

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

Jesse Uusi-Uitto

LAIVAN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

UUSI-UITTO, JESSE

Laivan paineilmajärjestelmä

Opinnäytetyö

53 sivua

Toimeksiantaja

Kymi Technology

Maaliskuu 2011

Avainsanat

paineilma, kompressorit, suodattimet, vedenerottimet,
laivat

Opinnäytetyössä tarkastellaan laivan paineilmajärjestelmää. Työssä tutkitaan erityisesti järjestelmän osia, laitteita ja järjestelmään liittyviä määräyksiä. Tavoitteena on laatia kattava, selkeä ja yksinkertainen opetusmateriaali laivan paineilmajärjestelmästä opiskelijoille.

Työn alussa käsitellään ilman yleisiä ominaisuuksia, erilaisia paineilmaverkostoja ja ilmakehämahdollisuuksia. Työssä käsitellään myös erilaisia kompressoreita, säätö- ja ohjausmahdollisuuksia, paineilman jälkikäsitteilyä ja järjestelmään liittyviä luokituslaitoksen määräyksiä. Työssä selvennetään laitteiden toimintaperiaatetta yksinkertaisin kuvin ja tekstin avulla.

Tutkimus pohjautuu suurelta osin Internet-lähteisiin, koska ne tarjoavat ajankohtaista tietoa järjestelmästä. Vanhat kirjallisuuslähteet on jätetty vähemmälle tässä opinnäytetyössä. Laitteiden käsittelyssä käytetään paljon valmistajien sivuilta saatua tietoa.

Työhön on valittu järjestelmässä useimmiten esiintyvät osat ja laitteet ja harvinaisempien osien käsittely on jätetty vähemmälle. Esimerkiksi pneumaattisen järjestelmän komponentteja ei käsitellä.

Yhteenvedona voidaan todeta, että järjestelmä sisältää paljon eri laitteita ja niiden toimintaperiaate ei aina ole selvä kaikille. Järjestelmää tulee myös jatkuvasti kehittää, erityisesti kunnossapidon osalta. Laitteiston heikentyminen iän myötä hankaloittaa määräysten täyttämistä ja tämän vuoksi huollon merkitys on suuri.

ABSTRACT

KYMENLAAKSO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marine Technology

UUSI-UITTO, JESSE

Shipboard Compressed Air System

Bachelor's Thesis

53 pages

Commissioned by

Kymi Technology

March 2011

Keywords

compressed air, compressors, filter, water separators, ship

The Bachelor's thesis examines shipboard compressed air system. The study focused in particular on the system components, devices and system-related rules. The objective was to generate comprehensive and unambiguous teaching material about the shipboard compressed air system for students.

The first part of the bachelor's thesis studied the general characteristics of air, a variety of the compressed air systems and the possibilities of the use of air. The study also examined variety of compressors, regulating and control opportunities, the post-processing of air and the classification rules. The study defined the operating principle of the equipment with pictures and text.

Internet sources were widely used as a study method because they provided timely information about the system. The old literary sources were ignored in this bachelor's thesis.

Due to the availability of source material, the study explored all parts of the system to some degree. In this study, only the main parts and equipment were selected, and less commonly used parts were ignored.

The last part of the bachelor's thesis studied problems of the shipboard compressed air system. Finally, it was determined that the system must be improved.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	ILMAN OMINAISUUDET	7
	2.1 Kastepiste	8
3	PAINEILMAVERKOSTO	10
	3.1 Käynnistysilma	11
	3.1.1 Suora sylinterikäynnistys	11
	3.1.2 Ilmastarttimoottorikäynnistys	13
	3.2 Ohjausilmajärjestelmä	13
	3.2.1 Toimilaitteet	13
	3.3 Työilma	14
	3.4 Häviöt	14
4	OSAT JA LAITTEET	15
	4.1 Kompressorit	16
	4.1.1 Mäntäkompressori	17
	4.1.2 Ruuvikompressori	18
	4.1.3 Lamellikompressori	20
	4.1.4 Useampivaiheinen puristus	21
	4.1.5 Sijoitus konehuoneessa	21
	4.2 Sääto ja ohjaus	21
	4.2.1 Painekeytkin	22
	4.2.2 Sähkömoottori	22
	4.2.3 Pysäytyskäyttö	22
	4.2.4 Kuristussäätö	23
	4.2.5 Taajuusmuuttajasäätö	23
	4.2.6 Useamman kompressorin yhteiskäyttö	23

4.3	Paineilmasäiliöt	24
4.4	Putkisto	24
4.4.1	Painehäviöt	24
4.4.2	Korroosio	25
4.4.3	Mitoitus	25
4.5	Venttiilit	26
4.5.1	Paineensäätö	26
4.5.2	Varoventtiilit	29
4.5.3	Takaiskuventtiilit	29
4.6	Paineilman jälkikäsittely	31
4.6.1	Syklonierotin	31
4.6.2	Jäähdytyskuivain	32
4.6.3	Adsorptiokuivain	34
4.6.4	Sorptiokuivain	35
4.6.5	Nesteyttävä suodatin	36
4.6.6	Aktiivihiilisuodatin	37
4.6.7	Sumuvoitelulaite	38
4.6.8	Mikrosumuvoitelulaite	40
5	KUNNOSSAPITO JA HUOLTO	42
5.1	Katsastukset ja luokitukset	42
5.2	Säännölliset huollot	43
5.3	Vuotojen etsintä	44
6	LUOKITUSLAITOSTEN MÄÄRÄYKSET, DET NORSKE VERITAS	44
6.1	Käynnistysilmajärjestelmä ja putkistovaatimukset	44
6.2	Paineilman vaatimukset	45
6.3	Käynnistysilmakapasiteetti	45
7	YHTEENVETO	46
	LÄHTEET	49

1 JOHDANTO

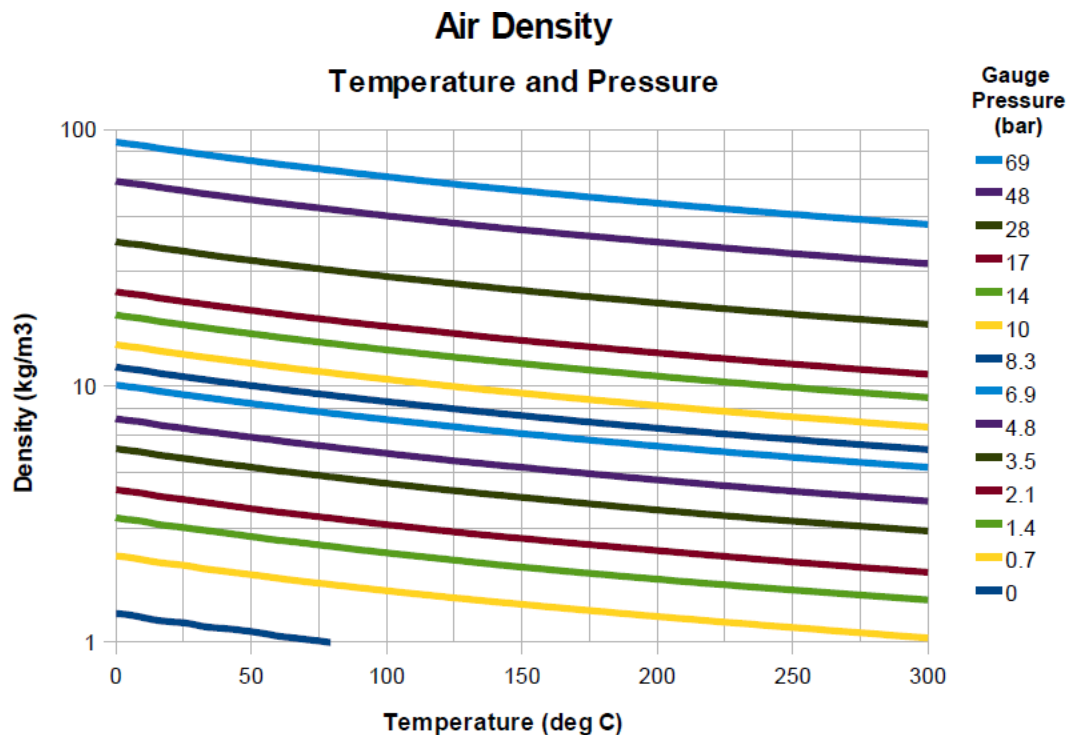
Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää kokonaisvaltaisesti laivan paineilmajärjestelmä. Työssä käsitellään paineilmajärjestelmää ja sen laitteita sekä määräyksiä. Työn tarkoitus on laatia selkeä opetusmateriaali tuleville aihetta opiskeleville ja perustietopaketti järjestelmän käyttäjille. Paineilma on tärkeä osa-alue niin teollisuudessa kuin myös laivoissa. Tältä pohjalta syntyi ajatus tehdä tästä osa-alueesta koottu tietopaketti koneiden ja laitteiden käyttäjille. Työssä keskitytään pääosin ainoastaan laivan paineilmajärjestelmään, ja tämä näkyy esimerkiksi siinä, että joitain sellaisia osa-alueita, joita teollisuuden paineilmajärjestelmässä olisi tärkeä käsitellä, on jätetty vähemmälle.

Koska työssä käsitellään laajasti koko laivan paineilmajärjestelmää, ei pienimpiin yksityiskohtiin ole kiinnitetty huomiota. Työssä käydään läpi asiat paineilman tuottamisesta järjestelmässä oleviin laitteisiin. Työssä käsitellään myös lyhyesti ilman ominaisuuksia ja teoriaa. Työhön on sisällytetty myös pohdintaa paineilmajärjestelmän kunnossapidosta, huollosta ja järjestelmässä esiintyvistä yleisimmistä ongelmista. Koska luokituslaitosten määräykset säätelevät laivan paineilmanjärjestelmän perusvaatimuksia, on työhön koottu norjalaisen luokituslaitoksen määräykset laivan paineilmajärjestelmän osalta.

Työssä käytettävät lähdetiedot perustuvat paljon Internet-lähteisiin, koska ne tarjoavat ajankohtaisempaa tietoa kuin vanhat oppikirjat. Työtä tehdessä havaittiin, että kirjallisuuslähteitä on käytetty monissa vastaavissa töissä jo niin paljon, että tässä työssä päätettiin hakea uusia näkökulmia Internet-lähteiden avulla. Lisäksi aiheeseen liittyvä suomenkielinen kirjallisuus oli vuosikymmeniä sitten julkaistua. Työtä tehdessä ongelmaksi muodostuikin lähdetiedon valtava määrä ja asioiden laajuus. Koska tietoa oli valtavasti saatavilla, ei työn ongelmana ollut tekstin tuottaminen, vaan enemmänkin sen rajaaminen kohtuulliseksi. Tämän takia työssä ei voida keskittyä kuin järjestelmän perusasioihin, ja esimerkiksi sähköelektroniikkaan ja pneumatiikkaan liittyvien laitteiden ja komponenttien käsittely on jätetty vähemmälle. Toisaalta työn perusajatusta pohdittaessa näiden esimerkkiasioden käsitteleminen on turhaa. Tavoitteena oli sisällyttää työhön asioita selkeyttäviä kuvia, varsinkin selkeyttämään laitteiden toimintaperiaatteita.

2 ILMAN OMINAISUUDET

Ilma koostuu erilaisista kaasuista. Suurin osa ilmasta, noin 78 %, on typpeä, 21 % happea ja loppu 1 % koostuu useasta eri kaasusta, kuten hiilidioksidista. Paineen kasvaessa ilman tiheys suurenee, mutta lämpötilan kasvaessa ilman tiheys pienenee. Tämä ominaisuus paineilmajärjestelmässä näkyy siinä, että ilmaa kokoon puristettaessa paine, tiheys ja lämpötila kasvavat. Paineilman jäähtyessä paine laskee. (Ilmakehän kemiallinen koostumus.) (The Engineering Toolbox 2011.)



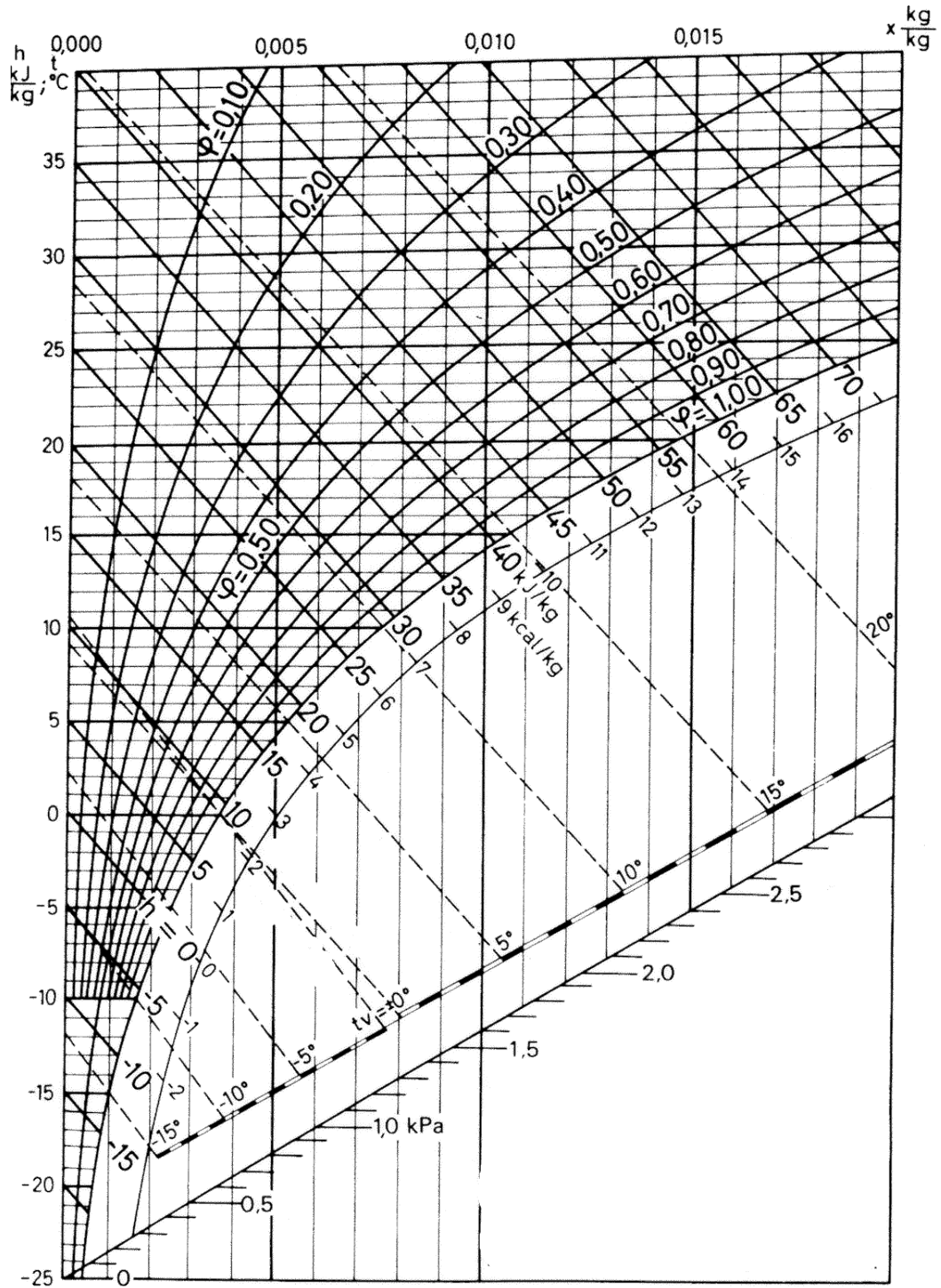
Kuva 1. Ilman lämpötilan ja paineen vaikutus tiheyteen (The Engineering Toolbox 2011).

Kuvasta 1 nähdään, että ilmanpaineen kasvaessa myös ilman tiheys kasvaa. Lämpötilan noustessa tiheys vastaavasti pienenee. Kun ilma on puristettu rajattuun tilaan eli paineilmasäiliöön ja ilma jäähtyy, sen paine laskee, koska tiheys pysyy vakiona. Tiheys pysyy vakiona, koska rajatussa tilassa ilman massa ja tilavuus eivät muutu. Esimerkiksi, jos ilmanpaine on 10 bar ja lämpötila noin 210 astetta, ilma jäähtyy ja kuvaajassa siirrytään suoraan vasemmalle. Kun ilma on jäähtynyt 125 asteiseksi, on paine noin 8,3 bar.

2.1 Kastepiste

Kastepiste on tärkeä käsite suunniteltaessa paineilmajärjestelmää. Kun ilma saavuttaa kastepisteen, sen suhteellinen kosteus on tällöin 100 %, eli ilmasta haihtuu yhtä paljon vesihöyryä kuin siihen tiivistyy. Mitä korkeampi on ilman lämpötila, sitä enemmän ilma sitoo vettä. Vastaavasti, jos ilman lämpötila laskee, ilman kyky sitoa vettä pienenee ja suhteellinen kosteus kasvaa. Kun ilma saavuttaa kastepisteen eli 100 % suhteellisen kosteuden ja ilman lämpötila laskee edelleen, siitä alkaa tiivistyä vettä, koska ilma ei kykene enää sitomaan kaikkea vettä itseensä. (Ilmatieteen laitos 2011.)

Tämä tapahtuu esimerkiksi paineilmajärjestelmässä, kun kompressorissa puristettu ilma lämpenee ja lämmennyt ilma sitoo itseensä hyvin kosteutta. Paljon vesihöyryä sisältävä ilma jäähtyy paineilmasäiliössä, ja tällöin kyseinen vesimäärä ei pysty enää sitoutumaan jäähtyneeseen ilmaan ja vesi erottuu ilmasta. Kastepiste on otettava huomioon, kun tarvitaan paineilmaa kylmissä olosuhteissa, kuten laivan kannella talvisin. Tällöin paineilmaasta täytyy erottaa vettä pois niin paljon, että paineilma ei saavuta kastepistettä, vaikka ulkolämpötila laskisi. Kastepisteen saavuttaessaan lauhtuva vesi jäätyy toimilaitteisiin ja aiheuttaa häiriöitä laitteiden toiminnassa.

