

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys  
Jarno Kunttonen

Opinnäytetyö

Öljynerotussäiliön suunnittelu

Työn ohjaaja  
Työn tilaaja  
TAMPERE 4/2009

Lehtori, DI Harri Laaksonen  
Gardner Denver Oy, valvojana ins. Jukka Koskela

Tekijä	Jarno Kunttonen
Työn nimi	Öljynerotussäiliön suunnittelu
Sivumäärä	65 sivua + 3 liitesivua
Työn valmistumis- kuukausi ja vuosi	04/2009
Työn ohjaaja	DI Harri Laaksonen
Työn tilaaja	Gardner Denver Oy, valvojana: insinööri Jukka Koskela

---

## TIIVISTELMÄ

Öljynerotussäiliö on yksi öljyvoidellun ruuvikompressorin pääosista. Öljy jäädyttää ja voitelee roottorit, laakerit ja roottoripesän sekä tiivistää luistin ja ruuvin välisen välyksen. Säiliön tarkoituksena on erottaa paineilman seassa oleva öljy. Erotusmenetelmä jaetaan kahteen vaiheeseen, karkeaan ja hienoerotukseen. Karkeaerotus toteutetaan syklonin avulla, joka poistaa suurimman osan paineilman seassa olevasta öljystä. Karkean erotuksen jälkeen paineilma johdetaan hienoerotusvaiheeseen. Hienoerotusvaiheessa paineilman seassa oleva öljysumu nesteytetään öljynerottimien avulla ja imetään takaisin öljynkiertoon. Erotusvaiheiden jälkeen paineilman tulee olla jäännösöljymäärän suhteen vaatimusten mukainen.

Gardner Denver Oy:n öljynerotussäiliöiden valmistus sekä kustannukset katsottiin kehityskohteiksi. Opinnäytetyön päämääränä oli suunnitella vaihtoehtoisia ratkaisuja yrityksessä nykyisin käytettävän öljynerotussäiliön tilalle sekä dokumentoida käytettyjen ratkaisujen periaatteet. Ruuvikompressoreissa käytettäville öljynerotussäiliöille on asetettu tarkat vaatimukset luokituslaitosten osalta. Öljynerotussäiliössä käytettävien komponenttien ja valmistusmenetelmien tulee noudattaa asetettuja vaatimuksia tarkasti.

Työssä käsitellään sekä laivateollisuuden että teollisuuden tarpeisiin valmistettujen öljynerotussäiliöiden luokitussäännöstöjä. Säännöstöjen puitteissa paineastioista muokataan eri luokitusten mukaisia. Tarkastukset suorittaa aina luokituslaitoksen tarkastaja.

Työn tuloksena saatiin suunniteltua yritykselle öljynerotussäiliö, jonka katsottiin olevan toteutuskelpoinen niin valmistukseltaan kuin kustannuksiltaan. Kustannussäästöjen kartoittamiseen käytettiin eri valmistajien antamia kustannusarvioita suunniteltujen säiliöiden valmistuksesta.

Työn tuloksena suunniteltua säiliötä tullaan muokkaamaan luokitussäännöstöjen mukaiseksi sekä prototyypin valmistuttua tuotteen toiminnallisuus testataan yrityksen laboratoriossa. Testimenetelmät ja -tulokset dokumentoidaan yrityksen arkistointiin myöhempäällä suunnittelutyötä edistäväksi osioksi.

Writer	Jarno Kunttonen
Thesis	Design of oil receiver
Pages	65 pages + 3 appendices
Month and Year of Completion	04/2009
Thesis Supervisor	MSc. Harri Laaksonen
Co-operating Company	Gardner Denver Oy. Supervisor: BSc. Jukka Koskela

---

## **ABSTRACT**

Oil receiver is a part of the screw compressor. Oil cools and lubricates rotors, bearings and rotor housing and also seals the rotor clearance. The purpose of the oil receiver is to separate oil from the pressurized air. Oil separation happens in two phases. First cyclone separation removes most of the oil in a process called rough separation. After cyclone separation there is oil mist among compressed air. Second phase, fine separation, removes oil mist with oil separators.

There is need to develop manufacturing and reduce costs of the existing oil receiver. The purpose of this thesis was to design and document different alternatives to the existing oil receiver which used in the Gardner Denver Oy screw compressors.

Classification societies supervise the manufacturing and design methods which are used. Thesis finds out some of the most commonly used marine and industry rules for classification. Designed oil receiver has to form within framework of these rules.

Result of the work was new oil receiver, which qualify the manufacture and costs. Profitability calculations consists of basic subcontractor manufacturers offers.

Designed oil receiver shall be modified to fulfill the rules of classification, also functionality of the vessel shall be tested and analyzed.

---

Keywords      pressure vessel, oil separation, marine compressor classification, LR, DNV, PED, RS

## **Alkusanat**

Neljän vuoden opiskelun aikana saavutetut hedelmät tulisi nyt saattaa myös työyhteisön käyttöön. Haasteita riittää, mutta niihin on mielestäni osattava suhtautua sopivalla vakavuudella ja pitkäjänteisyydellä. Opinnäytetyöni suoritan toimeksiantona Gardner Denver Oy:ltä.

Työn sisältö koostui pääosin luokitusvaatimusten haarukoinnista sekä projektin edetessä saavutettujen ratkaisujen raportoinnista. Tiedon paljous sekä tarkkuus säännöstöjen osalta vaativat paljon aikaa sekä täsmällistä läpikäyntiä.

Opinnäytetyö oli kokonaisuudessaan mielenkiintoinen sekä haasteellinen. Sain runsaasti tietoa ja näkemystä öljynerotussäiliöiden teknisistä vaatimuksista sekä luokituslaitosten säännöstöjen tulkintavaikeuksista.

Kiitokset työn ideoinnista sekä ohjauksesta kuuluvat uustuotteiden suunnittelupäällikkö Jukka Koskelalle. Haluan myös kiittää Gardner Denver Oy:n henkilökunnasta kaikkia, jotka osallistuivat projektiin. Kiitän suunnittelupäällikkö Harri Väänästä luokitusasioiden ohjaamisesta ja neuvonnasta. Suunnittelijoille Tero Halttunen ja Reijo Hukkanen sekä suunnittelupäällikkö Jorma Koivulalle kiitokset työni opastuksesta sekä tuesta teknisissä asioissa. Kiitän myös DI Harri Laaksosta työni valvomisesta.

Tampereella 22.4.2009

Jarno Kunttonen

## Sisällysluettelo

<b>1 Johdanto</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Gardner Denver Oy</b> .....	<b>10</b>
2.1 Historia .....	10
2.2 Nykyhetki .....	10
2.3 Toiminta .....	11
2.4 Tuotteet .....	12
2.4.1 Ruuvikompressorin toimintaperiaate .....	12
2.4.1.1 Ilmajäähdytteinen ruuvikompressori .....	12
2.4.1.2 Vesijäähdytteinen ruuvikompressori .....	14
2.4.1.3 Öljynerotus.....	16
2.4.2 Peruskuormakoneet.....	18
2.4.3 VS -kompressorit .....	19
2.4.4 Tempest® -paketit.....	19
2.4.5 Enduro® -ruuviyksiköt .....	20
<b>3 Luokitukset ja vaatimukset</b> .....	<b>22</b>
3.1 Painelaitedirektiivi .....	22
3.1.1 Voimassaoloalue .....	22
3.1.2 Soveltamisala .....	23
3.1.3 Tekniset vaatimukset.....	24
3.1.4 Turvallisuusvaatimukset .....	24
3.1.5 Suunnittelu .....	24
3.1.6 Tarkastusmenetelmät ja tyhjennys.....	25
3.1.7 Valmistus .....	26
3.1.8 Tarkastus .....	26
3.1.9 Rakenneaineet .....	26
3.1.10 Vaatimustenmukaisuus .....	27
3.2 Lloyd's Register .....	28
3.2.1 Suunnitelmat .....	29
3.2.2 Luokitus ja vaatimukset .....	29
3.3 Det Norske Veritas .....	30
3.3.1 Suunnitelmat .....	30
3.3.2 Luokitus ja vaatimukset .....	30

3.4 Russian Maritime Register of Shipping .....	32
3.4.1 Suunnitelmat .....	32
3.4.2 Luokitus ja vaatimukset .....	32
3.5 Huollon vaatimukset .....	33
<b>4 Nykyinen säiliö .....</b>	<b>34</b>
4.1 Rakenne .....	34
4.2 Öljynerotus .....	35
4.3 Rakenneaine .....	36
4.4 Ongelmat .....	38
<b>5 Luonnostelmat .....</b>	<b>40</b>
5.1 Vaakamallinen säiliö .....	40
5.2 Kaksiosainen kolmen erottimen säiliö .....	41
5.2.1 Karkeaerotus .....	41
5.2.2 Hienoerotus .....	43
5.2.3 Loppukokoonpano .....	45
5.3 Kaksiosainen kalottinen sykloniosa .....	46
5.3.1 Karkeaerotus .....	46
5.3.2 Hienoerotus .....	47
5.3.3 Loppukokoonpano .....	47
5.4 E50-säiliö .....	48
5.4.1 Karkeaerotus .....	48
5.4.2 Hienoerotus .....	49
5.4.3 Loppukokoonpano .....	50
<b>6 Öljynerotinelementti .....</b>	<b>52</b>
6.1 Suunnittelun spesifikaatiot .....	52
6.2 Rakenne .....	53
6.3 Vaihtuvuus .....	56
6.4 Öljynerottimen valinta .....	56
<b>7 Kustannusvertailu ja -säästöt .....</b>	<b>57</b>
7.1 Säiliöiden kustannusvertailu .....	57
7.2 Öljynerottimien kustannusvertailu .....	59
<b>8 Säiliötyypin valinta .....</b>	<b>61</b>

<b>9 Yhteenveto .....</b>	<b>63</b>
<b>Lähteet.....</b>	<b>64</b>
<b>Liitteet .....</b>	<b>66</b>
Liite 1: Vaatimustenmukaisuuden arviointitaulukko .....	66
Liite 2: Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt .....	67
Liite 3: Vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa esitettävät asiat .....	68

## Lyhenteet ja merkinnät

SRM	Svenska Rotormaskiner
OEM	Original Equipment Manufacture
TMC	Tamrotor Marine Compressor
Luokitukset:	
PED	Pressure Equipment Directive, Painelaitedirektiivi
LR	Lloyd's Register
DNV	Det Norske Veritas
RS	Russian Maritime Register of Shipping
Määritelmät:	
PS	Suurin sallittu käyttöpaine
V	Tilavuus (Volume)
Fluidit	Puhtaana faasina olevat kaasut, nesteet ja höyryt
Materiaalin erityisarviointi	Valmistaja selvittää PED:n vaatimusten täyttymisen

# 1 Johdanto

Työn tavoitteena on dokumentoida ja raportoida säiliön suunnittelun ja kehitystyön kannalta olennaisia asiahaaroja sekä kerätä tietoa luokituslaitosten vaatimuksista paineastioille. Projektikuvauksen tulisi näin ollen nopeuttaa ja helpottaa tulevien säiliöiden suunnitteluprojekteja.

Työssä etsitään ja analysoidaan vaihtoehtoisia ratkaisuja Gardner Denver Oy:ssä käytävälle öljynerotussäiliölle. Nykyisen säiliön kustannukset ja valmistusmenetelmä on koettu haasteellisiksi. Lisäksi erotinelementtien kiinnitystyyppin muutokset ovat rajoitettuja nykyisen säiliön kannalta. Näiden kehitystarpeiden pohjalta katsottiin aiheelliseksi toteuttaa uuden säiliön kehittämis- ja suunnitteluprosessi.

Nykyinen säiliö on käytössä Gardner Denver Oy:n kaikissa yli 90 kW kompressoripaketeissa. Kompressoripaketeissa käytetään joko yhtä tai kahta säiliötä, riippuen koneen tuotto-alueesta. Suurituottoisten kompressoripakettien vuotuinen menekki on noin 576 kpl, joten paineastian kustannusten leikkaaminen tai vaihtoehtoisesti kustannustehokkaamman valmistajan löytäminen tuo yritykselle merkittäviä säästöjä.

## **2 Gardner Denver Oy**

### **2.1 Historia**

Gardner Denver Oy:n juuret ulottuvat aina 1960-luvulle asti. Silloinen Tampella Tamrock solmi vuonna 1963 lisenssisopimuksen SRM:n (Svenska Rotormaskiner) kanssa ruuvikompressorien valmistuksesta. Sopimuksen syynä oletetaan olleen Kalliopora-koneosaston (myöh. Tamrock) tarvitsemat dieselkompressorit. SRM:n kanssa solmittu sopimus edellytti myös tilaamaan ensimmäisen Holroyd-roottorijyrsinkoneen, jotta yrityksen ensimmäisen ruuvikompressorin valmistus olisi mahdollista. Ensimmäinen ruuvikompressor saatiinkin valmiiksi vuonna 1968. (GD Oy 2008)

Liiketoiminta jatkui tällaisena vuosikymmeniä, kunnes kompressoriosasto päätettiin yhtiöittää. Vuonna 1990 yhtiötetty kompressoriosasto sai nimekseen Tamrotor (nykyinen Gardner Denver Oy). Kompressoriosaston alkutaival oli kuitenkin vaikea, ja ensimmäisen vuoden tulos ei ollut odotetunlainen. Vuonna 1991 käynnistetty ENDURO -ruuviyksikkösarjan suunnittelu oli elintärkeää, jotta kannattava yksikköjen ja komponenttien suoramyynti saatiin käyntiin OEM (Original Equipment Manufacturer) -asiakkaille. Vuodesta 1991 lähtien liikevaihto onkin kasvanut tasaisesti. (GD Oy 2008)

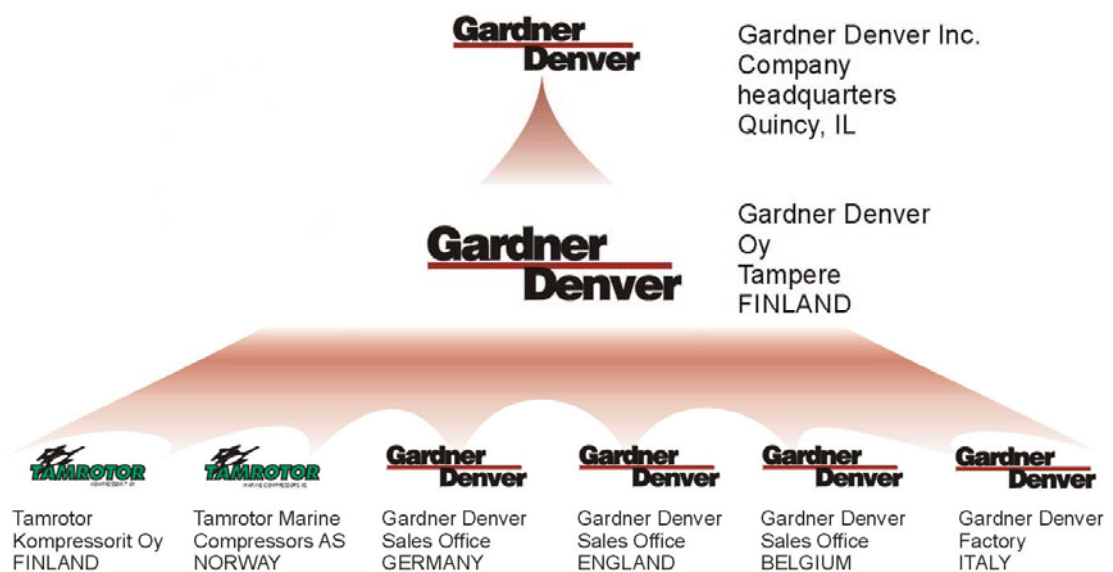
Tasaisen kasvun tuloksena amerikkalainen suuryritys Gardner Denver Inc. huomasi suomalaisen ammattitaidon ja osti Tamrotorin tytäryhtiökseen vuonna 1997. Vuonna 1991 Gardner Denver Oy -nimi otettiin käyttöön. Tamrotor Kompressorit Oy -nimi jäi kuitenkin käyttöön Gardner Denver Oy:n suomalaiselle jälleenmyyjälle. Vuonna 2003 yrityksen nykyinen Gardner Denver -logo otettiin käyttöön. (GD Oy 2008)

### **2.2 Nykyhetki**

Gardner Denver Inc. on yksi maailman suurimmista paineilmaa tuottavien ruuviyksikköiden valmistajista. Maailmanlaajuista korporaatiota johdetaan Yhdysvalloista, Quincystä, jossa Gardner Denver Inc.:n pääkonttori sijaitsee. GD Inc. listattiin vuonna 1997 New Yorkin pörssiin (NYSE), ja osakkeen arvo huhtikuussa vuonna 2009 oli noin 25 USD. (GD Oy 2008)

Nykypäivänä Tampereen Messukylän tuotantotehdas on amerikkalaisen suuryrityksen ainoa pohjoismaissa toimiva tuotantotehdas. Tampereen tehtaan lisäksi on kolme muuta tuotantotehdasta: Kiinassa, Italiassa ja USA:ssa. Tampereen tehdas on onnistunut jatkuvasti kehittämään ja kasvattamaan toimintaansa. Yrityksen liikevaihto noususuhdanteen ansiosta vuonna 2007 oli 69,7 milj. euroa, sisältäen Tamrotor Kompessorit Oy:n osuuden. Tällä hetkellä yrityksen palkkalistoilla on n. 250 työntekijää. (GD Oy 2008)

Gardner Denver Oy:n asiakaskunta sijoittuu ympäri maailmaa, ja kompressorien myynti ja markkinointi ulottuu yli 40 maahan laajan edustajaverkoston avulla. Laivakompressorimyynti suoritetaan norjalaisen yhteistyöyrityksen TMC (Tamrotor Marine Compressor) kautta. Kuviossa 1 on esitetty Euroopan ruuvikompressoriorganisaation jakautuminen. (GD Oy 2008)



Kuvio 1: Euroopan organisaation jakautuminen (GD Oy 2008)

### 2.3 Toiminta

Gardner Denver Oy:n liiketoiminta-alueet voidaan jakaa pääpiirteittäin kolmeen pääryhmään, nämä ovat: teollisuuskompressorit, ruuviyksiköt OEM-asiakkaille ja Marine -kompressorit. Näiden liiketoimintojen lisäksi yrityksen sisäisiä toimintoja ovat henkilöstö- ja taloushallinta, jälkimarkkinointi, suunnittelu, laatu, tuotannonkehitys, myynti, markkinointi ja asiakaspalvelu. Näiden toimintojen avulla yritys pyrkii jatkuvasti kehittämään ja jalostamaan toimintaansa. (GD Oy 2008)

Asiakkaiden alati kasvavat paineilmatarpeet asettavat myös Gardner Denverille haasteita vastata asiakkaiden tarpeisiin. Yrityksen tuotannossa on keskitytty kehittämään edullista ja nopeaa massa/sarjatuotantoa eli massaräätälöintiä. Omat haasteensa räätälöinnin kehittämiseen tuo koneiden asiakaskohtainen valmistus.

