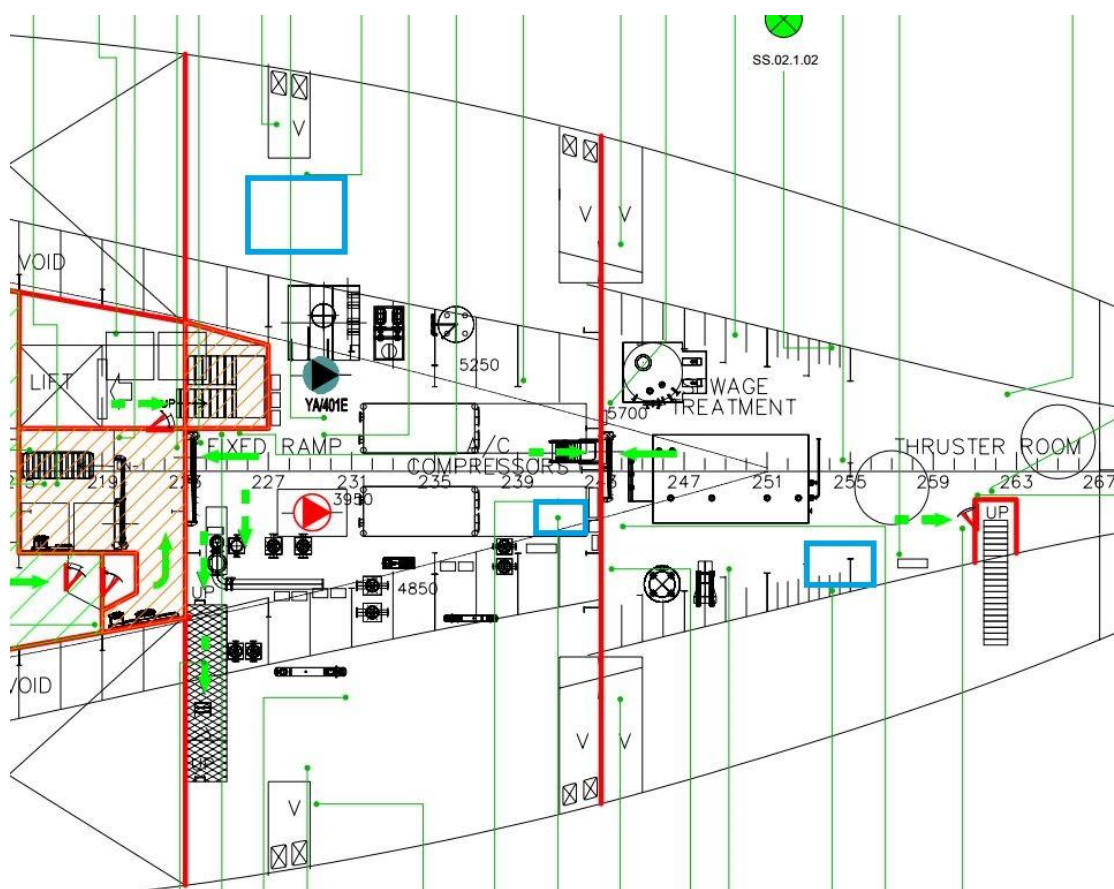
Kun uusi kompressori hankitaan, tulee huomioida jäähdytyskuivaimen tehon riittävyys. Uusi ruuvikompressori tulee tuottamaan enemmän paineilmaa kuin edeltävä mäntäkompressori. Uusi kompressori tullaan sijoittamaan keulaan ja keulan nykyinen kuivain pystyy käsittelemään 156 m³/h.

6 RUUVIKOMPRESSORIN SIJOITUS

Uusi ruuvikompressori tullaan sijoittamaan aluksen keulaan, sillä perässä ei ole tilaa, kun vanha kompressori tulee jäämään paikoilleen. Keulassa sijoitus on joko ilmastointikompressorihuoneeseen tai keulapotkurihuoneeseen. Ilmastointikompressorihuone on parempi vaihtoehto, sillä keulapotkurihuoneessa, missä vanha mäntäkompressori sijaitsee, on mustanvedenkäsittelylaitos, josta aiheutuu satunnaisesti hajuhaittoja. Sisaraluksilla ruuvikompressori on sijoit-

tettu toisessa ilmastointikompressorihuoneeseen ja toisessa keulapotkurihuoneeseen. Käyttökokemuskyselyiden perusteella mustanvedenkäsittelylaitos leviää hajuhaittoja paineilman mukana.