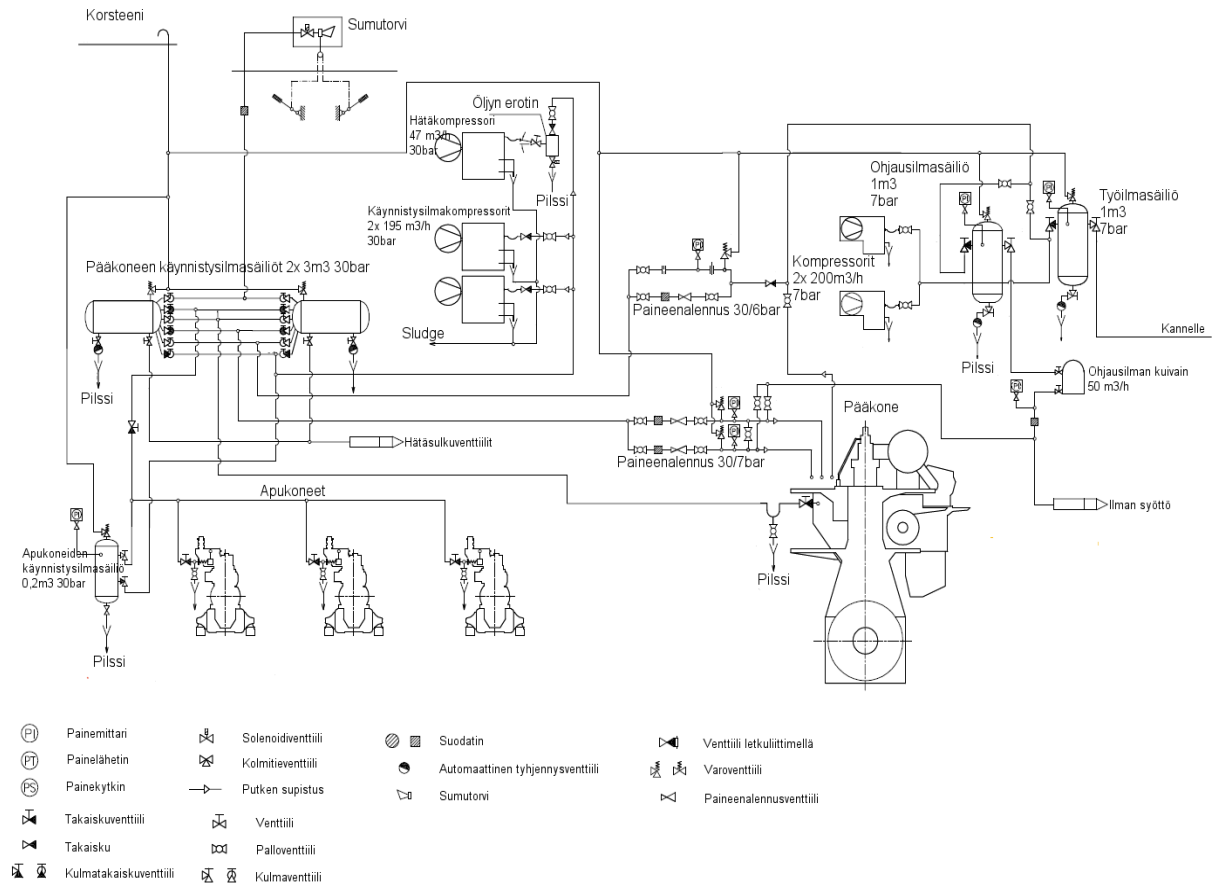


Kuva 2. Mollier-diagrammi (The Engineering Toolbox, Mollier Diagram).

Kuvasta 2 voidaan havaita, kuinka paljon ilman täytyy jäähtyä, jotta se saavuttaa 100 %:n kosteuden. Esimerkiksi, jos ilman lämpötila on 32 astetta ja suhteellinen kosteus 30 % ja ilma jäähtyy 13-asteiseksi, saavuttaa se kastepisteen eli 100 %:n kosteuden ja vettä alkaa tiivistyä. Mollier-diagrammia tarkastellessa tulee muistaa, että kastepiste-
lämpötilaan vaikuttaa myös ilmanpaine. (The Engineering Toolbox, Mollier Diagram.)

3 PAINEILMAVERKOSTO

Laivan paineilmaverkosto jakautuu kolmeen osaan. Suuripaineinen käynnistysilma- verkko on lyhyt ja yksinkertainen. Lisäksi on pienempipaineiset piirit, kuten ohjausilma- ja työilmaverkosto. Työilmaverkosto voidaan jakaa vielä konehuoneeseen olevaan järjestelmään ja kannelle menevään työilmajärjestelmään.



Kuva 3. Rahtilaivan paineilmajärjestelmä (M/T Palva 2008).

Kuvassa 3 on esimerkki rahtilaivan paineilmajärjestelmästä pelkistetyssä muodossa. Kaksi käynnistysilmakompressoria tuottaa ilmaa käynnistysilmasäiliöille, joista on haaroitettu erillissäiliö apukoneiden käynnistysilmaa varten. Myös hätäkompressorilla voidaan tuottaa ilmaa käynnistysilmajärjestelmään. Linja isoilta käynnistysilmasäiliöiltä apukoneen ilmasäiliölle on varustettu takaiskuventtiilillä, jolla estetään ilman virtaus pois säiliöstä. Käynnistysilmalinjasta otetaan ilmaa myös sillan sumutorvelle ja paineenalennuksen kautta pääkoneelle. Käynnistysilmasta voidaan paineenalennuksen kautta johtaa ilmaa myös työilmajärjestelmään. Kaksi kompressoria tuottaa ilmaa ohjausilma- ja työilmäsäiliöön. Työilmäsäiliöstä ilma lähtee suoraan käyttöön kannelle ja konehuoneeseen. Ohjausilmasäiliön ilma kulkee kuivaimen kautta käyttöön. Tarvitta-

essa ohjausilma ja työilmajärjestelmät voidaan yhdistää. Paineilmasäiliöiden varoventtiilit on ohjattu puhaltamaan korsteeniin. Jokaisen paineilmasäiliön pohjassa on vesitysventtiilit.

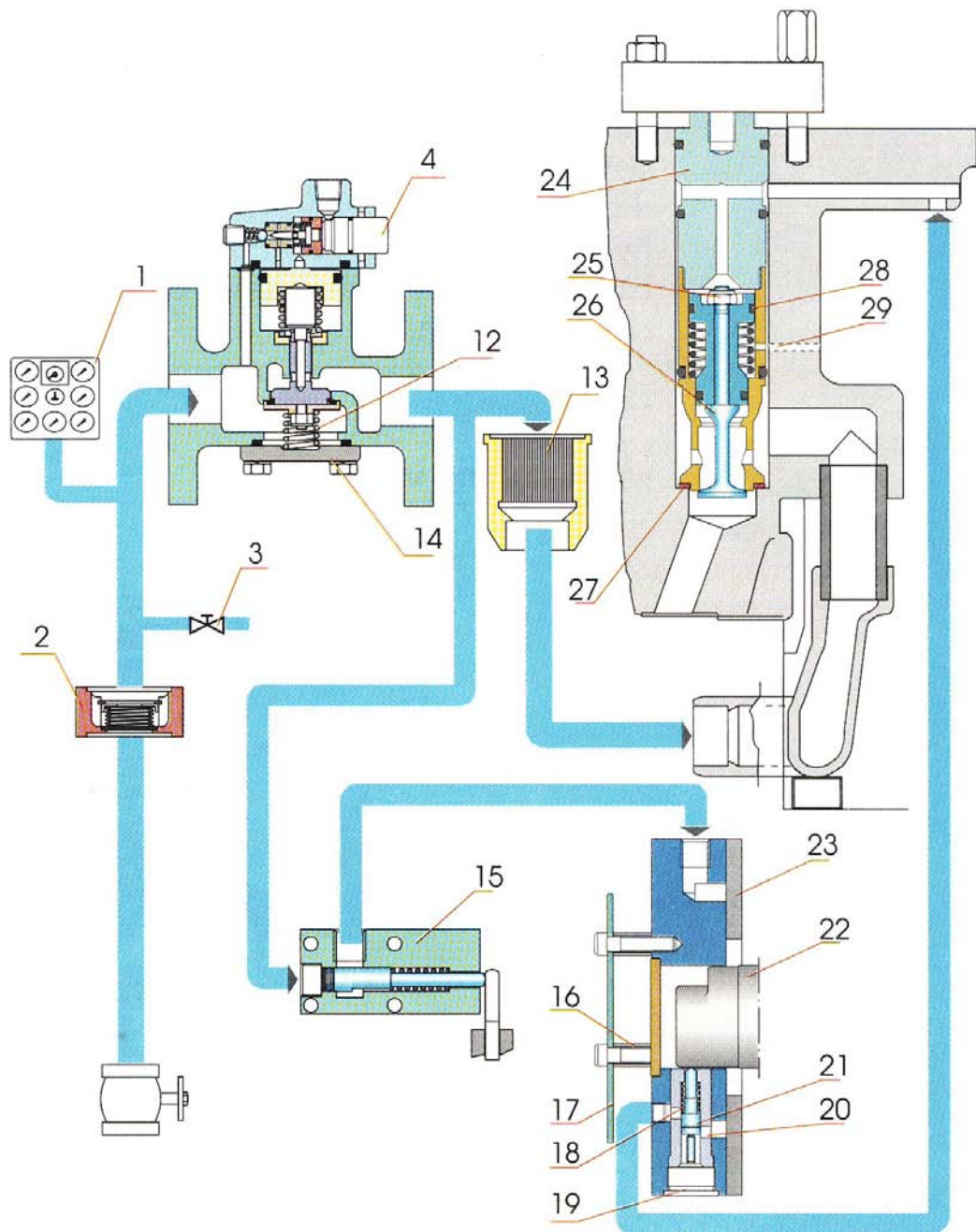
3.1 Käynnistysilma

Käynnistysilma on nimensä mukaisesti paineistettua ilmaa, jolla käynnistetään moottoreita. Se on yleensä suuripaineista eli noin 30 bar suorassa sylinterikäynnistyksessä. Ilmastarttimoottorit käyttävät yleensä samaa paineluokkaa, jolloin selvittää yhdellä käynnistysilmajärjestelmällä. Esimerkiksi pääkone käynnistetään suoralla sylinterikäynnistyksellä ja apukoneet ilmastarttimoottoreilla. Käynnistysilma tuotetaan käynnistysilmakompressoreilla, joita on yleensä kaksi. Hätkäkäyttöä varten on olemassa hätäkäynnistysilmakompressori, joka on riippumaton varsinaisista käynnistysilmakompressoreista. Hätkäkompressorin tuotto on huomattavasti pienempi kuin varsinaisten käynnistysilmakompressorien. (Paineilmajärjestelmät 2011)

3.1.1 Suora sylinterikäynnistys

Suora sylinterikäynnistys on ylivoimaisesti yleisin tapa käynnistää laivamoottoreita. Tätä käynnistystapaa käytetään, kun moottorin teho ylittää 800 kW, mutta myös pienempitehoiset moottorit ovat usein suoralla sylinterikäynnistyksellä.

Suorassa sylinterikäynnistyksessä korkeapaineista ilmaa (20-30 bar) viedään moottorin pääkäynnistysventtiilille. Pääkäynnistysventtiilin avautumista estetään erinäisillä ehdoilla turvallisuuden takia. Venttiili ei avaudu esimerkiksi, jos moottorin paaksaus-kone on kytketty vauhtipyörälle, ilmanpaine on alhainen tai öljysumuilmaisoin on hälyttänyt. Ehtojen täytyttyä pääkäynnistysventtiili avautuu ja ilma virtaa käynnistysilmanjakajalta sylinterikohtaiseen käynnistysilmaventtiilien ohjaukseen. Ilmaa syötetään sylinterille, kun mäntä on yläkuolokohdassaan ja pako- ja imuventtiilit kiinni. Korkeapaineinen ilma virtaa palokammioon ja painaa mäntää alaspäin. (Paineilmajärjestelmät 2011)



Kuva 4. Käynnistysilmajärjestelmä (Wärtsilä manual, 21).

Kuvassa 4 esitetään suora sylinterikäynnistysmenetelmä Wärtsilän koneessa. Käynnistysilmäsäiliöltä ilma virtaa takaiskuventtiilin (2) kautta pääkäynnistysventtiilille. Ennen pääkäynnistysventtiiliä on myös painemittari (1) ja ulospuhallusventtiili (3). Pääkäynnistysventtiili päästää ilman lävitseen, kun painetaan napista (4) manuaalisesti. Venttiiliä voidaan ohjata myös sähköisellä solenoidilla. Pääkäynnistysilmaventtiilin jälkeen ilma jakautuu siten, että osa ilmasta kulkee liekkisuojan (13) lävitse sylinterien omalle käynnistysilmaventtiilille. Osa ilmasta kulkee mekaanisesti lukittuvan sulkuventtiilin (15) läpi. Kyseinen venttiili sulkeutuu automaattisesti, jos moottorin paak-

saus kone on kytketty päälle. Jos paaksi ei ole kytketty, ilma pääsee käynnistysilmanjakajalle, joka päästää ilmaa oikealla hetkellä oikeaan sylinteriin. Jakajan kautta kulkeva ilma ohjaa sylinterissä olevan käynnistysilmaventtiilin avautumista. Kun jakaja päästää ilmaa lävitseen, avaa se kyseisen käynnistysilmaventtiilin. Ilma, joka kulki liekkisuojan lävitse, pääsee tällöin sylinteriin. Jakaja ohjaa siis sylinterinkohtaisen käynnistysilmaventtiilin avautumista, ja varsinainen käynnistysilma kulkee suoraan käynnistysilmaventtiilille.

3.1.2 Ilmastarttimoottorikäynnistys

Ilmastarttimoottorikäynnistyksessä käynnistysilma johdetaan paineilmaikäyttöiselle starttimoottorille. Ilmaa ei tarvitse johtaa ollenkaan sylintereille. Starttimoottoria ohjataan sähköisellä solenoidilla, joka siirtää starttimoottorin hammasrattaan moottorin vauhtipyörän rattaalle, kun käynnistyskäsky annetaan. Ilmastarttimoottorikäynnistystä käytetään pienemmissä moottoreissa ja myös isommissa koneissa silloin, kun koneen sylinteriluku on hankala automaattisen käynnistymisen kannalta. Varsinkin 4-sylinterisen koneen jäädessä hankalaan kuolleeseen kohtaan ei moottori käynnisty. Jotta kone saataisiin käyntiin, täytyy sitä paaksata eli pyörittää käsikäyttöisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että koneen käynnistyminen automaattisesti ei ole varmaa. Jotta luokasäädösten vaatima automaattinen käynnistyminen voidaan taata, kannattaa kone varustaa ilmastarttimoottorikäynnistyksellä, joka ei ole riippuvainen siitä, mihin asentoon kone on pysähtynyt. (Paineilmajärjestelmät 2011)

3.2 Ohjausilmajärjestelmä

Ohjausilma on matalapaineista ilmaa, kuten työilma. Ohjausilmaa käytetään erilaisten venttiilien ohjaamiseen eli itse prosessin ylläpitoon, kuten ristikappalekoneen pakovernttiilin ohjaus. Ohjausilman tulee olla laadultaan puhdasta ja kuivaa, koska käytettävät magneettiventtiilit ovat herkkiä tukkeutumaan. Ohjausilmaa tuotetaan sille tarkoitetuilla kompressoreilla tai käynnistysilmalinjasta, jolloin ilmanpainetta lasketaan paineenalennusventtiilillä. (Paineilmajärjestelmät 2011)

3.2.1 Toimilaitteet

Toimilaitteet ovat ohjausilmalla ohjattavia laitteita. Toimilaitteet säättävät esimerkiksi venttiilin asentoa. Toimilaitteita on paljon erilaisia. Yleisiä toimilaitteita ovat pai-

nesylinterit, jotka voivat olla yksi- tai kaksitoimisia. Yksitoimissa paineilma liikuttaa sylinterin mäntää ja jousivoima tai kuorma palauttaa männän takaisin. Kaksitoimisessa sylinterissä ilmaa voidaan johtaa männän molemmille puolille, jolloin ilmalla voidaan ohjata mäntää molempiin suuntiin. Toimilaite voi olla myös paineilmamoottori, jossa pneumaattinen energia muutetaan pyöriväksi liike-energiaksi. (Mattila, 2010.)

3.3 Työilma

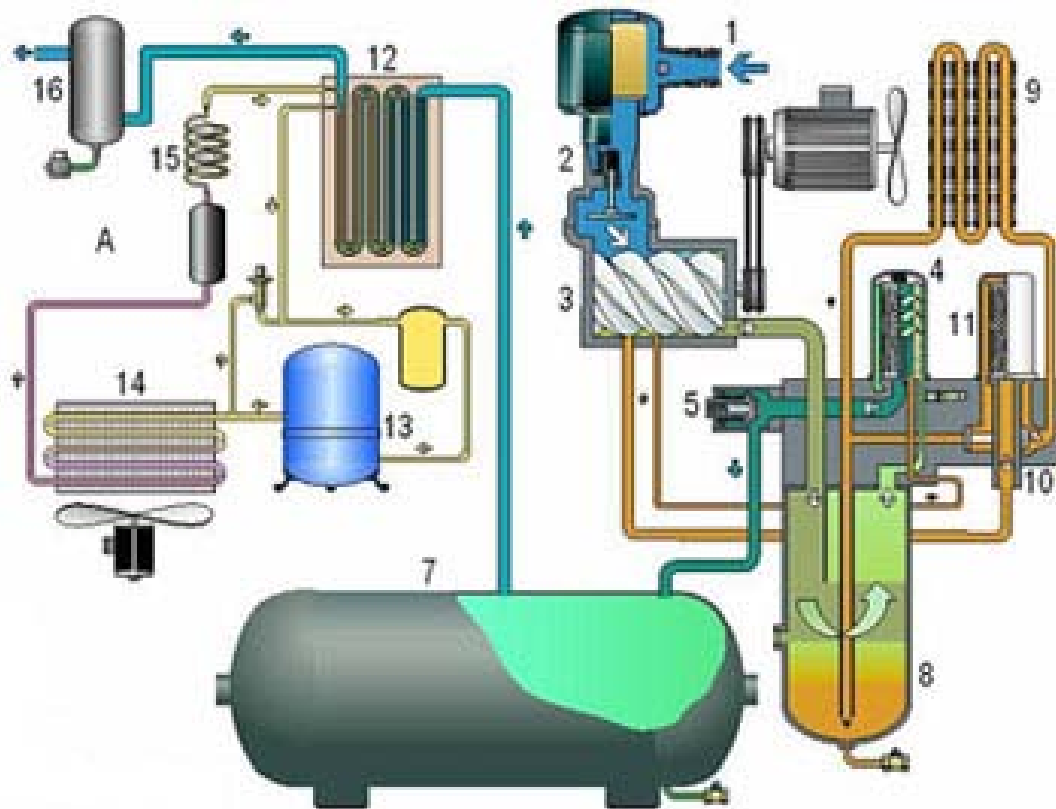
Työilmaa käytetään erilaisten paineilmakäyttöisten työkalujen voimanlähteenä. Konehuoneessa tällaisia työkaluja ovat, esimerkiksi hiomakoneet ja siirrettävät pumput. Kannella ilmaa käytetään esimerkiksi maihinnoususillan ja luotsitikkaiden vinsseissä. Työilman käyttö kannella on yleistä varsinkin tankkilaivoissa, joissa sähkökäyttöisiä työkaluja ei voida turvallisuussyistä käyttää. Työilmaa tuotetaan omilla kompresso-reilla, ja kulutus voi olla suurtakin, jos samaan aikaan käytetään ilmaa useissa eri koh-teissa. (Paineilmajärjestelmät 2011)

3.4 Häviöt

Paineilmajärjestelmän häviöt koostuvat ilmantuotossa tapahtuvista häviöistä, putkisto häviöistä, vuotohäviöistä ja järjestelmän komponenttien aiheuttamista häviöistä. Hyötysuhdetta laskeva ensimmäinen häviö tapahtuu, kun sähköenergiaa muutetaan mekaaniseksi pyöriväksi energiaksi kompressorille. Energian muuttamisessa tapahtuu siis sähköisiä ja mekaanisia häviöitä. Mekaanisia häviöitä aiheuttavat laakerointi ja sähkömoottorin tuuletus. Kompressorin häviöt tulevat puristusvaiheessa, ja ne lisääntyvät laitteen ikääntyessä. Tiiviys kärsii ja ilmaa karkaa puristusvaiheessa pois sylinteristä mäntäkompressoreissa, tai ruuvikompressoreissa ruuviyksikön sisäiset vuodot heikentävät hyötysuhdetta. Pitkä tai liian pienellä halkaisijalla toteutettu putkisto aiheuttaa häviöitä järjestelmässä. Myös erilaiset liitoskohdat ja mutkat lisäävät häviöitä ja aiheuttavat sen, että kompressorin tuottaman paineen pitää olla korkeampi, jolloin hyötysuhde huononee. Järjestelmään sijoitetut komponentit, kuten kuivaimet, suodattimet ja muut ilmankäsittelylaitteet, aiheuttavat häviöitä. (Koponen, 2010, 26-27.)