## **2.4 Tuotteet**

Yritys panostaa ennen kaikkea pitkäaikaiseen ja varmaan paineilmantuottoon kompressoreita suunnitellessaan. Ruuvikompressorin suuria etuja ovat sen suuri tuotto ja vakioitu verkoston paine, joka muilla kompressorityypeillä on vaikeaa. Industrial-koneet ovat parhaiten teollisuuden vaatimukset täyttävä kompressori, joten ne päätyvät yleensä paperi- ja metalliteollisuuteen. Marine- eli laivakompressorit vastaavasti myydään yhteistyössä TMC:n kanssa laivoihin ja öljynporauslautoille täyttämään näiden toimialojen paineilmatarpeet.

### **2.4.1 Ruuvikompressorin toimintaperiaate**

Laitteita, joilla nostetaan kaasun painetta vähintään kaksinkertaiseksi verrattuna imu-paineeseen, kutsutaan yleisnimellä kompressori. Paineenkasvun ollessa pienempi puhutaan puhaltimista ja ahtimista. Paineenkasvu saavutetaan kaasun tilavuutta pienentämällä.

#### **2.4.1.1 Ilmajäähdytteinen ruuvikompressori**

Ilmajäähdytteisen ruuvikompressorin toimintaperiaate on havainnollistettu kuviossa 2. Ruuvikompressorin kierto lähtee käyntiin sähkömoottorista, joka pyörittää ruuviyksikön roottoreita. Tällöin imuventtiili aukeaa ja imuilma pääsee kompressoriin. Imuilma sekoittuu tullessaan öljyyn. Sekoittuvan öljyn tarkoituksena on jäähdyttää ja voidella roottorit, laakerit ja roottoripesä sekä tiivistää luistin ja ruuvin välinen vällys.

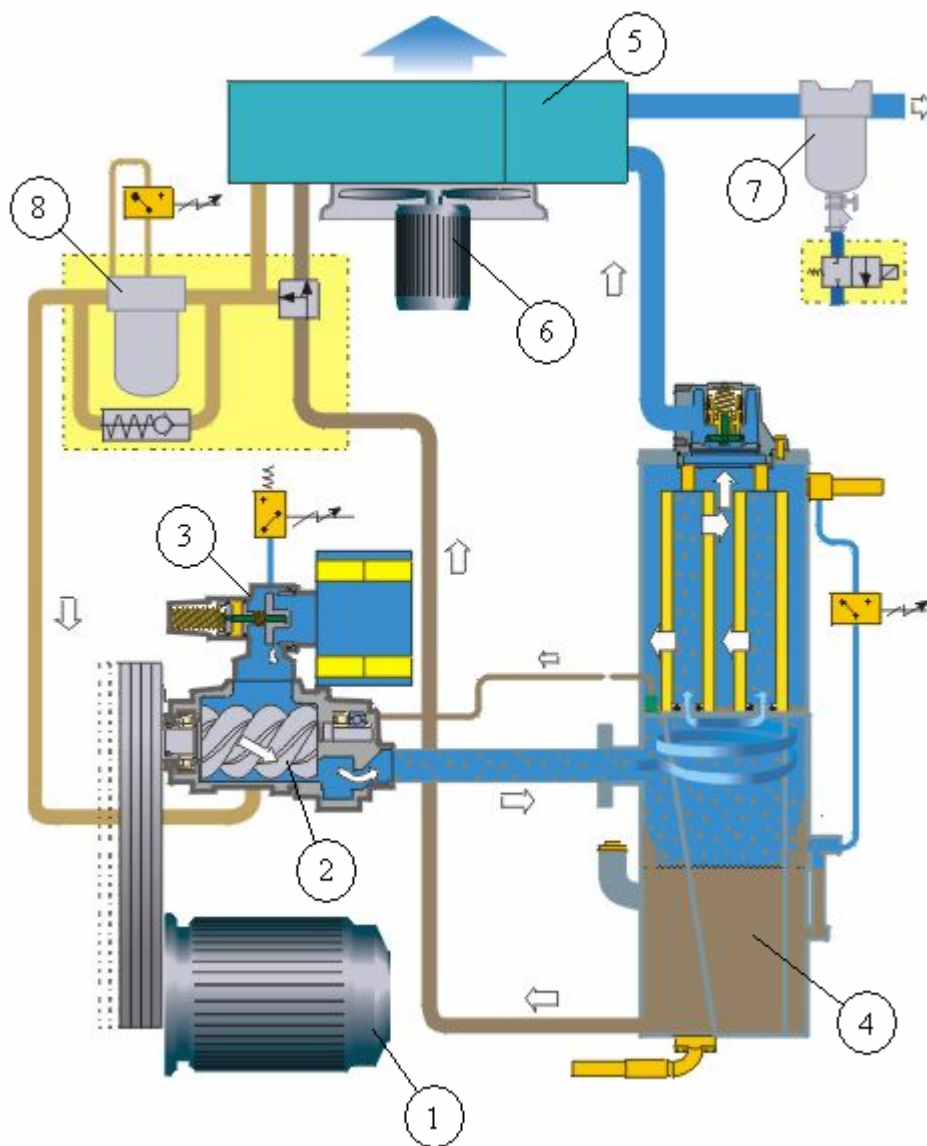
(GD Oy 2008)

Roottorien kiertyessä ilma/öljy-seos puristuu paineaukon puolelle, jolloin seoksen paine kasvaa normaalia ilmanpainetta suuremmaksi. Paineenalainen öljy/ilma-seos kulkeutuu säiliöön, jossa aluksi tapahtuu öljyn karkeaerotus syklonin avulla. Paineenalainen ilma nousee ylöspäin säiliön pohjalta ja puristuu öljynerottimien läpi säiliön yläosaan, jossa

paine kasvaa tuottoventtiilin asentoa vastaavaksi. Saavutettuaan vaadittavan paineen johdetaan paineilma jäähdytimeen. (GD Oy 2008)

Jäähdyttimessä on kaksi puolta, toinen jäähdyttää öljyä ja toinen paineilmaa. Jäähdytys tapahtuu ilmajäähdytteisissä ruuvikompressoreissa jäähdyttimen läpi puhaltavan jäähdytyspuhaltimen avulla. Jäähdyttimen jälkeen paineilma kulkeutuu vedenerottimeen. Vedenerottimessa poistetaan paineilmassa oleva kondenssivesi, minkä jälkeen se on valmista paineilmaa runkoverkkoon. (GD Oy 2008)

Karkeaerotuksessa erottuva öljy kerääntyy säiliön pohjalle, josta se paine-eron johdosta saadaan öljynsuodattimen kautta takaisin kiertoon. (GD Oy 2008)



Kuvio 2: Ilmajäähdytteinen ruuvikompressori (GD Oy 2008)

Kompressorin osat kuviossa 2:

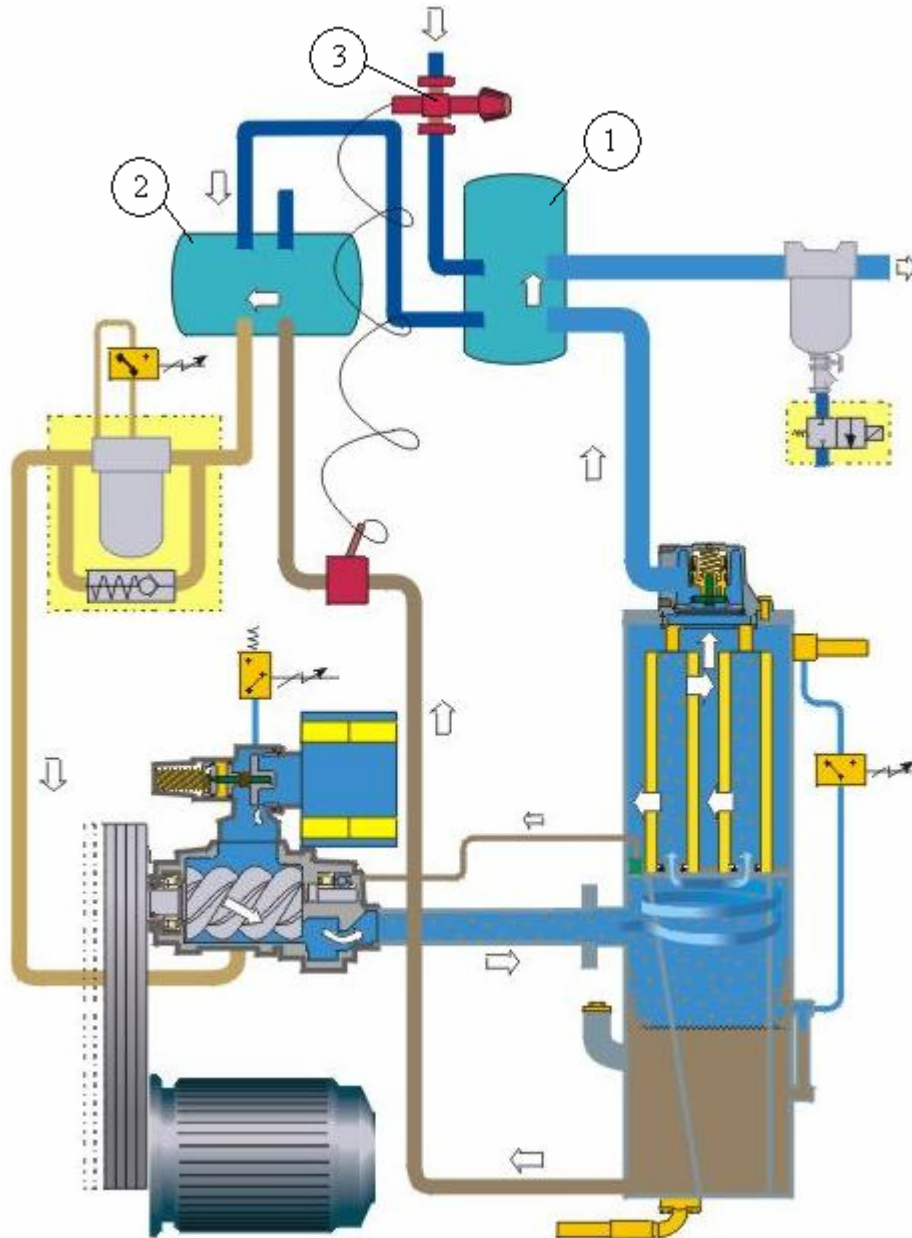
- |                  |                     |
|------------------|---------------------|
| 1. Sähkömoottori | 5. Jäähdytin        |
| 2. Ruuviyksikkö  | 6. Puhallinmoottori |
| 3. Imuventtiili  | 7. Vedenerotin      |
| 4. Säiliö        | 8. Öljynsuodatin    |

#### 2.4.1.2 Vesijäähdytteinen ruuvikompressori

Vesijäähdytteisen ruuvikompressorin toimintaperiaate on vastaava kuin ilmajäähdytteisen, mutta siinä ei ole jäähdytyspuhallinta. Kuviossa 3 on esitetty vesijäähdytteinen ruu-

vikompressori. Kuvioon 3 on merkitty numeroin osat, jotka eroavat ilmajäähdytteisestä ruuvikompressorista.

Vesijäähdytteisessä kompressorissa on myös kaksi jäähdytintä. Paineilman jäähdytys tapahtuu ilmanjäähdyttimessä (1) ja öljyn öljynjäähdyttimessä (2). Jäähdyttimissä kiertää verkostosta saatava vesi. Verkostosta otettavan veden määrää voidaan säädellä vesitermostaatilla (3) jäähdytystarpeen mukaan. Uudemmissa vesijäähdytteisissä kompressoreissa on yrityksessä käytössä öljynkiertoa säätelevä sekoitin, joka määrittää öljyn jäähdytystarpeen. Näissä kompressoreissa verkoston vesi kiertää jatkuvasti kompressorin lävitse. Vesijäähdytteinen kompressori voidaan varustaa joko makea- tai merivesijäähdytteiseksi, jolloin jäähdyttimien materiaalit valitaan korroosionkestävyys huomioon ottaen. (GD Oy 2008)



Kuvio 3: Vesijäähdytteinen ruuvikompressori (GD Oy 2008)

Kompressorin osat kuviossa 3:

1. Ilmanjäähdytin
2. Öljynjäähdytin
3. Vesitermostaatti

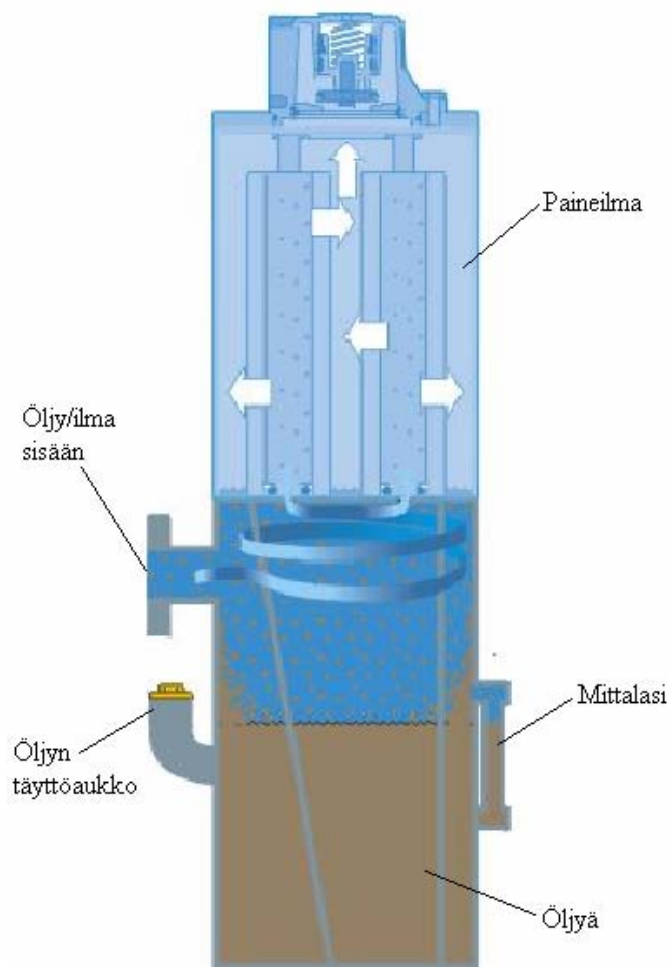
#### 2.4.1.3 Öljynerotus

Öljynerotusprosessi jaetaan kahteen vaiheeseen, karkeaan ja hienoon. Karkeaerotusvaiheessa syklonin avulla pystytään ihanneolosuhteissa erottamaan jopa 99 % öljystä, joka

ruuviyksiköltä säiliöön johdetaan. Ruuviyksiköltä johdettavan öljyn määrä on kuitenkin suuri, joten hienoerotukseen menevän ilman seassa on vielä runsaasti öljyä. Hienoerotukseen menevän öljyn määrä on normaaliolosuhteissa noin 0,05 - 0,5 l/min.

(Kapanen 2008, 17)

Öljyn karkeaerotusta on havainnollistettu kuviossa 4, josta voidaan havaita öljyn ja ilman käyttäytyminen syklonin ympärillä. Valkoiset nuolet kuviossa 4 kuvaavat paineilman kulkusuuntaa.



Kuvio 4: Öljyn karkeaerotus (GD Oy 2008)

Öljynerottimien avulla toteutetaan hienoerotus. Öljynerottimina käytetään nesteyttäviä öljynerottimia. Öljynerottimen toiminta perustuu siinä sijaitseviin kerroksiin, joiden avulla pienet öljypisarot nesteytetään suuremmiksi pisaroiksi. Hienoerotuksen tarkoituksena on saavuttaa riittävä paineilman ja jäännösöljymäärän suhde.

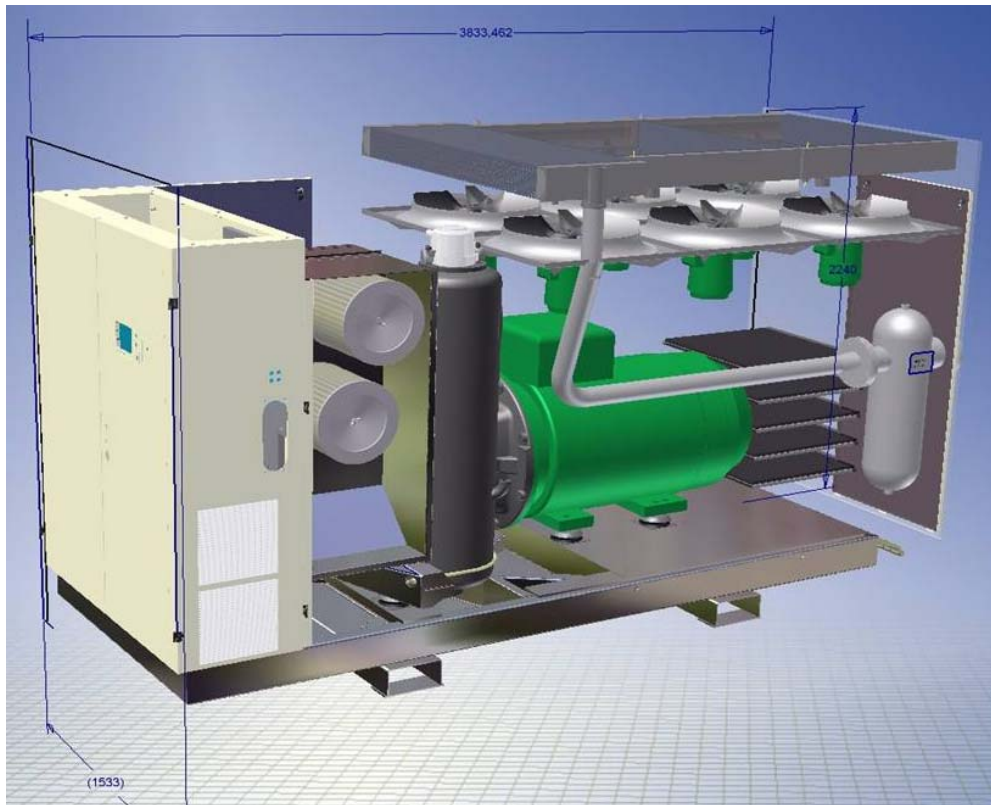
(Kapanen 2008, 18-19)

## 2.4.2 Peruskuormakoneet

Perinteisimpiä ruuvikompressoreja ovat peruskuormakoneet, jotka on suunniteltu tasaiseen paineilman tuottoon vakiopyörimisnopeudella. Tampereen tehtaalla valmistettavien peruskuormakoneiden tehoalue on 3-315 kW ja paine-alue rajoittuu 3-13 bar:iin. Kompressoripaketit jaetaan tehtaan sisällä pieniin (4-40 kW), keskisuuriin (40-75 kW) ja isoihin (90-315 kW). Peruskuormakompressorit päätyvät teollisuuden ja laivateollisuuden käyttöön. Eritoten asiakaskuntaa löytyy paperi- ja prosessiteollisuudesta sekä laiva- ja kaivosteollisuudesta. Gardner Denverin valmistama laivateollisuuden peruskuormakone TMC 240-365 on esitetty kuviossa 5. Kompressorin sisäosat on esitetty kuviossa 6.(GD Oy 2008)



Kuvio 5: Peruskuormakone TMC 240-365



Kuvio 6: Peruskuormakoneen sisäosat (GD Oy 2008)

### 2.4.3 VS -kompressorit

Gardner Denver valmistaa VS (Variable Speed) -kompressoreita tehoalueella 11-320 kW. VS -kompressorien energiatehokkuus perustuu taajuusmuuttajaan. Taajuusmuuttajan tehtävänä on säädellä sähkömoottorin kierrosnopeutta ilmantarpeen mukaan. Säästöt energiankulutuksessa saavutetaan ilmantarpeen ollessa vaihtelevaa, jolloin sähkömoottorin kierrosnopeus saadaan optimoituja tarpeita vastaavaksi.

