

Miled Kauhanen

Laivakoneistojen voitelu

Opinnäytetyö

Merenkulku

2017



Ammattikorkeakoulu

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Miled Kauhanen	insinööri, merenkulku	Joulukuu 2016
Opinnäytetyön nimi		48 sivua
Laivakoneistojen voitelu		
Toimeksiantaja		
Ohjaaja		
Lehtori Ari Helle		
Tiivistelmä		
<p>Tässä opinnäytetyössä tutkitaan laivakoneistojen eri voiteluprosessien toimintaperiaatteet ja niihin vaikuttavat tekijät. Työn tavoite on muodostaa manuaalin tapainen tiivistelmä, jonka avulla vasta-aloitannut insinööriopiskelija tai asiaan perehtymätön henkilö pystyy muodostamaan jonkinlaisen kokonaiskuvan aluksen koneistojen voitelujärjestelmistä.</p> <p>Materiaalia tähän opinnäytetyöhön on kerätty alan ammattikirjallisuudesta, opinnäytteistä, konemanuaaleista, verkkosivuista ja verkkojulkaisuista. Työssä käsitellään laivan voitelujärjestelmää mahdollisimman yleisellä tavalla, mutta erityistapaukset ovat myös välillä otettu huomioon.</p> <p>Opinnäytetyössä käytetyt kuvat eroavat alkuperäisistä siten, että kuviin liittyvät tekstit ovat suomennettu. Joihin kuviin on lisätty uutta tekstiä jotta lukija pystyisi helpommin ymmärtämään kuvaan liittyvää otsikkoa.</p> <p>Opinnäytetyötä laatiessa havaittiin eri koneistotyyppien ja eri konemallien voiteluprosessien eroja ja yhtäläisyyksiä. On myös havaittu että koneistojen eri järjestelmät ovat jossain määrin yleensä toisistaan riippuvaisia. Tämän takia voitelujärjestelmän toimintaperiaatteen ymmärtäminen helpottaa ymmärtämään muiden järjestelmien toimintaa kuten hydraulikka-, paineilma- ja polttoainejärjestelmien.</p>		
Asiasanat		
voiteluöljy, voitelujärjestelmä, mineraaliöljy, sylinteriöljy, synteettinen, hylsä, vesivoideltu hylsä, laakeri, voitelumekanismit, dieselmoottori, lubrikaattori, hydraulikka, säätölapapotkuri, separaattori, automaattifitteri, kompressori, kylmäkompressori		

Author (authors)	Degree	Time
Miled Kauhanen	Bachelor of Engineering	December 2016
Thesis Title		48 pages
Shipboard Lubrication		
Commissioned by		
-		
Supervisor		
Ari Helle, Senior Lecturer		
Abstract		
<p>In this thesis, lubrication mechanisms and processes of ship's machinery were introduced and explained through the components of the different lubrication systems and their properties. The aim of this thesis is to create a simple manual-like summary by which marine engineering students and readers who are not familiar with shipboard lubrication and machinery would be able to gain general knowledge of the ship machinery's lubrication.</p> <p>The material for this work was gathered from literature related to the domain of maritime engineering, user manuals, previous theses, manufacturer releases and webpages.</p> <p>The topic of this thesis was analyzed in rather general terms, but some special cases were also taken into consideration. All pictures used in this thesis differ from the ones in the original sources as all text related to pictures were translated to Finnish and in some pictures additional text was added to help the reader understand the related topic.</p> <p>During the writing of this thesis, numerous similarities and differences between various types of lubricating systems and different models of the same machinery were detected. It was also concluded that different systems of the shipboard machinery are dependent on each other to certain degrees, thus, understanding the lubrication system facilitates understanding other systems such as hydraulic, pneumatic and fuel oil systems.</p>		
Keywords		
oil, mineral, synthetic, lubricant, cylinder lubrication, lubrication mechanisms, stern tube, controllable pitch propeller, hydraulics, separator, automatic filter		

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	6
2	MEKANISMIT	7
2.1	Rajavoitelu	8
2.2	Sekavoitelu	9
2.3	Nestevoitelu	9
2.3.1	Hydrodynaaminen voitelu	10
2.3.2	Hydrostaattinen voitelu	10
2.3.3	EHD-voitelu	11
3	VOITELUAINEEET	11
3.1	Mineraaliset öljyt	11
3.2	Sylinteriöljyt	12
3.3	Synteettiset öljyt	13
3.4	Ympäristöystävälliset öljyt	13
4	DIESELMOOTTORIT	14
4.1	Kategoria I	14
4.2	Kategoria II	15
4.3	Kategoria III	16
4.3.1	Sisäkierto	16
4.3.2	Ulkokierto	18
4.4	Kategoria IV	18
4.4.1	Sylinterivoitelu	19
4.4.2	Hydraulinen polttoainesyöttöjärjestelmä	21
4.4.3	Muut kohteet	22
4.4.4	Älysyöttömenetelmä	22
5	VOITELUAINEEEN KÄSITTELY	23
5.1	Varastointi	24
5.2	Öljyn lisäys	24

5.2.1	Bunkraus	24
5.2.2	Putkistot ja lisäysmenetelmät	25
6	ÖLJYN KUNNOSTA HUOLEHTIMINEN.....	25
6.1	Suodatus	26
6.1.1	Automaattifiltteri	26
6.1.2	Keskipakosuodatin	27
6.2	Separointi	28
6.3	Öljykokeet.....	29
7	ALENNUSVAIHDE	30
8	POTKURIAKSELIN LAAKERIT	31
8.1	Liukulaakerit.....	31
8.2	Painelaakerit.....	32
9	HYLSÄ.....	33
9.1	Vesivoideltu hylsäläakeri	34
9.2	Öljyllä voideltu hylsäläakeri.....	34
10	SÄÄTÖLAPAPOTKURI.....	35
11	PERÄSIN JA PERÄSINKONE	38
11.1	Kiertosylinteri	39
11.2	Linearisylinteri.....	39
12	KOMPRESSORIT	40
12.1	Ruuvikompressori.....	41
12.2	Mäntäkompressori	41
12.3	Kylmäkompressoreiden voitelu	43
	JOHTOPÄÄTÖKSET	44
	LÄHTEET.....	45

1 JOHDANTO

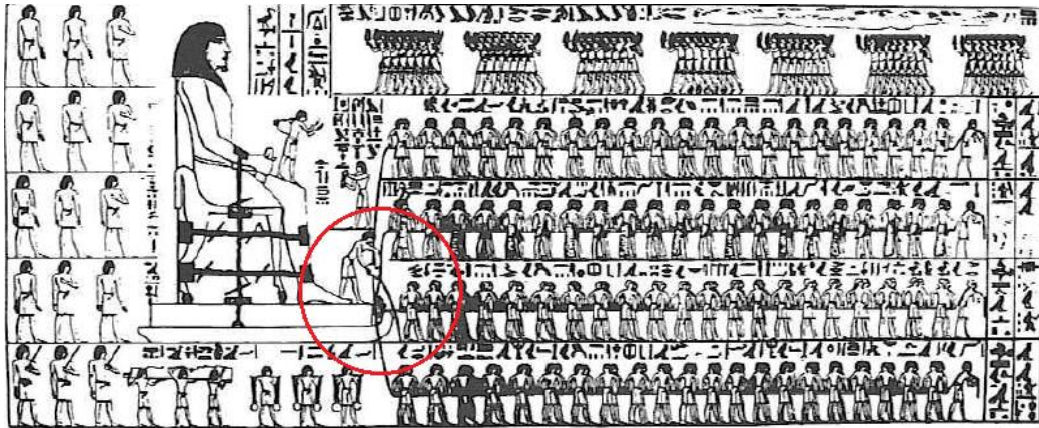
Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia meriliikenteessä käytettyjä voitelujärjestelmiä ja niihin vaikuttavia tekijöitä. Voitelu on välttämätön prosessi monien koneistojen toiminnassa. Laivakoneistojen voitelu on hyvin monipuolinen ja siihen vaikuttaa monet seikat kuten konetyyppi, käyttöolosuhteet, lainsäädännöt ja konevalmistajien ohjeet. Voitelun perustavoitteet ovat kitkan vähentäminen, pintojen erottaminen toisistaan ja epäpuhtauksien sitominen, mutta voitelukohteesta riippuen samaa ainetta tarvitaan myös koneosien jäähdyttämiseen, värähtelyn vähentämiseen ja korroosion ehkäisyyn.