4 OSAT JA LAITTEET

Paineilmaverkosto koostuu monista eri osista ja laitteista itse putkiston lisäksi. Kaikki paineilmaverkostot tarvitsevat kompressorin ilman tuottamiseen, mutta muut osat valikoituvat sen mukaan, minkälaista ilmaa tarvitaan.

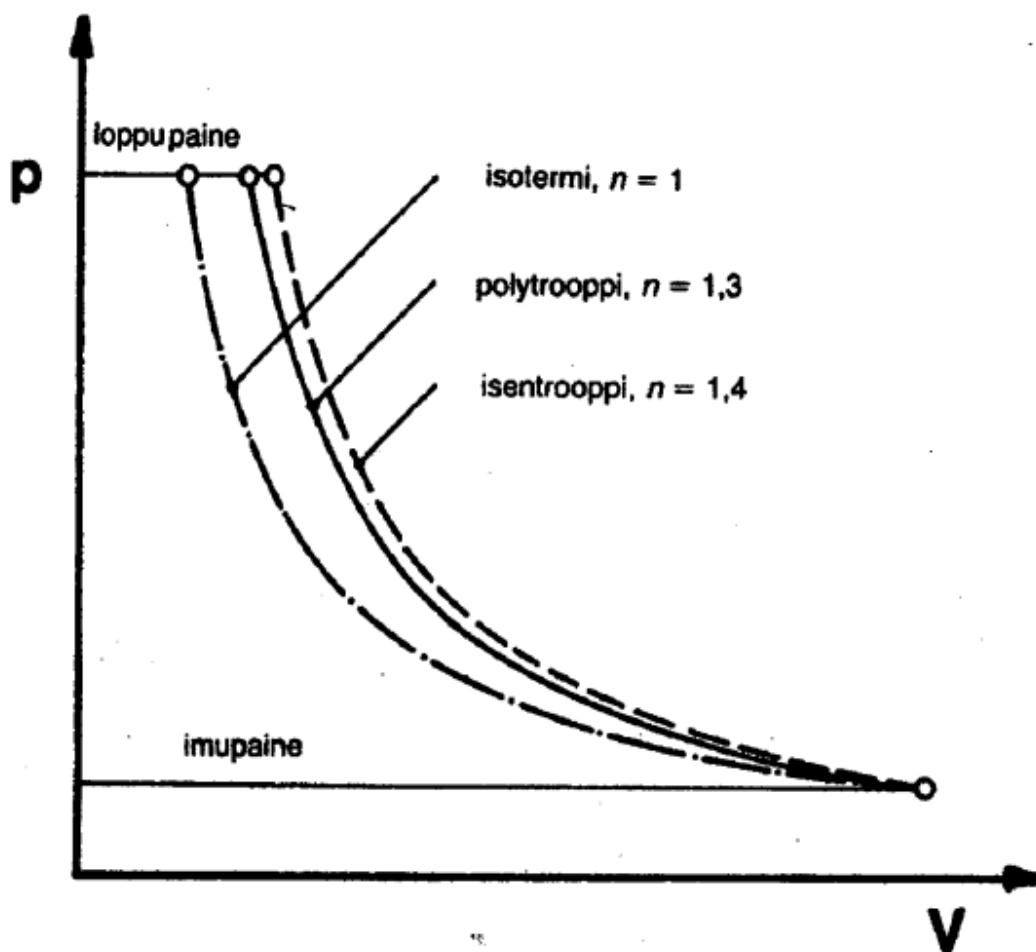


Kuva 5. Paineilmajärjestelmä ruuvikompressorilla (Atlas Copco 2011).

Kuvassa 5 on esimerkki paineilmajärjestelmän kokoonpanosta. Paineilma tuotetaan kompressorilla (3), johon ilma virtaa imu-suodattimen (1) ja imuventtiilin kautta (2). Tässä esimerkissä kompressorina on öljytiivistetty ruuvikompressor. Kompressorilta ilma johdetaan öljysäiliön (8), öljynerottimen (4) ja takaiskuventtiilin (5) kautta ilmasäiliöön (7). Öljysäiliössä ja öljynerottimessa ilmasta erotetaan kompressorilta mukaan tullut öljy. Öljysäiliöön kerääntynyt öljy jäädytetään ilmalla (9) ja suodatetaan (11) ja ohjataan takaisin kompressorille. Paineilmasäiliöstä ilma virtaa jäädyttimen (12) kautta vedenerottimelle (16), jossa ilmasta poistetaan jäädytyksessä tiivistynyt vesi. Tämän jälkeen ilma virtaa kuluttajille. Ilmankulutuksen rajoittavia tekijöitä ovat kompressorin tuotto ja jäädyttimen jäädytyskapasiteetti. Ilmasäiliö tasaa kulutus-huippuja, jos kulutus nousee suuremmaksi kuin kompressorin tuotto. (Atlas Copco 2011.)

4.1 Kompessorit

Kompessoreilla tehdään sähköenergian avulla paineilmaa, eli kompressorin saa voimansa sähkömoottorista. Kompessorin ottaa sisäänsä ilmaa, joka on normaalissa ilmanpaineessa. Tämän jälkeen kompressorin pienentää tilavuutta, eli ilmanpaine kasvaa. Nimeä kompressorin käytetään, kun laite kaksinkertaistaa paineen verrattuna imupaineeseen. Tätä pienempiä paineita kehittävät laitteet ovat puhaltimia tai esimerkiksi moottorin ahdin. Tilavuuden pienentämiseen on monenlaisia eri kompressoreja, kuten mäntä- ja ruuvikompressorit sekä lamellikompressorit. (Air Compressors) (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 6.)



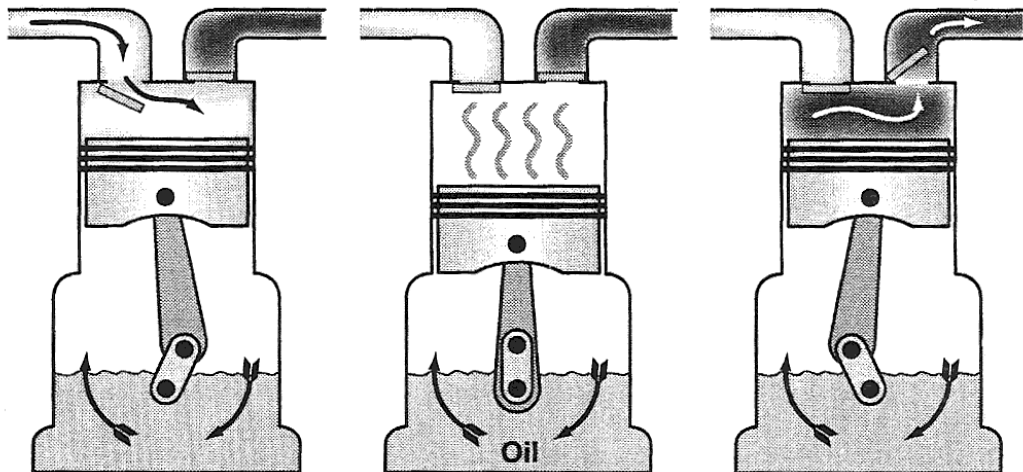
Kuva 6. Kompessorin työkiertoprosessi (Kuukka, 2010, 20).

Kompessorin tekemän ilman puristustyöperiaate voidaan selittää yksinkertaisesti kuvan 6 mukaan. Kun tilavuus pienenee, paine nousee aluksi loivasti ja loppua kohden yhä jyrkemmin. Mitä suurempi on käyrän ja pysty- ja vaaka-akselin väliin jäävä pinta-ala, sitä suuremman työn eli energian puristustyö vaatii. Puristustyö voidaan jakaa kolmeen osaan. Isotermisessä puristuksessa syntyvä lämpö saadaan kokonaan poistet-

tua. Isentrooppisessa puristuksessa syntyvä lämpö jää kokonaan paineilmaan, eli ilmaa ei jäädytetä. Ehkä todellisuutta eniten vastaava puristustyön osa on polytrooppinen puristus, jossa osa puristustyössä syntyvästä lämmöstä saadaan poistettua ja osa jää paineilmaan. Kuten kuvasta huomataan, puristustyöhön tarvittava energia on sitä pienempi, mitä enemmän puristuksessa syntyvää lämpöä saadaan poistettua ilmasta. Käytännössä tämä huomataan siinä, että jos tehty paineilma on kovin kuumaa, huomataan että sen jäähtyessä ilmasäiliössä paine laskee. Jos puristusprosessissa syntyvää lämpöä saadaan pois prosessista, ilmasäiliöön menevä ilma on viileämpää, eikä sen paine laske enää niin paljoa säiliössä. Samalla voidaan todeta, että puristustyön hyötysuhde on parempi, mitä enemmän prosessia voidaan jäädyttää. (Kuukka, 2010, 19-21.)

4.1.1 Mäntäkompressor

Mäntäkompressoreja käytetään, kun tarvitaan suuria paineita ja pieniä tilavuusvirtoja, esimerkiksi moottorin käynnistysilma. Varsinkin suuripaineisissa mäntäkompresso-reissa paine tehdään useammassa vaiheessa. Mäntäkompressorin hukkaa aina hiukan paineilmaa, koska puristusvaiheessa männän ja venttiilien välille jää aina rako eli jäännöstilavuus. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 6-7.)



Kuva 7. Mäntäkompressorin työvaiheet (Johnson, 2008).

Imutahdilla imuventtiili avautuu ja ilma virtaa sylinteriin, koska männän mennessä alaspäin tilavuus kasvaa ja sylinteriin syntyy alipaine. Puristustahdin alussa imuventtiili sulkeutuu sylinterissä kasvavan paineen vaikutuksesta. Mäntä nousee ylöspäin ja ilmanpaine kasvaa sylinterissä, kunnes paine voittaa poistoventtiilin jälkeisen paineen

ja venttiili avautuu ja ilma virtaa ilmasäiliöön tai useampivaiheisessa kompressorissa seuraavaan sylinteriin. (Johnson, 2008.)



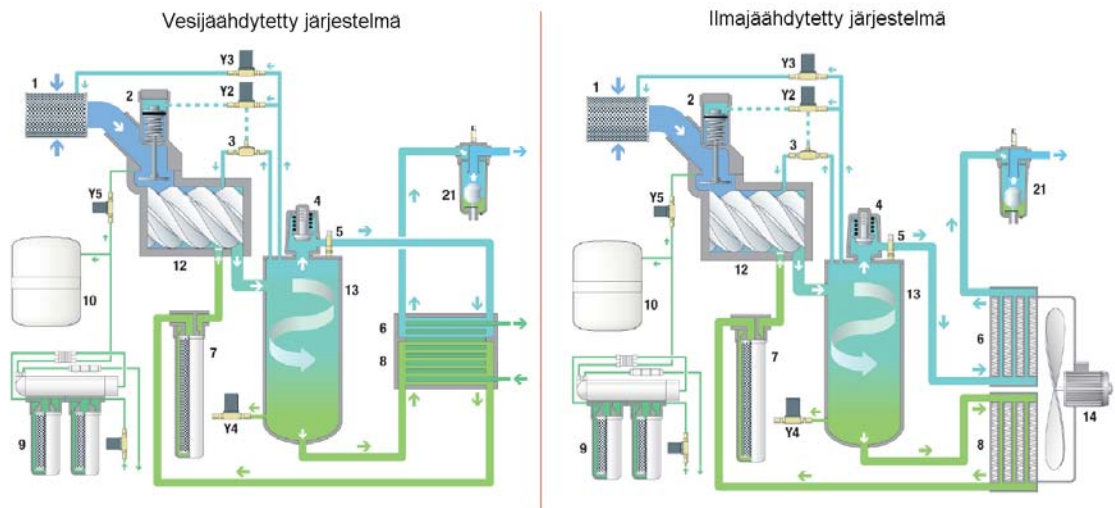
Kuva 8. Käynnistysilmakompressori (Hatlapa 2010).

Kuvassa 8 on 2-vaiheinen käynnistysilmakompressori. Kompressorissa on asetettu sylinterit v-asentoon ja ne ovat toisiinsa nähden 90 asteen kulmassa. Molemmat saavat käyttövoimansa samalta akselilta, jota pyörittää oikosulkumoottori. (Hatlapa 2010.)

4.1.2 Ruuvikompressori

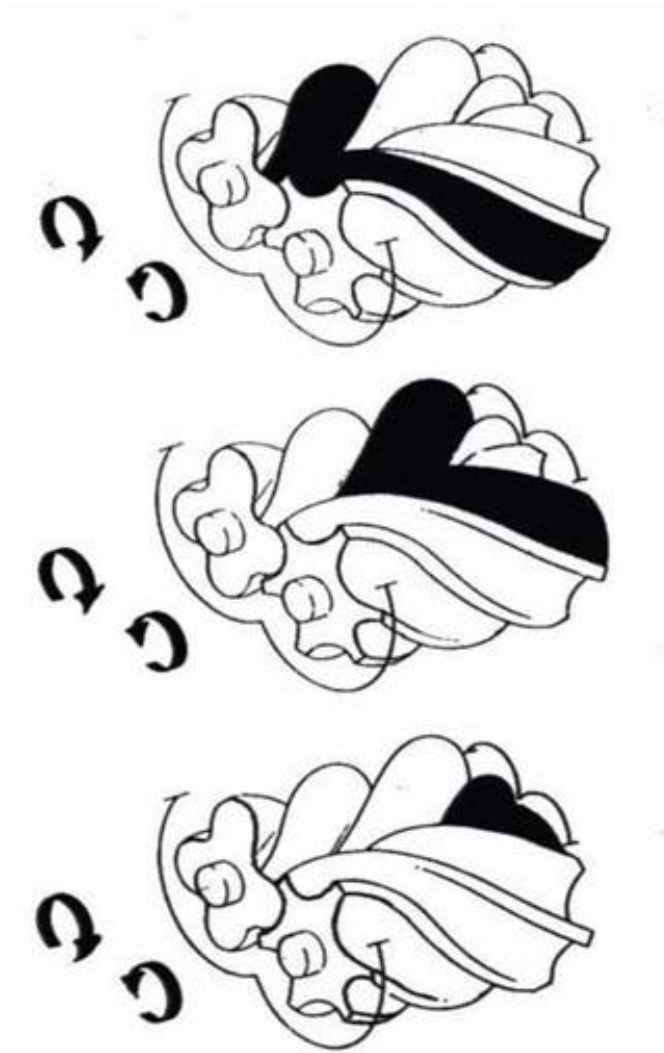
Ruuvikompressorit soveltuvat parhaiten työilman tekoon, koska niiden tekemä ilmanpaine on pienempi kuin mäntäkompressoreissa, mutta tuotto on suuri. Suuri tuotto on eduksi varsinkin silloin, kun työilman kulutus on suurta paineilmatyökaluja käytettäessä. Suurituottoinen ruuvikompressori yhdistettynä suureen paineilmasäiliöön varmistaa riittävän ilman tuoton kaikissa tilanteissa. Ruuvikompressorit voivat olla öljyttömiä tai öljytiivistettyjä. Öljyttömissä kompressoreissa voiteluaineena voidaan käyttää esimerkiksi vettä tai pienemmissä kompressoreissa voitelua ei käytetä lainkaan. Järjestelmän etu on, että erillistä öljynerotinjärjestelmää kompressorin jälkeen ei tarvita ja tuotettu paineilma on puhdasta. Vesivoideltu kompressori tosin vaatii vedenerotusjärjestelmän, mutta sen aiheuttamat painehäviöt ja energian menetykset ovat pie-

nemmät kuin öljyvoidellussa järjestelmässä. Öljyvoidelluissa kompressoreissa öljytillavuus on suhteellisen suuri, koska öljyllä myös jähdytetään kompressoria. Koska ruuveissa kiertävä öljy kulkeutuu paineilman mukaan, pitää järjestelmässä olla öljynerotusjärjestelmä kompressorin jälkeen. Ilmasta erotettu öljy pitää myös jähdyttää ennen sen menemistä takaisin kompressoriin. Öljyä voidaan jähdyttää joko ilmalla tai vedellä. Öljyn jähdytysmenetelmä ratkaiseekin sen, kutsutaanko kompressoria vesi- vai ilmajähdytteiseksi. (Kuntonen, 2008, 15-16.) (Sarlin 2011a.)



Kuva 9. Vesi- ja ilmajähdytetyn järjestelmän vertailu (Sarlin 2011a).

Kuvassa 9 on esitetty vasemmalla vesijähdytetty järjestelmä ja oikealla ilmajähdytetty järjestelmä. Molemmissa järjestelmissä voiteluaineena on vesi. Jos järjestelmän voiteluaine olisi öljy, vedenerottimen (13) tilalla olisi öljynerotinlaitteisto. Molempien järjestelmien alkutoimintaperiaate on samanlainen, eli ilma virtaa imusuodattimen (1) lävitse imuventtiilille (2) ja kompressorille (12). Paineistettu ilma virtaa vedenerottimelle, jossa ilmasta erotetaan kompressorilta mukaan tullut vesi. Erottimen yläosa on varustettu takaiskuventtiilillä (4) ja varoventtiilillä (5). Vedenerotuksen jälkeen ilmaa jähdytetään jähdyttimellä (6). Jähdytyksen ansiosta ilmasta tiivistynyt vesi poistetaan lauhteenpoistimella (21). Vedenerottimella irronnut vesi jähdytetään ja suodataan (7) ennen sen takaisin kiertoa kompressoriin. Tarvittaessa järjestelmään voidaan lisätä vettä varastosäiliöstä (10), johon vettä puhdistetaan puhdistuslaitteistolla (9). Vasemman- ja oikeanpuoleisen järjestelmän suurin ero on jähdyttimessä (6). Vasemman puoleisessa järjestelmässä jähdyttävänä aineena on jähdyttimessä kiertävä jähdytysvesi. Oikean puoleisessa järjestelmässä jähdytys tehdään puhaltimella (14). (Sarlin 2011a.)



Kuva 10. Ruuvikompressorin toimintaperiaate. (Screw compressor action)

Ilma virtaa tuloaukon kautta kahden ruuvin väliseen kammioon. Ruuvien pyöriessä kammion tilavuus pienenee ja ilmanpaine kasvaa, kuten kuvassa 10 esitetään ylhäältä alaspäin. Lopulta puristunut ilma poistuu menoaukon kautta verkostoon. Imu- ja poistoventtiilejä ei ole, vaan tarvitaan ainoastaan takaiskuventtiili kompressorin jälkeen estämään ilman kulku takaisin kompressoriiin. Ruuvikompressorin puristuksen etu on, että se ei jätä jäännöstilavuutta, kuten mäntäkompressorii. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 7.)