### 2.4.4 Tempest® -paketit

Gardner Denver valmistaa myös omana tavaramerkkinään integroituja ruuvikompressoripaketteja. Tempest® -paketteihin on suunniteltu kokonaisvaltainen öljynerotusjärjestelmä sekä ruuviyksikkö. Tempest®:iin suunniteltu öljynerotusjärjestelmä hyödyntää tehokkaasti keskipakovoimaa, jolla suurin osa öljystä saadaan erotettua jo syklonivaiheessa. (GD Oy 2008)

Samaan pakettiin on suunniteltu samat toiminnot kuin isoihin ruuvikompressoreihin, mutta kompaktiin kokoon. Tempest® -paketit jaotellaan kolmeen valmistusryhmään niiden koon mukaan: T3, T6, T12 ja T25. Paketit ovat helppoja koeponnistaa ja tarkas-

taa niiden pienen koon vuoksi painekammiossa. Kuviossa 7 on havainnollistettu Tempest® -paketin kokonaiskuvaa osaleikkauksen avulla.



Kuvio 7: Osaleikkaukkuva Tempest® -paketista (GD Oy 2008)

#### **2.4.5 Enduro® -ruuviyksiköt**

Ruuviyksiköiden valmistamiseen on panostettu yrityksessä. Mittavilla koneistuskeskushankinnoilla on varmistettu tehokas ja tuottava yksiköiden valmistus. Enduro® -yksiköt ovat merkittävä tulonlähde niiden suuren OEM-tuotemyynnin vuoksi.

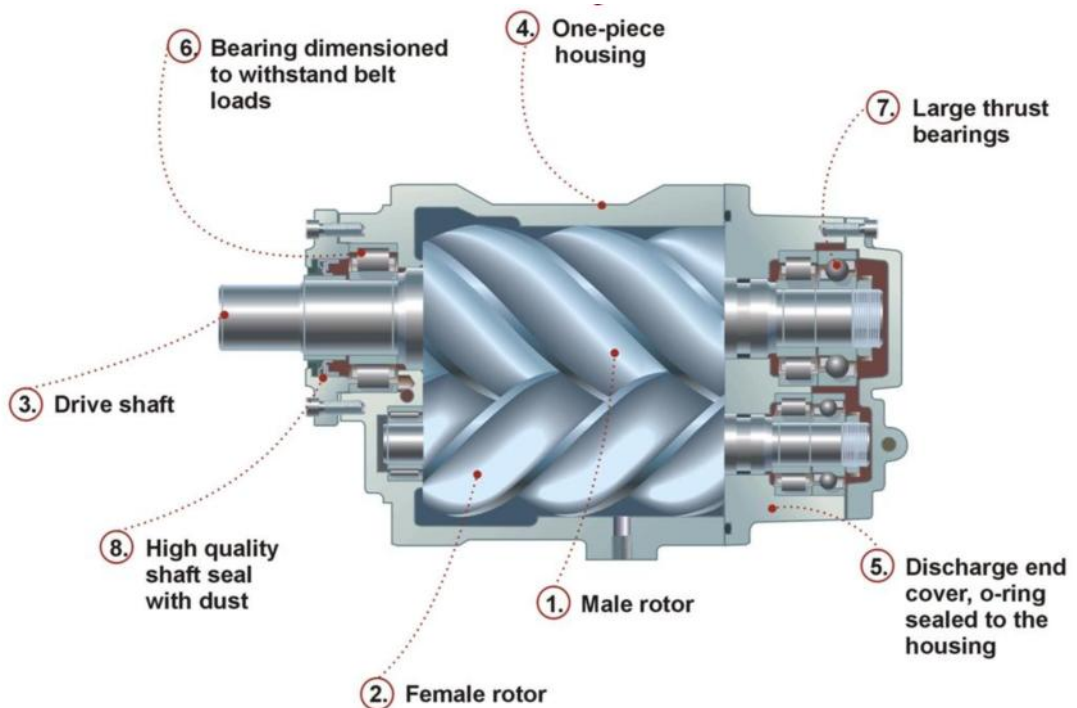
Ruuvikompressorissa ilmanpuristamiseen käytetään roottoreita. Roottorit ovat erittäin tarkasti sorvattuja ja hiomalla viimeisteltyjä aihioita. Gardner Denverin valmistamissa Enduro® -ruuviyksiköissä käytetään 4/5 ruuvi- ja luistiroottoriyhdistelmää. Tällöin ruuviroottorissa on 4 hammasta ja luistiroottorissa 5. (GD Oy 2008)

Valmistettavat ruuviyksiköt jaetaan 7 eri ryhmään yksiköiden kierrostilavuuden mukaan. Valmistusmerkintä E75 tarkoittaa, että yksikössä on käytetty Enduro 75 -profiilisia roottoreita. Taulukossa 1 on esitetty Gardner Denverillä valmistettavien yksiköiden valmistusmerkinnät ja kutakin yksikköä vastaavat tuotot.

Taulukko 1: Ruuviyksiköt sekä niiden tuotot (GD Oy 2008)

Yksikkö	Roottorityyppi	Tuotto (m <sup>3</sup> /min)
E3	Enduro 3	0,5 - 2,3
E6	Enduro 6	0,9 - 4,3
E12	Enduro 12	1,7 - 7,2
E25	Enduro 25	2,7 - 13
E75	Enduro 75	5,3 - 30
E175	Enduro 175	17,6 - 47
D321	321 mm	36,3 - 73,6

Enduro® -yksikön profiili on esitetty kuviossa 8. Kuviossa 8 on poikkileikkaus yksiköstä, jossa on luistiroottori (female rotor) ja ruuviroottori (male rotor). Kuvioista 8 havaitaan myös ruuviyksikön muut osat. Kuviossa 8 on esitetty ns. suora yksikkö, jolloin sähkömoottori kytketään suoraan kytkimen välityksellä ruuviin. Gardner Denver valmistaa myös vaihteellisia yksiköitä, jolloin yksikön välityssuhde valitaan tarvittavan tuoton sekä sähkömoottorin tehon mukaan. (GD Oy 2008)



Kuvio 8: Poikkileikkaus ruuviyksiköstä (GD Oy 2008)

### **3 Luokitukset ja vaatimukset**

Nykyinen säiliö on suunniteltu vuonna 1983, jolloin se suunniteltiin voimassaolevan yksinkertaisen painelaitteen piiriin. EY:n painelaitedirektiivi (97/23/EY), jonka vaatimusten ja määräysten mukaan uusi paineastia tullaan suunnittelemaan, on tullut voimaan 29.5.1997. Myöhemmässä vaiheessa painelaitedirektiivin myötä ilmenneitä suunnitteluun liittyviä tekijöitä tullaan muokkaamaan myös laivaluokitusten mukaisiksi, jolloin paineastian konfiguraatiota voidaan soveltaa myös laivateollisuuden meneviin koneisiin.

Painelaitedirektiivi kattaa myös paineastiaan kytkettyjen putkistojen, paineen rajoittimien ja varoventtiilien vaatimukset ja määräykset, mutta nämä kohdat jätetään huomiotta tässä opinnäytetyössä.

Luvuissa kartoitetaan eri säännösten rajoituksia ja vaatimuksia säiliön suunnittelun kannalta.

#### **3.1 Painelaitedirektiivi**

Painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien suunnittelulle, valmistukselle ja vaatimusten mukaisuuden arvioinnille määritellyt menettelyt on koottu painelaitedirektiiviin (97/23/EY). Painelaitteita koskeva kauppa- ja teollisuusministeriön päätös (938/1999) sisältää painelaitedirektiivin ja sitä tullaan soveltamaan painelaitteisiin ja laitekokonaisuuksiin, joiden suurin sallittu käyttöpaine on yli 0,5 bar. (TUKES -opas, Painelaitteet 2008, 5)

##### **3.1.1 Voimassaoloalue**

Painelaitedirektiivi on voimassa Euroopan talousalueella (ETA), sen voimassaoloalueeseen kuuluvat sekä Euroopan unionin jäsenvaltiot että Euroopan vapaakauppaliiton (EFTA) valtiot. Painelaitedirektiivi koskee näihin valtioihin toimitettavia lähetyksiä.

Euroopan unionin jäsenvaltiot: Alankomaat, Belgia, Bulgaria, Espanja, Irlanti, Italia, Itävalta, Kreikka, Kypros, Latvia, Liettua, Luxemburg, Malta, Portugali, Puola, Ranska,

Romania, Ruotsi, Saksa, Slovakia, Slovenia, Suomi, Tanska, Tšekki, Unkari, Viro ja Yhdistynyt Kuningaskunta. (Euroopan unionin portaali, EU:n jäsenvaltiot 2008)

Euroopan vapaakauppaliiton valtiot: Norja, Islanti, Liechtenstein ja Sveitsi. (Euroopan unionin portaali 2006)

### **3.1.2 Soveltamisala**

Painelaitedirektiivin soveltamisalaan kuuluvat ja kuulumattomat painelaitteet on määriteltä TUKESin 5/2005 julkaisemassa painelaitedirektiivissä ja sen ensimmäisessä artiklassa. Artiklan 1 perusteella selvitetään, onko kyseessä oleva paineen alainen osa direktiivin soveltamisalan ja määritelmän mukaan painelaitteeksi luettava, jolloin osaa koskevat painelaitedirektiivin vaatimukset ja säädökset.

Painelaitedirektiiviä sovelletaan ensimmäisen artiklan 1 kohdan mukaan sellaisiin painelaitteisiin, joiden suurin sallittu käyttöpaine on yli 0,5 bar. Direktiivin 1 artiklan kohdan [2 3] mukaan suurimmalla sallitulla käyttöpaineella (PS) tarkoitetaan sitä painetta, jolle laite on valmistajan mukaan suunniteltu. Valmistajan on ilmoitettava suurin sallittu paine.

Painelaitteen (öljynerotussäiliön) teknisiä vaatimuksia määriteltäessä on huomioitava 1 artiklan toisen kohdan määritelmät tilavuudelle (V) ja fluideille, joita painelaitteessa esiintyy.

Painelaitteen kammioille lasketaan erikseen sisäiset tilavuudet, mutta vaatimustenmukaisuuden arviointitaulukoita tulkittaessa huomioidaan koko painelaitteen tilavuus. Tällöin tilavuuteen (V) luetaan kunkin kammion tilavuus, lukuun ottamatta kiinteiden sisäisten osien tilavuutta. Tämä on määriteltä 1 artiklan kohdassa [2 5].

Painelaitteessa esiintyviä kaasuja, nesteitä ja höyryjä määritetään, direktiivin 2 artiklan kohdassa [2 7] fluideiksi, jotka esiintyvät puhtaana faasina painelaitteessa. Käsitettä, fluidi, tullaan tarvitsemaan teknisiä vaatimuksia määritettäessä.

Soveltamisalaan kuulumattomat painelaitteet on määritelty artiklan 1 kohdassa 3. Öljynerotussäiliötä suunniteltaessa on oleellinen kohta [3 14], jonka mukaan laivoihin asennettavat ja niissä käytettävät laitteet eivät kuulu direktiivin soveltamispiiriin.

### **3.1.3 Tekniset vaatimukset**

Direktiivin artiklassa 3 selvitetään painelaitteen tyyppi, jonka perusteella direktiivin liitteessä I esitetyt olennaiset vaatimukset laitteen tulee täyttää. Säiliöt määritellään 3 artiklan kohdissa [1 1] ja [1 2], jolloin jaottelu suoritetaan laitteessa käytettävän fluidin, tilavuuden ja suurimman sallitun paineen perusteella.

### **3.1.4 Turvallisuusvaatimukset**

Painelaitedirektiivin liitteessä I käsitellään olennaisia turvallisuusvaatimuksia, jotka ovat velvoittavia. Painelaitteet tulee suunnitella, valmistaa, tarkastaa ja tarvittaessa asentaa siten, että niiden turvallisuus on taattu. Tämä velvoite on voimassa, mikäli laite on otettu käyttöön valmistajan ohjeiden mukaisesti. Vaarat on menettelytapoja valittaessa poistettava tai niitä on pyrittävä pienentämään siinä määrin kuin kohtuudella on mahdollista.

### **3.1.5 Suunnittelu**

Painelaitteet tulee suunnitella asianmukaisesti ottaen huomioon kaikki ne tekijät, joiden perusteella voidaan laitteen turvallisuus taata koko sen käyttöäksi. Varmuuskertoimien lähtökohdana on suunnittelussa pidettävä yleisiä menetelmiä, joiden perusteella varmuusvaraa pidetään riittävänä kaikenlaisten vikojen ennakoimiseen.

Painelaitteita suunniteltaessa on ne suunniteltava kestämään käyttötarkoitusta vastaavia kuormituksia. Erityishuomiota on direktiivin mukaan kiinnitettävä seuraaviin tekijöihin:

- sisäinen ja ulkoinen paine
- ympäristön lämpötila ja käyttölämpötila
- staattinen paine ja sisällön massa käyttö- ja koetusolosuhteissa
- tukien, kiinnikkeiden, putkistojen jne. aiheuttamat vastavoimat ja -momentit

Jotta lujuus voidaan katsoa riittäväksi, on suunnittelun perustuttava laskentamenetelmään tai kokeelliseen suunnittelumenetelmään. Yleensä riittävän lujuuden takaamiseksi suunnittelu suoritetaan laskentamenetelmään perustuen, jolloin suoritetaan direktiivin

liitteen I kohdassa [2 2 3] määritellyt laskentamenetelmän vaiheet. Kokeellinen suunnittelumenetelmä suoritetaan ilman laskentaa ja liitteen I kohdan [2 2 4] mukaisesti. Kokeellista suunnittelumenetelmää on mahdollista soveltaa, kun suurimman sallitun paineen (PS) ja tilavuuden (V) tulo on alle  $6000 \text{ bar} \cdot \text{L}$ .

Laite voidaan osoittaa vaatimustenmukaiseksi kaikilta osin tai osittain koetusohjelmalla, jolloin koetus suoritetaan suunnitellun laitteen tai laiteryhmän koekappaleelle. Koetusohjelman sisältö on kuvattu painelaitedirektiivin liitteessä I, kohdassa [2 2 4]. Ennen koetuksen suoritusta on koetusohjelma määriteltävä ja vastaavan ilmoitetun laitoksen on se hyväksyttävä.

Koetusolosuhteet ja hyväksymis- ja eväämisperusteet on määriteltävä ohjelmassa, samoin tutkittavan painelaitteen olennaiset mitat ja rakenneaineiden ominaisuuksien täsmälliset arvot on mitattava ennen koetusta. Koetuksen aikana on pystyttävä havainnoimaan laitteen kriittisiä alueita asianmukaisin laittein ja menetelmin, jolloin voidaan riittävän tarkasti mitata muodonmuutokset ja jännitykset.

Tietyt kohdat täytyy kuulua koetusohjelmaan. Koetusohjelmassa on oltava paineenkestokoe, jonka avulla tarkastetaan, ettei laitteessa tapahdu merkittävää vuotoa eivätkä rakenteelliset muodonmuutokset ylitä määrättyä rajaa. Muodonmuutokset takaavat varmuusvaran suhteessa suurimpaan sallittuun käyttöpaineeseen. Mikäli on ennustettavissa virumis- ja väsymisvaara, on niiden toteamiseen oltava tarkoituksenmukaiset kokeet. Tarvittaessa on suoritettava myös muita kokeita, jotka liittyvät muihin direktiivin kohdassa [2 2 1] tarkoitettuihin erityisiin ympäristötekijöihin.

### **3.1.6 Tarkastusmenetelmät ja tyhjennys**

Painelaitteiden turvallisen käytön kannalta on ne suunniteltava siten, että laitteisiin voidaan suorittaa määräysten vaatimat tarkastukset. Suunniteltaessa on siis otettava huomioon, että laitteen sisäpuolinen kunto voidaan tarkastaa ja määrittää. Asianmukaiset tarkastukset täytyy pystyä suorittamaan turvallisesti ja ergonomisesti mahdollisista tarkastusaukoista.

Painelaitteeseen on suunniteltava tarpeen vaatiessa riittävät tyhjennys- ja ilmausmenetelmät. Näillä varotoimenpiteillä vältetään haitalliset vaikutukset rakenteisiin kuten

kuormitusiskut, korroosio ja tyhjiön aiheuttama lommahdus. Jotta laitteen puhdistus, tarkastus ja huolto ovat turvallisesti suoritettavissa, on asianmukaisten tyhjennys- ja ilmausmenetelmien oltava suunniteltu.

### **3.1.7 Valmistus**

Painelaitteen valmistuksessa on valmistajan valvottava, että suunnitteluvaiheessa toteutetut ratkaisut suoritetaan asianmukaisesti. Osien valmistelusta ei saa aiheutua vikoja, halkeamia tai sellaisia ominaisuuksien muutoksia, josta voisi olla haittaa laitteen turvalliselle käytölle. Pysyvien liitosten toteuttamiseen on valittava pätevät menetelmät. Mikäli painelaite kuuluu luokkiin II, III tai IV, on menetelmät ja henkilöt hyväksyttävä kolmannella osapuolella. Kolmas osapuoli on valmistajan valinnasta riippuen joko ilmoitettu laitos tai jäsenvaltion tunnustama yksikkö painelaitedirektiivin artiklan 13 säännösten puitteissa.

Liitokset, jotka voidaan irrottaa vain rikkovilla menetelmillä, määritellään direktiivin mukaan pysyviksi liitoksiksi. Näiden liitosten ainetta rikkomattomat kokeet on suoritettava luokkiin III ja IV kuuluvien painelaitteiden osalta. Tällöin henkilökunnalla on oltava jäsenvaltion 13 artiklan mukaisesti tunnustaman kolmannen osapuolen yksikön hyväksyntä.