Opinnäytetyössä käsitellään myös hydraulikkaan liittyviä otsikoita. Vaikka voitelu- ja hydrauliprosessit eroavat toisistaan, voitelu- ja hydraulioöljyn kemialliset ominaisuudet ovat usein samanlaisia (1). Hydraulineesteeltä usein vaaditaan hyvää voitelu- ja jäähdyttämiskykyä. Voitelunestettä käytetään usein hydraulinesteenä ja päinvastoin (1). Tämän takia on joskus vaikea hahmottaa, onko erään järjestelmän päätoiminen prosessi voitelu vai hydraulikka. Alennusvaihteissa esimerkiksi usein käytetään samaa systeemiöljyä hydrauliseen ohjaukseen ja hammaspyörien voiteluun. CCP-potkureissa päätoiminen prosessi on hydraulinen, mutta kuitenkin samaa öljyä käytetään navan ja lapojen sisäpuolisten liukuosien voitelussa.

Opinnäytetyö alkaa perusteoriaosalla, jossa käsitellään voitelua tribologisesta ja kemiallisesta näkökulmista ja jonka tavoite on helpottaa ymmärtämään laivakoneistoihin liittyvien voiteluprosessien yksityiskohdat.

Historiallisesta näkökulmasta voitelu on aina ollut tärkeä tekijä liikenneteknologian kehittämisessä. Renkaita ei voitu käyttää hyvin painavien tavaroiden liikuttamiseen ja sen takia jouduttiin vetämään ja/tai työntämään

painavat tavarat tasaista maata tai alustaa pitkin. Vanhin tiedetty esimerkki näkyy eräässä muinaisen Egyptin taideteoksessa (kuva 2), jossa eräs henkilö kaataa kannusta voitelunestettä liikutettavan patsaan eteen (.2).



Kuva 1. Patsaan siirtäminen (2)

2 MEKANISMIT

Voitelumekanismi määritellään pintojen välisien kosketustilanteiden mukaisesti, jotka voidaan erottaa kolmeen ryhmään (3.):

- vierintäkosketus esimerkiksi vierintälaakerissa
- liukukosketus esimerkiksi liukulaakerissa
- edellisten yhdistelmä esimerkiksi hammaspyörän hammaskosketus ryntövaiheessa.

Voitelumekanismit on mahdollista erottaa kitkakertoimen (μ) ja ominaiskalvopaksuuden (λ) perusteella Stribeckin käyrän (kuva 2.) mukaisesti kolmeen kategoriaan, siten että (2; 4.)

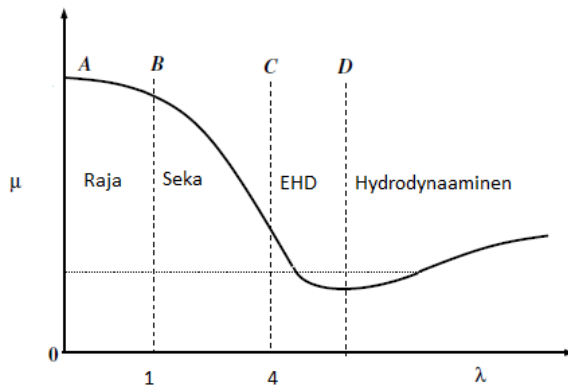
$$\lambda = \frac{\text{Viskositeetti} * \text{Liukunopeus}}{\text{Kuormituspaine}}$$

ja

$$\mu = \frac{\text{Kitkavoima}}{\text{Kuormitus}}$$

Voitelumekanismien suureiden luvut riippuvat järjestelmän pinnankarheudesta (.2) ja voiteluaineen ominaisuuksista, mutta suhteellisesta näkökulmasta voitelumekanismit erottuvat seuraavasti (4.):

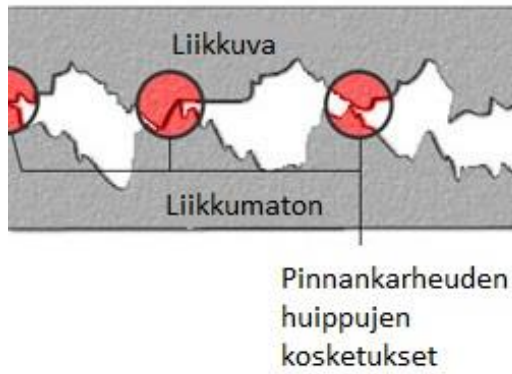
- rajavoitelu, jos $\lambda \leq 1$
- sekavoitelu, s $1 < \lambda \leq 4$
- nestevoitelu, $\lambda > 4-5$



Kuva 2. Stribeckin käyrä (2)

2.1 Rajavoitelu

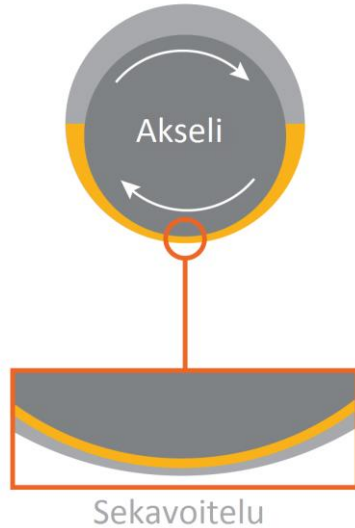
Rajavoitelulla yleensä tarkoitetaan metalli-metalli-kosketusta ja se tapahtuu silloin, kun pinnankarheuden huiput osuvat toisiinsa (.5). Pintakalvojen paksuus on huomattavasti pinnankarheutta pienempi (.6), mikä aiheuttaa kitkan jonka negatiivisia vaikutuksia pyritään rajaamaan lisäaineilla, kuten EP-lisäaineet eli korkeapainelisäaineet, kulumisenestoaineet ja kitkaa pienentävät lisäaineet. Rajavoitelu esiintyy esimerkiksi dieselmoottorin sylinterivoitelussa. (5.)



Kuva 3. Rajavoitelu (7)

2.2 Sekavoitelu

Sekavoitelu on raja- ja nestevoitelun sekoitus. Rajavoitelu tapahtuu vain ajoittain ja joskus tietyn amplitudin mukaisesti, esimerkiksi joissakin laivan potkuriakselin painelaakereissa ja se muistuttaa hieman hydrodynaamista voitelua kuten kuva 4:ssä on esitetty. (6.)