4.1.3 Lamellikompressorii

Lamellikompressorit soveltuvat alhaisille paineille ja pienille tuotoille. Niiden etuna on hiljainen käyntiääni. Laivoissa tämä kompressorityyppi on harvinainen. Lamellikompressorii on staattinen kompressorii. Se rakentuu pyöreästä pesästä, jossa pyörii epäkeskeisesti laakeroidut siivet. Kun siivet pyörivät niiden muodostamat tilat pie-

nenevät imuaukolta poistoaukolle mentäessä, jolloin ilmanpaine kasvaa näissä tiloissa. (Kasurinen, 2010, 5.)

4.1.4 Useampivaiheinen puristus

Kun tarvitaan suuria paineita ja puristussuhde eli imupaineen ja poistopaineen ero kasvaa suureksi, on järkevää jakaa puristus useampaan vaiheeseen. Esimerkiksi käynnistysilmakompressoreissa käytetään kaksivaiheista puristusta. Ensiksi suuremmassa sylinterissä puristetaan ilmaa, joka poistovenyttiin ja välijäähdytyksen kautta johdetaan pienempään sylinteriin, jossa sen ilmanpainetta kasvatetaan edelleen. Energiatodokkuuden kannalta on järkevää valita molempien sylintereiden puristussuhde samaksi. Kun painesuhteet ovat samat, on tehdyn työn määrä myös sama molemmissa sylintereissä. Jos tarvitaan 30 bar käynnistysilmaa, nostetaan paine ensimmäisessä vaiheessa 5-6 baariin, eli painesuhde on noin 5-6:1, ja jälkimmäisessä vaiheessa 30 baariin eli 30:5-6-painesuhteeseen. Tällöin molempien vaiheiden puristussuhteet ovat likimain samat. (Kuukka, 2010, 20-21.)

4.1.5 Sijoitus konehuoneessa

Ilmakompressorit pitäisi sijoittaa konehuoneeseen niin, että kompressorit imee mahdollisimman puhdasta ja viileää ilmaa. Kompressorien läheisyydessä olisi hyvä olla konehuoneen ilman sisääntuloventtiili, joka puhaltaa suodatinkankaan lävitse ilmaa kompressoreille. Tällöin varmistutaan myös kompressoreita käyttävien sähkömoottorien jäähdytyksestä. Mitä viileämpää ilmaa kompressorit saavat, sitä parempi on niiden puristushyötysuhde. Käynnistysilmalinjojen yksinkertaistamiseksi käynnistysilmakompressorit kannattaa sijoittaa pääkoneiden läheisyyteen, jolloin selvittää lyhyillä putkivedoilla. Työilmakompressorit kannattaa sijoittaa keskeiseen paikkaan konehuoneen yläosassa, jolloin putkistovedot kannelle ja konehuoneessa ovat mahdollisimman lyhyet. Tällä tavoin estetään turhat paine-erot järjestelmässä.

4.2 Sääto ja ohjaus

Kompressorien käyttöä ja käynnistymistä ohjataan eri tavoin. Lähinnä säätoavan ratkaisee ilmasäiliöiden tilavuus ja ilmantarve. Käynnistysilmakompressoreissa, jotka tuottavat ilmaa satunnaisesti käynnistysten jälkeen, selviydytään yksinkertaisella ohjauksella, jossa painekytin katkaisee kompressorin käytön. Työilma- ja ohjausilma-

linjoissa, joissa ilmantarve on jatkuvaa, voidaan kompressorin ohjaus toteuttaa järjestelmillä, jotka mahdollistavat kompressorien vähäiset käynnistys- ja sammutuskerrat.

4.2.1 Painekeytkin

Painekeytkimen tehtävänä on ohjata kompressoria pyörittävän sähkömoottorin käynnistymistä ja sammuttamista. Painekeytkin sammuttaa sähkömoottorin, kun painekeytkimeen asetettu arvo on saavutettu eli ilmanpaine on ylärajassaan. Kun paine laskee säädettyyn alarajaan, painekeytkin käynnistää sähkömoottorin ja paineilman tuotanto alkaa.

4.2.2 Sähkömoottori

Sähkömoottorin tehtävänä on pyörittää kompressoria. Sähkömoottori voi olla 1- tai 3-vaiheinen riippuen kompressorin tehosta. Moottori voi olla suoraan kytketty kompressoriin, jolloin sähkömoottori ja kompressori sijaitsevat samalla akselilla. Toinen vaihtoehto on kytkeä moottori hihnavälityksen avulla kompressoriin, jolloin moottori ja kompressori voivat olla rinnakkain. Hihnavälityksellä voidaan myös muuttaa moottorin ja kompressorin välistä pyörimisnopeuden välityssuhdetta.

4.2.3 Pysäytyskäyttö

Pysäytyskäyttö on yleisin tapa ohjata paineilmakompressoreja. Pysäytyskäytössä kompressori pysähtyy, kun määritetty verkostopaine saavutetaan. Kompressori käynnistyy uudelleen, kun verkostopaine on laskenut asetettuun ala-arvoon. Järjestelmä on energiatehokkuuden kannalta hyvä, koska kompressori ei käy kuin silloin, kun ilmaa tarvitaan. Toisaalta, jos kulutus on suurta, aiheuttaa järjestelmä kompressorille jatkuvia pysäytys- ja käynnistyskertoja, jotka kuluttavat kompressoria ja lyhentävät sen käyttöikää. Pysäytyskäyttöä tulisikin käyttää silloin, kun käytössä on riittävän suuret ilmasäiliöt, jolloin mahdollistetaan kompressorin pidemmät pysähdysajat. (Tamrotor. Tietoja paineilmajärjestelmän suunnittelijalle, 4.)

4.2.4 Kuristussäätö

Kuristussäätö mahdollistaa paineilmatuoton säädön ilman, että kompressoria tarvitsee välillä pysäyttää. Kuristussäädössä säädetään kompressorin imuventtiiliä ja sen myötä sylinteriin pääsevää ilmamäärää. Jos paine verkostossa on riittävä, kuristetaan imuventtiiliä, jolloin kompressori saa vähemmän ilmaa. Tuottotarpeen lisääntyessä imuventtiili avautuu ja päästää ilman virtaamaan sylinteriin. Yleensä erilaiset kuristussäädöt eivät ole energiatehokkuuden kannalta hyviä vaihtoehtoja, mutta jos ilman kulutus lähentelee kompressorin maksimituottoa, on vaihtoehto järkevä. Järjestelmä säästää kompressoria, koska jatkuvia käynnistys- ja pysäytyskertoja ei ole. (Tamrotor. Tietoja paineilmajärjestelmän suunnittelijalle, 4.)

4.2.5 Taajuusmuuttajasäätö

Taajuusmuuttajasäädöllä varustettu ilmakompressori mahdollistaa ilmantuoton säätämisen kulutuksen mukaan. Taajuusmuuttaja säätää sähkömoottorille menevää sähkön taajuutta ja jännitettä. Taajuusmuuttajaa säätävä ohjausyksikkö saa tiedon verkoston ilmanpaineesta ja säätää sen mukaan moottorin pyörimisnopeutta. Jos paineilmaverkoston paine on asetettua arvoa alempi, taajuusmuuttaja lisää moottorin pyörimisnopeutta ja kompressorin ilman tuottoa. Kun asetettu verkoston paine saavutetaan, moottorin pyörimisnopeus hidastuu. Jos kulutusta ei tapahdu ja ilmanpaine nousee sallittuun arvoon, moottori pysähtyy ja ilmantuotanto loppuu. (Tamrotor. Tietoja paineilmajärjestelmän suunnittelijalle, 4.)

4.2.6 Useamman kompressorin yhteiskäyttö

Kaksi kompressoria voi olla rinnankytketty siten, että verkostopaineen laskiessa käynnistyy ensin ykköskompressori ja tämän jälkeen tarvittaessa toinen kompressori. Esimerkiksi käynnistysilmanpaineen laskiessa säädettyyn arvoon kompressori käynnistyy. Jos ilmantuotto yhdellä kompressorilla ei riitä ja paine laskee edelleen, käynnistyy myös toinen kompressori. Tarvittaessa järjestelmää voidaan ohjata niin, että molemmat kompressorit saadaan käyntiin manuaalisesti, vaikka paine ei olisi vielä laskenut säädettyihin arvoihin. Näin voidaan tehdä silloin, kun tiedetään ilmankulutuksen olevan suurta. Kahden kompressorin käyttöetuja ovat myös toimintavarmuus ja kompressorien riippumattomuus toisistaan, koska järjestelmä on kahdennettu, kuten luokituslaitokset määräävät.

4.3 Paineilmasäiliöt

Paineilmasäiliön päätarkoitus on varastoida paineilmaa. Sen tärkeys korostuu, kun ilman kulutus on vaihtelevaa. Paineilmasäiliö tasaa kulutushuippuja ja tekee myös kompressorin käytön joustavaksi. Paineilmasäiliö toimii myös vedenerottimena ja on monesti ensimmäinen vedenerotin kompressorin jälkeen. Kompressorilta tuleva kuuma paineilma jäähtyy paineilmasäiliössä, ja tässä vaiheessa ilmasta kondensoituu paljon kosteutta vedeksi säiliön pohjalle. Säiliön säännölliset vesitykset ovat tärkeitä, vaikka järjestelmä sisältäisi säiliön jälkeen ilmankuivaimen. Säiliöiden vesityksiä tulisi tehdä ainakin kerran vuorokaudessa. Vesitykset poistavat suuren osan vedestä, jolloin ilmankuivain voi keskittyä lopun kosteuden poistoon. (Mattila, 2010.)

Käynnistysilmasäiliön kapasiteetti riippuu moottorien määrästä ja niiden koosta. Luokituslaitokset määräävät käynnistyskerrat eli kuinka monta kertaa moottori pitää saada käyntiin varastoidulla ilmakapasiteetilla. Ohjaus- ja työilmalinjoissa ilmakapasiteetti pitää arvioida. Yleensä kannattaa valita riittävän suuret paineilmasäiliöt, jotta kompressorit eivät kävisi jatkuvasti. Pitää muistaa, että myös paineilmaputkisto toimii paineilmasäiliönä ja mitoittaessa molempien yhteistilavuus tulee ottaa huomioon. (Mattila, 2010.)

4.4 Putkisto

Putkiston tarkoitus on kuljettaa paineilma kompressoreilta ilmasäiliöön ja säiliöiltä kuluttajille. Lisäksi putkistoon liitetään erilaisia suodattimia ja vedenerottimia. Laivo-olosuhteissa putkistolta vaaditaan hyvää värinänkestoa, ja tämän vuoksi sen tulee olla joustavasti kiinnitetty rakenteisiin, jotta putken murtumisilta vältyttäisiin.

4.4.1 Painehäviöt

Putkiston painehäviöihin vaikuttavat suuresti putkiston mitat, kertavastukset ja vuodot. Putkiston mitoitus vaikuttaa paljon painehäviöiden suuruuteen. Yleensä suuremmissa runkoputkissa käytetään suurempia putkia painehäviöiden minimoimiseksi. Jakeluputkistoissa, joissa kulutusta ei välttämättä ole välillä ollenkaan tai se on pientä, selvittää pienemmällä putkikoolla, koska häviöiden osuus kokonaisuudesta on näissä pientä. Kertavastuksia ovat erilaiset putkien haarat ja liitokset sekä mutkat. Putkiston supistuminen runkoputkesta jakeluputkeen aiheuttaa vastusta, kuten myös vent-

tiilit ja suodattimet. Pienempiä vastuksen aiheuttajia on putken pinnankarheus, jonka vaikutus on olematonta lyhyissä paineilmaputkistoissa. Suuriakin painehäviöitä voi aiheuttaa putkistossa olevat vuodot. Vuotoja voi olla hitsiliitoksissa ja muissakin putkiliitoksissa. Vuotojen aiheuttamasta painehäviöstä pitäisi päästä mahdollisimman nopeasti eroon, koska vuodot aiheuttavat merkittävää lisäkäyntiä kompressoreille. Painehäviöt tulee ottaa huomioon paineilmaverkostoa suunniteltaessa. Jos esimerkiksi tarvitaan viimeiseenkin paineilmaliihtimeen, joka sijaitsee pitkän jakeluputkiston päässä, riittävä paine, pitää lähtevä paine ilmasäiliöltä mitoittaa riittävän suureksi. (Tamrotor. Tietoja paineilmajärjestelmän suunnittelijalle, 8.)

4.4.2 Korroosio

Korroosio eli ruostuminen on ongelma myös paineilmaputkistoissa. Korroosio aiheuttaa paineilmaan epäpuhtauksia, jotka ajan myötä tukkivat suodattimet tai aiheuttavat pahimmillaan paineilmalaitteiden toimintahäiriöitä. Konehuoneen tärinä yhdistettynä korroosiosta kärsiviin putkiin voi aiheuttaa putken puhki syöpymisiä liitos- ja epäjatkuvuuskohdissa. Korroosiota voidaan ehkäistä kuivaamalla paineilmaa eli poistamalla putkistosta kosteutta. Yksinkertaisimmillaan vesi voidaan poistaa vesittämällä säännöllisesti paineilmalinjoja tai sitten putkisto varustetaan ilmakeivaimilla. Ongelmaksi aiheutuukin yleensä putki kompressorilta paineilmasäiliölle, jota ei voida varustaa keivaimella. Tähän putkeen voi kertyä paljonkin kosteutta, jos kompressorille tulee pitkiä käyntikatkoksia ja putki pääsee jäähtymään, jolloin kosteus tiivistyy vedeksi. Paras keino ehkäistä korroosiota on valita putkimateriaaliksi ruostumaton teräs ainakin kompressorin ja ilmasäiliön välille. Muualla selvittää tavallisella rautaputkella.

4.4.3 Mitoitus

Paineilmaputkiston oikea mitoitus on tärkeää, jotta vältetään liian suurilta painehäviöiltä, koska ne ovat turhia energiahäviöitä. Mitä suurempi on paine ja ilmantarve, sitä suurempi pitää olla myös putken halkaisija. Käynnistysilmaputkiston mitoitus on helppoa, koska tiedetään jokaiseen käynnistykseen kuluvat ilmamäärät ja paineet. Ohjaisilma- ja työilmalinjojen mitoittaminen on vaikeampaa, koska ilmantarve voi vaihdella paljon. Putkistokustannusten osuus laivan paineilmajärjestelmän kokonaiskustannuksista on pieni. Tämän takia varsinkin lyhyissä putkivedoissa on varmempaa valita riittävän suuri putki. Putkisto toimii myös kulutushuippujen tasaajana samalla pe-

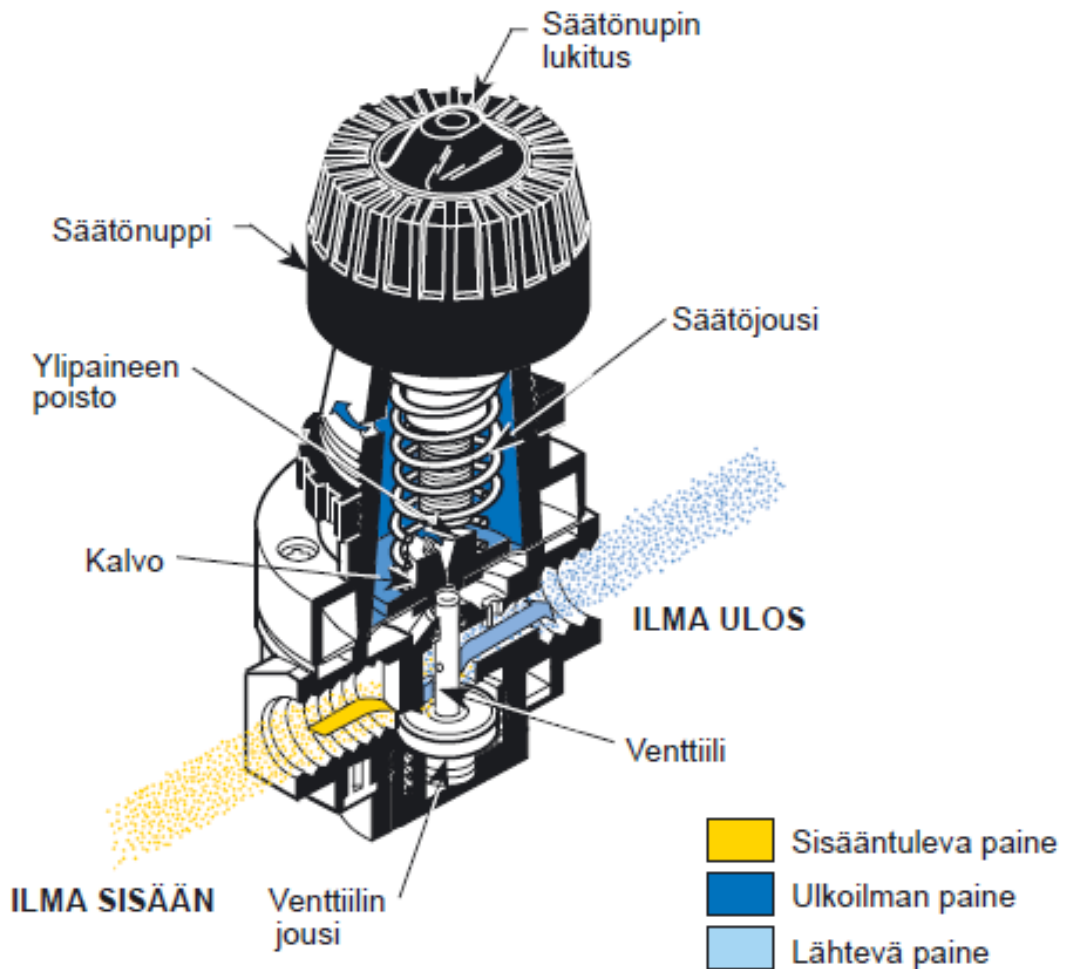
riaatteella kuin paineilmasäiliö. Standardoitujen pikaliittimien vuoksi kannattaa työilmalinjojen ulosotot rakentaa samankokoisiksi kaikkialla. (Mattila, 2010.)

4.5 Venttiilit

Venttiileillä säädellään paineilmajärjestelmässä kulkevan ilman painetta ja virtausta. Lisäksi varoventtiilit suojaavat rakenteita ylipaineelta säiliöissä ja putkissa. Tärkeä venttiili tavallisen sulkuventtiilien lisäksi on paineensäätöventtiili, jolla alennetaan putkistossa olevaa painetta kuluttajalle sopivaksi. Venttiilejä valittaessa pitää muistaa ottaa huomioon virtausmäärät ja painetasot.