### **3.1.8 Tarkastus**

Painelaitteille on suoritettava lopputarkastus, jonka tulee sisältää loppukoe, koeponnistus ja varolaitteiden tarkastus. Loppukokeen tarkoituksena on silmämääräisesti ja liiteasiakirjojen tarkastamisella varmistaa, että direktiivin vaatimukset täyttyvät. Lopputarkastukseen on kuuluttava myös painekoe, jonka koepaine on säädetty TUKESin julkaiseman direktiivin kohdassa [7 4]. Varolaitteiden tarkastus on myös olennainen osa painelaitteen lopputarkastusta, jotta voidaan todeta laitteen täyttävän kohdan [2 10] asetetut vaatimukset.

### **3.1.9 Rakenneaineet**

Käytettäville rakenneaineille määritellyt vaatimukset ja ehdot on esitetty direktiivin liitteessä I kohdassa 4. Painelaitteen valmistamiseen käytettävien rakenneaineiden tulee olla tähän käyttöön soveltuvia ja niiden on katsottava kestävän koko laitteen käyttöä,

mikäli niitä ei aiota vaihtaa. Rakenneaineiden tulee siis olla riittävän lujia ja sitkeitä käyttö- ja koeolosuhteisiin nähden.

Paineenalaisissa osissa käytettävien rakenneaineiden ei tule olla herkkiä vanhenemiselle ja niiden on myös sovelluttava suunniteltuihin valmistusmenetelmiin. Käytettävistä rakenneaineista valmistaja toimittaa asiakirjan, josta ilmenee direktiivin vaatimusten noudattaminen. Vaatimusten noudattaminen tulee ilmoittaa, direktiivin liitteen I kohdan [4 2] alakohdan b mukaan, joissain seuraavista muodoista:

- rakenneainetta on käytetty yhdenmukaisten standardien mukaisesti
- käytetylle rakenneaineelle on myönnetty eurooppalainen hyväksyntä painelaitteiden osalta artiklan 11 mukaisesti
- rakenneaineiden erityisarviointi.

Rakenneaineiden erityisarvioinnin suorittaa luokkiin III ja IV kuuluvien painelaitteiden osalta sellainen ilmoitettu laitos, joka vastaa painelaitteiden vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyistä.

Kaikista rakenneaineista on valmistajan saatava rakenneainevalmistajan laatimat asiakirjat, joiden perusteella voidaan todeta annettujen vaatimusten toteutuminen. Laitteissa, jotka sijoittuvat luokkiin II, III ja IV paineenalaisten pääosien osalta, vaatimusten toteutuminen tapahtuu tuotekohtaisen tarkastustodistuksen muodossa. Mikäli rakenneainevalmistajalla on asianmukainen laadunvarmistusjärjestelmä, jonka toimivaltainen elin on varmentanut ja johon kuuluu osana rakenneaineiden erityisarviointi, katsotaan tämän takaavan valmistajan vastaavien vaatimusten mukaisuuden.

### **3.1.10 Vaatimustenmukaisuus**

Painelaitedirektiiviin on koottu vaatimustenmukaisuuden arviointitaulukot, joista ilmenee kunkin painelaitteen teknisistä vaatimuksista määräytyvä vaatimustaso. Taulukoiden tulkintaan käytetään artiklassa 3 määriteltyjä teknisiä vaatimuksia. Liitteessä 1 on esitetty paineastialuokan määrittämiseen tarvittava taulukko. (Painelaitedirektiivi 5/2001, 4-26)

Vaatimustenmukaisuuden arviointiin tarvitaan kolme tietoa, jotka koskevat arvioitavaa painelaitetta. On tiedettävä siirrettävästä aineesta sen vaarallisuus sekä olomuoto. Siirrettävän aineen perusteella saadaan selville, mitä vaatimustenmukaisuus-arviointitaulukkoa tarkastellaan. Ja viimeisenä täytyy tietää painelaitteen käyttöpaine ja kokonais-tilavuus, jonka perusteella taulukosta määritetään piste, joka ilmaisee painelaitteen luokan ja vaadittavat toimenpiteet. (Jokela 2008, Kumiviesti 1/2008)

Vaatimustenmukaisuuden arvioinnin perusteella valitaan moduuli tai moduuliyhdistelmä, jonka mukaan paineastian arviointimenettely suoritetaan. Moduulien tarkoituksena on varmistaa, että suunniteltu painelaite täyttää olennaiset turvallisuusvaatimukset ennen laitteen päätymistä markkinoille. Liitteessä 2 on lista eri moduuleista ja moduuliyhdistelmistä koskien arviointimenettelyä. (TUKES-opas, Painelaitteet 2008, 7)

Painelaitteen mukana on siis toimitettava PED:n mukainen vaatimustenmukaisuusvakuutus, josta selviää CE-merkinnän perusteet. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksen sisältö on esitetty TUKESin verkkosivuilta löytyvässä liitelehtiössä. Liitteessä 3 on lista vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa esitettävistä asioista. (TUKES 2006, 1)

Kaikista painelaitteista on CE-merkinnän lisäksi toimitettava valmistajan ja tarvittaessa tämän yhteisöön sijoittuvan edustajan nimi osoite tai muu tunnus. Painelaitteesta on myös käytävä ilmi valmistusvuosi, laitteen tunnus sen luonteen mukaisesti ja korkeimmat/alimmat olennaiset sallitut raja-arvot.

### **3.2 Lloyd's Register**

Lloyd's Register (LR) on perustettu vuonna 1760 ja tarjoaa itsenäisenä organisaationa asiakkailleen luokitus- ja riskinhallintapalveluita. Päämääränä yrityksen toiminnalle on, että se pystyy parantamaan asiakkaiden tehokkuutta, laatua ja turvallisuutta. (Lloyd's Register -internetsivut 2009)

Tarkastelussa keskitytään suunnittelun kannalta olennaisiin vaatimuksiin sekä mitoitukseen liittyviin muutoksiin, joita LR-luokitus vaatii. Näiden perusteiden pohjalta saadaan mittakuvista luokitusta vastaavat.

### 3.2.1 Suunnitelmat

LR-vaatimukset suunnitelmille on esitetty LR Rules -oppaan paineastioita koskevassa kohdassa 1.6. Kohdan 1.6 mukaan paineastiaa koskevat piirustukset tulee esittää kolmena kappaleena, koska alakohdassa a eriteltyt vaatimukset täyttyvät tässä tapauksessa. Taulukossa 2 on esitetty kohdan 1.6 alakohdan a vaatimukset sekä suunnittelun lähtökohtina käytettävät suureet.

Taulukko 2: Vaatimukset sekä lähtöarvot

LR vaatimukset		Suunnitellut lähtöarvot	
$p \cdot V >$	600 bar*l	$p \cdot V =$	2250 bar*l
$p >$	1 bar	$p =$	15 bar
$V >$	100 l	$V =$	150 l

Ennen kuin paineastian kokoonpano voidaan aloittaa, on piirustuksiin tehtävä yksityiskohtaisia määritelmiä hitsausmenetelmistä ja materiaaleista. Piirustuksista on käytävä ilmi rakenteiden mitoituksen lisäksi myös yksityiskohtaiset tiedot hitsausliitoksien sekä muiden liitosten toteuttamisesta. Hitsausaineiden sekä materiaalien tiedot on esitettävä piirustuksissa myös tarkoin. (Rulefinder 2008 - version 9.10)

### 3.2.2 Luokitus ja vaatimukset

LR-säiliöitä koskevat luokitusvaatimukset on lueteltu luokitusäännösten kohdassa 1.5. Luokitusvaatimusten mukaisesti tapauksen paineastia luokitellaan luokkaan 3. Tällöin vaatimuksina on, ettei sylinterikuoren seinämävahvuus ylitä 16 mm:ä, eikä paineastia kuulu muiden luokkien vaatimusten piiriin.

Säiliön konstruktiossa käytettäviä materiaaleja ja niiden testausta koskevat yksityiskohdat on määritelty LR Rules -oppaan osiossa 2. Luokkaan 3 määriteltävien paineastiakonstruktioiden ja niissä käytettävien materiaalien tulee olla vaatimuksiltaan hyväksytyyn kansallisen tai kansainvälisen laatuvaatimuksen mukainen. Materiaalilla voi olla myös valmistajan sertifiointi. Valmistajan sertifikaatti on kuitenkin hyväksyttävä LR:llä, jolloin materiaalin katsotaan täyttävän luokituslaitoksen materiaaleille asettamat vaatimukset. (Rulefinder 2008 - version 9.10)

Piirustuksien kannalta olennaista on määrittää raja-arvot mitoitukselle, jotta eri liittotyypit ja mitoitusperiaatteet vastaavat LR:n vaatimuksia. Taulukkoon 3 on kerätty tietoa vaikuttavista tekijöistä, kun paineastialuokaksi on määritelty luokka 3.

Taulukko 3: LR:n mitoitusperiaatteet luokassa 3

Max. seinämävahvuus	16 mm
Min. seinämävahvuus	kohta 2.1.1
Korroosiovara	0,75 mm
Kalottipäädyn minimivahvuus	kohta 5.1.1
Kalottipäädyn ri vähintään	65 mm
Hitsisauman lujuuskerroin	0.6
Kehäliitokset oltava päittäisliitoksia	kohta 1.9.2 (a)
Liitostavat	kuva 11.8.1
Materiaalivaatimukset	Part 2

### 3.3 Det Norske Veritas

Det Norske Veritaksen (DNV) historia ulottuu vuoteen 1864, jolloin säätiö perustettiin Norjassa. Pääasiallisena toiminta-alueena oli tuolloin norjalaisten kaupp-alusten teknisen kunnan tarkastus. Yrityksen toiminnasta tuli kansainvälistä jo vuonna 1867, mutta yrityksen pääkonttori sijaitsee vielä tänäkin päivänä Oslossa, Norjassa. (Det Norske Veritas -internetsivut 2009)

#### 3.3.1 Suunnitelmat

DNV:n luokituksissa paineastioita koskevat vaatimukset on määritelty sääntöosion kohdassa 4 ja luku 7. Osio määrittää suunnittelulle asetetut rajat sekä konstruktiota koskevat mitoitusperiaatteet, joiden mukaisesti paineastia on suunniteltava, jotta hyväksyntä voidaan saavuttaa.

Suunnitellun paineastian asiakirjoista tulee selvittää sekä mitoitus että paineastiaan liitettävien komponenttien liitostavat. Dokumentointiin liittyvät yksityiskohdat on määritelty DNV:n paineastioihin liittyvän sääntöosion osiossa c.

#### 3.3.2 Luokitus ja vaatimukset

Luokituksen raja-arvojen perusteella suunniteltava paineastia tulee sijoittumaan luokkaan III, kuten myös nykyisin käytettävä säiliö. Taulukkoon 4 on kerätty tiedot, jotka

vaikuttavat luokkaan III sijoittuviin paineastioihin ja niitä koskeviin testaus- ja tarkastusmenettelyihin. (DNV 2009, 5-7)

Taulukko 4: DNV:n vaatimukset luokassa III (DNV 2009, 6)

Luokka	Materiaalitodistus	Visuaalinen- sekä mitoituksen tarkastus	Vesipainekoe
III	Vaaditaan Sec.2 A103	Vaaditaan	Vaaditaan Sec.8 D500

Taulukosta 4 on jätetty pois kohdat, jotka eivät vaikuta luokassa III oleviin paineastioihin. Mikäli luokka muuttuu, löytyy vaatimustaulukko paineastioita koskevan sääntöosion kohdasta 1 sivulta 6.

Paineastian sisäpuolista tarkastusta varten on oltava kaksi tähystysaukkoa, kun vaippamitta on alle 1500 mm. Tähystysaukkojen on oltava halkaisijaltaan vähintään 50 mm, mutta korkeudeltaan ne eivät saa ylittää 50 mm:ä. Tähystysaukot on sijoitettava paineastian kumpaankin päähän. (DNV 2009, 50)

Piirustuksien kannalta olennaista on määrittää raja-arvot mitoitukselle, jotta eri liitostyypit ja mitoitusperiaatteet vastaavat DNV:n vaatimuksia. Taulukkoon 5 on kerätty tietoa vaikuttavista tekijöistä, kun paineastialuokaksi on määriteltä luokka III.

Taulukko 5: DNV:n mitoitusperiaatteet luokassa III

Max. Seinämävahvuus	16 mm
Min. seinämävahvuus	kohta B 601
Korroosiovara	1 mm
Kalottipäädyn minimivahvuus	kohta C 501
Kalottipäädyn mitoitus	kohta C 502
Hitsisauman lujuuskerroin	0.60
Liitostavat	kohta C 506

Taulukon 5 tietojen perusteella konstruktion arvoja tulee muuttaa, jotta paineastia on DNV:n paineastioille asettamien vaatimusten mukainen. (DNV 2009, 12-17)

### 3.4 Russian Maritime Register of Shipping

Russian Maritime Register of Shipping (RS) -laivaluokituslaitos on perustettu vuonna 1913. Toiminnan pääpaino yrityksen alkutaipaleella oli venäläisten suunnittelijoiden ja laivanrakentajien neuvominen ja opastaminen, jotta turvallisuus laivaliikenteessä säilytettäisiin. Nykyään yritys on maailmanlaajuisesti toimiva luokitustaho.

Pääperiaatteina yrityksellä on ihmishenkien turvallisuuden säilyttäminen sekä turvallisen merenkulun ylläpito. Näiden periaatteiden täytäntöönpanoon laitoksella on laaja säännöstö, joissa on määritelty ne ehdot, joiden puitteissa luokitus voidaan myöntää. (Russian Maritime Register of Shipping 2008)

#### 3.4.1 Suunnitelmat

Ennen paineastian valmistuksen aloittamista on huolehdittava, että tekniset asiakirjat ovat säännöstön vaatimusten mukaisia. RS-säännöstökokoelman kohta 1.3.4 määrittää teknisten asiakirjojen sisällölliset vaatimukset piirustuksien laajuuden suhteen.

#### 3.4.2 Luokitus ja vaatimukset

RS-säännöstön perusteella suunniteltava paineastia tulee sijoittumaan luokkaan III. Luokituksen raja-arvot selviävät säännöstön taulukosta, 'Table 1.3.1.2'. Paineastian luokan selvitettyään voidaan määrittää luokalle III asetetut vaatimukset suunnittelun suhteen.

Säännöstön ehtojen ja määritelmien pohjalta taulukkoon 6 on kerätty mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä, jotka tulee täyttää luokan III osalta. (RS 2008, 206-247)

Taulukko 6: RS:n mitoituseriaahteet luokassa III

Max. Seinämävahvuus	16 mm
Min. seinämävahvuus, oltava > 5 mm	kohta 2.2.1.2
Korroosiovara	1 mm
Kalottipäädyn minimivahvuus	5 mm
Kalottipäädyn mitoitus	kuva 2.6.1
Hitsisauman lujuuskerroin	0.60
Liitostavat	s. 241 kohta 2
Materiaalivaatimukset	kohta 1.4.1

### 3.5 Huollon vaatimukset

Huollon vaatimuksia sekä toiveita uuden säiliön rakenteesta ja tilavuudesta selvitettiin työn edetessä. Huollon vaatimukset ja toiveet suunniteltavalle säiliölle ovat seuraavat:

- Öljytilavuuden tulee riittää 4 mg/m<sup>3</sup> kulutuksella 3000 h:n käyttöön ilman lämpötilan liiallista nousua.
- Valmistajan kädenjälki ei saa vaikuttaa karkeaerotuksen toimivuuteen.
- Halkaisijan oltava mieluummin suuri, jotta on riittävästi tilaa öljyn kuohumiselle.
- Tarvitaan täyttöyhde, joka estäisi ylitäytön.
- Öljynilmaisimeksi halutaan viisarinäyttö.
- Öljynlähtö ei saa olla ihan pohjasta.
- Pohjalaippa tarvitaan tarkastusta ja puhdistusta varten.
- Ei isoja kierteitä, koska ne ovat vaikeita irrottaa ja yleensä vuotoherkkiä.
- Hitsausepätasaisuuksien kompensoimiseksi on käytettävä isoja o-renkaita ja -rengasuria.
- Hitsausrepeämien välttämiseksi vierekkäisten hitsisaumojen etäisyyden pitää olla yli 50 mm.
- Erottimien muutokset on saatava voimaan ilman hyväksyntämuutosta.
- Hienoerotuskammioon halutaan pinnoitusmahdollisuus laivakoneissa.
- Lopullisen maalauksen on oltava tumma. (Vaihtamo 2008, s-posti)

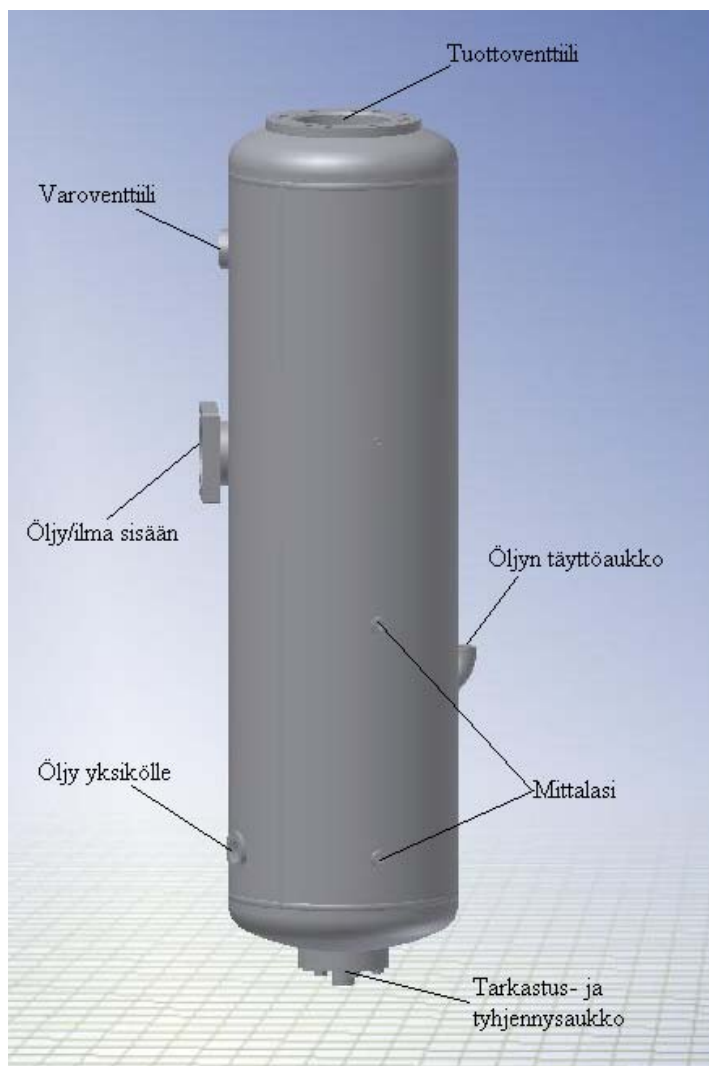
Huollon vaatimukset ja toiveet päätettiin listata työhön, jotta myöhemmissä suunnitteluprojekteissa näkemyksiä voidaan hyödyntää.