Kuva 4. Sekavoitelutilanne (8)

2.3 Nestevoitelu

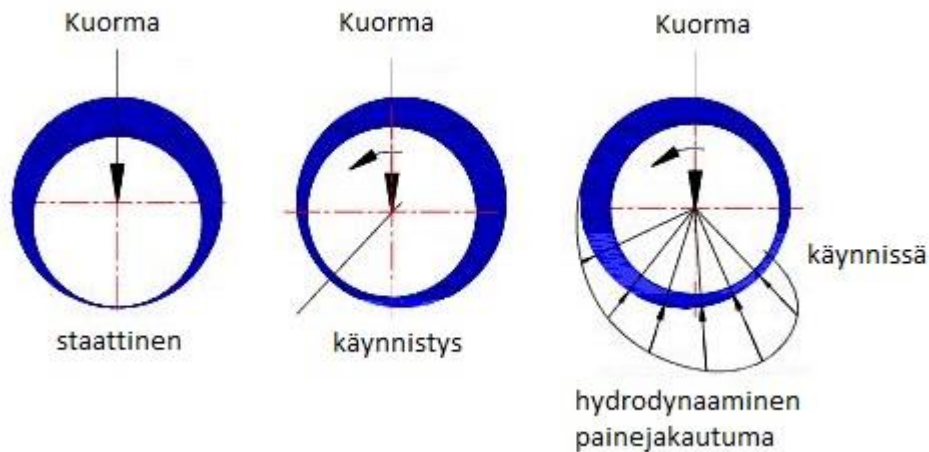
Nestevoitelutilanteessa kulumista ei ole lainkaan ja kitka on alhainen, koska molemmat voitelupinnat on erotettu toisistaan voitelukalvolla. Nestevoitelu voi

olla hydrodynaaminen, hydrostaattinen tai elastohydrodynaaminen eli EHD-voitelu (2).

2.3.1 Hydrodynaaminen voitelu

Hydrodynaaminen voitelu esiintyy, kun molemmat liikkuvat/pyörivät pinnat ovat erotettu jatkuvasti öljykiilan ylipaineella, joka kantaa kuorman esimerkiksi potkuriakselin. Ylipaineen arvo riippuu liikkuvien pintojen nopeuserosta ja se säättää kiilaan sisään- ja ulosvirtaavan voiteluaineen määrän. Kalvon kuormankantokykyä on mahdollista parantaa vaikuttamalla liukukosketuksen painejakautumaan, joka syntyy kun molemmat pinnat liikkuvat toisiaan vasten. (6.)

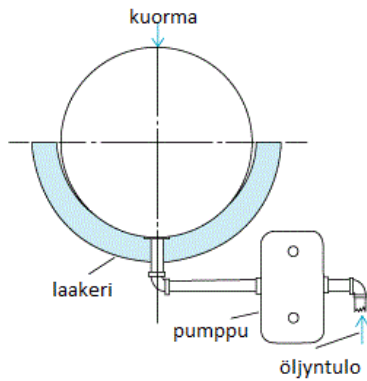
Kuvassa 5 on esitelty hydrodynaamisen voitelun vaiheet. Kun järjestelmä on staattinen, molemmat pinnat koskevat toisiaan. Kuormituksen nousussa kalvon paksuus kasvaa ja pyörimisnopeudesta riippuen voi väliaikaisesti syntyä sekavoitelutilanne. Viimeisessä vaiheessa ylipaine on riittävän suuri kantamaan kuormaa.



kuva 5. Hydrodynaamisen voitelun vaiheet (9)

2.3.2 Hydrostaattinen voitelu

Kyseisessä menetelmässä molemmat pinnat ovat myös erotettu paineistetulla öljykalvolla, mutta öljynpaine säilyy pumppaamalla öljyä molempien pintojen väliin. On otettava huomioon nesteen tulopaine, joka vaikuttaa öljykalvon kantokykyyn. (9.)



kuva 6. Hydrostaattinen voitelu (10)

2.3.3 EHD-voitelu

EHD eli elastohydrodynaaminen voitelu syntyy, kun erittäin korkea paine aiheuttaa kutistavaa elastista muodonmuutosta pintoihin (10). Kyseinen voitelumekanismi voi esiintyä esimerkiksi vierintälaakereissa ja alennusvaihteissa (2). Koska liukumisnopeus ja lämpötila ovat tavallisesta suurempia, pyritään lisäämään lisäaineita voiteluöljyyn voitelutehokkuuden parantamiseen (10).

3 VOITELUAINEET

Voiteluaineet jaetaan öljyihin ja rasvoihin. Rasvat eivät ole yleisiä laivakoneistojen voitelussa öljyihin verrattuna. Syynä rasvojen harvinaiseen käyttöön on mm. liian korkea viskositeetti, joka rajoittaa rasvan leviämiskyvyn (.2) ja niitä on mahdollista käyttää laakerivoitelussa silloin, kun ei paljon jäähdystä tarvita, eli lähinnä hidaskäyntisten moottoreiden potkuriakselien kannatuslaakerissa (11).

Öljyt jaetaan mineraaleihin, joita valmistetaan tislattuna raakaöljystä, johon sitten lisätään lisäaineita, ja synteettisiin, jotka sisältävät jalostetumpia perusaineita (12).

3.1 Mineraaliset öljyt

Mineraaliöljy on tyypillisin laivakoneistojen voitelussa ja sen lisäaineistus riippuu käyttökohteesta. Tyypillisimmät lisäaineet ovat dispergoivat lisäaineet

ja kulumisen-, hapettumisen-, vaahtoamisen-, korroosion- ja jäätymisenestolisäaineet.

Dispergoivaa lisäainetta käytetään käyttökohdan puhdistuksessa ja se toimii parhaiten korkeissa lämpötiloissa esim. dieselmoottorin männässä. Puhdistus tapahtuu hajottamalla käyttökohteessa muodostuneita hiilijäännöksiä ja / tai estää niiden muodostumisen.

Kulumisenestolisäaineen tarkoitus on vähentää adhesiivista kulumista, joka voi esiintyä rajavoitelutilanteessa.

Hapettumisenestolisäaineen tehtävä on pidentää voiteluöljyn elinikää rajoittamalla sen käyttöolosuhteiden negatiivisia vaikutuksia kuten korkeat paineet ja lämpötilat. (12.)

3.2 Sylinteriöljyt

Laivakoneistojen korkeimmat lämpötilat ja paineet esiintyvät dieselmoottorin sylinterissä, varsinkin suurtehoisissa hidaskäyntisissä ristikkapaaladieselmoottoreissa. Sylinterin voitelulinja on eristetty moottorin muun osien voitelulinjasta kaikissa 2-tahtisissa hidaskäyntisissä ja joissakin keskinopeissa 4-tahtisissa moottoreissa (13.). Sylinteriöljyn tehtävät ovat:

- Tiivistää männän kruunun ja sylinterivuoren välisen rajan joten pakokaasu ei vuoda kampikammioon.
- Vähentää tai estää kuivaa kosketusta männänrenkaiden, männän ja sylinterivuoren välillä.
- Kuljettaa alkalineettiset lisäaineet polttokammioon neutralisoimaan kammiossa muodostuneita korrosoivia happoja.
- Rajata sylinterivuoren ja männän pinnoilla olevan likaseinämän muodostumista.

Yksi vaikeimmista haasteista sylinteriöljyn valmistuksessa on ylläpitää riittävän korkeaa viskositeetti-indeksiä (VI) korkeissa lämpötiloissa ja samalla pitää öljyä sopivassa juoksevassa nestemäisessä muodossa, jotta se ehtii laajenemaan voideltaviin kohteisiin pakotahdin aikana. Korkea VI-indeksinen öljy rajaa ja estää adhesiivista kulumista ja korroosiota paremmin kuin matalimmat VI-indeksiset öljyt. (12.)

3.3 Synteettiset öljyt

Synteettiset öljyt valmistetaan raakaöljyn raaka-aineista ja niiden yksi tärkeimmistä eduista on pitkä käyttöikä mineraaliöljyihin verrattuna (12). Esimerkiksi Wärtsilä suosittelee öljynvaihtoväliksi synteettisillä öljyillä 2500 tuntia verrattuna 1500 tuntiin mineraalilla (14). Synteettisen öljyn valmistukseen kuuluu myös lisäaineistus kuten mineraaliöljyllä ja sen tyypillisimmät perusöljyt ovat mm. fosfaattiesterit ja silikaatit. Täyssynteettiset öljyt muodostuvat ei-raakaöljypohjaisista perusaineista. Synteettisen öljyn tyypillisimmät käyttökohdat ovat apukoneistot kuten kompressorit mm. kylmäkoneiden kompressorit. Aluksen pääkoneissa niitä yleensä käytetään suurnopeissa lautoissa.