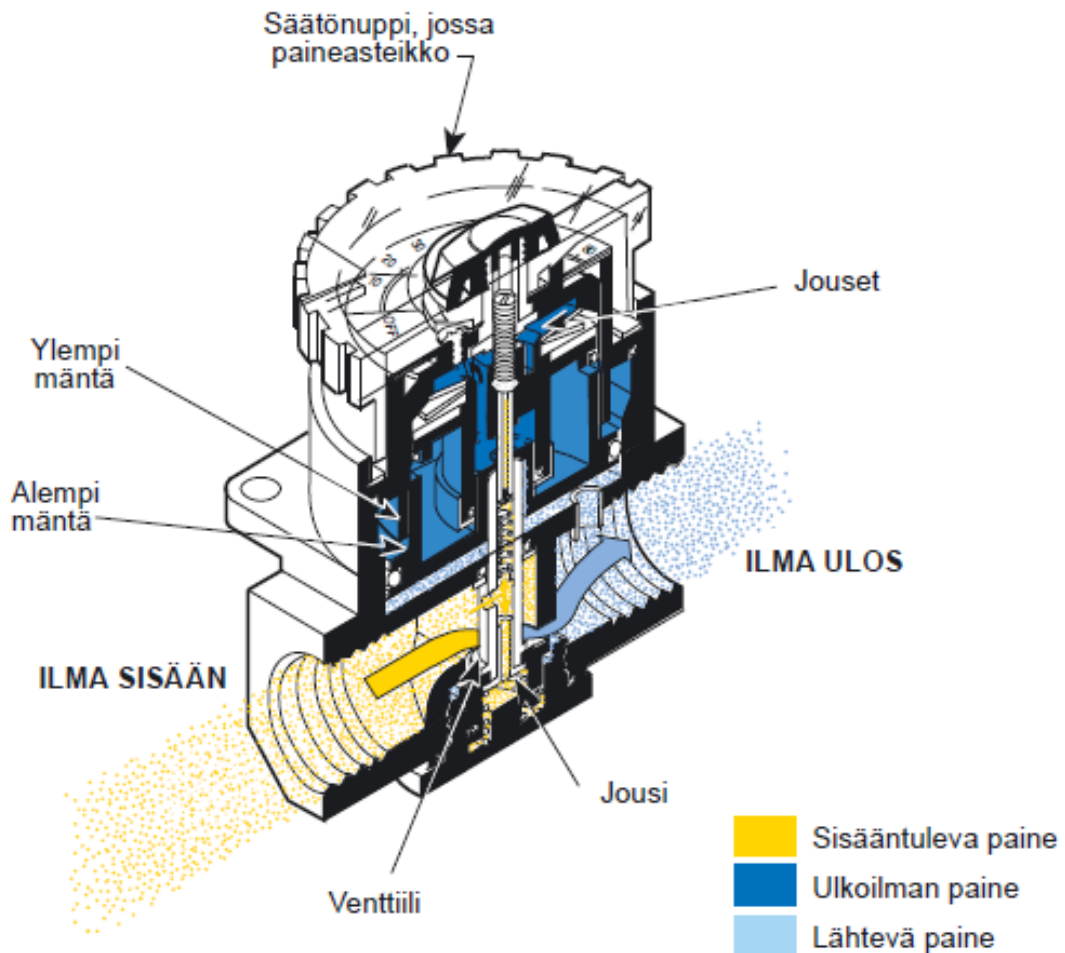
4.5.1 Paineensäätö

Paineensäätöä tarvitaan, kun verkostossa oleva paine on liian suuri käyttökohteeseen. Paineenalennus tehdään paineensäätimellä, joka asennetaan putkiston siihen kohtaan, jossa halutaan paineen laskevan säädettyyn arvoon. Paineensäätimet voivat olla manuaalisesti paikalta tai kauko-ohjauksen välityksellä säädettäviä. Paineensäätimen lisäksi tarvitaan painemittari, jotta tiedetään verkostossa oleva paine. Paineensäädin voi olla myös varustettu asteikolla, jolloin painemittaria ei tarvita. Tällöin tulee huolehtia säätimen kalibroinnista säännöllisesti, jotta säädetty arvo pitää varmasti paikkansa.



Kuva 11. Paineensäädin (Tecalemit 2006, 10).

Säätönuppia myötäpäivään käännettäessä säätöjousi painaa kalvoa ja tämä edelleen venttiilin runkoa. Kalvo ja venttiilin runko painuvat alaspäin ja avaavat venttiiliä, jolloin ilma pääsee virtaamaan vasemmalta oikealle toisiopuolelle. Keskellä oleva yhdysputki välittää toisiopaineen kalvolle. Kalvo reagoi sisään tulevan paineen muutoksiin säilyttäen halutun paineen ulostulopuolella. Jos paine nousee yli säädetyin arvon, kalvo puristaa säätöjousta ja venttiilin runko nousee ylöspäin pienentäen virtausta, kunnes jousen ja kalvoon vaikuttavan paineen voimat ovat yhtä suuret. Ilmanpaineen laskiessa jousen voima painaa järjestelmää alaspäin ja virtaus kasvaa. (Tecalemit 2006, 10.)



Kuva 12. Dial-air-säädin (Tecalemit 2006, 11).

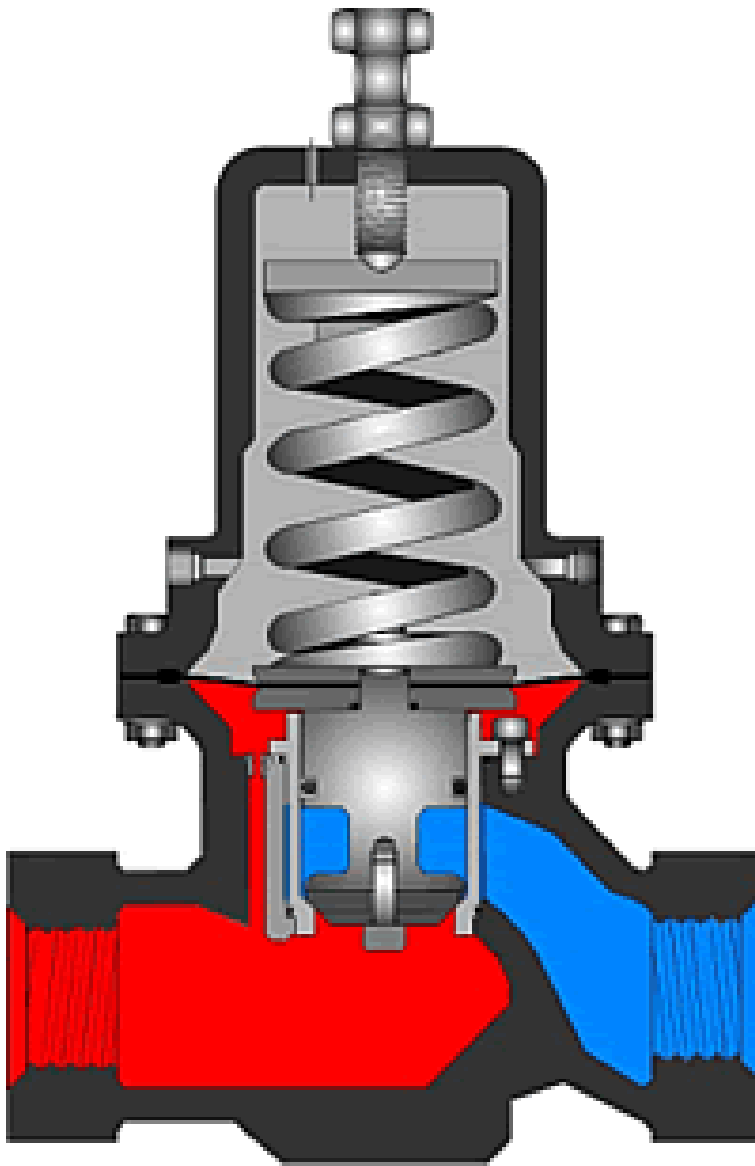
Kuvassa 12 on asteikolla varustettu paineensäädin, joka on tarkoitettu erityisesti suurille ilmavirroille. Ilma virtaa vasemmalta sisään ja oikealta ulos alennettuna. Painetta säädetään kääntämällä säätönuppia. Kun nuppia käännetään vastapäivään, avautuu pilottiventtiili, ja ilma virtaa säätökammioon. Säätökammion paineen kasvaessa alempi mäntä avaa pääventtiilin ja ilma alkaa virrata säätimen läpi. Säätökammion paine pakottaa ylemmän männän painautumaan levyjousia vasten, mikä aiheuttaa pilottiventtiilin sulkeutumisen siinä vaiheessa, kun haluttu verkoston paine säätimen jälkeen on saavutettu. Kammion paine on tasapainossa alemman männän jousivoiman kanssa. Jos kulutus eli virtaus kasvaa, säätökammion paine pakottaa alemmaa mäntää alaspäin, jolloin myös pääventtiili avautuu enemmän. Jos virtaus pienenee, toiminta on vastakainen, eli alempi mäntä nousee ylemmäs ja sulkee pääventtiiliä eli venttiili päästää vähemmän ilmaa lävitseen. (Tecalemit 2006, 11.)

4.5.2 Varoventtiilit

Varoventtiilien tarkoitus on suojata järjestelmää ylipaineelta. Varoventtiilejä käytetään paineilmasäiliöissä ja paineen alennuksen jälkeen putkistolinjoissa. Paineilmasäiliöissä varoventtiilin tarkoitus on estää säiliön kestämän suunnittelupaineen ylittyminen. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi, jos kompressorin pysäytys ei toimi ja paine kasvaa yli sallitun. Muita tilanteita voivat olla tulipalo, jolloin lämpötilan kasvu aiheuttaa ilman laajenemisen säiliössä ja paine kasvaa. Varoventtiiliä voidaan myös käyttää suojaamaan paineilmalaitteita ylipaineelta. Jos laite toimii piirissä, joka saa ilman paineensäätimen kautta, on olemassa riski, että säätimen mennessä epäkuuntoon paine nousee säätimen jälkeen liian suureksi. Tällöin varoventtiili vapauttaa linjasta ylimääräisen paineen. Varoventtiiliä valittaessa tulee ottaa huomioon, että sen tulee olla kahdennettu ja ulospuhalluskapasiteetin tulee olla riittävä; se vastaa esimerkiksi kompressorin maksimituottoa, jolloin venttiili ehtii puhaltaa saman ilmamäärän ulos, minkä kompressori tuottaa. Koestettaessa varoventtiilejä pitää ottaa huomioon, että venttiili käyttäytyy erilalla riippuen siitä, koestetaanko sitä kaasulla vai nesteellä. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 16.)

4.5.3 Takaiskuventtiilit

Takaiskuventtiili estää ilman virtaamisen väärään suuntaan putkistossa. Takaiskuventtiilejä käytetään esimerkiksi kompressorien jälkeen ja käynnistysilmalinjoissa ennen moottoria. Takaiskuventtiili sulkeutuu jousen voimasta ja avautuu, kun ilmanpaine voittaa jousivoiman, jolloin ilma pääsee virtaamaan oikeaan suuntaan. (Lautasmalliset takaiskuventtiilit.)



Kuva 13. Jousikuormitettu takaiskuventtiili (Regulator Control Valves 2011).

Ilma virtaa normaalisti vasemmalta oikealle, jolloin venttiili on avoinna ja ilmanpaine voittaa jousivoiman. Jos paine laskee ja ilma alkaa virrata väärään suuntaan eli oikealta vasemmalle, jousi sulkee venttiilin. Jousen voimaa voidaan säätää yläosassa olevalla säätöruuvilla. Kiristettäessä ruuvia jousi puristuu enemmän kasaan ja sen puristusvoima kasvaa, jolloin vaaditaan suurempi ilmanpaine avaamaan venttiili. Löysättäessä ruuvia jousen puristusvoima pienenee.

4.6 Paineilman jälkikäsitteily

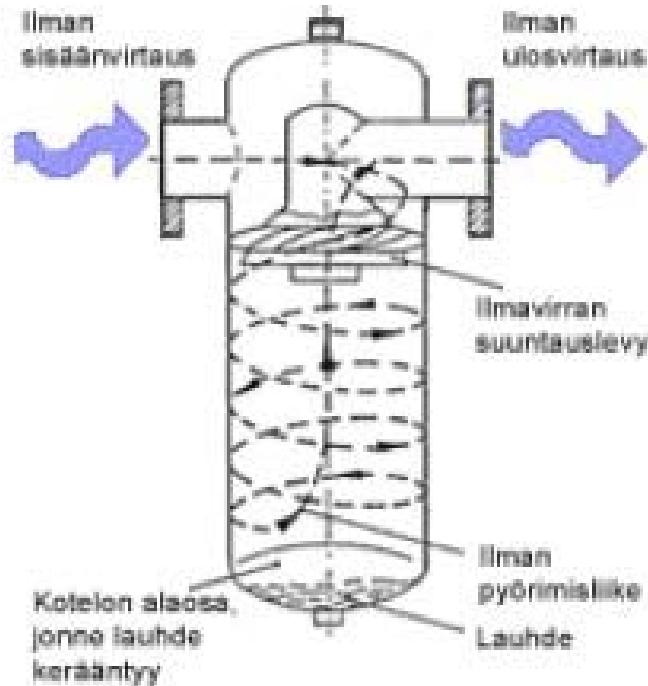
Paineilman jälkikäsitteilyllä parannetaan ilmanlaatua. Paineilmasta erotetaan epäpuhtauksia, kosteutta, öljyä tai vastaavasti sumutetaan paineilmaan öljyä. Epäpuhtaudet ja kosteus ovat monesti lähtöisin paineilmasäiliöistä tai korroosiosta kärsivistä putkistoista. Öljyä joutuu yleensä paineilman sekaan kompressoreista, jotka kulumisen myötä hukkaavat voiteluainetta puristettavan ilman sekaan. Ilman puhdistamiseen on monenlaisia eritasoisia suodattimia ja niiden käyttökohteet määräytyvät paineilmaa käyttävien laitteiden mukaan. Esimerkiksi paineilmakäyttöiset kalvopumput eivät ole kovin tarkkoja paineilman laadusta ja tällöin selvittää vähemmällä suodatuksella. Jotkut pneumaattiset venttiilit ovat erittäin vikaherkkiä, jos ilmassa on kosteutta tai epäpuhtauksia. Hyvää paineilman suodatusta vaaditaan esimerkiksi painevesijärjestelmän aikaansaavan hydrofonin paineistamiseen. Tällöin paineilmassa ei sallita yhtään öljyä, koska muuten ilmassa oleva öljy sekoittuisi juomaveteen. (Kaeser Suomi, Paineilman jälkikäsitteily.) (Pneumatiikka.)

Paineilman jälkikäsitteilylaitteita asennettaessa pitää ottaa huomioon, että jokainen putkistoon lisättävä komponentti vastustaa ilman kulkua eli suurentaa virtausvastusta ja aiheuttaa painehäviöitä. Asennettaessa ilmankäsitteilylaite paineilmajärjestelmään on varmistuttava, että kyseinen laite kestää putkistossa olevan paineen eli komponentin painetason pitää olla oikea. Jälkikäsitteilylaitteet pystyvät käsittelemään rajatun määrän ilmaa. Tämä ilmamäärä ilmoitetaan yleensä laitteen tiedoissa. Esimerkiksi jäähdytyskuivaimen ilmankuivauskapasiteetti on rajallinen. Tällaista laitetta ei voida asentaa järjestelmiin, joissa ilman kulutus on suurta. Muuten jäähdytyskuivaimen kapasiteetin pitäisi olla todella suuri, eikä tällainen ratkaisu ole järkevä. Tämän vuoksi esimerkiksi työilmalinjoissa käytetään yksinkertaisempia suodattimia, jotka pystyvät suodattamaan enemmän ilmaa. Työilmalinjojen ilmanlaadun vaatimukset eivät muutenkaan ole yhtä korkeita kuin ohjausilmalinjojen. (Kaeser Suomi, Paineilman jälkikäsitteily.)

4.6.1 Syklonierotin

Syklonierotin erottaa ilmaa raskaammat aineet ilmasta. Tällaisia aineita on esimerkiksi kondensoitunut vesi. Erottimen toimintaperiaate perustuu keskipakovoimaan. Suodatimen etuja ovat yksinkertaisuus ja edullisuus, mutta vedenerotuskyky ei ole paras mahdollinen ja ilmaan voi jäädä vielä kosteutta. Karkean suodatustehonsa vuoksi ero-

tinta käytetäänkin monesti heti kompressorin tai ilmasäiliön jälkeen poistamaan nestemäinen lauhde ennen jäähdytyskuivainta, jolloin myös sen kuivauskyky paranee. Syklonierottimen toimintaa voidaan automatisoida asentamalla ulospuhallusventtiilin yhteyteen lauhteenpoistin. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 10.) (Kaeser Suomi, Syklonierottimet)

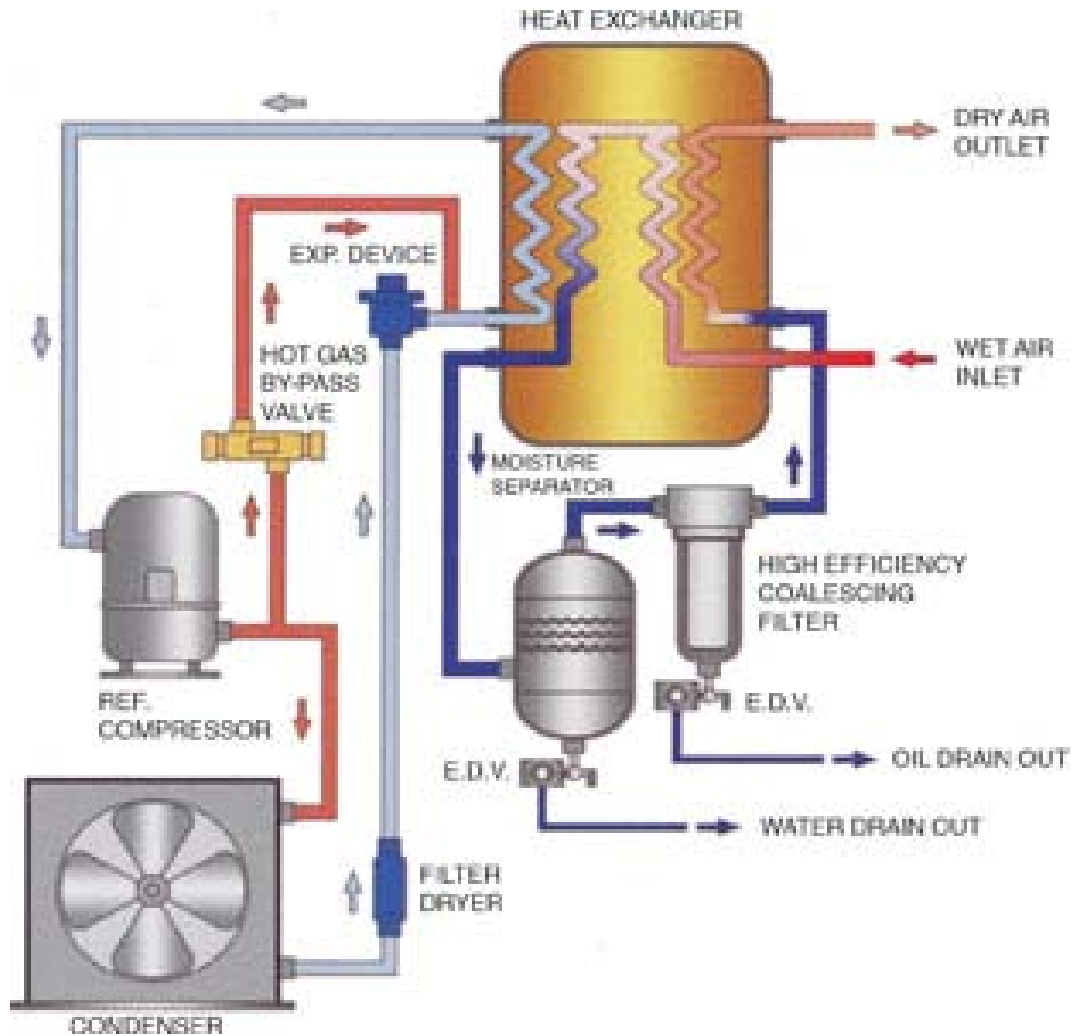


Kuva 14. Syklonierottimen toimintaperiaate (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 10).