## 4 Nykyinen säiliö

Gardner Denver Oy:ssä nykyään käytettävä säiliö on suunniteltu vuonna 1983, ja suunnittelussa on sovellettu yksinkertaisten painesäiliöiden direktiiviä (87/404/EEC). Tarpeen säiliön uudelleen suunnittelulle katsottiin olevan aiheellinen, koska säiliön sisäosien rakenne todettiin epäedulliseksi ratkaisuksi sekä monimutkaiseksi valmistaa.

### 4.1 Rakenne

Säiliön pääosat ovat vaippa sekä päätylaipat. Näihin kokonaisuuksiin on liitetty erinäisiä yhteitä, jotka ovat välttämättömiä kompressorin muille toiminnoille. Kuviossa 9 on esitetty nykyisen säiliön konstruktio. Kuvioon 9 on merkitty säiliön eri komponenttien paikat.



Kuvio 9: Nykyinen säiliö ja sen eri komponenttien paikat

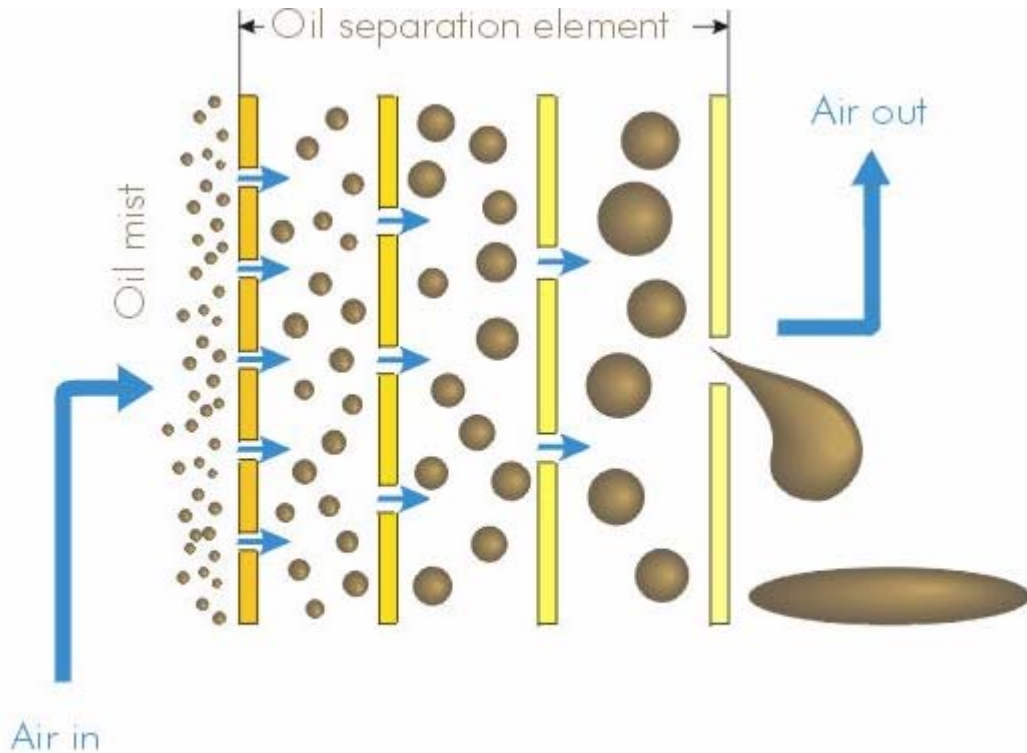
Säiliön kustannuksiin tullaan ottamaan huomioon siihen liitettävät osakokoonpanot sekä öljyn ja ilman siirtämiseen käytettävät tuottoputket, koska eritoten tuottoputkien pituudella on huomattava vaikutus säiliön kokonaiskustannuksiin. Järkevällä ja määrätieto-  
toisella säiliön suunnittelulla voidaan vaikuttaa tuottoputkien muotoon ja pituuteen ja näin ollen niistä saatava kustannushyöty on otettava huomioon säiliön konstruktion kus-  
tannuksia kartoitettaessa.

## 4.2 Öljynerotus

Nykyiseen säiliöön on yhdistetty sekä öljyn karkea- että hienoerotus, tätä kutsutaan ns. kaksivaiheiseksi erotusprosessiksi. Suurimman öljymäärän erottaminen tapahtuu säiliöön suunnitellun syklonin avulla, jolloin ilma-öljyseos pakotetaan säiliön ulkokehälle, pyörivään liikkeeseen. Tällöin suuremman tilavuusmassan omaava öljy jää kiertämään keskipakovoiman ansiosta säiliön kehälle ja ilma vastaavasti kerääntyy keskellä, josta se johdetaan öljynerottimille. Öljy vastaavasti kerääntyy pohjalle, josta se paine-eron johdosta johdetaan uudelleen kierto.

Erotinelementtien koko on optimoitu käyttötarkoituksen mukaan, kuten esimerkiksi suurempituottoisissa koneissa on käytettävä eri erotinelementtejä kuin pienempituottoisissa.

Erotin koostuu erikokoisia reikiä sisältävistä kerroksista, joiden läpi ilma sekä öljysumu kulkevat. Pienistä öljypisaroista muodostuu suurempia pisaroita kuljettaessa kohti elementin ulkoreunaa. Ulkoreunalla nesteytyneet öljypisarot valuvat erotinelementtiä pitkin hienoerotuskammion pohjalle. Kammion pohjalle kerääntynyt öljy imetään alipaineen avulla takaisin öljynkiertoon. Erotinelementtien toimintaperiaate on esitetty kuviossa 10. (Kapanen 2008, 19)



Kuvio 10: Erotinelementin toimintaperiaate (GD Oy 2008)

### 4.3 Rakenneaine

Säiliön materiaalivalinta on tehty yhteistyössä GaV Group Oy:n kanssa, jolloin materiaaliksi on optimoitu mekaanisten ominaisuuksien sekä käyttöolosuhteiden perusteella DIN 17155 -standardin mukainen materiaali H II. Standardiluokitukset kyseiselle materiaalille on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7: Paineastiaterästen nimikevertailu eri standardeihin (Raaka-ainekäsikirja 2001, 57, Rautaruukin terästuotteet 1996, 262)

DIN 17155	SFS-EN 10028-2	SS 14 xx xx	ASTM/ASME	GOST 5520
H II	P265GH	14 31	A 516 GR 60	16K

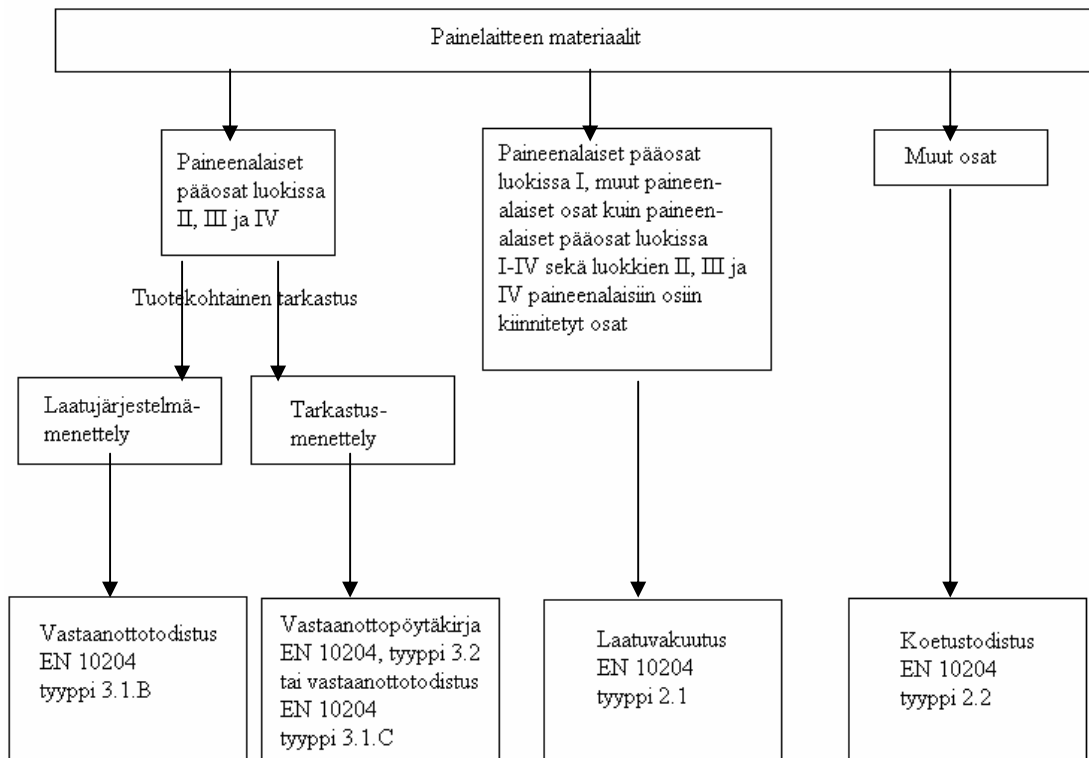
Painelaitteissa käytettävien rakenneaineiden nimikkeiden muodostuminen esitetään standardissa SFS-EN 10027-1. Säiliössä käytettävä aines, H II, luokitellaan paineastiateräkseksi. Kyseinen aines soveltuu käytettäväksi korkeissa lämpötiloissa sekä paineenalaisissa osissa.

Tärkeimmät rajoitukset rakenneterästen käytössä paineastioissa ovat:

- Rakenneteräksiä ei saa käyttää höyrykattiloiden rakennemateriaaleina.
- Painelaitteen suunnittelulämpötila saa olla korkeintaan 185 °C.
- Suurin sallittu käyttöpaine painelaitteessa on 16 bar.
- Painelaitteen paineen ja sisähalkaisijan tulo ei saa ylittää arvoa 10 000 bar x mm.  
(Raaka-ainekäsikirja 2001, 56)

Rautaruukin suunnittelijan oppaassa on kattava määrä tietoa, mitä kaikkea tulee ottaa huomioon paineastian rakennemateriaaleja valittaessa. Teräslajin valinta riippuu väistämättä laitteen käyttöolosuhteista: paine, lämpötila ja sisältö. Valintaa ja suunnittelua tehtäessä on muistettava eri maiden kansalliset paineastiasäännökset, jotka koskevat materiaalien soveltuvuutta kyseessä oleviin käyttöolosuhteisiin. (Rautaruukin terästuotteet 1996, 163)

Painelaitteissa käytettävälle rakenneaineelle on valmistajan tai jatkojalostajan annettava ainestodistus. Ainestodistuksen on oltava standardin SFS-EN 10204 tai vastaavan, esimerkiksi DIN 50049, mukainen. Painelaitedirektiivin mukaan painelaitteissa käytettävistä rakenneaineista on oltava ainestodistus, joka täyttää standardin SFS-EN 10204 vaatavuustason. Painelaitteen käyttökohde määrää, minkä vaatimustason ainestodistus on oltava. Kuviossa 11 on esitetty ainestodistuksen vaatavuustason määräytyminen. (Raaka-ainekäsikirja 2001, 55)



Kuvio 11: Aineodistuksen vaativuustason määräytyminen (Raaka-ainekäsikirja 2001, 56)

#### 4.4 Ongelmat

Kompressoreissa käytettävän säiliön mittavimmat kehityskohteet löytyvät sen sisäisistä konstruktioista. Vuosien varrella säiliöistä on saatu kehiteltyä eri laivaluokitusvaatimusten mukaisia. Käytännössä prosessi on vaatinut jokaiselle luokitukselle ominaiset piirustukset, koska yleisesti ottaen eroja luokitusvaatimusten välillä löytyy konstruktioratkaisujen vaatimuksissa.

Toiminnallisesti käytettävässä säiliössä ei ole puutteita, joten sekä karkea- että hienoerotus toimivat suunnitellulla tavalla. Käytännön toteutus säiliön sisäkonstruktiossa on todettu kuitenkin kustannuksiltaan sekä valmistusvaiheiltaan kehityskohteeksi. Siitä johtuen sykloniosan kokoonpanon toteutukseen on käytetty paljon resursseja GaVin kanssa, jotta siitä on saatu rakennettua toimiva ja tiivis kokonaisuus.

Laivateollisuuden tarkoituksiin valmistettuihin kompressoreihin on tehty säännöllisin väliajoin revisioita, jotka koskevat erotinelementtien kiinnitysholkkeja. Tämän tarkoi-

tuksena on varaosamyynnin tasaisen tuloksen varmistaminen. Tällöin mahdolliset erotinelementtien jäljitelmät saadaan karsittua markkinoilta tasaisella syklillä.

Säiliön tilavuus rajaa sen käyttötarkoitusta suurituottoisimmissa yksiköissä, joita yrityksessä valmistetaan. Tällöin tuoton kasvaessa 50 m<sup>3</sup>/min:iin, tarvitaan kaksi säiliötä riittävän öljynerotuskyvyn saavuttamiseksi.. Tällöin kustannussäästöjen kannalta on perusteltua pyrkiä yhden säiliön ratkaisuun, jolloin suunniteltavan säiliön tilavuutta kasvatetaan tarpeita vastaaviksi.

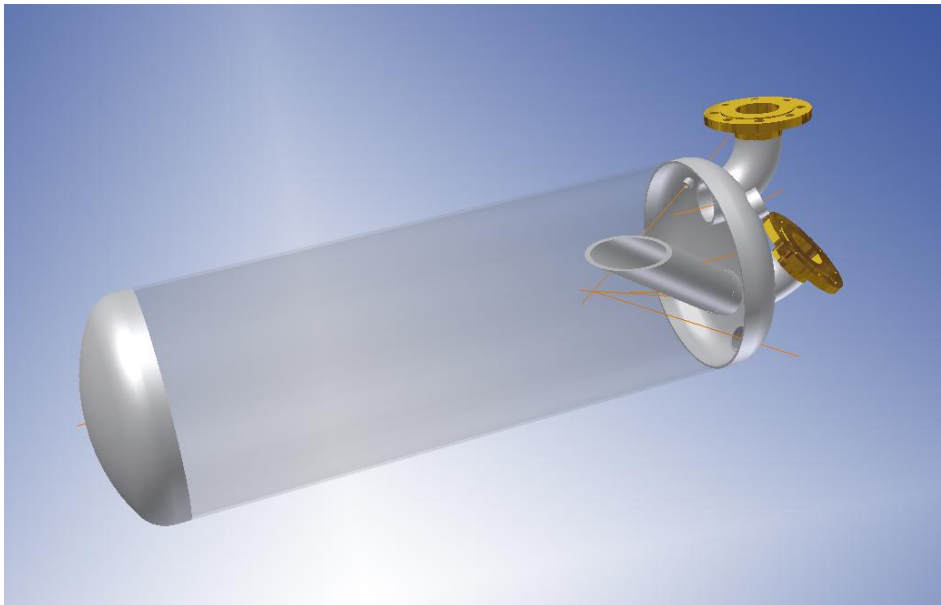
## 5 Luonnostelmat

Osiossa tarkastellaan projektin edetessä suunniteltuja säiliömalleja ja niissä toteutettuja ratkaisuja. Tarkoituksena on saada mahdollisimman laajaa tietoa ja näkemystä työn edetessä vastaan tulleista säiliötyypeistä, jotta tulevilla projekteilla voidaan ottaa nämä näkemykset jo selvitysvaiheessa huomioon.

### 5.1 Vaakamallinen säiliö

Tilantarpeen optimoimisen kannalta vaakatasossa sijoitettava säiliö olisi yksinkertainen sijoittaa kompressorin alustaan, tällöin saadaan kompressoripaketin korkeutta mahdollisesti pudotettua.

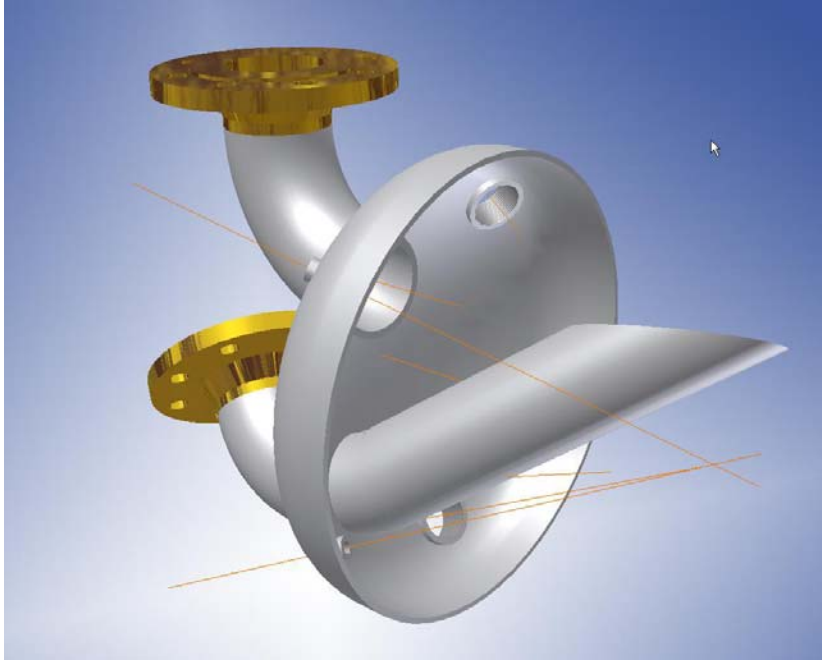
Lähtökohtaisesti mietittiin, että karkeaerotukselle olisi oma säiliö ja vastaavasti hienoerotukselle omansa. Kustannusten arviointiin pyydettiin GaV:lta tarjouspyyntö kuviossa 12 esitetystä säiliöstä.



Kuvio 12: Vaakamallinen säiliö

Säiliön etuina ovat yhdessä ja samassa päätyosassa sijaitsevat yhteen, jolloin toinen kallottipääty voitaisiin valmistaa standardiosasta. Karkeaerotus tulisi tällöin tapahtumaan sisäosan putkella, joka on suunnattu säiliön kehää kohden, jolloin öljy ajettaisiin ulko-

kehälle ja ilma saataisiin hienoerotukseen toisen yhteen avulla. Kuviossa 13 on esitetty päätyosa, johon yhteen on sijoitettu.



Kuvio 13: Yhteet sijoitettuna kalottipäätyyn

Vaakamallisen säiliön käytölle laivoissa on kehitystarpeita. Laivan keinunta saattaa aiheuttaa tilanteen, että öljytaso säiliössä muuttuu epäedulliseksi. Tällöin ei voida taata, että ruuvikompressorin käyttöön tarvittava öljy olisi varmasti saatavilla. Kallistelun haittavaikutusten ehkäisemiseksi täytyisi säiliö asentaa tiettyyn kulmaan.