Synteettisellä öljyllä on laajempi konfigurointivalikoima sen valmistumisvaiheessa kuin mineraalilla. Joillakin synteettiöljytyypeillä on sellaisia ominaisuuksia, joita ei mineraaleilla öljyillä ole, kuten esimerkiksi Exxon Mobilen synteettinen hiilivetyöljy SHC jonka tärkeimmät ominaisuudet ovat seuraavat:

- ei vahan muodostumista
- suhteellisen matalat viskositeettimuutokset lämpötilan nousussa
- täydellinen haponkestävyys
- kyky kestää suurempia kuormia ja korkeampia lämpötiloja kuin mineraaliöljyt. (12.)

3.4 Ympäristöystävälliset öljyt

Voiteluaineiden valinta ei riipu pelkästään sen voitelu- ja jäähdyttämiskyvystä vaan siihen vaikuttaa myös ympäristönsuojeluun liittyvät vaatimukset kuten esimerkiksi MARPOLin määräykset ja paikalliset lainsäädännöt. Sylinteriöljy esimerkiksi voi vaikuttaa pakokaasun rikkipitoisuuteen (.12) ja hylsäöljy vuotaa helposti mereen, joten sen valinta on hieman rajoitettu muihin koneisto-voiteluöljyihin verrattuna. Ennen tärkein kriteeri hylsäöljyn määrittämisessä oli veden- ja korroosionkestävyys, mutta nykyisin myös vaaditaan, että se on ympäristöystävällinen eli biologisesti hajoavaa. Näitä ominaisuuksia on mahdollista parantaa synteettisellä öljyllä, lähinnä polyalkyleeniglykoolilla PAG. (15.)

4 DIESELMOOTTORIT

Suurin osa laivoista nykyisin käyttävät dieselmoottoreita propulsiolaitteina ja apukoneina. Dieselmoottorin voitelujärjestelmää on mahdollista määrittää tehon mukaan ja niitä jaetaan neljään kategoriaan.

4.1 Katgoria I

Tähän lohkoon kuuluu alle 100 KW:n tehoiset 4-tahtiset nopeakäyntiset dieselöljyllä tai MDO:lla (Marine diesel oil) toimivat moottorit.

Matalatehoisia moottoreita käytetään esimerkiksi pelastusveneissä. Niiden voitelujärjestelmä on hyvin yksinkertainen ja ei vaadi paljon huoltoa.

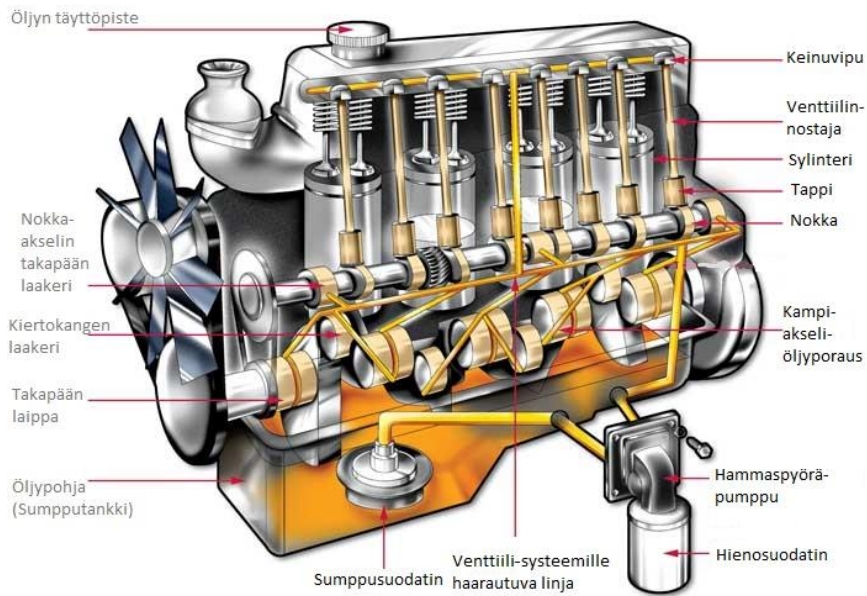
Voiteluöljyjärjestelmän komponentit ovat:

- moottorin pohjassa sijaitseva sumpputankki, johon voiteluöljy kerääntyy
- kampiakselilla toimiva voiteluöljypumppu
- voiteluöljyjäähdytin
- voiteluöljyn virtausverkko eli mistä öljy pääsee kulkemaan sumpputankista voideltaviin kohteisiin. Siihen kuuluu liukulaakerit, kampiakselissa ja kiertokangessa poratut reitit eli öljyporaukset, jotka johtavat männän renkaaseen ja sylinterivuorelle, sekä nokka-akselille haarautuva linja.
- painemittari ja mahdolliset venttiilit kuten varo- ja paineensäätöventtiilit.

Kuvassa 7 on esitetty matalatehoisen dieselmoottorin voitelujärjestelmä. Öljy kulkee sumpputankista ylöspäin suodattimen kautta pumpun avulla. Paineen suure riippuu kierrosnopeudesta. Joissakin moottoreissa sitä on mahdollista säätää paineensäätöventtiilillä. Esimerkiksi Kubota-OC60 moottorissa, jonka teho on 4.2 KW paine on n. 1,5 - 5 baarin luokkaa. Voiteluöljy kulkee verkossa ja samalla voitelee kaikki liikkuvat osat kuten kammentapit ja kiertokangen laakerit ja sylinterivuori. On mahdollista, että sylinteriholkin alle on asennettu voiteluöljyruiskutin jonka tehtävä on ruiskuttaa öljyä sylinteriin silloin, kun männän kruunu on yläasennossa työtahdin aikana. Sylinteritopin kohdalla öljy voitelee venttiilijärjestelmän komponentit eli nokat, tapit ja keinuviivujen laakerit. Joissakin moottoreissa on mahdollista, että voiteluprosessin jälkeen öljyä jäähdytetään ilmalla, jonka tuottaa juoksupyörällä toimiva jäähdytin. Jäähdyttimen jälkeen öljy virtaa filterin kautta takaisin sumpputankkiin. (13, 293.)

Tämän kategorian voiteluöljyn tilavuus on korkeintaan n. 50 litraa.

Voiteluainetta ja hienosuodatinta ovat vaihdettavia säännöllisesti (13, 310).