Ilma virtaa vasemmalta sisään erottimeen. Erottimessa ilma laitetaan pyörimään suuntauslevyn avulla. Ilman pyöriessä erottimessa raskaammat jakeet hakeutuvat ulkokehälle ja keräytyvät erottimen pohjalle. Jakeet voidaan poistaa erottimesta pohjassa olevan ulospuhallusventtiilin kautta. Lopulta ilma virtaa ulos erottimesta.

4.6.2 Jäähdytyskuivain

Jäähdytyskuivaimessa paineilmaa jäähdytetään esimerkiksi +2-asteiseksi. Jos ilman kastepiste on +10 asteessa, ilmasta erottuu kosteutta, koska kastepiste alitetaan. Tämä tarkoittaa sitä, että tämän jälkeen paineilmasta ei pitäisi erottua vettä, ellei +2 astetta aliteta. Paineilma jäähdytetään yleensä höyrystyvällä kylmäaineella eli tarvitaan kylmäkoneisto. Koneisto sisältää kompressorin, lauhduttimen, höyrystimen ja paisunta-venttiilin. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 11.)



Kuva 15. Jäähdytyskuivaimen kierto-prosessi (Motion Control 2008).

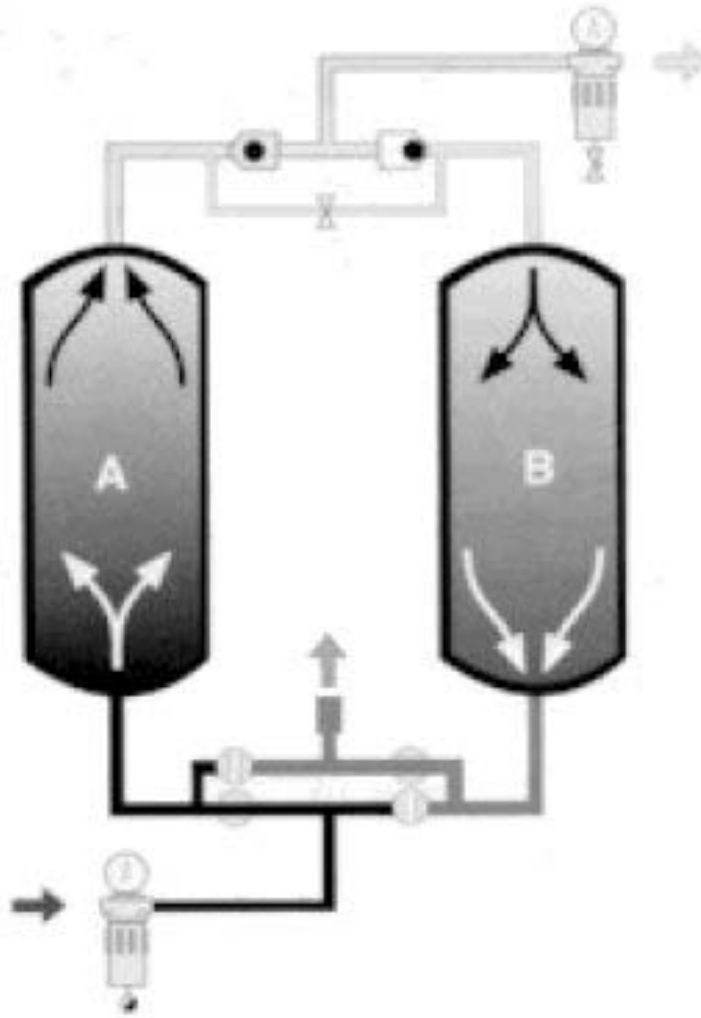
Jäähdytyskuivain koostuu kylmäainepiiristä ja paineilman kiertopiiristä. Kosteaa paineilmaa virtaa lämmönvaihtimeen, jossa sitä jäähdytetään kylmäaineella, toisin sanoen kylmäaine höyrystyy vaihtimessa ja sitoo itseensä paineilmaasta lämpöä. Höyrystynyt kylmäaine virtaa kompressorille, lauhduttimelle ja sieltä paisuntaventtiilin kautta takaisin lämmönvaihtimelle. Kierto on samanlainen kuin tavallisessa jääkaapissa. Jäähdytyksestä paineilmaasta erottuu kosteutta, koska kastepiste alitetaan. Vesi erotetaan vedenerottimilla paineilmaasta ja lämmitetään lämmönvaihtimessa sisään tulevalle paineilmaille. Lopuksi kuivattu ilma jatkaa eteenpäin lämmönvaihtimelta. Paineilman jäähdytystehoa säädetään kylmäaineen paineen tunnistavalla kuumakaasun ohitusventtiilillä, joka säätelee kuumakaasun takaisinkierätystä eli hullunkiertoa. Ohitusventtiililtä tuleva kuumakaasu lisää kylmäaineen höyrystymistä eli pienentää kylmätehoa ja säästää kylmäkompressoria turhilta käynnistyksiltä ja sammutuksilta. (Motion Control 2008.) (Tamrotor. Paineilman suodatus ja kuivaus, 7.)

4.6.3 Adsorptiokuivain

Adsorptio on prosessi, jossa kaasusta irtoaa molekyyliä kiinteään aineeseen. (Sivistyssanakirja – Suomi Sanakirja, Adsorptio) Tätä periaatetta käytetään hyväksi adsorptiokuivaimessa. Kuivaimessa on kaksi tornia, jotka molemmat sisältävät silicageeliä tai muuta vastaavaa ainetta, joka sitoo kosteutta. Ilmaa johdetaan toiseen torniin ja ilmasta erottuu kosteus tornissa olevaan aineeseen. Kuivattu ilma virtaa käyttöön ja osa ilmasta elvyttää toista tornia eli kuivaa siinä olevaa ainetta. Tietyn määrätyn ajanjakson välein magneettiventtiilit ohjaavat ilman toiseen torniin ja toiminta on päinvastainen eli toinen torni kuivaa ilmaa ja toinen elpyy.

Järjestelmän huonona puolena on, että kuivaava ilma-annos virtaa tornin lävitse hukkaan eli energiaa menetetään. Hukattua ilmamäärää voidaan pienentää varustamalla torni sähkövastuksella, joka tehostaa elpyvän tornin aineen kuivatusta. Tällöin selviää vähemmällä elvyttävällä ilmamäärällä.

Adsorptiokuivaimet ovat melko pitkäikäisiä, koska kuivausainetta elvytetään. Niiden etuna on myös todella tehokas kuivaus ja puhdistuskyky, toisaalta adsorptiokuivaimet ovat herkkiä öljylle, joka huonontaa niiden kuivauskykyä. Tämän vuoksi järjestelmässä olisi hyvä olla öljynerotin ennen adsorptiokuivainta. (Peltomaa, 2008, 16.)



Kuva 16. Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate (Peltomaa, 2008, 16).

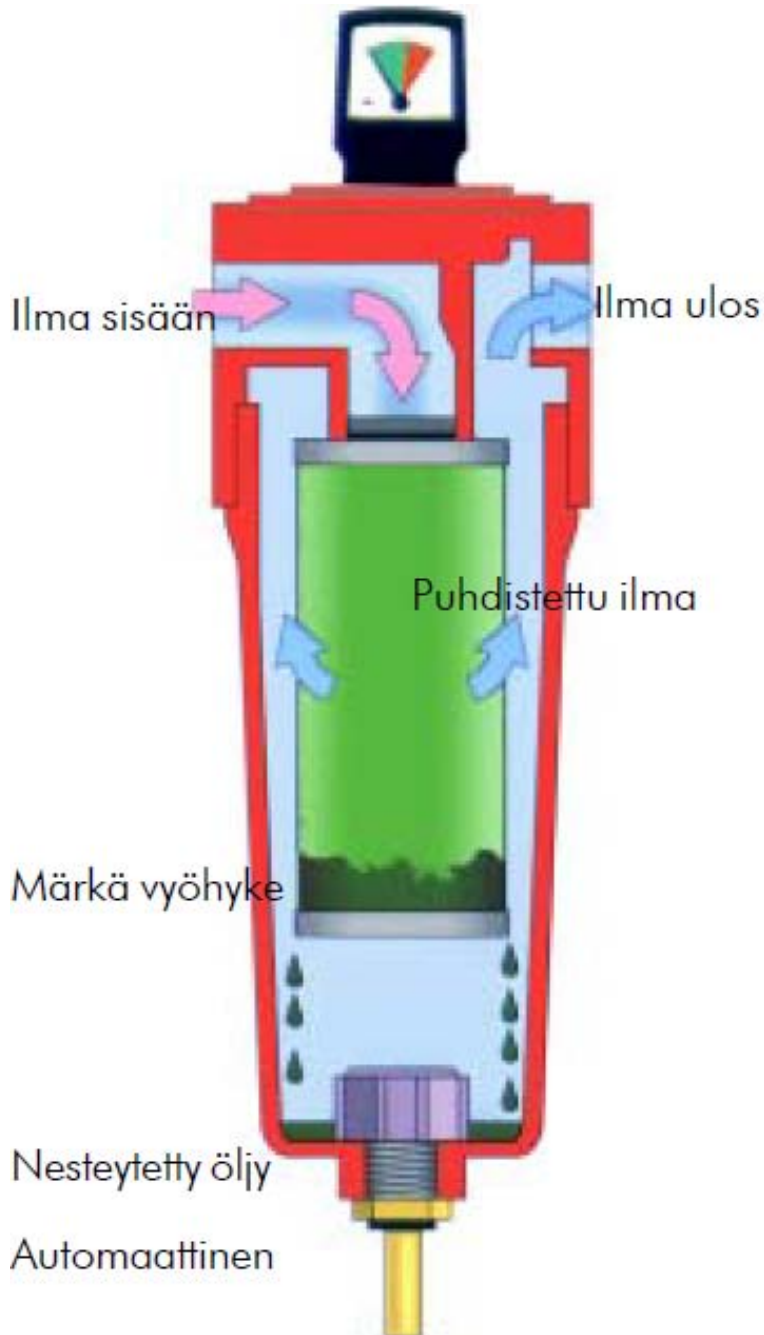
Kuvassa 16 ilma virtaa sisään alhaalta. Tällä hetkellä torni A on kuivauskäytössä ja torni B elvytyksessä. Paineilma virtaa torniin A ja kuivuu. Ilma jatkaa ylhäältä kuluttajille, mutta osa ulos menevästä ilmasta ohjataan torniin B. Ilma virtaa tornin B lävitse ja kuivaa sen. Tämän jälkeen kuivaava ilmamäärä poistuu järjestelmästä. Ilman kulkua ohjataan magneettiventtiileillä.

4.6.4 Sorptiokuivain

Sorptiokuivaimen toimintaperiaate on melko samanlainen kuin adsorptiokuivaimen, mutta suodatin ei hukkaa paineilmaa. Sorptiokuivaimessa suodatintornin elvytys tehdään ulkoisesti lämmitetyllä puhallusilmalla, esimerkiksi kompressorilta suoraan tulevalla kuumalla paineilmalla. Sorptiokuivaimet tunnetaan myös nimellä lämpöelvytteiset adsorptiokuivaimet. (Kaeser Suomi, Lämpöelvytteiset adsorptiokuivaimet.)

4.6.5 Nesteyttävä suodatin

Nesteyttävällä suodattimella paineilmaasta erotetaan kiinteitä partikkeleita ja öljyä suodatinpatruunan avulla. Epäpuhtauksien erotus tapahtuu läpivirtausperiaatteella, eli paineilma virtaa puhdistuspatruunan lävitse.

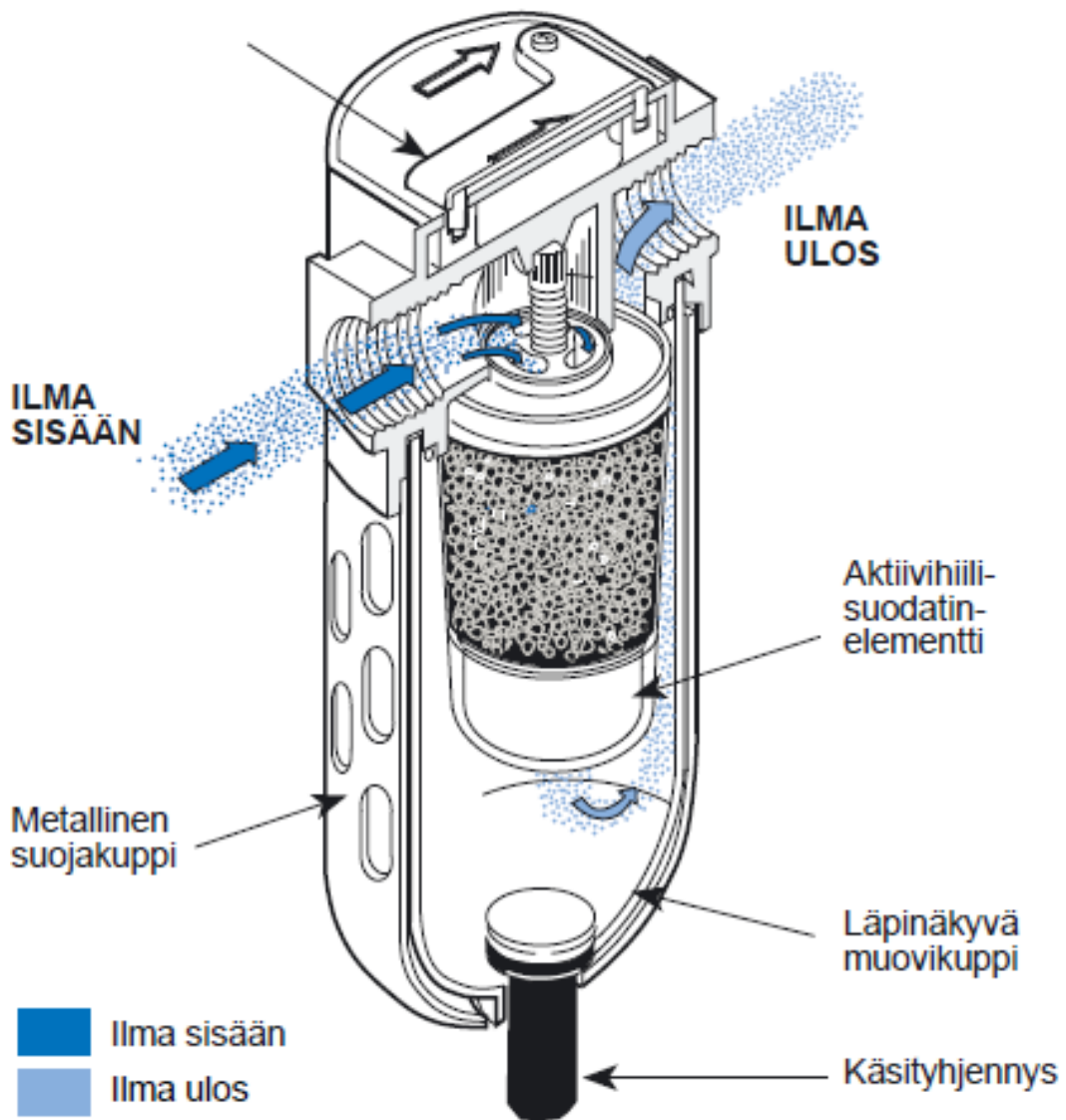


Kuva 17. Nesteyttävän suodattimen toimintaperiaate (Tamrotor. Paineilman suodatus ja kuivaus, 7).

Nesteyttävä suodatin käsittää suodattimen rungon, suodatinpatruunan, tyhjennysventtiilin ja indikaattorin. Ilma virtaa sisään suodattimen vasemmalta puolelta suodatin patruunan sisälle. Suodatinpatruunan kerroksissa ilmasta erottuu epäpuhtauksia. Ensin karkeamman sisäkerroksen läpi ja lopulta patruunan märkävyöhykkeen yläpuolelta ilma virtaa ulos patruunasta. Patruunassa ilmasta nesteytyy öljyä, joka erottuu patruunan pohjalle. Öljy vuotaa patruunan alaosan lävitse suodatinkotelon pohjalle. Kotelosta öljy voidaan tyhjentää joko automaattisella tyhjennyksellä tai manuaalisesti pohjaventtiiliä avaamalla. Lopulta puhdistunut paineilma virtaa ulos suodatinkotelon yläosasta. Indikaattori suodatinkotelon päällä mittaa tulo- ja menopuolen välistä paine-eroa. Ilmaisinosoitimen ollessa vihreällä alueella paine-ero ei ole vielä suuri, ja tästä tiedetään, että suodatin suodattaa vielä hyvin ja päästää paineilmaa lävitse. Kun ilma siirtyy punaiselle alueelle, paine-ero suodattimen meno- ja tulopuolen välillä on suurentunut. Paine-eron nousun syy on tukkeutunut patruuna ja paineilma ei enää virtaa kunnolla sen lävitse. Tästä tiedetään, että on aika vaihtaa tilalle uusia patruuna. (Tamrotor. Paineilman suodatus ja kuivaus, 7.)

4.6.6 Aktiivihiilisuodatin

Kun tarvitaan erityisen puhdasta paineilmaa, käytetään aktiivihiilisuodatusta. Laivassa aktiivihiilisuodatin voisi olla paineilmalinjassa, joka menee hydrofonille eli paineastialle, jolla tehdään paine vesijärjestelmään. Aktiivihiili suodattaa ilmasta kaasumaisen öljyn, hajut ja maut. Ennen aktiivihiilisuodatinta käytetään öljynerotussuodatinta. (Tecalemit 2006, 7.)