Laivaluokitusten vaatimuksena on, että säiliön molemmissa päädyissä on sijaittava tarkastusaukot. Vaakamalliseen säiliön kustannussäästö päätyjen suhteen poistuu vaatimuksen seurauksena.

## **5.2 Kaksiosainen kolmen erottimen säiliö**

### **5.2.1 Karkeaerotus**

Kaksiosaisella säiliöratkaisulla mahdollistetaan myös öljynerotusprosessi säiliön alaosassa, jolloin laippaliitoksella jaetaan säiliö kahteen osaan. Kuviossa 14 on esitetty säiliön alaosan poikkileikkauskuva, jossa tapahtuu öljyn karkeaerotus. Laippayhteestä tul-

lessaan öljy ohjataan ohjainlevyillä tangentin suuntaiseen liikkeeseen säiliön kehään nähden, minkä avulla karkeaerotus tapahtuu.



Kuvio 14: Poikkileikkaus alaosasta

Ohjainlevyjen asentoa on optimoitu hieman alaviistoon, tällöin kehää kiertäessään öljy laskee spiraalimaisesti alaspäin. Ohjainlevyjen asettelulla estetään öljyn mahdollinen paikallaan kierto, jolloin se häiritsee uuden seoksen erottumista sisään tullessaan.

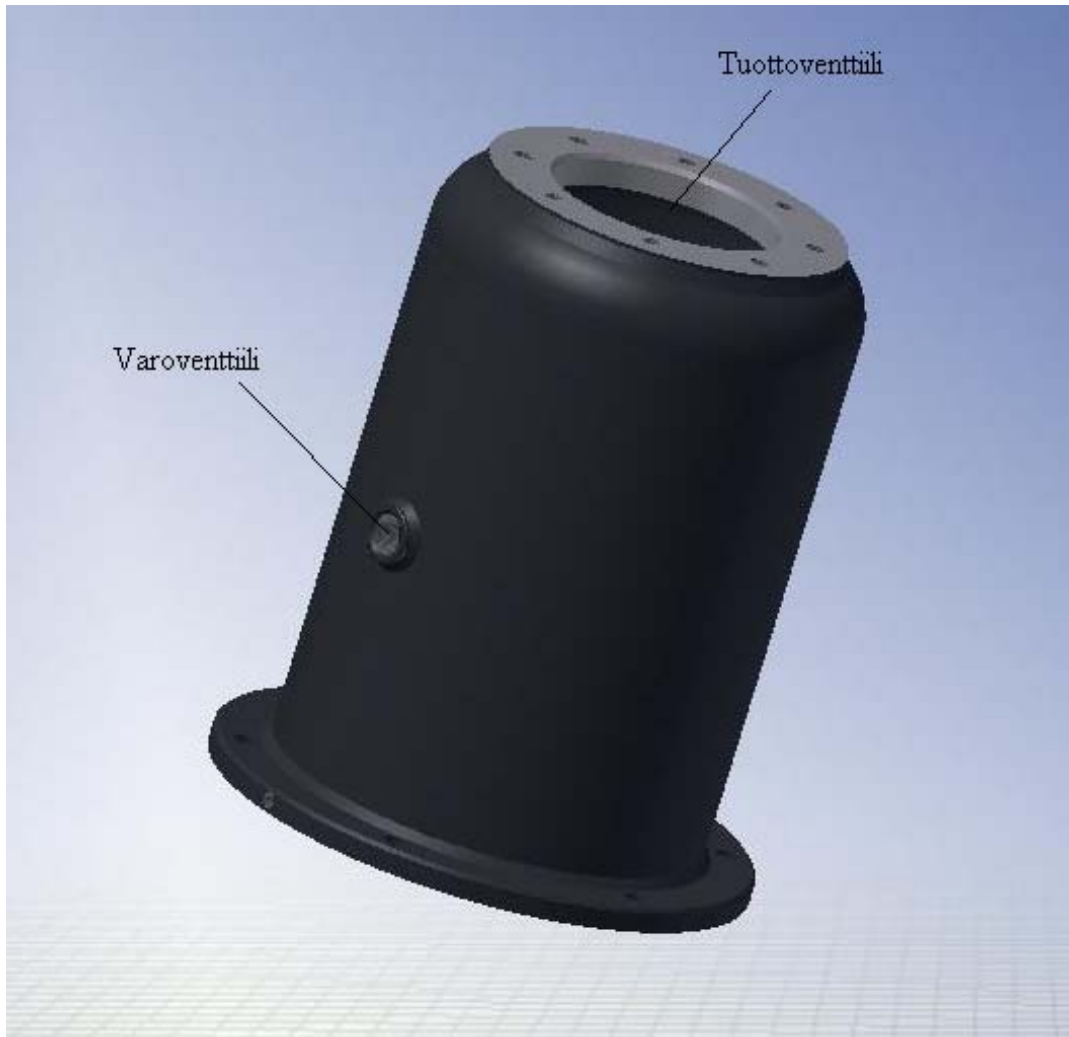
Laippayhde on sijoitettu kohtisuoraan kehään nähden, jolloin säiliön sijoitus ruuviyksikköön nähden on helposti määriteltävissä.

Laippaliitoksen etuina on, että erotinelementtien kiinnitysosa saadaan osaksi, johon tehtyjä muutoksia ei tarvitse hyväksyttää aina uudelleen. Tällöin erotinelementtien vaihtuvuusongelma saadaan ratkaistua. Laippaliitoksen paksuudesta saattaa kuitenkin muodostua kustannusten kannalta epäedullinen ratkaisu. Kustannuksia käsitellään tarkemmin kohdassa 7.1, jossa vertaillaan eri säiliöratkaisuja.

### **5.2.2 Hienoerotus**

Säiliön yläosassa tapahtuu hienoerotus, jolloin jäännösöljymäärän tulee olla paineilman seassa yrityksen spesifikaatioiden mukaan enintään  $3 \text{ mg/m}^3$ . Paineilman laatuluokkia vastaavat jäännösöljymäärät määritellään standardissa ISO 8573-1. Standardin puitteissa jäännösöljymäärä saa olla maksimissaan  $5 \text{ mg/m}^3$ , kun paineilman laatuluokka on 4. (ISO 8573 2001, 6)

Yläosan halkaisija on rajattu kolmen erotinelementin mukaan, jolloin yläosan minimihalkaisijaksi määritettiin 323,9 mm. Kuviossa 15 on havainnollistettu yläosa sekä merkattu siihen liitettävien varo- ja tuottoventtiilin kiinnityspaikat.



Kuvio 15: Yläosa sekä siihen liitettävien komponenttien paikat

Hienoerotuksen toteutukseen käytettävät öljynerottimet kiinnitetään erotinelementtien kiinnitysosaan. Erotinelementtien kiinnitysosa on esitetty kuviossa 16. Hyväksyntävaatimuksia tiedusteltaessa kävi ilmi, etteivät erotinelementtien muutokset vaikuta hyväksyntään. Vaikuttavana tekijänä on, että säiliön molemmissa kammiossa vallitsee sama paine käytön aikana, jolloin kyseessä on yksi säiliö. (Hömmö 2008, s-posti, Rinkinen 2008, s-posti)



Kuvio 16: Erotinelementtien kiinnitysosa

### 5.2.3 Loppukokoonpano

Tuotantolinjan kannalta kaksiosaisen kolmen erottimen säiliön kokoonpano sekä osien tarkastus on yksinkertainen suorittaa. Laippaliitokset säiliön keskellä sekä päädyissä mahdollistavat mittavat huolto- sekä puhdistustoimenpiteet. Kokonaiskuva kaksiosaisesta kolmen erottimen säiliöstä on esitetty kuviossa 17. Kuvioon 17 on nimetty myös säiliöön liitettävien komponenttien paikat.



Kuvio 17: Kolmen erottimen säiliö sekä siihen kiinnitettävien osien paikat

## 5.3 Kaksiosainen kalottinen sykloniosa

### 5.3.1 Karkeaerotus

Kalottinen sykloniosa on muokattu kahdesta standardimallisesta kalottipäädystä. Mikäli kalottiosalla saavutetaan haluttu öljyn karkeaerotuksen toiminnallisuus, olisi se varteenotettava vaihtoehto uudeksi säiliötyypiksi.

Kalottiosan tilavuuden mitoitus perustuu virtausnopeuden äkilliseen laskuun. Mitoituksen lähtökohtana on, että virtausnopeutta on laskettava 70 %, jotta öljynerotus on tehokasta. Tällöin kalotin poikkipinta-alaa täytyy kasvattaa mahdollisimman suureksi, jotta

vaadittava virtausnopeuden lasku saavutetaan. Laskentamallit virtanopeuksien laskentaan löytyvät GD Oy:n suunnittelusta. (Halttunen 2009, 1). Kuvioon 18 on mallinnettu ideaalikuva alaosasta, jossa on kalottinen sykloniosa.



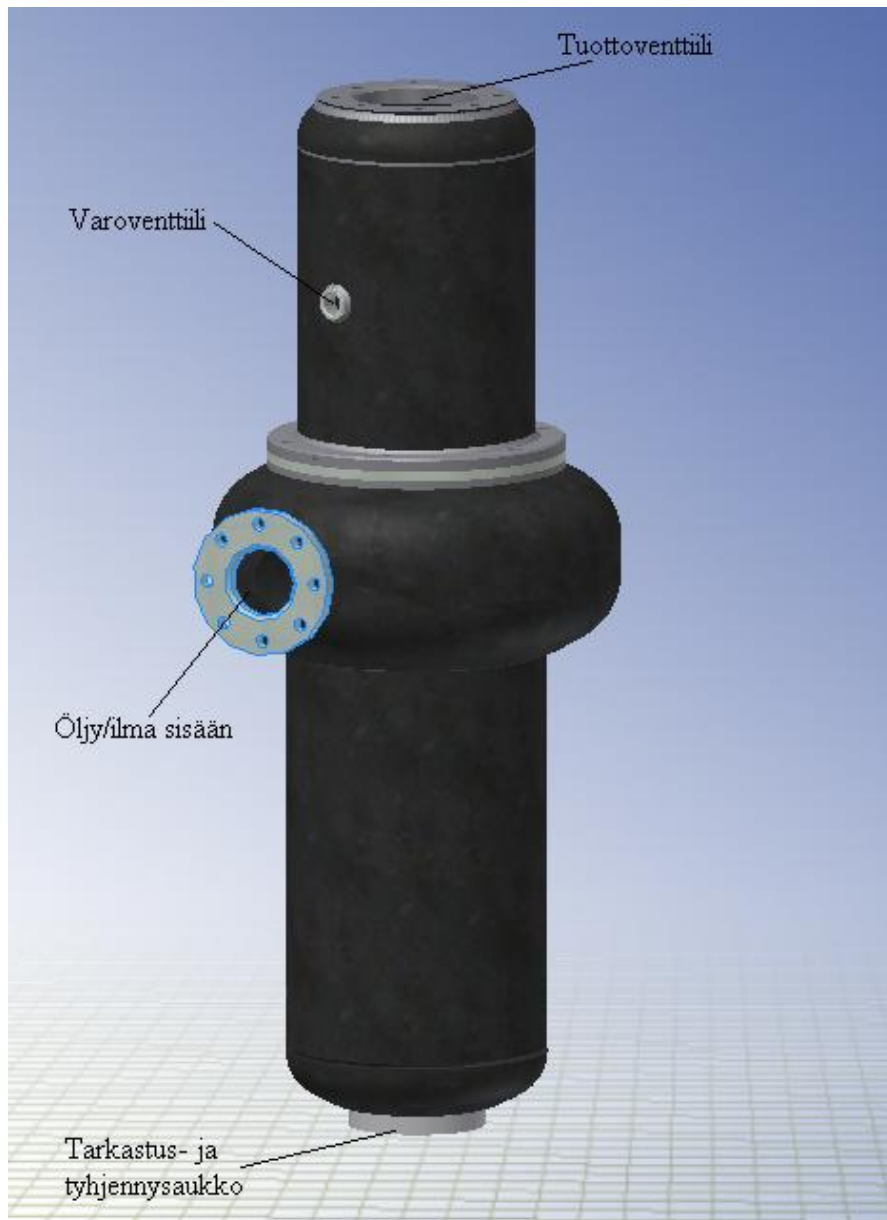
Kuvio 18: Säiliön alaosaa

### 5.3.2 Hienoerotus

Kalottiseen sykloniosaan liitetään samat ylä- sekä erotinelementtien kiinnitysosa kuin kolmen erottimen säiliössä.

### 5.3.3 Loppukokoonpano

Kaksiosaisen säiliön kokonaiskuva on esitetty kuviossa 19, josta käy ilmi sykloniosan periaate öljyn karkeaerotuksessa. Syklonin laajalla poikkipinta-alalla mahdollistetaan virtausnopeuden äkillinen hidastuminen, jolloin karkeaerotusprosessi toimii oletetulla tavalla. (Halttunen 2009, 1)



Kuvio 19: Kokonaiskuva kaksiosaisesta kalotilla varustetusta säiliöstä

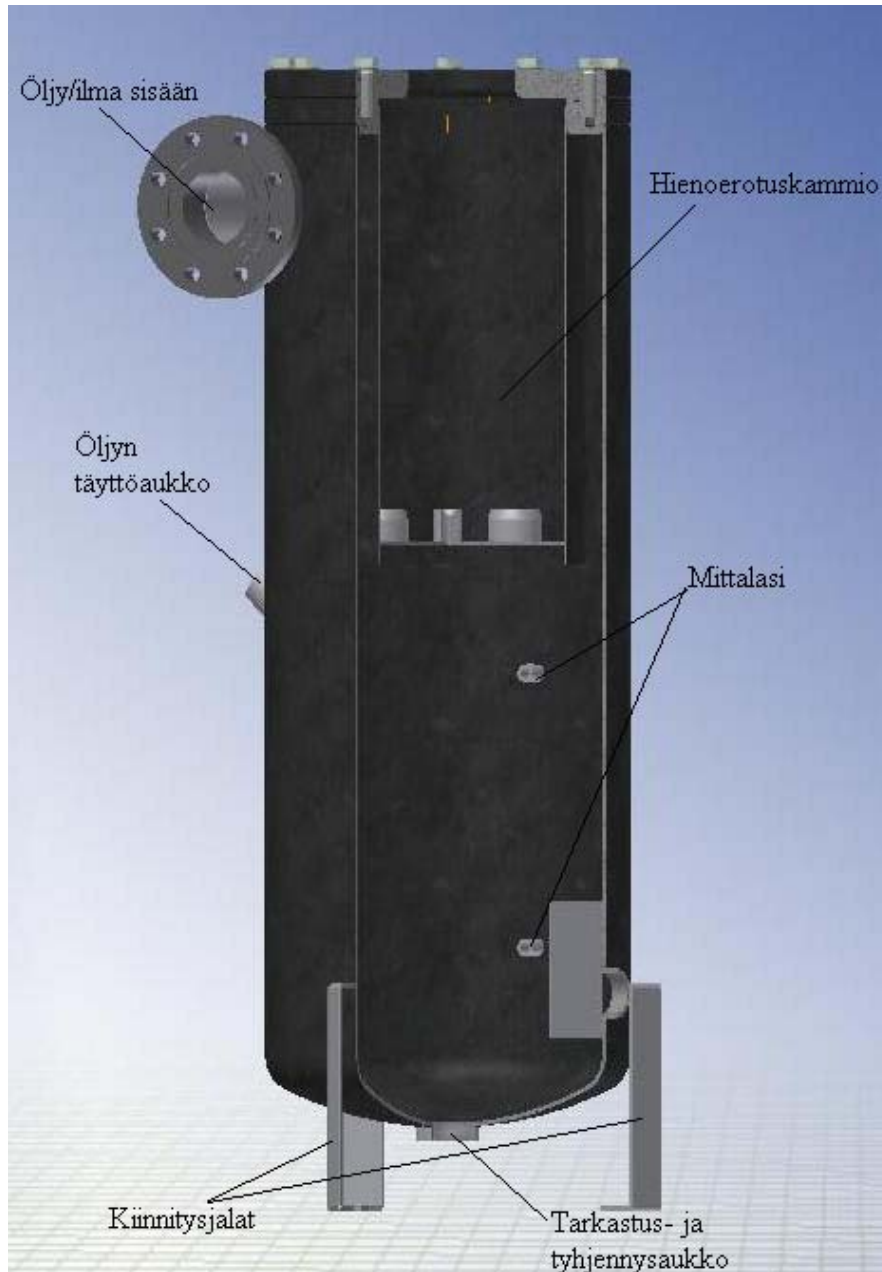
## 5.4 E50-säiliö

E50-säiliön konstruktio on ollut tutkinnassa aikaisemmassa projektissa vuonna 2004. Käynnissä olevan kehitys- ja suunnittelutyön puitteissa päätettiin myös E50-säiliötä tarkastella ja muokata sitä vaatimuksiin mahdollisuuksien mukaan.

### 5.4.1 Karkeaerotus

Rakenteellisesti E50-säiliön sylinteriosan sisään on upotettu hienoerotuskammio. Laippaliitos, josta seos säiliöön tulee, on sijoitettu tangentialisesti sylinterikuoreen nähden, jolloin seos on heti tullessaan kehän suuntaisessa liikkeessä. Tällöin karkeaero-

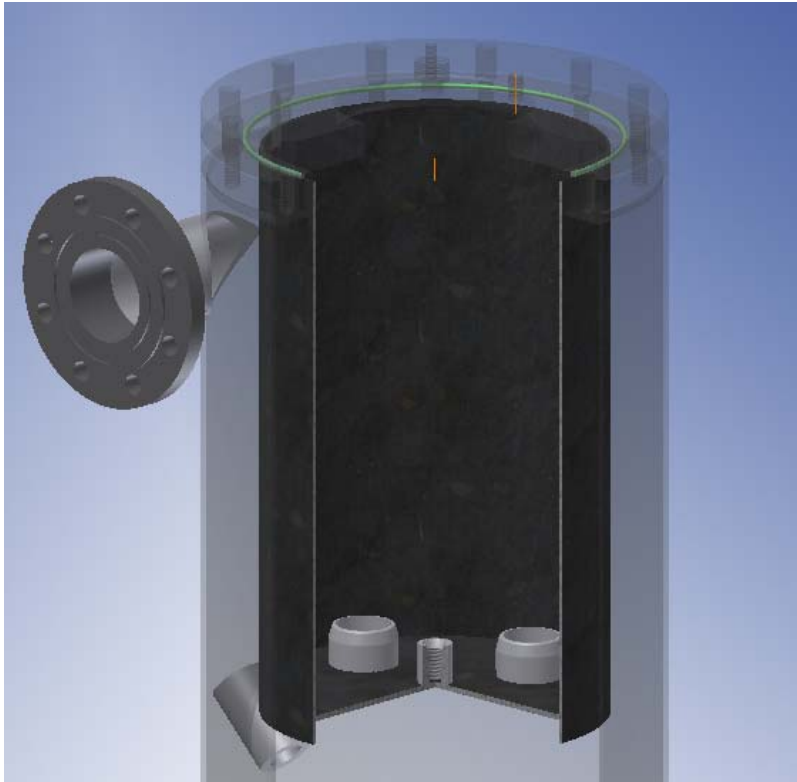
tus saadaan parhaalla mahdollisella tavalla käyntiin. Öljy/ilma-seos kiertää karkeaerotusvaiheessa sylinterivaipan ja hienoerotuskammion välissä. Kuviossa 20 on esitetty alaosa E50-säiliöstä.