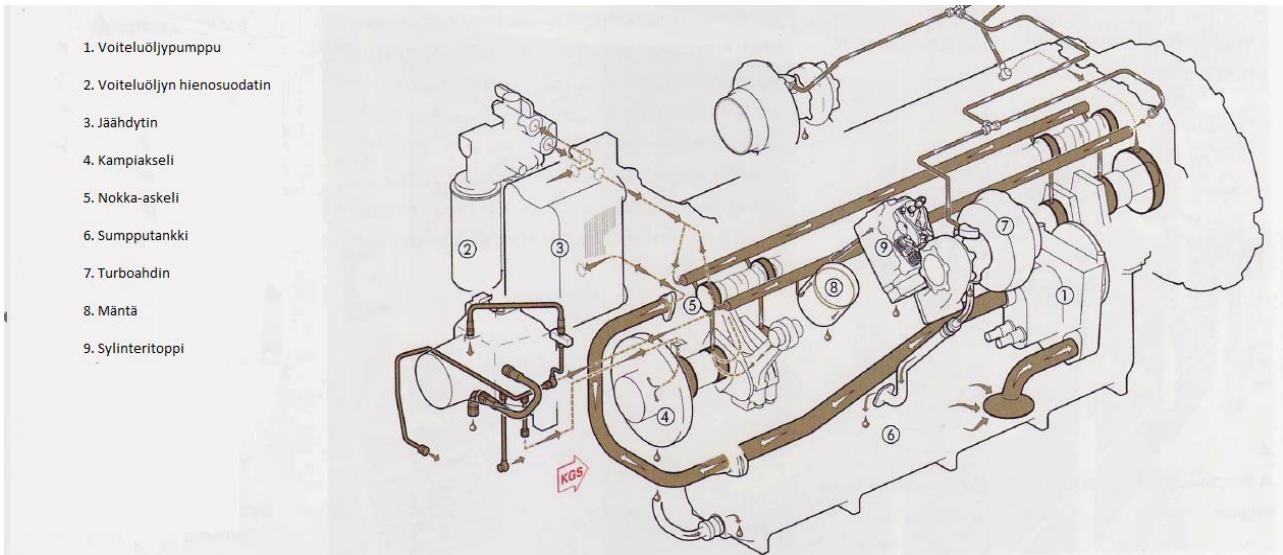
Kuva 7. Matalatehoisen moottorin voiteluöljyvirtauskaavio (16)

4.2 Kategoria II

Tähän kategoriaan kuuluu 100 – 5 000 KW:n 4-tahtiset nopeakäyntiset MDO:illa toimivat dieselmoottorit.

Tämän kategorian moottori voi olla esimerkiksi aluksen hätädieselgeneraattori tai apukone ja sen voitelujärjestelmä toimii samalla periaatteella kuin entinen. On mahdollista, että on useampi suodatin, ja on myös mahdollista, että järjestelmään kuuluu kaksi rinnakkain kytkettyä voiteluöljypumppua, jossa yksi on päällä ja toinen standby-tilassa. Ensimmäiseen kategoriaan verrattuna tämän ja ylempien kategorien voiteluöljytilavuus on tuhansien litrojen luokkaa. (13, 294.)

Kuvassa 8 on MTU 4-tahtisen nopeakäyntisen dieselmoottorin voiteluöljyvirtauskaavio.



Kuva 8. MTU:n nopeakäyntisen dieselmoottorin voitelujärjestelmä (13)

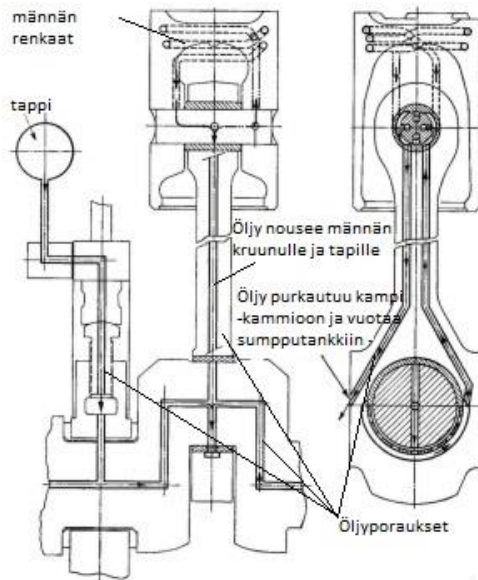
4.3 Kategoria III

Tähän kategoriaan kuuluu 500 - 30000 KW:n, 4-tahtiset, keskinopeat, raskaalla polttoaineella eli HFO:lla toimivat dieselmoottorit. Tämän tyyppisiä moottoreita käytetään aluksen pääkoneina eli propulsiossa. Voitelujärjestelmä koostuu sisä- ja ulkokierrosta. Sisäkierrossa tapahtuu varsinainen voitelu ja ulkokierroksessa öljy kulkee systeemiöljytankin, separaattorin ja lämmönvaihtimen välillä. Esimerkkinä on MAN B&W-32/40:n voitelujärjestelmä.

4.3.1 Sisäkierto

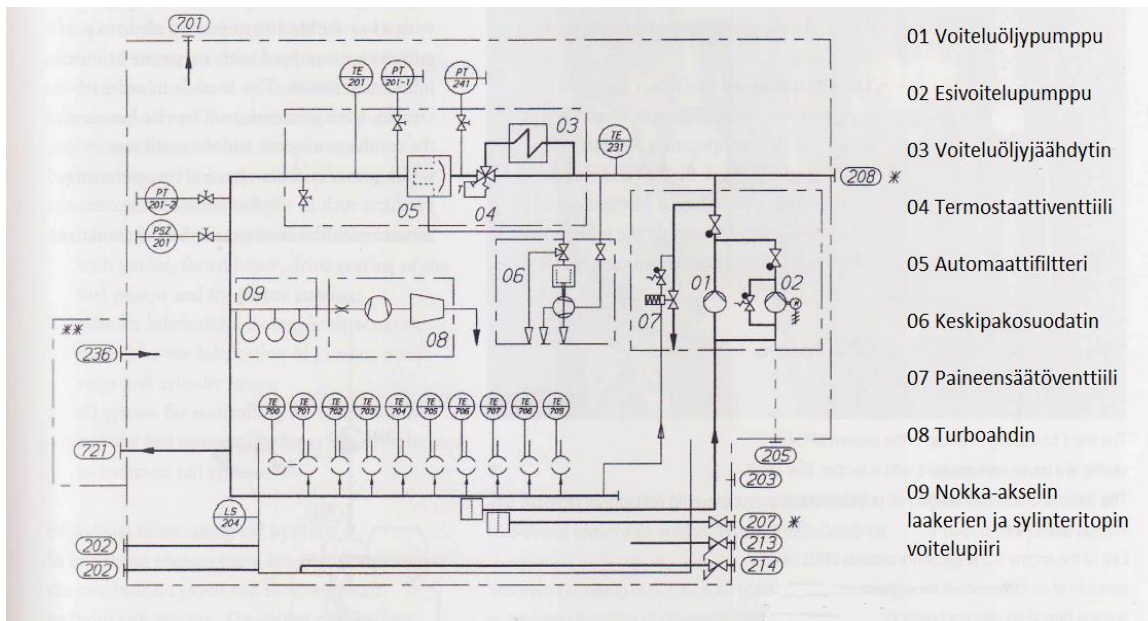
Voiteluöljypumppu 01 toimii voideltavan moottorin voimalla pelkästään sen käytön aikana, sen takia esivoitelua suorittaa oikosulkumoottorilla toimiva esivoitelupumppu 02, joka myös käynnistyy automaattisesti, kun öljynpaine on liian alhainen. Esivoitelua tarvitaan myös moottorin lämmittämiseen ennen käynnistystä ja myös jäähdyttämiseen, silloin kun se on pysäytetty. Ylipaineen estämiseen molemmat pumput ovat varustettu ylivuotoventtiileillä ohitusputkien kohdalla. Pääverkossa öljy kulkee ensin jäähdyttimen 03 kautta. Termostaattikolmisuuntainen venttiili 04 valvoo lämpötilan. Öljy jatkaa automaattifilteriin 05, jonka jälkeen se purkautuu keskipakosuodattimeen 06. Systeemiöljyn päälinjasta öljy virtaa nokka-akselin laakereihin ja sylinteritopille

09 ja sieltä jatkaa turboahtimen laakereihin 08. Kuten edellisissä moottorikategorioissa öljy kulkee kampiakselin öljyporauksin kautta ja voitelee kaikki liikkuvat komponentit. Kuten kuvassa 9 on esitetty, kampiakselin kohdalta öljy nousee männän tapille ja renkaisiin samalla jäädyttään.