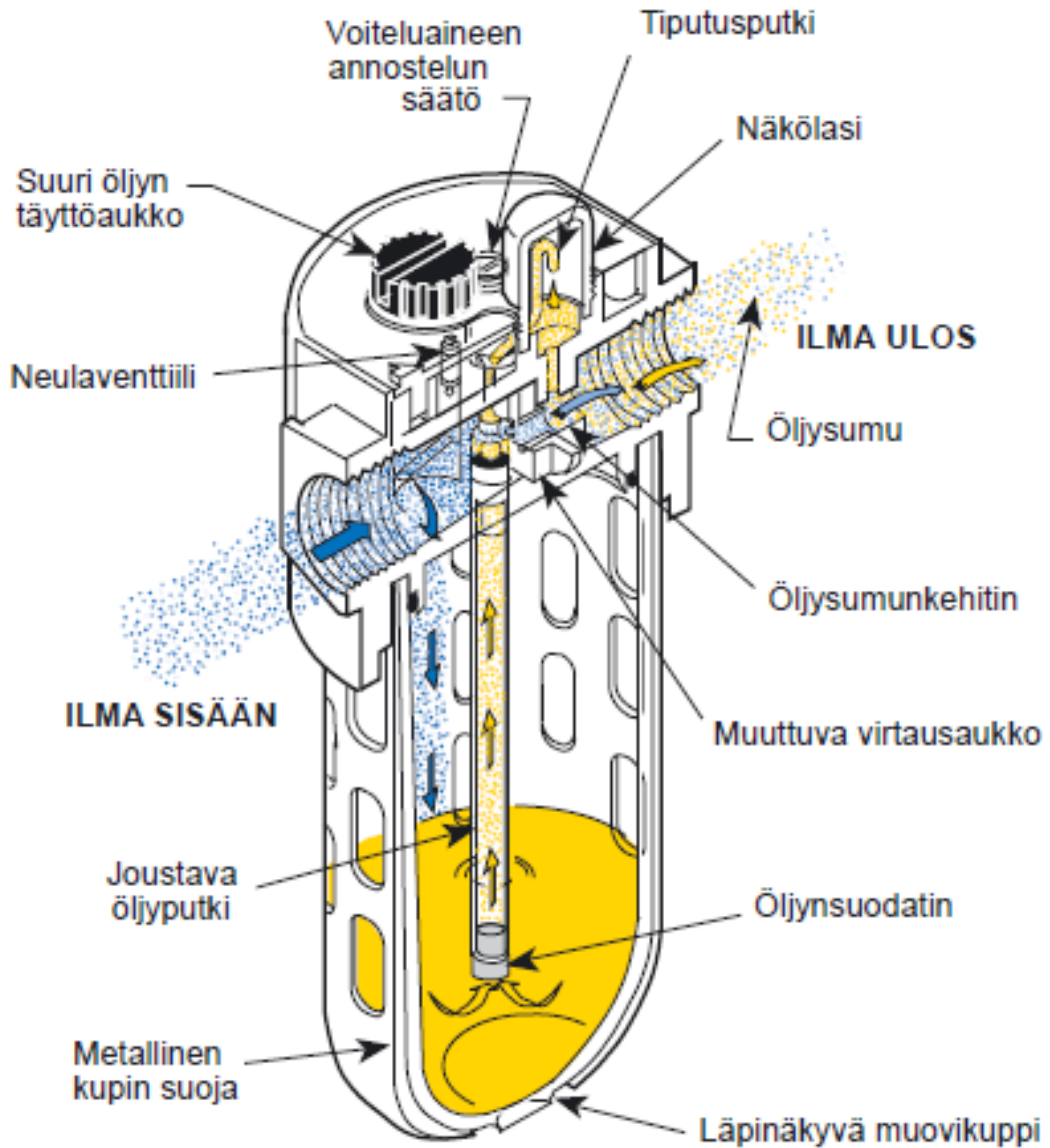
Kuva 18. Aktiivihiilisuodattimen toimintaperiaate (Tecalemit 2006, 7).

Sisään tuleva ilma johdetaan metalliseen suodattimeen, jonka sisällä on aktiivihiilipatruuna. Kaasumaisten aineiden sitominen on mahdollista adsorption avulla. Koska aktiivihiilirakeissa on suuri pinta-ala, se mahdollistaa kaasussa olevien öljymolekyylien adsorboitumisen rakeisiin. Lopuksi ilma läpäisee patruunan pinnassa olevan mikrokiutusuodattimen, johon mahdollisesti hiilestä irronneet partikkelit tarttuvat. Ilma kulkeutuu siis patruunan sisältä ulospäin ja lopulta pois suodattimesta. (Tecalemit 2006, 7.)

4.6.7 Sumuvoitelulaite

Voitelulaitteita käytetään työilmalinjoissa tai siellä, missä tarvitaan paineilmatyökalujen voitelua. Öljyllä on myös jäätymistä estävä ominaisuus paineilmalinjoissa, jotka menevät kannelle. Useasti paineilma sisältää jo valmiiksi kompressorista mukaan tullutta öljyä, mutta tämä öljy on hapettunutta ja hapanta ja se sisältää epäpuhtauksia.

Tämän vuoksi paineilmaasta erotetaan kompressorilta irronnut öljy ja paineilma voidellaan uudelleen puhtaalla öljyllä. Voitelulaite syöttää automaattisesti öljyä paineilman sekaan säädetyn määrän mukaisesti. (Tamrotor. Paineilman suodatus ja kuivaus, 6.)



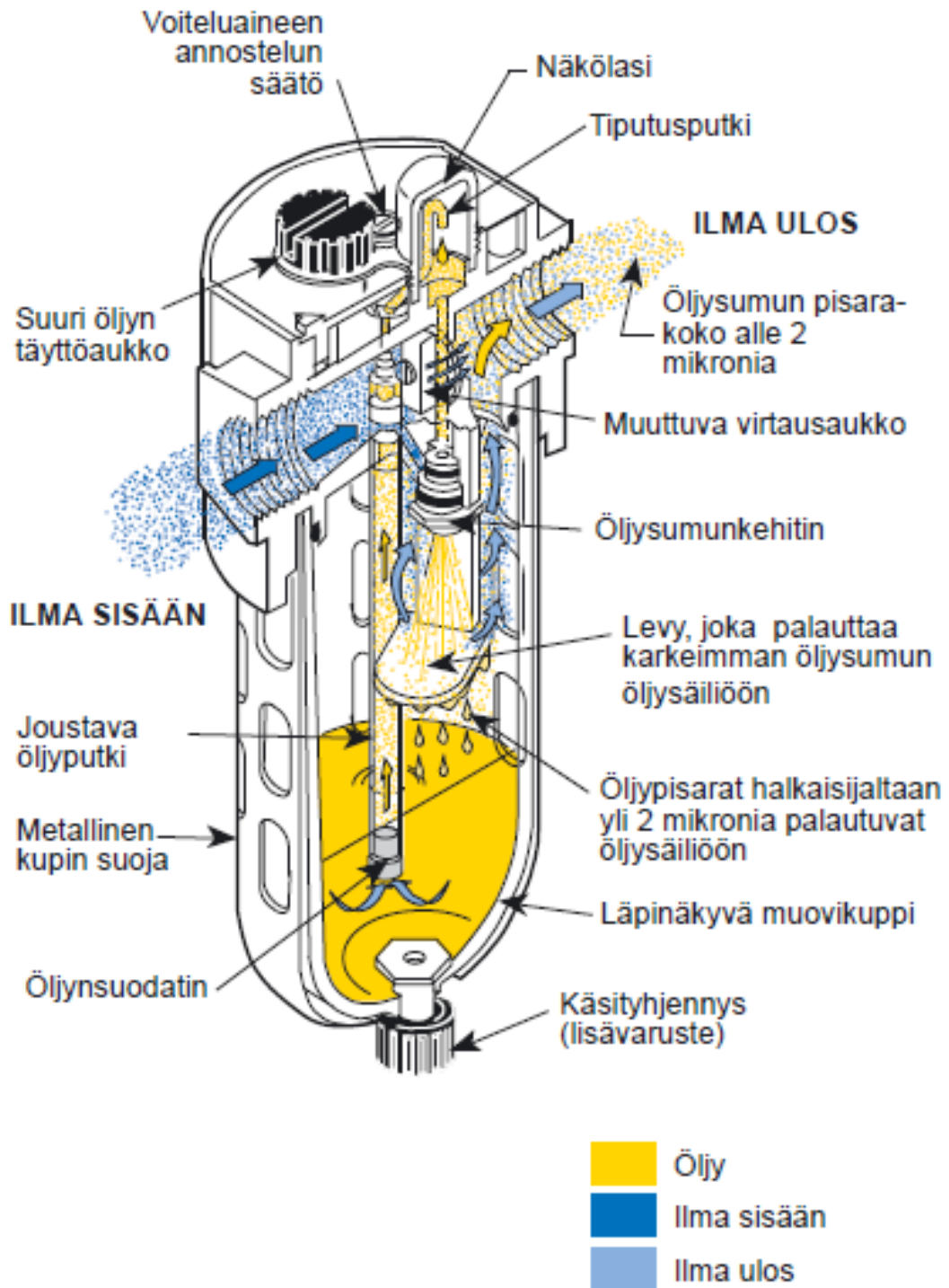
Kuva 19. Sumuvoitelulaiteen toimintaperiaate (Tecalemit 2006, 12).

Laitteen toiminnan kannalta on tärkeää, että öljykuppi saadaan paineistettua. Laitteeseen johdetaan paineilmaa ja osa ilmasta paineistaa öljykupin. Merkittävä osa ilmavirrasta kulkee virtauksen mukaan muuttuvan aukon läpi. Kupissa olevan paineen ja sää-

tölaitteessa syntyvän pienen painehäviön ansiosta öljy nousee joustavaa öljyputkea pitkin takaiskuventtiilin läpi ylös tiputusputkelle. Tiputusputkella öljytipat tippuvat pisaroina ilmavirtaan. Pisarat hajoavat paineilmassa ja sekoittuvat sumuna paineilmaan. Tiputustiheyttä voidaan seurata näkölasin kautta. Virtaustunnistin pitää öljy-ilmasuhteen oikeana, vaikka virtausnopeus vaihtelisi. Takaiskuventtiilillä varmistetaan öljyn pysyminen nousuputkessa, vaikka ilmavirtaa ei olisi. Paineenpoistoventtiilin käyttö mahdollistaa öljykupin täytön, vaikka järjestelmä olisi paineistettu. Täyttökorkkia avattaessa jousipalautteinen venttiili avautuu ja kupin paine pienenee. Laitteen päällä olevasta ruuvista voidaan säädellä voiteluaineen määrää paineilmassa. (Tecalemit 2006, 12.)

4.6.8 Mikrosumuvoitelulaite

Mikrosumuvoitelulaite on periaatteeltaan samanlainen kuin tavallinen sumuvoitelulaite, mutta sitä käytetään, kun tarvitaan vielä tarkempaa ja pienempää voiteluaineen säännöstelyä paineilmassa. Mikrosumuvoitelulaite on myös parempi vaihtoehto, jos voideltava kohde sijaitsee kaukana voitelulaitteesta. Suurin ero tavalliseen sumuvoitelulaitteeseen on, että osa öljystä kiertää takaisin kuppiin. (Tecalemit 2006, 12.)



Kuva 20. Mikrosumuvoitelulaiteen toimintaperiaate (Tecalemit 2006, 12).

Toimintaperiaate on osittain samanlainen kuin tavallisessa sumuvoitelulaitteessa, eli kupissa oleva öljy paineistetaan paineilman avulla, jolloin öljy nousee ylös putkea pitkin. Öljy kulkee säätöruuvien kautta, joka säätää öljyn määrää öljysumunkehittimessä. Öljyä ja ilmaa suihkutetaan kehittimen levyille, jossa osa öljypisaroista hajoaa hienojakoiseksi sumuksi. Suuremmat pisarat, jotka eivät hajoaneet kehittimessä, tippuvat takaisin öljykuppiin. Ulos tulevassa paineilmassa on mukana erittäin hienojakoista öljysumua. Suurin osa kehittimeen menevästä öljystä palaa takaisin kuppiin. Muuttuva

virtausaukko pitää automaattisesti huolen ilma-öljysuhteesta, vaikka ilmavirtaus muuttuisi. Päinvastoin kuin tavallisessa öljysumulaitteessa mikrosumuvoitelulaitetta ei voi täyttää paineenalaisena, vaan paineilmalinja pitää sulkea täytön ajaksi. Lisäksi täytettäessä öljykuppia on hyvä huomioida, että öljyn pinta ei saa nousta kehittimen levyn korkeudelle asti. (Tecalemit 2006, 12.)

5 KUNNOSSAPITO JA HUOLTO

Paineilmajärjestelmän kunnossapito jakautuu säännöllisesti suoritettaviin huoltoihin ja päivittäisiin toimintoihin sekä mahdollisiin korjauksiin. Usein toistuvien järjestelmän korjauksien syyt on hyvä selvittää, koska painejärjestelmän toimivuuden pitäisi olla oikein suunniteltuna melko varmaa. Esimerkiksi liialliselle kosteudelle tai epäpuhtauksille putkistossa on yleensä jokin syynsä. Tilannetta voidaan usein parantaa ilman-kuivausta ja suodatusta lisäämällä. Parhaimmillaan paineilmajärjestelmä on melko huoltovapaa, mutta kompressorien säännöllisiltä tuntimääräisiltä huolloilta ei voida välttyä. Sen sijaan hyvin automatisoitu suodattimien tyhjennyspuhallus ja riittävä paineilman suodatus mahdollistavat melko huoltovapaan järjestelmän. Järjestelmän kunnossapitoon kuuluu myös paineilmajärjestelmän luokitukset ja katsastukset.

5.1 Katsastukset ja luokitukset

Jotta voidaan varmistua paineilmajärjestelmän toiminnasta ja turvallisuudesta, tulee järjestelmän laitteet tarkastaa säännöllisin väliajoin. Alusten paineilmajärjestelmien katsastuksista ja luokituksista määrää painelaitelaki. Tarkastuksia tekee luokituslaitoksen edustaja, jonka valvontaviranomainen voi valtuuttaa tarkastamaan aluksen painelaitteita. Valvontaviranomainen valvoo valtuuttamansa tarkastuslaitoksen toimintaa. Painelaitteen rekisteröintivelvollisuus määräytyy sen tilavuuden ja paineen mukaan. Jos paineilmasäiliön tilavuuden (litra) ja käyttöpaineen (bar) tulo ylittää 3000, pitää säiliö rekisteröidä. Esimerkiksi jos käynnistysilmasäiliön tilavuus on 3000 litraa ja käyttöpaine 30 bar, pitää kyseinen laite rekisteröidä, ja silloin se kuuluu määräaikaisten tarkastusten piiriin. (Tukes 2000.) (Finlex 1999.)

Painelaitteelle tehdään käyttöönoton yhteydessä ensimmäinen määräaikaistarkastus eli peruskatsastus, joka voidaan tehdä yhdessä aluksen muiden katsastusten kanssa. Painelaitteen katsastuksen yhteydessä tarkastetaan myös siihen liittyvä paineilmaputkisto ja tarkastus suoritetaan normaalia käyttöä vastaavissa olosuhteissa. Painelaitteen en-

simmaisessa katsastuksessa vahvistetaan laitteen käyttöarvot ja määrätään seuraavan määräaikaistarkastuksen laji ja ajankohta. Ensimmäisen määräaikaistarkastuksen yhteydessä rekisteröidään eli luokitetaan painelaite. Painelaitteen kilpeen merkitään katsastuksen ajankohta ja rekisterinumero. Katsastukseen sisältyy myös asiakirjojen ja painelaitteen käyttöohjeiden tarkistaminen. Paineilmajärjestelmän määräaikaistarkastusten väli saa olla enintään 4 vuotta, kuten myös sisäpuolisen tarkastuksen aikaväli. Paineekoe tehdään joka toisen sisäpuolisen tarkastuksen yhteydessä eli 8 vuoden välein. (Merenkulkulaitoksen tiedotuslehti 2007, 6, 13, 15-16.) (Tukes 2000.)

Sisäpuolisessa tarkastuksessa tarkastetaan painejärjestelmän laitteet perusteellisesti. Järjestelmä tulee valmistella valmiiksi sisäpuolista tarkastusta varten siten, että se on paineeton, laitteet jännitteettömiä ja tarkastusaukot on avattava. Määräajoin suoritettava painekoe tehdään nesteellä siten, että koepaine on 1,3 kertaa suurin sallittu käyttöpaine. Jos koeponnistus tehdään kaasulla, riittää 1,1 kertaa suurin sallittu käyttöpaine. Turvallisuussyistä suositellaan koeponnistuksen tekemistä nesteellä. Paineekokeessa tarkastetaan, että painelaitteeseen ei tule vuotoja ja muodonmuutoksia. Paineekoe voidaan myös jättää tekemättä, jos paineilmasäiliön ja putkiston eheys voidaan todeta sisäpuolisella tarkastuksella riittävän tarkasti. Painelaite voidaan myös muutostarkastaa, jos halutaan muuttaa esimerkiksi sallittuja painearvoja. (Merenkulkulaitoksen tiedotuslehti 2007, 6, 13, 15-16.) (Tukes 2000.) (Tukes. Painelaitteiden kunnossapito, 14.)

5.2 Säännölliset huollot

Myös paineilmajärjestelmä siinä missä muutkin tekniset järjestelmät vaatii jonkinlaista säännöllistä huoltoa. Paineilmajärjestelmän huolto-ohjelma tulisi sisällyttää kunnossapitojärjestelmään siten, että laitevalmistajien suosittelemia huoltovälejä ja huoltoja noudatetaan.

Kunnossapitojärjestelmän huoltojen lisäksi järjestelmä vaatii yleensä päivittäisiä toimenpiteitä. Päivittäin toistuvia toimenpiteitä ovat esimerkiksi paineilmaputkistojen, säiliöiden ja suodattimien vesitykset. Jos vesitykset ovat automaattisia, tulee varmistua säännöllisin väliajoin niiden toimivuudesta. Tämä voidaan todeta tarkkailemalla ulospuhallusputkia ja toteamalla, että niissä kulkee vesitysnestettä.

Kompressorien säännöllistä huoltoa on öljynvaihto ja öljy- sekä ilmanimusuodattimien uusiminen. Mäntäkompressoreissa säännöllisiä huoltoja ovat imu- ja poistoventti-

lien kunnostukset, sylintereiden mittaukset ja männän renkaiden uusimiset. Säännöllisiin huoltoihin on lisäksi hyvä sisällyttää putkistojen ilmapuotojen etsimiset, varsinkin jos kompressorit käy, vaikka ilmankulutusta ei pitäisi olla. Kompressorien käyttöaika on hyvä tarkkailla.

5.3 Vuotojen etsintä

Paineilmavuotoja voidaan etsiä kuuntelemalla, mistä ilma vuotaa. Usein tämä ei kuitenkaan onnistu meluisassa konehuoneessa. Vuodon etsintään on kehitetty ultraääneen perustuvia etsintälaitteita. Laitteet kuulevat ilmapuotojen aiheuttaman korkean äänen taajuuden, jota ihmiskorva ei kuule. Laite muuntaa äänen ihmisen korvalla kuultavaksi ja vuodon ääni kuullaan laitteen kuulokkeiden kautta, jolloin vuodon paikallistaminen on helpompaa. Ehkä kuitenkin edullisin tapa laivoolosuhteissa etsiä paineilmavuotoja on tavalliset vuodonilmaisunaineet. Myös tavallinen saippuavesi toimii hyvin vuodonilmaisunaineena. Ainetta ruiskutetaan erityisesti putkien liitoskohtiin ja liittimiin tai paikkoihin, joissa epäillään vuodon olevan. Vuodonilmaisunaine kuplii kohdissa, joissa ilma vuotaa pois järjestelmästä. (SDT Ultrawave 170 2011.)