Kuvio 20: E50-säiliön alaosa

#### 5.4.2 Hienoerotus

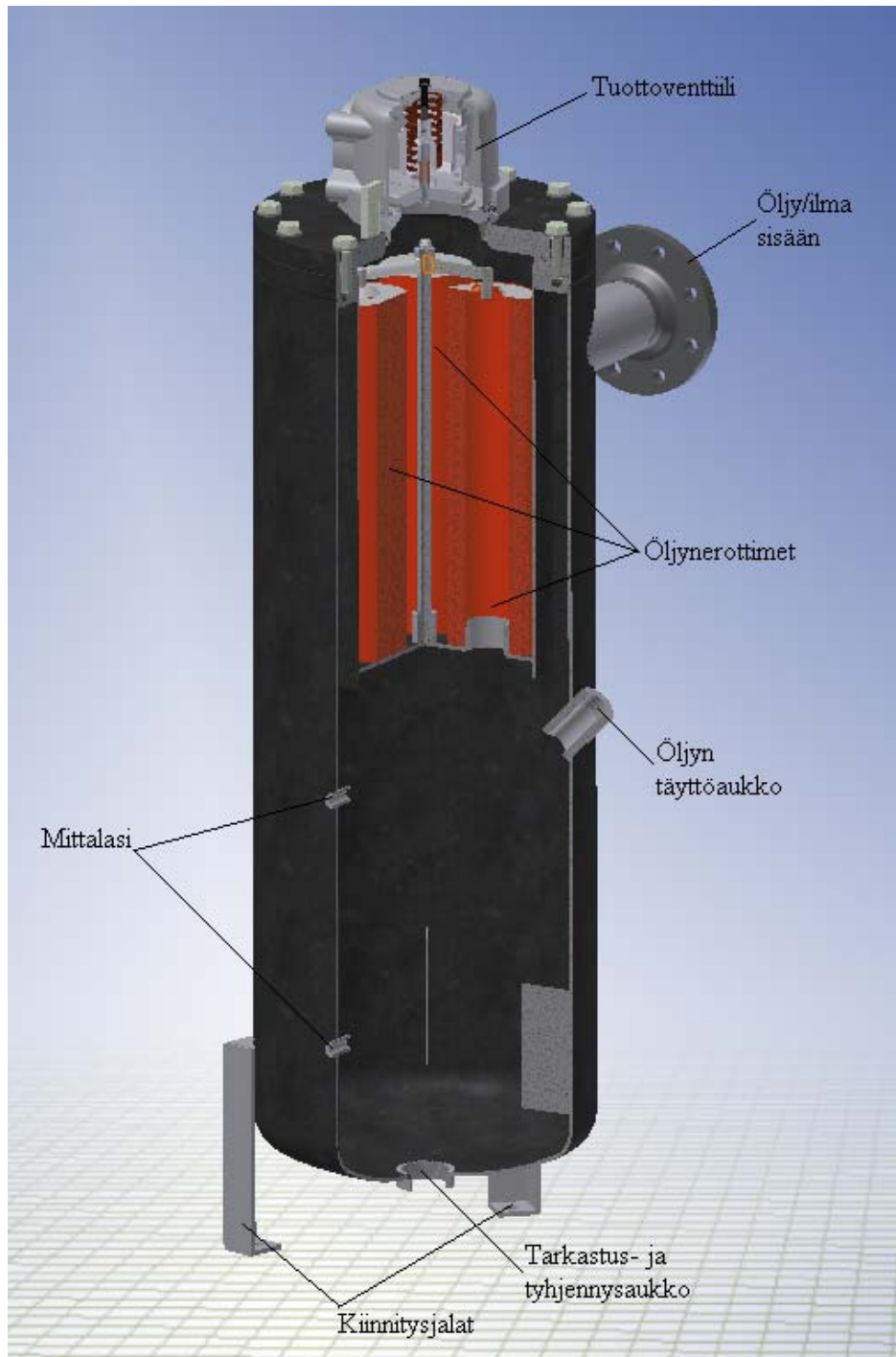
Hienoerotus toteutetaan erillisessä kammiossa, johon öljynerottimet sijoitetaan. Kammioiden on upotettuna alaosan sisään, jolloin säiliön tilantarve on saatu mahdollisimman pieneksi. Kuviossa 21 on havainnollistettu hienoerotuskammion konstruktioita osaleikkauksen avulla.



Kuvio 21: Hienoerotuskammio E50-säiliössä

### 5.4.3 Loppukokoonpano

Päätylaipan muuttaminen kuperasta kalotista tasaiseksi on idea-asteella sekä sen vaikutus kustannuksiin on avoin. Mutta ennen säiliön valintaan liittyviä ratkaisuja kaikki ideat ja toteutustavat ovat mahdollisia. Osaleikkauskuva E50-säiliöstä on esitetty kuviossa 22. Kuvioon 22 on lisätty myös öljynerottimet sekä tuottoventtiili.



Kuvio 22: E50-säiliön osaleikkauskuva

## 6 Öljynerotinelementti

Suunnittelussa on kartoitettava erotinelementtien tarve koon sekä lukumäärän osalta. On otettava huomioon, voidaanko elementtien lukumäärän kasvua rajoittaa joko pituuden tai vastaavasti halkaisijan muutoksilla. Mikäli halutaan vähentää erotinelementtien lukumäärää, on niiden kokoa kasvatettava.

Lukumäärän ja koon vaikutusta toimintaan sekä kokonaiskustannuksiin on arvioitava valintaa tehtäessä. Samoin kiinnitystyyppin sekä sen muuttamisen vaikutus kustannuksiin pyritään optimoimaan työn edetessä.

Öljynerottimen toimintaperiaate perustuu pienien öljypisaroiden muuttamiseksi suuremmiksi, jolloin niihin vaikuttava painovoima pakottaa ne kammion pohjalle. (Kapanen 2008, 18)

### 6.1 Suunnittelun spesifikaatiot

Suunnittelun lähtökohtana on määriteltävä ne raja-arvot, jonka puitteissa erotinelementti tulisi valmistaa. Teknisten asiakirjojen perusteella valmistaja laatii ja testaa vaatimusten täyttymisen erottimien osalta.

Teknisen asiakirjan tulee sisältää seuraavat asiat:

- virtauksen kapasiteettialue ( $\text{m}^3/\text{min}$ )
- käyttöpainealue (bar)
- lämpötila-alue ( $^{\circ}\text{C}$ )
- sallittu jäännösöljymäärä ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
- max. painehäviö (bar)
- min. lommahduspaine (bar)
- käytettävä öljy.

Nykyinen erotinelementti on halkaisijaltaan 105 mm ja 380 mm korkea. Nykyisellään yksierotin pystyy käsittelemään jäännösöljymäärän tuotosta  $7 \text{ m}^3/\text{min}$  ja erottimia on 6 kpl/säiliö, joten maksimituotto on näin  $42 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Suunnitteilla olevan säiliön, kun tuotto on 30 m<sup>3</sup>/min, erottimien lukumääräksi on suunniteltu kolmea. Tällöin erottimen pituutta ja halkaisijaa kasvatetaan ja saavutetaan 10 m<sup>3</sup>/min käsittelykyky jokaisella erottimella. Erottimen halkaisijalle on kuitenkin määriteltävä maksimi, jotta säiliön kokonaishalkaisija pysyy mahdollisimman pienenä.

Suunnittelun edetessä erottimelle määriteltiin ihannemitat. Lähtökohtana oli, että maksimihalkaisija olisi 120 mm, mutta korkeus vastaavasti saataisiin tarvittavan erotuskäytävän mukaan. Korkeudella ei suunnittelun kannalta ole tässä tapauksessa merkitystä, koska erottimien kammio tullaan sijoittamaan säiliön sisään.

## 6.2 Rakenne

Materiaaleiltaan öljynerottimet on valmistettava tarkasti harkiten, sillä ruuvikompresso-reissa ne altistuvat vaativille käyttöolosuhteille. Rakenteen on kestävä vallitsevia olo-tiloja sekä saavutettava haluttu nesteytyskyky. Vaikuttavina tekijöinä materiaalivalinnoissa ovat lämpötila, käyttöpaine sekä paineilman aiheuttamat kemialliset ja mekaaniset rasitukset.

Kiinnitystyyppien mittojen muutosmahdollisuudet ovat tärkeitä, koska varaosamarkkinoilla on paljon piraatteja tehtailevia tahoja. Näin muutoksien avulla saadaan varaosamarkkinat pysymään tiiviisti yrityksen kannattavana toimialueena.

Pääperiaatteena on kuitenkin etsiä erottimien valmistajan kanssa hyvä ja toimiva ratkaisu tapauskohtaisesti. Kustannussäästöjä saavutetaan myös järkevällä erotinelementtien kansiin valinnalla. Patentoituja tai muuten suojattuja ratkaisuja voidaan myös miettiä, mikäli niiden saatavuus on mahdollista tavarantoimittajan taholta. Kuviossa 23 on esitetty nykyisin käytettävä erotinelementti.



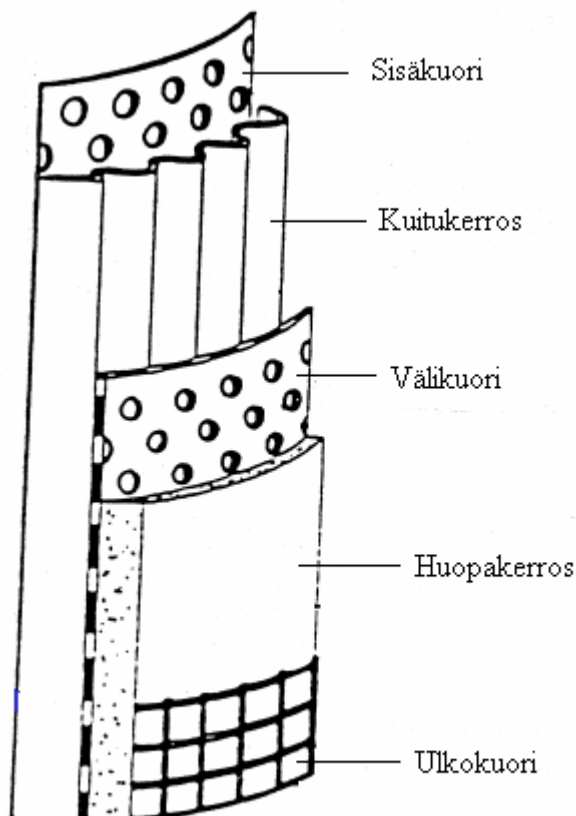
Kuvio 23: Öljynerotin

Erotinelementtejä on useita eri malleja, mutta niiden perustoimintaperiaate on kuitenkin sama. Öljynerottimen läpivirtaussuunta voidaan valita joko sisältä ulospäin tai vastavasti päinvastoin. Gardner Denver Oy:llä on käytössään virtaussuunnaltaan sisältä ulospäin oleva elementti.

Erotinelementti muodostuu tukirakenteesta, joka estää paine-erosta ja virtauksesta aiheutuvien voimien vaikutuksen elementin rakenteeseen. Tukirakenne muodostuu yleensä kolmesta metallisesta tukiputkesta sekä erottimen päädyistä. Toinen päädyistä on tehtävä tiiviiksi. Tiiviistä päädyistä erotin yleensä tuetaan ja puristetaan tukevasti säiliössä olevaan erottimen kontaktipintaan. Tällöin saavutetaan vaadittava tiiveys kiinnitykselle, joka ko. tapauksessa on o-rengas liitos. Toisessa päädyistä on reikä, jotta öljy/ilma -seos pääsee virtaamaan erottimen sisälle. Päädyt sekä metalliputket kiinnitetään toisiinsa esimerkiksi polyuretaaniliimalla. (Kapanen 2008, 19)

Kuitukerros on toiminnallisesti tärkein osa öljynerottimessa. Kuitukerros muodostuu useista erittäin tiheistä ja hauraista lasikuitumateriaaleista. Kuitukerrosten tukena käytetään yleensä vielä vahvemmista kuiduista valmistettuja materiaalikerroksia. Kuitukerrokset ja niitä vahvistavat kerrokset tuetaan metalli- tai muoviverkolla tukevaksi kokonaisuudeksi. (Kapanen 2008, 19)

Kuitukerroksen tehtävänä on nesteyttää partikkelikoossa olevat öljypisarat suuremmiksi pisaroiksi. Kuitukerroksen jälkeen on öljynerottimessa huopakerros. Rakenteeltaan huopakerros on paljon kuitukerrosta harvempi. Riittävän suuriksi tullessaan pisarat valuvat huopakerrosta pitkin kammion pohjalle painovoiman vaikutuksesta. Öljynerottimen rakenne on esitetty kuviossa 24. Kuvion 24 erotinelementin virtaussuunta on sisältä ulospäin. (Kapanen 2008, 19)



Kuvio 24: Erotinelementin rakenne (Kapanen 2008, 20)

### **6.3 Vaihtuvuus**

Erotinelementtien vaihtuvuudella käsitetään niihin tulevista mittamuutoksista johtuvaa elementtien uudelleen revisiointia ja kiinnitystyyppin muutosta. Tällöin suunniteltuun elementtiin on tehtävä mittamuutos ja toimitettava se valmistajalle, joka vastaavasti valmistaa elementit uusien mitoituskuvien perusteella.

Erottimien kiinnitystyyppin muuttuessa on myös säiliöön tapahtuvan kiinnityksen muuttava samassa sykliässä. Suunniteltavaan säiliöön onkin haettu ratkaisua, jonka etuna on, ettei säiliöön tulevaa muutosta tarvitse uudelleen hyväksyttää laivaluokitusten osalta. Näin muutosten tekemisestä aiheutuvat kustannukset vähentyvät sekä muutostyöt nopeutuvat.

### **6.4 Öljynerottimen valinta**

Suunniteltaessa 30 m<sup>3</sup>/min säiliötä lähtökohtana oli saada öljynerotinten lukumäärä kolmeen. Valmistajalle lähetettyjen teknisten asiakirjojen puitteissa he selvittävät, onko tämä mahdollista.

Nykyisissä säiliöissä käytetään konemallista riippuen neljää erilaista öljynerotinta. Eri-laisten käyttötarpeiden johdosta on valmistajan kanssa päädytty neljään teknisesti ja rakenteellisesti erilaiseen öljynerottimeen.

Suunnitteilla olevasta öljynerottimesta saadaan teknisesti käypä jokaiseen konemalliin. Tällöin valikoima saadaan supistettua yhteen öljynerotinmalliin. Kiinnityspäädiksi valitaan öljynerottimienvalmistajan suosittemat muovipäädyt.

## **7 Kustannusvertailu ja -säästöt**

Tuotteen valmistuksen kannalta kustannuksista jopa yli 90 % määräytyy suunnittelu- vaiheessa tehdyistä päätöksistä. Kustannuksiin vaikuttavat tekniset ratkaisut, valitut materiaalit ja komponentit sekä tuotteen eri osien konstruktio. Tämän jälkeen valmistustekniikan kehittämällä ja tuotannon ohjauksella voidaan kustannuksiin vaikuttaa rajoitetusti.

Valmistusystävällisellä suunnittelulla voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä, kuten valmistusteknisesti yksinkertaisten konstruktioiden käyttäminen. Lisäksi on mieltävä tuotteen eri osien kokoonpanon helppoutta, jolloin säästöt voidaan maksimoida. (Haverila, Kouri, Miettinen & Uusi-Rauva 2005, 286–287)

Tuotteen teknisiä vaatimuksia on optimoitava niistä saatavan kustannushyödyn mukaan. On kuitenkin varmistettava, että tuotteelle asetetut tekniset vaatimukset ja tavoitteet saadaan saavutettua. Optimoinnilla pyritään poistamaan taloudelliset heikkoudet tuotteesta. (Haverila ym. 2005, 280–285)

Säiliöiden kustannusvertailussa keskitytään nykyisen, kolmen erottimen ja E50-säiliön kustannuksiin, koska niiden katsottiin olevan suunnittelulle asetettujen vaatimusten ja määritteiden mukaisia. Säiliötyyppien valintaperusteita käsitellään kappaleessa 8.

### **7.1 Säiliöiden kustannusvertailu**

Tuotteen kustannusten osalta lasketaan säiliön kokonaiskustannuksiin siihen liitettävien komponenttien sekä säiliön asentamisesta aiheutuvat kulut. Suunniteltujen säiliöiden osalta kustannukset perustuvat eri valmistajien antamiin tarjouksiin.

Eri valmistajien tarjousten ja vuotuisten menekkien pohjalta saadaan tuloksia saavutettavista kustannussäästöistä. Säiliöiden kustannuksien vertailussa käytetään suhdearvoja, tietojen arkaluonteisuuden johdosta.

Taulukossa 8 on vertailtu kustannuksia säiliöiden osalta. Taulukon 8 kustannusten suhteissa ei huomioida liitettävien komponenttien eikä asennuksen aiheuttamia kuluja. Säi-

liöiden kokonaiskustannukset voidaan määrittellä vasta, kun säiliön lopullista sijoitus-suunnitelmaa laaditaan. Sijoitussuunnitelmaa laadittaessa määritetään liitettävien komponenttien tarve sekä tuottoputkien pituudet ja muodot.

Taulukko 8: Säiliöiden kustannusten suhteet

Säiliötyyppi	Kustannusten suhteet
Nykyinen	1
E50	0,75
Kolmen erottimen	1,67

Taulukon 8 suhdelukujen perusteella havaitaan, että kolmen erottimen säiliön kustannukset nousevat verrattuna nykyiseen säiliöön merkittävästi. E50-säiliö on kustannuksiltaan tavoitteiden mukainen.

Vuotuiset säästöt säiliöiden osalta saadaan laskettua, kun verrataan nykyisten säiliöiden menekkiä uusien säiliöiden menekkiin. Suunniteltujen säiliöiden määrät vuositason saatiin kohdennettua, kun säiliöiden tuottomäärät asetettiin kohdilleen. Tällä toimenpiteellä uskotaan saavutettavan huomattavia säästöjä, kun kahden säiliön sijaan suurempi-tuottoisiin koneisiin sijoitetaan yksi suurempi säiliö. Taulukossa 9 on esitetty vuotuiset menekit säiliöille.