Kuva 9. Voiteluöljyn reitti keskinopeassa moottorissa (11)

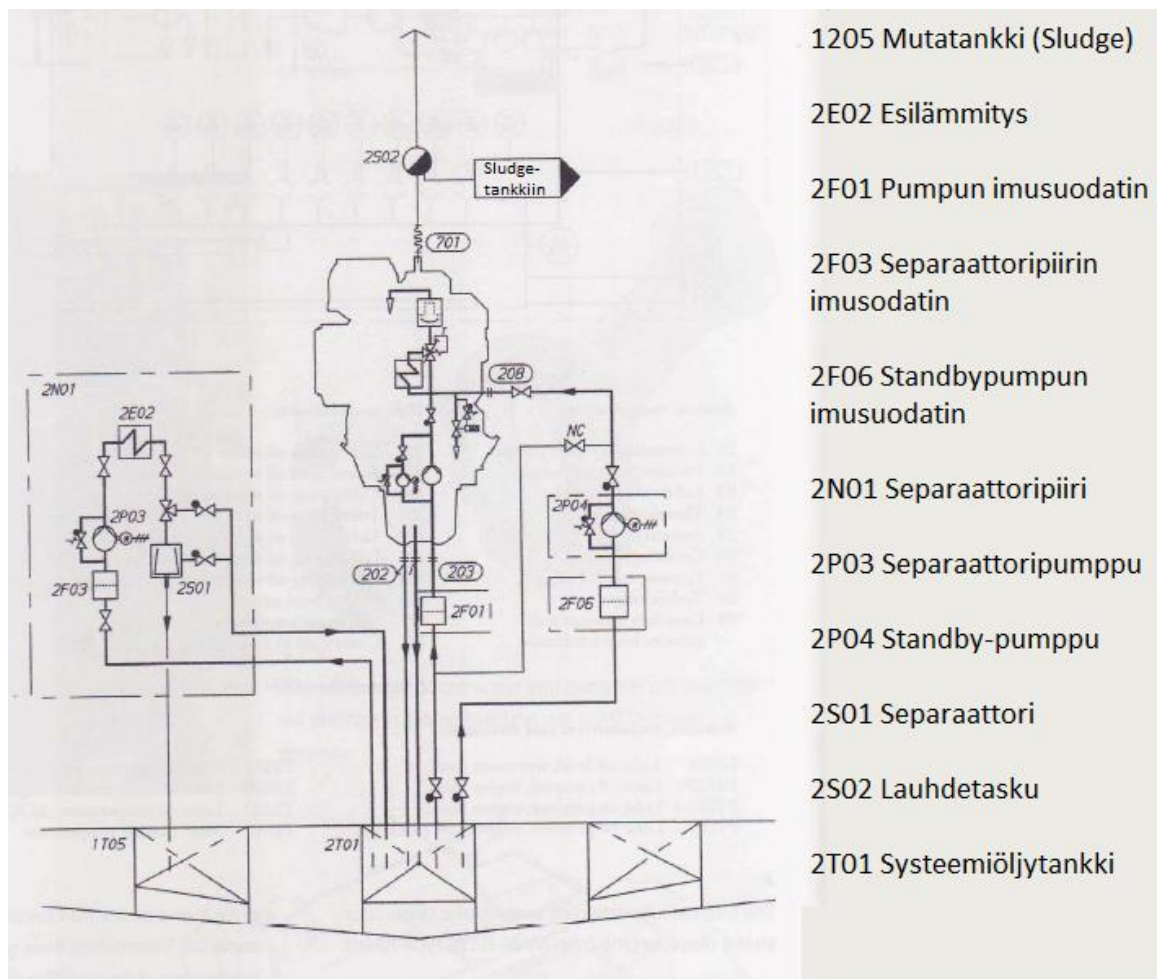
Jos tämän kategorian moottorin kierrosnopeus on 300 - 600 RPM, niin sylintereillä on täysin itsenäinen voiteluöljyverkko. (13, 295.)



Kuva 10. MAN B&W-32/40 voitelujärjestelmän sisäkierros (13)

4.3.2 Ulkokierto

Järjestelmän kolmas voiteluöljypumppu on 2P04, joka on sähkömoottorilla toimiva ja varustettu imusuodattimella. Varsinaisilla voiteluöljypumpuilla on yhteinen imusuodatin 2F01. Kohde 2N01 on separaattori, joka koostuu imusuodattimella 2F03 varustetusta separaattoripumpusta 2P03, lämmönvaihtimesta 2F02 ja voiteluöljyseparaattorista 2F01. Separattorin pumpu purkaa puhdistettavan öljyn systeemiöljytankista 2T01. Lämmönvaihdin, joka on jäähdytetty LT-piirillä, pitää öljyä sopivassa lämpötilassa. Puhdistettu öljy sitten virtaa valumatankkiin eli drain-tankkiin ja epäpuhtaudet mutatankkiin eli sludgetankkiin 1T05. (13, 296.)

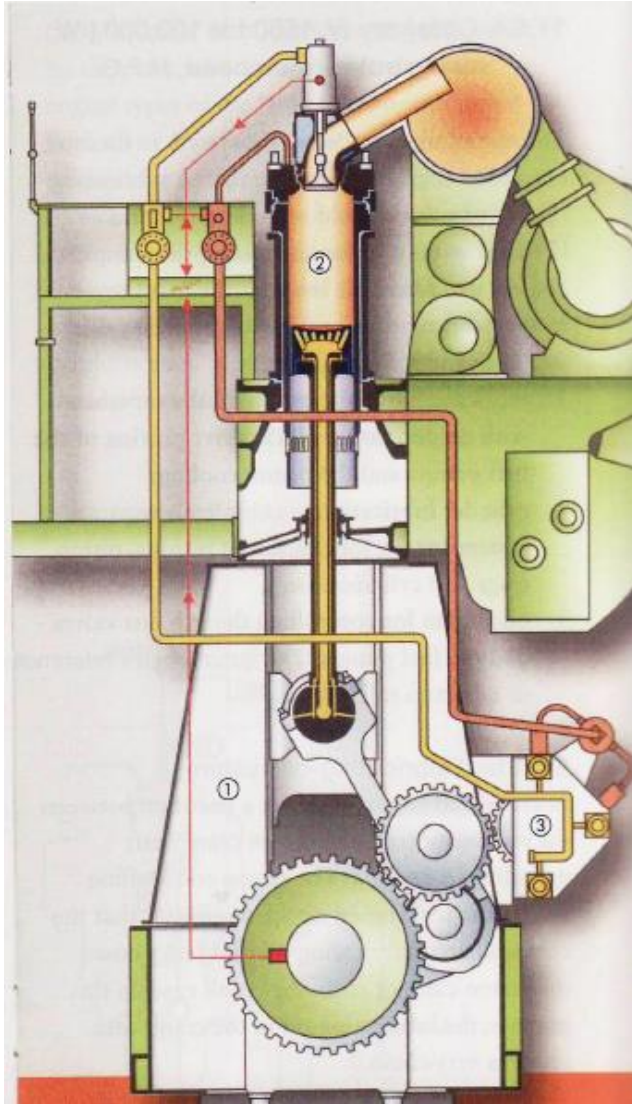


Kuva 11. MAN B&W-32/40 voitelujärjestelmän ulkokierto (13)

4.4 Kategoria IV

Tähän kategoriaan kuuluu kaikki 1500 – 100 000 KW:n raskaalla polttoaineella toimivat, kaksitahtiset, hidaskäyntiset dieselmoottorit.

Valumatankin tilavuus voi olla jopa 40 000 litraa eli 40 kuutiometriä (10.) ja järjestelmän komponentit ovat joko suurempia tai useampia. On mahdollista esimerkiksi, että on vain yksi iso turboahdin koko koneelle tai sitten monta pientä turboahdinta (12.). Kategoria IV:n voitelujärjestelmää on mahdollista jakaa kolmeen haarautuvaan järjestelmään. (13.)