Kuvassa 23 on Finnladyn keulan tilat ilmastointikompressorihuone ja keulapotkurihuone. Kuviin on merkitty sinisillä suorakulmioilla mahdolliset sijoituspaikat. Piirretyt suorakulmiot eivät ole oikeassa mittasuhteessa vaan ainoastaan esittävät mahdollista sijoituspaikkaa.



Kuva 23. Finnladyn keula (Finnlady fire control plan decks 1-2-3 2015)

Kuten kuvassa 24 näkyy, on keulapotkurihuoneen sijoituspaikka putkivetojen kannalta helpoin vaihtoehto, sillä paineilmasäiliö on vieressä. Tila on toisaalta ahdas ja tasaista lattiapintaa on hankala löytää. Hyllyn kohdalla on levein väli, joten hylly tulisi purkaa. Palopostin kohdalle ei voi sijoittaa mitään, sillä siihen on oltava pääsy. Keulapotkurihuoneessa on myös jo aiemmin todettu hajuhaitta.



Kuva 24. Keulapotkurihuoneen sijoituspaikka (Nikula 2020)

Ilmastointikompressorihuoneessa styyrpuurin puolella on vapaata lattiatailaa, mutta ilmastointikompressorin, portaat keulapotkurihuoneeseen, pumppuja sekä huoltotaso ovat aivan vieressä. Sijoitus tähän hankaloittaa edellä mainittujen komponenttien huoltamista sekä lattiassa olevan tankin huoltoluukun sekä sähkökaappien käyttämistä. (Kuva 25.)



Kuva 25. Ilmastointikompressorihuoneen styyrpuurin sijoituspaikka (Nikula 2020)

Ilmastointikompressorihuoneen paapuurin puolella sijoitus olisi ylätasolla. Kuvaaan ylätasoa ei ole merkitty. Vaikka sieltä on pisin putkiveto työilmalinjaan niin siellä on eniten vapaata tilaa. Ylätason ahterikulmassa on tyhjättila, johon

täytyisi tehdä taso kompressorille (kuva 26). Tässä tilassa kompressorilla ei olisi minkään edessä.



Kuva 26. Ilmastointikompressorihuoneen paapuurin sijoituspaikka (Nikula 2020)

7 YHTEENVETO

Yhdellä ruuvikompressorilla voidaan korvata mäntäkompressoria tasaisemman tuoton vuoksi. Huoltokustannukset tulevat laskemaan, kun vaihdetaan kaksi mäntäkompressoria yhteen ruuvikompressorin. Mäntäkompressoreissa on kuluvia osia kuten männänrenkaat ja venttiilit, joita tulee vaihtaa, kun taas ruuvikompressorilla ilman ongelmia toimii suodattimien ja öljyn vaihdoilla.

Uusi ruuvikompressor valitaan sähkönkulutuksen sekä paineilman tuoton perusteella. Sisäluksilta saatujen tietojen ja vanhojen mäntäkompressoreiden perusteella valitaan kompressorin, jota pyörittää 22 kW:n sähkömoottori.

Työssä esitellyistä kahdesta vaihtoehdosta Kaeser ASK 40 Sigma profile 8 bar on todennäköisempi vaihtoehto sisäluksien yhteneväisyyden vuoksi, mutta lopulta kustannukset ratkaisevat. Esitellyistä sijoituspaikoista paras olisi ilmastointikompressorihuoneen paapuuriin tyhjässä tilassa. Jo olemassa olevaa ylätasoa jatkamalla saisi kompressorille hyvän tilan ja säilytystilaa varaosille. Putkilinjan paineilma-verkkoon saa rakennettua ilman, että se on muiden koneistojen tiellä, vaikka etäisyys on vaihtoehdoista pisin. Kompressorin uusimisen yhteydessä ilmankuivain tulee päivittää sellaiseen, että se pystyy käsittelemään kompressorin tuottaman noin 250 m³/h paineilman. Päivityksessä jäähdytyskuivain on edelleen järkevin ratkaisu.

Työtä voidaan hyödyntää aluksen uuden kompressorin hankinnassa. Nyt on valmiiksi tutkittuna muutama kompressorimalli, joista on tarkoitus tehdä tarjouspyyntö. Lopullisen sijoituspaikan valinnan tekee ylempi johto, mutta työtä voi hyödyntää valinnassa. Nyt koronavirusaikana onkin mielenkiintoista nähdä kuinka kompressorihankinnan käy.

LÄHTEET

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

Atlas Copco. 2016. Atlas Copco Marine Air Solutions. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/products/marine-compressors/mas-compressors> [viitattu 20.4.2020].

Atlas Copco. 2018. Oil- injected rotary screw compressors. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/compressor-technique/industrial-air/documents/leaflets/compressors/ga11-30/translations2019/GA11-30_EN_50Hz.pdf [viitattu 19.4].