6 LUOKITUSLAITOSTEN MÄÄRÄYKSET, DET NORSKE VERITAS

Luokituslaitosten määräykset määrittelevät laivassa käytettävien paineilmajärjestelmien minimivaatimukset. Työssä käsitellään norjalaisen Det Norske Veritas - luokituslaitoksen säädöksiä. Eri luokituslaitosten määräykset poikkeavat hieman toisistaan, mutta periaate pysyy samana. Det Norske Veritas (DNV) on perustettu vuonna 1867. Se on yksi maailman suurimpia luokituslaitoksia ja sillä on toimipisteitä 100 maassa. Organisaation säädökset perustuvat laajaan kokemuspohjaan ja erilaisiin tutkimusohjelmiin. (DNV, Tietoa meistä) (DNV, Luokitus)

6.1 Käynnistysilmajärjestelmä ja putkistovaatimukset

Paineilmalinjat koneelle pitää varustaa takaiskuventtiilillä ja liekkisuojuksella. Kaikki kompressorit pitää varustaa varoventtiileillä, joiden avautumispaine on kompressorin kestämän suunnittelupaineen suuruinen. Putkiston ja venttiilien sekä takaiskuventtiilin tulee kestää sylinteristä tuleva paineisku, jos startti-ilmaventtiili sylinterikannessa jää jostain syystä auki. Joustavia letkuja ei sallita kuin välttämättömissä kohdissa, joissa tärinän vuoksi ei voida käyttää tavallista paineilmaputkea. Letkujen on oltava kuitenkin

kin tyyppihyväksytyjä. (DNV 2009, 16.) (DNV 2011, Rotating machinery, drivers units, 31.)

Kompressorin ilmanoton tulee sijaita niin, että minimoidaan ilmaan tarttuvien epäpuhtauksien, kuten öljyn ja veden, määrä. Ilmasäiliöiden venttiilit pitää suunnitella niin, että vältetään haitallisilta paineiskuilta putkistossa, kun venttiilejä avataan. Paineilmaputket pitää asentaa niin, että kondensaatioveden valuminen kompressoriin päin estyy. Sellaisten komponenttien käyttöä, jotka edellyttävät äärimmäisen puhdasta ilmaa toimiakseen, tulee välttää. Pääilmaputkien tulee olla vaakatasossa ja ne tulee varustaa kondensaation tyhjennysventtiilillä. Putket ja muut järjestelmän komponentit voivat olla myös muovista valmistettuja, kunhan niiden lujuus-, lämmön- ja öljynkestävyys ovat riittäviä. (DNV 2011, Piping system, 35-36.)

6.2 Paineilman vaatimukset

Ohjausilmajärjestelmän ilmassa ei sallita öljyä, kosteutta tai muuta likaa. Kondensaation määrän tulee olla vähäinen suunnitelluissa käyttöpaineissa ja lämpötiloissa. Koneistotilojen paineilman kastepisteen tulee olla vähintään 10 astetta alempi kuin vallitsevan tilan lämpötila. Paineilman, jota käytetään ulkotiloissa, kastepisteen tulee olla 25 asteen alapuolella. (DNV 2011, Piping system, 35-36.)

6.3 Käynnistysilmakapasiteetti

Käynnistysilmakapasiteetti pitää jakaa vähintään kahteen samankokoiseen säiliöön. Erilaisille moottoriasennuksille on erilaisia vaatimuksia sen suhteen, kuinka monta kertaa moottorin tai moottorien pitää käynnistyä ilmakapasiteetilla siten, että käynnistysilmakompressorit eivät saa käydä samanaikaisesti. Laivoissa, joissa on kiinteät potkurinlavat ja suunnanvaihto tapahtuu moottorin pyörimissuuntaa muuttamalla, ilmakapasiteetin tulee riittää 12 käynnistykseen. Moottoreissa, joissa pyörimissuunnanvaihto tehdään muilla tavoin kuin moottoria uudelleen käynnistämällä, vaaditaan ilmakapasiteetin riittäminen 6 käynnistykseen. Käynnistysilmakapasiteetin pitää riittää myös käynnistämään apukoneet ja muut moottorit vähintään 3 kertaa per kone. Laivoissa, joissa useampi kone pyörittää yhtä potkuriakselia, vaaditaan, että jokainen pitää pystyä käynnistämään vähintään 3 kertaa per kone, mutta kuitenkin kokonaiskäynnistysten määrän pitää olla vähintään 12, mutta niiden ei tarvitse ylittää 18 käynnistyskertaa. Käynnistysilmakompressoreita pitää olla vähintään 2 ja niiden tulee kyetä

tekemään paineilmaa niin, että tyhjt normaalissa ilmanpaineessa olevat käynnistysilmasäiliöt täyttyvät täyteen kapasiteettiin alle tunnissa. Kompressoreiden pitää olla saman tehoisia ja ainakin yhden kompressorin pitää olla riippumaton muiden toimintahäiriöistä. Hätägeneraattorin ilmakäynnistyksen pitää olla järjestetty muualta kuin varsinaisista käynnistysilmasäiliöistä, esimerkiksi oma käynnistysilmasäiliö hätägeneraattorille. Hätägeneraattorin käynnistysilmalinjan pitää olla erotettu muista ilmajärjestelmistä paitsi käynnistysilmajärjestelmästä. Jos hätägeneraattorin käynnistysilmalinja on yhdistetty muihin käynnistysilmalinjoihin, pitää se varustaa hätägeneraattorihuoneessa olevalla takaiskuventtiilillä, joka estää ilman virtaamisen pois hätägeneraattorin käynnistysilmasäiliöstä. (DNV 2011, Piping system, 35-36.)

7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää laivan paineilmajärjestelmä, ja siinä onnistuttiin melko hyvin. Työtä tehtäessä havaittiin järjestelmässä olevien osien, laitteiden ja komponenttien laajuus. Järjestelmää tarkemmin tutkittaessa huomattiin, kuinka paljon järjestelmä sisältää laitteita, joita työn alkuvaiheessa ei osattu ennakoida. Lisäksi kaikkien laitteiden ja komponenttien toimintaperiaatteen selvittäminen osoittautui työlääksi, mutta kuitenkin tarpeelliseksi. Tämän vuoksi työn rajausta mietittiin moneen kertaan työn tekemisen ohessa. Työn laajetessa todettiin, että työ rajautuu paineilmaverkostoon ja siinä oleviin osiin siten, että ilmaa käyttäviä toimilaitteita ei käsitellä. Ainut poikkeus tästä oli käynnistysilmajärjestelmä. Kyseinen aihe todettiin tarpeelliseksi käsitellä tarkemmin.

Kuten tekniikassa yleensä, myös paineilmajärjestelmät kehittyvät vähitellen myös laivoissa. Taloudellisuuden ja hyötysuhteen parantaminen eivät vielä tällä hetkellä ole merkittäviä asioita laivojen paineilmajärjestelmissä verrattuna esimerkiksi teollisuuden paineilmajärjestelmiin. Polttoaineen hinnan noustessa on kuitenkin mahdollista, että tulevaisuudessa pienetkin säästöt voivat vuositasolla olla merkittäviä myös laivoissa. Tämän vuoksi varsinkin kompressorien hyötysuhteen parantaminen on yksi ensimmäisistä asioista, joita myös laivoissa voidaan kehittää. Teollisuudessa käytetään jo lämmöntalteenottojärjestelmiä, ja tällaiset konseptit voivat olla mahdollisia myös laivoissa. Kompressoreista syntyvän hukkalämmön osuus on kuitenkin melko suuri.

Jos ajatellaan laivan paineilmajärjestelmän mitoitusta, järjestelmä ei salli vuotoja tai kompressorien tuoton huononemista ja niin luokituslaitosten määräykset on jo vaikea

saavuttaa. Ikääntyvän laivan käynnistysilmajärjestelmän kompressorit on jo uutena mitoitettu niukasti kattamaan vaatimukset. Jotta määräyksissä pysyttäisiin, korostuu kompressorien säännöllisen huollon merkitys. Kompressorien huoltamisessa tulisi noudattaa valmistajan ohjeita ja huoltovälejä. Hyvällä kunnossapitojärjestelmällä säännölliset huollot tulee ajallaan tehtyä ja kompressorit pysyvät hyvässä kunnossa. Tämän lisäksi järjestelmää mitoitettaessa olisi kapasiteetiksi hyvä valita hieman ylimääräistä. Kuitenkin, jos ajatellaan kompressorijärjestelmän kuluja, mitä pidempään järjestelmää käytetään, sitä pienemmäksi osoittautuu kompressorien hankintahinnan osuus kokonaiskustannuksista. Kun kompressori on ollut käytössä vuosia ja käyttötunteja on kertynyt paljon, suurin osa kuluista menee energiaan, jota kompressorit tarvitsevat. Ikääntymisen myötä ylläpitokulut voivat myös kasvaa, mutta niiden osuus kokonaiskustannuksista on pieni. (Tamrotor. Tietoja paineilmajärjestelmän suunnittelijalle, 2.)

Suurilla paineilmasäiliöillä voidaan hyvin tasata kulutushuippuja ja ilma riittää kunnolla ilmatyökalujen käyttämiseen. Laivoissa käytettävät paineilmatyökalut kuluttavat paljon ilmaa ja järjestelmän tuoton pitää olla riittävä, jotta töihin ei tule turhia keskeytyksiä. Suuret paineilmasäiliöt vähentävät myös kompressorien käynnistyskertoja. Ilmasäiliöiden tulee tasata kompressorien käynti sopivaksi. Paineilmasäiliöt olisi hyvä mitoittaa reilun kokoisiksi.

Työtä tehtäessä huomattiin varsinkin paineilman jälkikäsittelyssä olevien laitteiden suuri määrä. Jälkikäsittely sisältää laitteita karkeista suodatusmenetelmistä aina jäähdytyskoneella varustettuun kosteudenpoistoon ja öljysumuttimiin. Jälkikäsittelylaitteiden toimintaperiaate tuli myös tekijälle uutena asiana ja työtä tehtäessä havaittiin myös niiden tarpeellisuus järjestelmässä. Tietoa paineilman jälkikäsittelystä on paljon saatavilla, ja tämän vuoksi laitteiden toimintaperiaate tuli selväksi ja osa-alueen merkitys korostui.

Tulevaisuudessa on mielenkiintoista nähdä, miten tällä hetkellä varsin toimivaksi todettua järjestelmää vielä kehitetään. Laivoissa esiintyviä ongelmia ovatkin kosteus, korroosio, tärinä, lämpötila ja jäätymisongelmat kannella. Tältä pohjalta kehitettävää on edelleen ja järjestelmän toimivuutta voidaan vielä lisätä. Muovimateriaalien käyttö varsinkin putkistossa poistaisi paljon korroosio-ongelmia. Muoviputkia käytetäänkin jo joissakin vesijärjestelmissä, ja tulevaisuudessa muovin käyttäminen voisi olla rat-

kaisu myös paineilmajärjestelmiin. Ongelmia siinäkin tietysti vielä on, esimerkiksi paloturvallisuusasiat. Paineilmajärjestelmän käytön yhteydessä esiintyviin ongelmiin tulisi perehtyä nykyistä enemmän ja ennaltaehkäistä ongelmia panostamalla kunnossapitojärjestelmän kehittämiseen. Ratkaisemalla järjestelmän ongelmia voidaan tehdä muutoksia huolto-ohjelmiin, huoltoväleihin ja kehittää järjestelmää paremmaksi ja varmemmaksi. Jatkuva automaation lisääminen ei aina ole ratkaisu, vaan myös automaattisten järjestelmien tarpeellisuudesta ja niiden toimivuudesta pitää olla jatkuvasti varmuus.

LÄHTEET

Air Compressors. Saatavissa: <http://www.thomasnet.com/articles/machinery-tools-supplies/Air-Compressors> (viitattu 23.1.2011)

Atlas Copco 2011. Öljytiivistetyt ruuvikompressorit. Saatavissa: <http://productpagesct.atlascopco.com/ProductPages.asp?MASTER=PP%20MASTER%20GX%202%2011&Lng=FI&Country=FI> (viitattu 17.02.2011)

Compressed air systems. Saatavissa: http://www.tpub.com/content/engine/14076/css/14076_123.htm (viitattu 03.02.2011)

DNV 2009, Rotating machinery, drivers. Saatavissa: <http://exchange.dnv.com/publishing/RulesShip/2011-01/ts403.pdf> (viitattu 26.01.2011)

DNV 2011, Piping system. Saatavissa: <http://exchange.dnv.com/publishing/RulesShip/2011-01/ts406.pdf> (viitattu 26.01.2011)

DNV 2011, Rotating machinery, drivers units. Saatavissa: <http://exchange.dnv.com/publishing/RulesShip/2011-01/ts405.pdf> (viitattu 30.01.2011)

DNV, Luokitus. Saatavissa: http://www.dnv.fi/toimialat/meritekniikka/palvelut_ratkaisut/luokitus/index.asp (viitattu 26.01.2011)

DNV, Tietoa meistä. Saatavissa: http://www.dnv.fi/lisaa/profiili/tietoa_meista/ (viitattu 26.01.2011)

Finlex 1999. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1999/19990953> (viitattu 18.02.2011)

Hatlapa 2010. V-Line Series Compressors. Saatavissa:

<http://www.hatlapa.de/products/compressors/compressors-v-line-series/> (viitattu 30.01.2011)

Ilmakehän kemiallinen koostumus. Saatavissa:

<http://www.astro.utu.fi/zubi/atmosph/chem.htm> (viitattu 05.02.2011)

Ilmatieteen laitos 2011, Lämpötila ja kosteus. Saatavissa:

<http://ilmatieteenlaitos.fi/lamportila-ja-kosteus> (viitattu 26.01.2011)

Johnson, J. 2008. Refrigeration Fundamentals. Saatavissa:

http://www.technicaltrainingassoc.com/e_refrig_fund_hvacr_excerpt.htm (viitattu 28.01.2011)

Kaeser Suomi, Lämpöelvytteiset adsorptiokuivaimet. Saatavissa:

http://fi.kaeser.com/Products_and_Solutions/Compressed-air-treatment/Drying/Heated-desiccant-dryers/default.asp (viitattu 02.02.2011)

Kaeser Suomi, Paineilman jälkikäsittely. Saatavissa:

http://fi.kaeser.com/Products_and_Solutions/Rakennuskompressorit/compressed-air-treatment.asp (09.03.2011)

Kaeser Suomi, Syklonierottimet. Saatavissa:

http://fi.kaeser.com/Products_and_Solutions/Compressed-air-treatment/Filtration/Centrifugal-separators/default.asp (viitattu 26.01.2011)

Kasurinen, H-P. 2010. Paineilmajärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen.

Opinnäytetyö. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Saatavissa:

https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16158/Kasurinen_Harri-Pekka.pdf (viitattu 04.02.2011)

Koponen, M. 2010. Jätevedenpuhdistuslaitoksen paineilmajärjestelmän kehittäminen ja kustannusten selvittäminen. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/14626/Paineilma.pdf> (viitattu 05.02.2011)

Kuntonen, M. 2008. Uustuotteen valmistusprosessin tehostaminen. Opinnäytetyö.

Tampereen ammattikorkeakoulu. Saatavissa:

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8732/Kuntonen.Marko.pdf> (viitattu 17.02.2011)

Kuukka, M. 2010. Kirkniemen paperitehtaan paineilmanjärjestelmän energiatehokkuus. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Saatavissa:

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/12320/PAINEILMAN%20ENERGIA TEHOKKUUS.PDF> (viitattu 30.01.2011)

Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, Pneumatiikka. Saatavissa:

<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bk60a0001/lisatty/pneumatiikka.pdf> (viitattu 26.01.2011)

Lautasmalliset takaiskuventtiilit. Saatavissa:

http://www.pateko.fi/pdf/pateko_lautasmalliset_takaiskuventtiilit.pdf (viitattu 08.02.2011)

M/T Palva 2008. Compressed air system piirustus. (viitattu 17.02.2011)

Mattila, P. 2010. Pneumatiikka. Saatavissa:

<http://koti.welho.com/penttijuhani/Sivut/Pneumatiikka.htm> (viitattu 04.02.2011)

Merenkululaitoksen tiedotuslehti 2007. Saatavissa: http://www.trafi.fi/filebank/73-FI_2007_12_21_NR13.pdf (viitattu 17.02.2011)

Motion Control 2008. Refrigeration air dryer removes oil and water. Saatavissa:

<http://www.motioncontrol.co.za/news.aspx?pklnnewsid=31107> (viitattu 28.01.2011)

Paineilmajärjestelmät 2011. Saatavissa:

<http://pedawiki.wikispaces.com/Paineilmaj%C3%A4rjestelm%C3%A4t> (viitattu 22.1.2011)

Peltomaa, P. 2008. Paineilman energiatehokkuusjärjestelmä. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Saatavissa:

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/750/Peltomaa%20Pasi.pdf?sequence=1> (viitattu 26.01.2011)

Pneumatiikka. Saatavissa:

<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/automaatio/pneumatiikka/index.html> (09.03.2011)

Regulator Control Valves 2011. Saatavissa: <http://www.cunicocorp.com/Spring-Loaded-Back-Pressure-Valve-5016.htm> (viitattu 08.02.2011)

Sarlin 2011a. Air cooled or water cooled. Saatavissa:

http://www.sarlin.com/includes/file_download.asp?deptid=6552&fileid=3623&file=Eng.%20GrassAir%20WIS.pdf&pdf=1 (viitattu 17.02.2011)

Sarlin 2011b. Öljyttömät kompressorit. Saatavissa:

<http://www.sarlin.com/?Deptid=6552> (viitattu 18.02.2011)

Screw compressor action. Saatavissa:

<http://www.brighthub.com/engineering/marine/articles/87433.aspx?image=111338> (viitattu 28.01.2011)

SDT Ultrawave 170 2011. Saatavissa:

http://www.hantekno.com/Hantekno_tiedostot/Paineilmavuodot.pdf (viitattu 06.02.2011)

Sivistyssanakirja – Suomi Sanakirja, Adsorptio. Saatavissa:

<http://suomisanakirja.fi/adsorptio> (viitattu 26.01.2011)

Tamrotor. Paineilman suodatus ja kuivaus. Saatavissa:

http://www.compressor.fi/www/media/EsitePDF/Suodatus_ja_kuivaus.pdf (viitattu 28.01.2011)

Tamrotor. Tietoja paineilmajärjestelmän suunnittelijalle. Saatavissa:

http://www.compressor.fi/www/media/EsitePDF/Paineilmajarjestelmien_suunnittelu.pdf (viitattu 30.01.2011)

Tecalemit 2006. Paineilman huoltolaitteet. Saatavissa:

<http://www.tecalemit.fi/layout/dokumentit/1174637294-Wilkerson.pdf> (viitattu 02.02.2011)

The Engineering Toolbox 2011. Air Density. Saatavissa:

http://docs.engineeringtoolbox.com/documents/771/air_temperature_pressure_density.pdf (viitattu 05.02.2011)

The Engineering Toolbox, Mollier Diagram. Saatavissa:

http://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d_27.html (viitattu 26.01.2011)

Tukes 2000. Painelaitteiden määräaikaistarkastukset. Saatavissa:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/Painelait.mraikaist.pdf (viitattu 17.02.2011)

Tukes. Painelaitteiden kunnossapito. Saatavissa:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/painelaite-kunnossapito-opas.pdf (viitattu 17.02.2011)

Wärtsilä manual. Starting Air System 4R32.