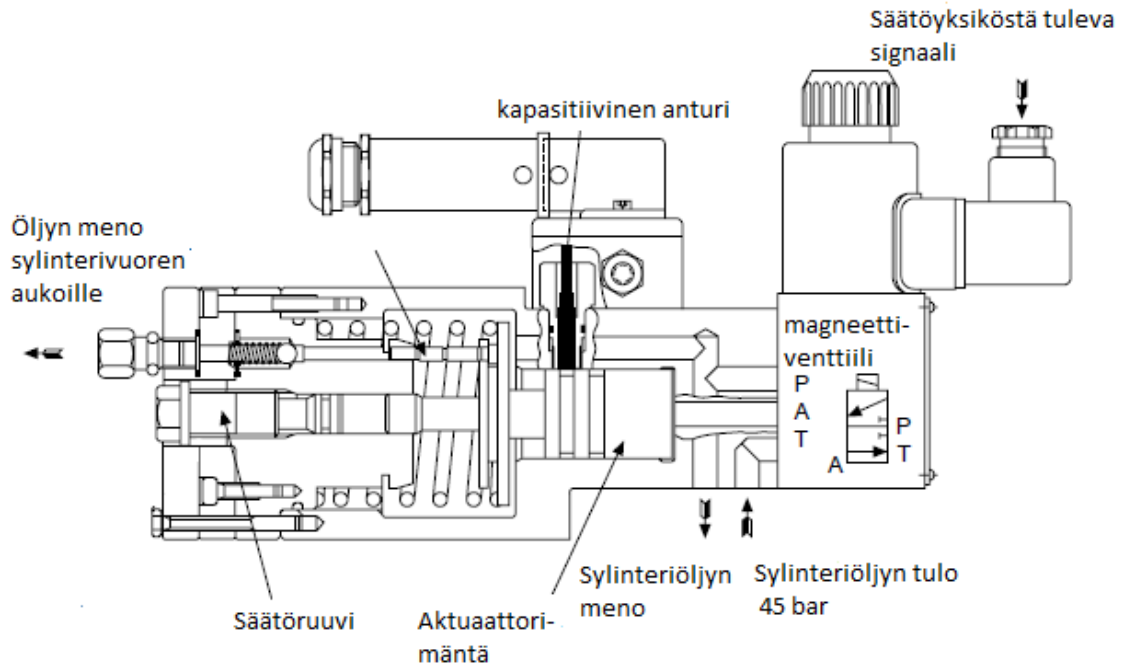
Kuva 12: Kategoria IV:n voitelujärjestelmä: kampikammion vaihteiston voitelu ja männän jäähdytys 1 Sylinterivoitelu 2 ja Hydraulinen syöttöjärjestelmä 3 (13)

4.4.1 Sylinterivoitelu

Sylintereillä on täysin eristetty voitelujärjestelmä, jossa käytetään erilaista voiteluainetta kuin muilla koneosilla. Voideltavat osat ovat sylinterivuori, männän kruunu ja männän renkaat. Kuten kuvassa 12 näkyy systeemiöljy

jäähdyttää männän sisäosat. Sylinterin holkki on täysin eristetty, joten käytetty sylinteriöljy ei vuoda kampikammioon. Perinteisessä menetelmässä jokaisessa sylinterissä on tietty määrä voitelupisteitä, joista pumpattu öljy kulkee jakajan kautta ja vuotaa sylinterin sisälle jokaisen tahdin tai joka toisen tahdin aikana. Öljy sitten kulkee sylinterivuoren urien kautta. Tämä systeemi ei kuitenkaan ole ihan täydellinen, koska syötetyn öljyn määrä ei voi helposti säätää. Liian suuri määrä aiheuttaa likakerroksen muodostamisen sylinterivuoren, männän kruunun ja turboahtimen kohdilla. Liian pieni määrä aiheuttaa sylinterivuoren ja männän kulumista. Tätä ongelmaa pyritään ehkäisemään käyttämällä ns. optimaalista sylinterivoitelumenetelmää, jossa otetaan huomioon koneen kuormitus ja käytetyn polttoaineen kemialliset ominaisuudet. Useissa matalatehoisissa MAN B&W ristikappalemootoreissa tämän tehtävän suorittaa Alpha ACC (Adaptive Cylinder Control) järjestelmä. (12;13.)

Öljyä ensin pumpataan sylinteriöljytankista sylinteriöljypäivätankiin. Koneen käytön aikana öljyä pumpataan päivätankista jokaisen sylinterin voiteluöljypumpulle, josta se jakaantuu lubrikaattoreille (Kuva 13). Jokaisella sylinteriöljypumpulla on rinnalle kytketty standby-pumppu. Sylinterissä on 8 voiteluaukkoa, joihin kahdesta lubrikaattoreista tuleva öljy jakaantuu ja joista voiteluöljy vuotaa sylinteriin. Tietty määrä öljyä ohjataan sylinteriin joka 4:n konekierroksen aikana. Järjestelmää ohjaa automatisoitu säätösysteemi. Öljyn määrää on mahdollista säätää lubrikaattoreissa olevilla säätöruuveille. (13, 300.)



Kuva 13. ACC-lubrikaattori (12)

4.4.2 Hydraulinen polttoainesyöttöjärjestelmä

Esimerkkinä on MAN B&M ristikappalemoottori. Hydrauliseen järjestelmään kuuluu:

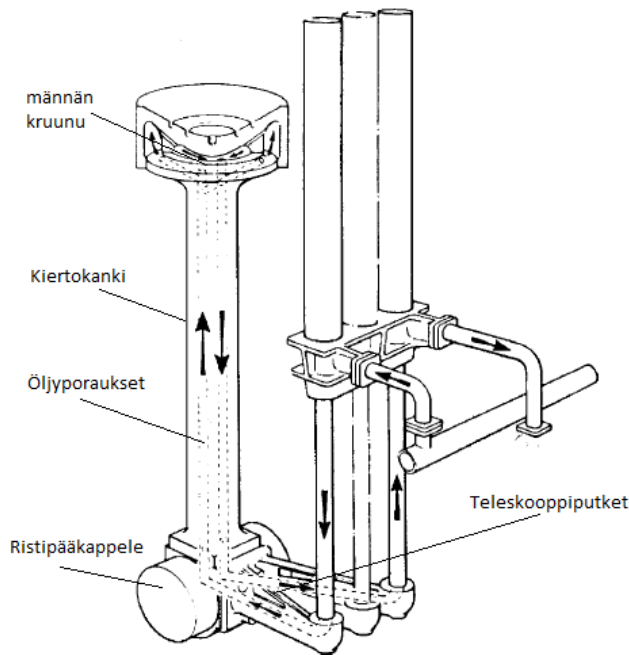
- automaattifiltteri jonka rinnalle on kytketty ohitussuodatin
- 2 oikosulkumoottoreilla toimivia voiteluöljypumppua joista toinen on standby
- 3 koneella toimivia voiteluöljypumppua
- hydraulinen akkumulaattori ja sen suojayksikkö

Ennen käynnistystä, öljyä ohjataan koneeseen sähkömoottorilla toimivalla pumpulla ja sitten moottorin käynnin aikana sähköpumppua sammutetaan ja koneen omat hammaspyöräpumput jatkavat pumppauksen.

Systemiöljy ohjaa syöttö- ja pakoventtiilejä. Korkeapaineinen voiteluöljy virtaa sylinterien elektronisiin pako- ja syöttösäätöyksiköihin. Korkeapaine aiheuttaa sähköisen signaalin, joka avaa molemmat venttiilit. Pakoventtiili sitten sulkeutuu perinteisellä jousella, kun pakokaasun paine laskee imu- ja pakotahdin välisenä aikana. (10, 299.)