Atlas Copco. 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/absorption-adsorption> [viitattu 4.3.2020].

Compressed air aftercoolers. s.a. VMAC air innovated. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vmacair.com/blog/compressed-air-aftercoolers/> [viitattu 13.3.2020].

Compressed Air Manual 8th Edition. 2015. Atlas Copco. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/local-countries/finland/documents/Atlas-Copco-Compressed-Air-Manual-8th-edition.pdf> [viitattu 25.2.2020].

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

Finnlady, Finnmaid, Finnstar & Nordlink Ecospray SO_x reduction system instrument air diagram 2014. Ei saatavissa.

Finnlady fire control plan decks 1-2-3. 2015. Ei saatavissa.

Finnlady Valmarine automaatiojärjestelmä. 2020. Ei saatavissa.

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

Gužda, A. & Szmolke, N. 2015. Compressors in Heat Pumps. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/313134829_Compressors_in_Heat_Pumps [viitattu 25.2.2020].

Heino, J. s.a. Kaeser Kompressorit Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://svy.info/wp-content/uploads/2019/04/DLS_03-fi_j%C3%A4lkik%C3%A4sittely-02_03_17_Jani.pdf [viitattu 19.3.2020].

Ilman kosteus. 2019. Ilmatieteenlaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus> [viitattu 3.3.2020].

Ilmastointijärjestelmän toimintaperiaate. s.a. Suomen Työkalu Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.suomentyokalu.fi/tekninen-tuki/ilmastointijarjestelman-toimintaperiaate.html> [viitattu 11.3.2020].

Jokela, M. 2011. Paisuntaventtiilin tulistuksen säätö- kylmälaitoksen tärkein säätötoimenpide. WWW-sivu. Saatavissa: <https://lampopumput.info/foorumi/attachments/paisuntaventtiilin-tulistuksen-s%C3%A4%C3%A4t%C3%B6-1-jpg.26979/> [viitattu 12.3.2020].

Jokela, M. 2011. Paisuntaventtiilin tulistuksen säätö- kylmälaitoksen tärkein säätötoimenpide. WWW-sivu. Saatavissa: <https://lampopumput.info/foorumi/attachments/paisuntaventtiilin-tulistuksen-s%C3%A4%C3%A4t%C3%B6-2-jpg.26981/> [viitattu 12.3.2020].

Kaeser Compressors. s.a. Rotary Screw Compressors. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kaeser.com/int-en/download.ashx?id=tcm:17-5922> [viitattu 20.4.2020].

Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. 1. painos. Helsinki: WSOY.

Nikula, M. 2020. Oma valokuvakokoelma. Tekijän hallussa.

Paineilman laatustandardi ISO 8573-1:2010.

Painelaitelaki 16.12.2016/1144.

Sauer & Sohn. s.a. Sauer Compressor Type WP146L Operating Instructions.

Suomisanakirja. 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.suomisanakirja.fi/adsorboida> [viitattu 4.5.2020].

Valtioneuvoston asetus yksinkertaisista painesäiliöistä 29.12.2016/1550.

Types of Compressed Air Dryers Part2: Refrigerant and Regenerative Desiccant. 2020. Compressed Air & Gas Institute. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://airbestpractices.com/technology/air-treatment/n2/types-compressed-air-dryers-refrigerant-and-regenerative-desiccan> [viitattu 11.3.2020].

Ursillo, C. 2020. Energy Savings Result from Compressed Air Dryer Selection. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://airbestpractices.com/technology/air-treatment/n2/energy-savings-result-compressed-air-dryer-selection> [viitattu 10.3.2020].

White paper Compressed air drying. 2016. Atlas Copco. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/compressor-technique/oil-free-air/documents/2937016013%20whitepaper%20EN%20LR.pdf> [viitattu 4.3.2020].

KUVALUETTELO

Kuva 1. Kompressorien sukupuu. Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. 1. painos. Helsinki: WSOY.

Kuva 2. Kompressoreiden toiminta-alue. Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. 1. painos. Helsinki: WSOY.

Kuva 3. Mäntäkompressorin toimintaperiaate. Gužda, A. & Szmolke, N. 2015. Compressors in Heat Pumps. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/313134829_Compressors_in_Heat_Pumps [viitattu 25.2.2020].

Kuva 4. Voidellun ruuvikompressorin yleiskuvaus. Airila, M., Hallikainen, K., Kääpä, J. & Laurila, T. 1983. Kompressorikirja. Vantaa: Korpivaara Oy Hydor Ab.

Kuva 5. Ilman puristuminen ruuviyksikössä. Compressed Air Manual 8th Edition. 2015. Atlas Copco. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.atlas-copco.com/content/dam/atlas-copco/local-countries/finland/documents/Atlas-Copco-Compressed-Air-Manual-8th-edition.pdf> [viitattu 25.2.2020].