Taulukko 9: Nykyisten ja uusien säiliöiden vuosittaiset menekit

Nykyinen säiliö	Menekki (kpl/a)	Uusi säiliö	Menekki (kpl/a)
1-säiliön koneet $\leq 42 \text{ m}^3/\text{min}$	504	1-säiliön koneet $\leq 30 \text{ m}^3/\text{min}$	300
2-säiliön koneet $> 42 \text{ m}^3/\text{min}$	72	1-säiliön koneet $> 30 \text{ m}^3/\text{min}$	240

Taulukosta 9 voidaan havaita, että nykyinen säiliö on ylimitoitettu käyttötarkoitukseensa nähden pienempien koneiden osalta. Näin uuden tuottojakauman perusteella suunnitelluilla säiliöillä saadaan hyödyt maksimoitua kustannusten ja menekkien osalta.

Taulukoiden 8 ja 9 perusteella saadaan määritettyä vuotuiset kustannussäästöt. Säästöjen laskennassa käytetään nykyisen säiliön osalta ( $\leq 42 \text{ m}^3/\text{min}$ ) ja suunnitelluista säiliöistä valitaan kustannustehokkaampi E50-säiliö ( $\leq 30 \text{ m}^3/\text{min}$ ).

Nykyisten säiliöiden menekki on 504 kpl/a ja säiliön kustannusten suhdeluku on 1. Näin ollen vuotuisiksi kustannuksiksi saadaan 504 suhdeyksikköä/a. E50-säiliön osalta vuotuinen menekki on 300 kpl/a ja kustannusten suhde nykyiseen säiliöön verrattuna on 0,75. Tällöin vuotuisiksi kustannuksiksi muodostuu 225 suhdeyksikköä/a. Vuotuisia suhdeyksiköitä vertailtaessa saadaan vuotuisiksi kustannussäästöiksi 0,55. Siis saavutetaan 55 %:n vuotuiset säästöt verrattuna nykyisen säiliön kustannuksiin.

## 7.2 Öljynerottimien kustannusvertailu

Kustannusten vertailuun uusien ja nykyisten öljynerottimien osalta käytetään suhdelukuja. Suhdelukujen perusteella voidaan määrittää vuotuiset säästöt yritykselle. Taulukossa 10 on esitetty öljynerottimien kustannusten suhteet.

Taulukko 10: Öljynerottimien kustannusten suhteet

Öljynerotin	Kustannusten suhteet/kpl
Nykyinen $\leq 7 \text{ m}^3/\text{min}$	1
Uusi $\leq 10 \text{ m}^3/\text{min}$	1,41

Taulukosta 10 nähdään, että uusi öljynerotin on kustannuksiltaan neljä kymmenystä nykyistä öljynerotinta hintavampi. Kustannukset pyritään kuitenkin kompensoimaan öljynerottimien lukumäärällä.

Öljynerottimien vuotuiset kustannussäästöt saadaan, kun verrataan öljynerottimien menekkiä ja niiden kustannusten suhteita keskenään. Taulukkoon 11 on kerätty öljynerottimien menekit. Öljynerottimien menekit on laskettu säiliöiden lukumäärästä ja öljynerottimien tarpeesta. Säiliötyypit ovat yhden säiliön koneet ( $\leq 42 \text{ m}^3/\text{min}$ ) sekä uuden säiliön osalta pienempi säiliö ( $\leq 30 \text{ m}^3/\text{min}$ ).

Taulukko 11: Öljynerottimien vuosittainen menekki

Öljynerotin	Tarve (kpl/säiliö)	Menekki (kpl/a)
Nykyinen $\leq 7 \text{ m}^3/\text{min}$	6	3024
Uusi $\leq 10 \text{ m}^3/\text{min}$	3	900

Taulukoista 10 ja 11 voidaan laskea vuosittaiset kustannussäästöt, jotka erotinelementtien valinnalla saavutetaan. Nykyisen öljynerottimen kustannukset ovat 3024 suhdeyksikköä/a ja uuden öljynerottimen 1269 suhdeyksikköä/a. Vertailtaessa öljynerottimien vuotuisia kustannuksia suhdeyksiköiden perusteella todetaan, että kustannussäästöt ovat

0,58. Erotinelementin koon ja lukumäärän optimoinnilla saavutetaan näin ollen 58 %:n vuotuiset kustannussäästöt.

## 8 Säiliötyypin valinta

Säiliötyypin valinnassa keskitytään toiminnallisuuteen sekä kustannuksiin. Toiminnallisuudesta ei työn aikana saada luotettavaa tietoa. Lopullinen toiminnallisuuden mittaus tapahtuu säiliön testausvaiheessa. Säiliötyypin valinnan kannalta pyritään löytämään rakenteellisesti yksinkertainen säiliö, joka mahdollistaa asetetut toiminnalliset vaatimukset.

Käyttöolosuhteet ja -ympäristö huomioon ottaen voidaan pois sulkea vaakamallinen säiliö vaihtoehtoista. Vaakamallista säiliötä ei voida asentaa laivakoneisiin, koska ei pystytä takaamaan öljynsaantia ruuviyksikölle laivan kallistellessa. Vaakamallisen säiliön kustannussäästöt perustuivat yksinkertaiseen rakenteeseen sekä laippayhteiden sijaintiin, vain toisessa päädyssä. Laivaluokitussäännöt kuitenkin edellyttävät tähtystysaukot säiliön kumpaankin päähän, jolloin kumpikaan päädyistä ei olisi standardin mukainen osa.

Kalottisella sykloniosalla varustetussa säiliössä karkeaerotus toteutetaan pinta-alan kasvatuksella. Kalotin ja sylinterikuoren liitoskohta säiliön alaosassa muodostuu haasteelliseksi, koska ei voida olla varmoja, ettei öljy jää kiertämään kalottiin. Vertailtaessa kolmen erottimen säiliötä ja kalotilla varustettua säiliötä voidaan todeta, että rakenteellisesti kolmen erottimen säiliö on kustannuksiltaan pienempi.

Kalottisella sykloniosalla varustetun säiliön katsottiin olevan kehitystarpeiltaan sekä kustannuksien suhteen säiliölle asetettujen vaatimusten vastainen.

Kolmen erottimen ja E50-säiliön kannalta kustannusten merkitys on ratkaiseva, koska molempien toiminnallisuuden katsotaan olevan mahdollinen.

Kolmen erottimen säiliön osalta materiaalikustannukset saattavat nousta paksujen laippaliitosten vuoksi E50:tä suuremmiksi. Laippaliitokset vastaavasti mahdollistavat kolmen erottimen säiliön yksinkertaiset huoltotoimenpiteet, kuten öljynerottimien vaihdot. Erottimien vaihto on toteutettu yleisesti tuottoventtiilin kiinnitysaukosta. Laivaluokituksen vaatimat tarkastus- ja tähtystysaukot täyttyvät kolmen erottimen säiliön kohdalla.

E50-säiliön huoltotoimenpiteet tullaan suorittamaan tuottoventtiilin kiinnitysaukosta sekä pohjakalotissa sijaitsevasta tarkastus- ja tähytysaukosta, jolloin luokitusvaatimukset näiltä osin täyttyvät. E50-säiliön tasainen päätylaippa voi aiheuttaa haasteita kustannusten suhteen.

Taulukkoon 12 on kerätty tiedot vertailuperusteista kullekin säiliötyypille. Toiminnallisuuden arviointi perustuu rakenteen oletettuun öljynerotuskyvyn käyttäytymiseen.

Taulukko 12: Säiliötyyppien vertailuperiaatteet

<b>Säiliötyyppi</b>	<b>Yksinkertainen rakenne</b>	<b>Luokitusvaatimukset</b>	<b>Toiminnallisuus</b>
Nykyinen	x	x	x
Vaakamallinen	x		
Kalottinen syk- loniosa		x	
Kolmen erottimen	x	x	x
E50	x	x	x

E50-säiliö täyttää säiliölle asetetut vaatimukset kustannusten ja rakenteen suhteen parhaiten.

## 9 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli dokumentoida ja raportoida säiliön suunnittelun ja kehitystyön kannalta olennaisia asiahaaroja sekä kerätä tietoa paineastioiden suunnitteluun vaikuttavista rajoitteista, kuten luokituslaitosten vaatimuksista paineastioiden hyväksynnän kannalta. Tärkeimpänä tavoitteena oli raportoida suunniteltavista säiliöratkaisuista mahdollisimman tarkasti, jotta tulevien säiliöiden suunnittelu voidaan toteuttaa tehokkaammin.

Suunnittelun lähtökohtana pidettiin mahdollisimman kustannustehokkaan paineastiarakenteen löytämistä. Tuloksena suunniteltiin ja kehiteltiin E50-säiliö, jonka todettiin olevan kustannuksiltaan merkittävästi nykyistä säiliötä edullisempi. Rakennetta yksinkertaistettiin huomattavasti, eikä valmistusmenetelmän laatimiseen kulu enää resursseja entiseen tapaan.

Opinnäytetyössä ilmenneillä kehitystoimenpiteillä sekä tuloksilla voidaan jatkossa tehostaa ja selkeyttää olennaisten seikkojen huomioimista paineastioita suunniteltaessa.

Suunnittelun paineastian toiminnallisuus on vielä avoin, joten prototyypin myötä tullaan yrityksessä suorittamaan testimittaukset. Myös laivaluokitusten osalta täytyy mitoitua ja piirustustekniset asiakirjat saattaa luokitusten vaatimaan muotoon. Luokitussääntöjen ehdoton noudattaminen saattaa nousta suurimmaksi toimenpiteeksi, kun säiliötä muokataan vaatimuksien mukaisiksi.

## Lähteet

### Painetut:

Haverila, Matti J, Kouri, Ilkka, Miettinen, Asko & Uusi-Rauva, Erkki 2005. Teollisuustalous, 5. painos. Tampere: Tammer-Paino Oy.

ISO 8573 2001. Compressed air-Part 1: Contaminants and purity classes. International Organization for Standardization.

Kapanen, Ari 2008. Nesteyttävän öljynerottimen kehitys ja ongelmat. Insinööriyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kemianteeniikka. Tampere. [pdf]  
<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/43131/Kapanen.Ar%20Petteri..pdf?sequence=1>

Metalliteollisuuden Keskusliitto 2001. Raaka-aine käsikirja – Muokatut teräkset. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Rautaruukki 1996. Rautaruukin terästuotteet – Suunnittelijan opas. Keuruu: Otava.

Turvatekniikan keskus 2001. Painelaitedirektiivi 5/2001. Helsinki: TUKES.

### Sähköiset:

Det Norske Veritas 2009. Rules for classification January 2009. Norja.

Det Norske Veritas internetsivut 2009. [www.dnv.com] [viitattu 14.1.2009].  
<http://www.dnv.com/moreondnv/profile/>

Euroopan unionin portaali 2006. EU:n jäsenvaltiot. [europa.eu] [viitattu 27.11.2008].  
[http://europa.eu/abc/european\\_countries/eu\\_members/index\\_fi.htm](http://europa.eu/abc/european_countries/eu_members/index_fi.htm)

Gardner Denver Oy:n sisäiset esitykset ja tiedotteet 2008.

Jokela, Martti 2008. Teollisuusletkusta painelaitteeksi. Kumiviesti 1/2008.

Lloyd's Register 2008. Rulefinder 2008 - version 9.10. CD-levy aineisto.

Lloyd's Register internetsivut 2009. [www.lr.org] [viitattu 14.1.2009].  
<http://www.lr.org/Industries/Marine/About+us/>

Russian Maritime Register of Shipping internetsivut 2008. [http://www.rs-head.spb.ru] [viitattu 16.3.2009]. <http://www.rs-head.spb.ru/en/about/about.php>

Turvatekniikan keskus. Painelaitteet-opas. [www.tukes.fi/] [viitattu 27.11.2008].  
[http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet\\_ja\\_opaat/painelaiteopas.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_opaat/painelaiteopas.pdf)

Turvatekniikan keskus 2006. Ammattilaistiedote: Painelaitteen hankinnan säädösvelvoitteet. [www.tukes.fi] [viitattu 5.12.2008].  
<http://www.tukes.fi/fi/Palvelut/Tiedotteet/3Painelaitteet/Ammattilaistiedote-Painelaitteen-hankinnan-saadusvelvoitteet-822006/>

Vaihtamo, Tapio 2008. Uudet E75 ja E175 säiliöt. [sähköpostiviesti 28.10.2008]. [tapio.vaihtamo@gardnerdenver.com](mailto:tapio.vaihtamo@gardnerdenver.com).

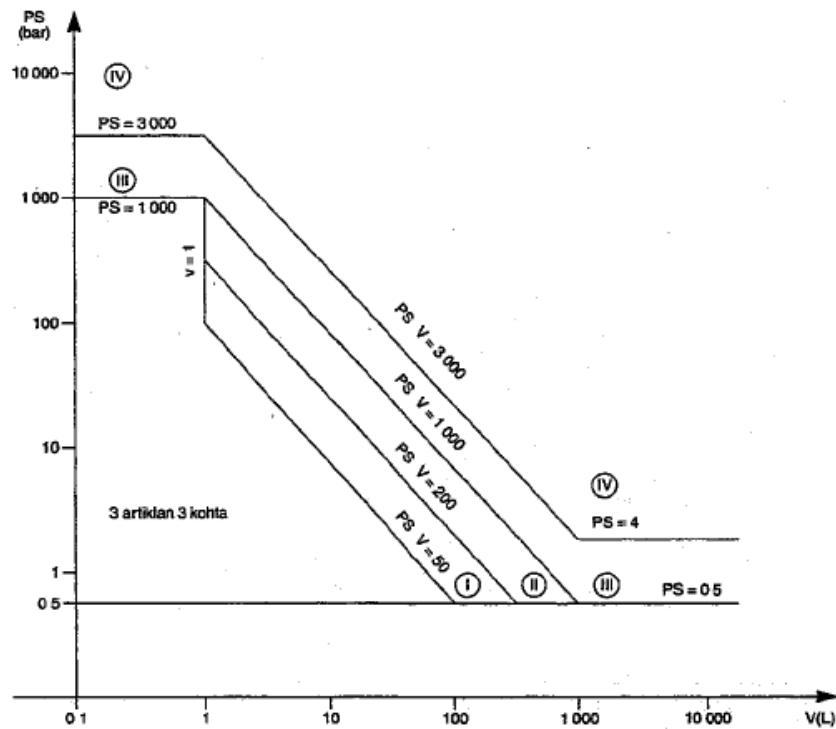
**Julkaisemattomat:**

Halttunen, Tero 2009. Suunnitteluinsinööri. Gardner Denver Oy. Virtausnopeuden laskenta ja perusteet öljynerotuksessa. [muistio 15.01.2009].

# Liitteet

## Liite 1: Vaatimustenmukaisuuden arviointitaulukko

Suunniteltavan paineastian vaatimustenmukaisuuden arviointitaulukko painelaitedirektiivi (97/23/EY). Tilavuuden ja käyttöpaineen avulla määriteltävä piste, joka ilmoittaa vaativuusluokan.



Taulukko 2

3 artiklan 1 1 kohdan a alakohdan toisessa luettelakohdassa tarkoitettut säiliöt

Poikkeuksena käsisammuttimet ja hengityslaitteiden pullot on luokiteltava vähintään luokkaan III

(TUKES 2001, 26)

## Liite 2: Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt

Moduulit ja moduuliyhdistelmät eri luokille.

LUOKKA I	LUOKKA II	LUOKKA III	LUOKKA IV
A	A1	B1+D	B+D
	D1	B1+F	B+F
	E1	B+E	G
		B+C1	H1
		H	

Arviointimenettely (moduuli)		Kuvaus
<b>A</b>	Valmistuksen sisäinen tarkastus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja tekee loppuarvioinnin.
<b>A1</b>	Valmistuksen sisäinen tarkastus ja loppuarvioinnin valvonta	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja tekee loppuarvioinnin, jota ilmoitettu laitos valvoo
<b>B</b>	EY-tyyppitarkastus	Ilmoitettu laitos tarkastaa tyyppin vaatimustenmukaisuuden.
<b>B1</b>	EY-suunnitelmatarkastus	Ilmoitettu laitos tarkastaa suunnitelman vaatimustenmukaisuuden.
<b>C1</b>	Tyypinmukaisuus	Valmistaja tekee loppuarvioinnin, jota ilmoitettu laitos valvoo.
<b>D</b>	Tuotannon laadunvarmistus	Valmistaja soveltaa valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
<b>D1</b>	Tuotannon laadunvarmistus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat sekä soveltaa valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
<b>E</b>	Tuotteiden laadunvarmistus	Valmistaja soveltaa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
<b>E1</b>	Tuotteiden laadunvarmistus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat sekä soveltaa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
<b>F</b>	Tuotekohtainen todennus	Ilmoitettu laitos tekee tuotekohtaisen loppuarvioinnin.
<b>G</b>	Yksikkökohtainen EY-todennus	Ilmoitettu laitos tekee tuotteen suunnitelma- ja loppuarvioinnin.
<b>H</b>	Täydellinen laadunvarmistus	Valmistaja soveltaa suunnittelussa, valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
<b>H1</b>	Täydellinen laadunvarmistus ja suunnitelmatarkastus sekä loppuarvioinnin erityisvalvonta	Valmistaja soveltaa suunnittelussa, valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos. Lisäksi ilmoitettu laitos tekee suunnitelmatarkastuksen ja valvoo loppuarviointia.

(TUKES -opas, Painelaitteet 2008, 7)

### **Liite 3: Vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa esitettävät asiat**

Vaatimustenmukaisuusvakuutuksen sisältö.

EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus

1. Valmistajan tai valmistajan Euroopan talousalueella olevan edustajan nimi ja osoite
  2. Kuvaus painelaitteesta tai laitekokonaisuudesta
  3. Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely, jota on sovellettu
  4. Laitekokonaisuuksien osalta esitys niistä painelaitteista, joista ne koostuvat sekä vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt, joita on sovellettu
  5. Tarkastuksen suorittaneen ilmoitetun laitoksen nimi ja osoite tarvittaessa
  6. Viittaus EY-tyyppitarkastustodistukseen, EY-suunnitelmatarkastustodistukseen tai EY-vaatimustenmukaisuustodistukseen tarvittaessa
  7. Valmistajan laatujärjestelmää valvovan ilmoitetun laitoksen nimi ja osoite tarvittaessa
  8. Viittaus sovellettuihin yhdenmukaistettuihin standardeihin tarvittaessa
  9. Muut käytetyt tekniset eritelvät tarvittaessa
  10. Viittaukset muihin sovellettuihin säännöksiin (direktiiveihin) tarvittaessa
  11. Sen henkilön yksilöinti, jolla on valmistajan tai valmistajan edustajan allekirjoitusvaltuutus
- Kohdista 5 – 10 annetaan selvitys EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa, jos niissä tarkoitettuja menettelyjä on sovellettu.

(TUKES 2006, 4)