Kuva 6. Kastepistekuvaaja. Fonselius, J., Hautanen, J., Mutikainen, T., Pekola, K., Salmijärvi, O. & Simpura, A. 1997. Koneautomaatio Pneumatiikka. 8. painos. Helsinki: Oy Edita Ab.

Kuva 7. Lämpötila kompressorin jälkeen. Compressed air aftercoolers. s.a. VMAC air innovated. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vmac-air.com/blog/compressed-air-aftercoolers/> [viitattu 13.3.2020].

Kuva 8. Kylmäelvytteinen adsorptiokuivain. White paper Compressed air drying. 2016. Atlas Copco. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.atlas-copco.com/content/dam/atlas-copco/compressor-technique/oil-free-air/documents/2937016013%20whitepaper%20EN%20LR.pdf> [viitattu 4.3.2020].

Kuva 9. Lämpöelvytteinen adsorptiokuivain. White paper Compressed air drying. 2016. Atlas Copco. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.atlas-copco.com/content/dam/atlas-copco/compressor-technique/oil-free-air/documents/2937016013%20whitepaper%20EN%20LR.pdf> [viitattu 4.3.2020].

Kuva 10. Lämpöelvytteinen adsorptiokuivain puhaltimella. White paper Compressed air drying. 2016. Atlas Copco. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/compressor-technique/oil-free-air/documents/2937016013%20whitepaper%20EN%20LR.pdf> [viitattu 4.3.2020].

Kuva 11. Jäähdytyskuivain suoralla paisunnalla. Types of Compressed Air Dryers Part2: Refrigerant and Regenerative Desiccant. 2020. Compressed Air

& Gas Institute. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://airbestpractices.com/technology/air-treatment/n2/types-compressed-air-dryers-refrigerant-and-regenerative-desiccant> [viitattu 11.3.2020].

Kuva 12. Jäähdytyskuivain varaavalla massalla. Types of Compressed Air Dryers Part2: Refrigerant and Regenerative Desiccant. 2020. Compressed Air & Gas Institute. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://airbestpractices.com/technology/air-treatment/n2/types-compressed-air-dryers-refrigerant-and-regenerative-desiccant> [viitattu 11.3.2020].

Kuva 13. Paineilman laatuluokat. Paineilman laatustandardi ISO 8573-1:2010.

Kuva 14. Jäähdytyskuivaimen suodattimet eri käyttötarkoituksiin. Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. 1. painos. Helsinki: WSOY.

Kuva 15. Suodattimet adsorptiokuivaimelle eri käyttökohteisiin. Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. 1. painos. Helsinki: WSOY.

Kuva 16. Käyttökohteen öljy- ja hiukkasvaatimukset kts. kuvat 15 ja 16. Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. 1. painos. Helsinki: WSOY.

Kuva 17. Syklonierottimen toiminta. Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. 1. painos. Helsinki: WSOY.

Kuva 18. Aktiivihilitornin toimintaperiaate. Heino, J. s.a. Kaeser Kompressorit Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://svy.info/wp-content/uploads/2019/04/DLS_03-fi_j%C3%A4lkik%C3%A4sittely-02_03_17_Jani.pdf [viitattu 19.3.2020].

Kuva 19. Finnladyn kontrolli- ja työilmakaavio. Finnlady Valmarine automaatiojärjestelmä. 2020. Ei saatavissa.

Kuva 20. Finnladyn työilmalinja. Finnlady, Finnmaid, Finnstar & Nordlink Ecospray SO_x reduction system instrument air diagram 2014. Ei saatavissa.

Kuva 21. Finnladyn työilmakompressori. Sauer & Sohn. s.a. Sauer Compressor Type WP146L Operating Instructions.

Kuva 22. Kaeser ASK ruuvikompressori. Kaeser Compressors. s.a. Rotary Screw Compressors. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kaeser.com/int-en/download.ashx?id=tcm:17-5922> [viitattu 20.4.2020].

Kuva 23. Finnladyn keula. Finnlady fire control plan decks 1-2-3 2015. Ei saatavissa.

Kuva 24. Keulapotkurihuoneen sijoituspaikka. Nikula, M. 2020. Oma valokuva-kokoelma. Tekijän hallussa.

Kuva 25. Ilmastointikompressorihuoneen styyrpuurin sijoituspaikka. Nikula, M. 2020. Oma valokuvakokoelma. Tekijän hallussa.

Kuva 26. Ilmastointikompressorihuoneen paapuurin sijoituspaikka. Nikula, M. 2020. Oma valokuvakokoelma. Tekijän hallussa.