4.4.3 Muut kohteet

Tämän kategorian voiteluöljyjärjestelmä muistuttaa III-kategorian voitelujärjestelmää. Merkittävin ero on, että voideltaviin komponentteihin on lisätty ristikappale ja kampikammion vaihteisto, kuten kuvassa 14 näkyy. Tavallisesti ristikappaleeseen on kiinnitetty ns. teleskooppiputki. Kuvassa 14 on esitetty teleskooppiputken toimintaperiaate. Järjestelmästä öljy virtaa teleskooppiputkeen, josta öljy kulkee öljyporauksien kautta voitelemaan kiertokangen laakereita ja jäähdyttämään männän kruunua. (12;13.)



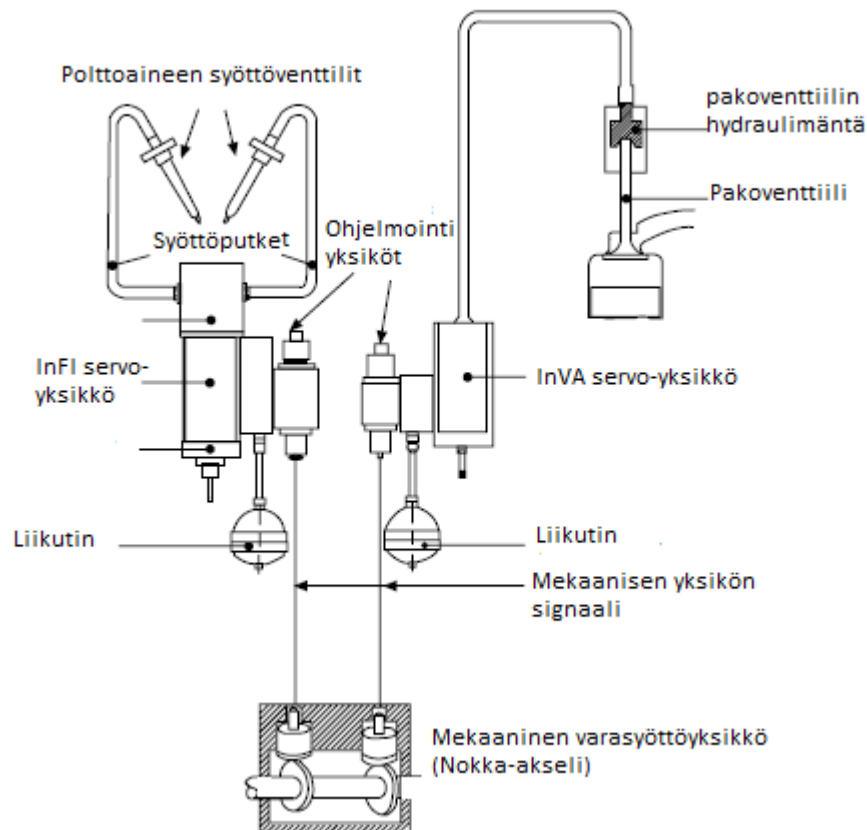
Kuva 14. Doxford-ristikappalemoottorin männän jäähdytys (12)

4.4.4 Älysyöttömenetelmä

Älysyöttömenetelmässä eli intelligent injection ei käytetä nokka-akselia. Järjestelmä on automatisoitu ja poltto- ja voiteluaineen kulutukset on optimisoitu siten, että iskunpituus ei ole vakio. Syötetyn polttoaineen määrä riippuu koneen kuormituksesta. Tämän tyyppinen systeemi on elektronisesti toimiva ja esiintyy esimerkiksi joissakin hidaskäyntisissä Sulzer ja MAN-Diesel moottoreissa.

Menetelmä koostuu kahdesta järjestelmästä. Älysyöttö InFI (Eng: intelligent fuel injection) ja InVA (Intelligent valve actuation) eli älyventtiiliohjaus, joka ohjaa pakokaasuventtiilejä.

Moottorin käynnistymisen aikana molemmat järjestelmät saavat sähköisen signaalin, joka saa ne toimimaan. Varalta koneeseen on asennettu nokka-akseli, joka pyörittää venttiilejä mekaanisesti pelkästään sähköhäiriötilanteessa. Signaali liikuttaa liikutinta eli akkumulaattoria, joka antaa merkin hydrauliselle servoyksiköille. Servoyksiköt nostavat ja laksevat öljyn painetta, mikä aiheuttaa pakokaasuventtiin avaamisen ja sulkemisen ja polttoaineensyötön sylinteriin. Samalla öljy voitelee hydraulijärjestelmän liikkuvat osat, kuten pakoventtiin hydraulisen männän. (12, 283.)



Kuva 15. Älysyöttömenetelmä MAN Diesel's 4T50MX hidaskäyntisessä laboratoriomoottorissa. (12)

5 VOITELUAINEEEN KÄSITTELY

Voiteluaineen käsittelyyn vaikuttavat monet seikat, kuten laitevalmistajan ja voiteluainetuottajan ohjeet, paikalliset lainsäädännöt ja MARPOL- sekä SOLAS-määräykset (17).

Aluksen konetilojen öljynkäsittelyyn liittyvät toimenpiteet kuten mm. sludgen ja muun jäteöljyn lisääntyminen ja tankkityhjennys, öljysuodatuslaitteiden rikkoontuminen ja bunkraukset merkataan öljypäiväkirjaan osa 1 (Eng: Oil

record book part 1), jonka MARPOL-määräyksien mukaan kuuluu olla kaikilla tankkereilla joiden bruttovetoisuus on vähintään 150 ja kaikilla laivoilla, joiden bruttovetoisuus on vähintään 400. (18.)

5.1 Varastointi

Päätavoite voiteluöljyn säilytyksessä on sen voitelukyvyyn ja muiden mahdollisten ominaisuuksien ylläpitäminen. Seuraavat kriteerit täytyy myös ylläpitää voiteluaineen varastoinnissa.

- ylin sallittu viskositeetti, jonka konevalmistaja ilmoittaa.
- ylin sallittu tiheys tai ominaispaino, joka vaikuttaa separointiprosessiin.
- leimahduspiste, joka tulee olemaan turvallisuusmääräyksien mukainen.
- jähmettymispiste, joka määrää öljyn lämmityskulutuksen.
- ylin sallittu vesipitoisuus, kun on mahdollista että kosteassa ilmassa oleva kylläinen höyry muodostaa vesikerroksen systeemiöljytankissa.
- erityyppisiä voiteluaineita ei saa säilyttää samassa tankissa eikä yleensääkään saa sekoittaa, tiettyjä yksityiskohtia lukuun ottamatta. (12;11;19.).

5.2 Öljyn lisäys

5.2.1 Bunkraus

Bunkraus tarkoittaa pääkoneen polttoaineen tai voiteluaineen tankkaamista. Voiteluöljyn bunkrauksella on samat proseduurit kuin polttoaineella .

Ennen bunkrauksen aloittamista punainen merkkilippu on nostettava. Kaikki kannen vuotoaukot täytyy sulkea tulvilla ja bunkkeriaseman lähelle laitetaan kyltti, jossa lukee "NO SMOKING". Konepäällikkö tarkistaa omalla peilausveivimellä bunkrausproomun bunkkeriöljytankkien tasot ja tarkistaa myös sopimuksen / kuitin joka todistaa että öljy on sitä mitä on tilattu.

Bunkrausmerkkivalo on oltava päällä koko bunkrauksen aikana. On otettava 3 öljynäytettä bunkkeriproomun syöttölinjasta, jonka 1 lähetetään laboratorioon, 1 testataan laivalla ja viimeinen annetaan bunkkeriproomulle.

Öljy kulkee putkistojen kautta tietyllä paineella filteriin ja sieltä voiteluöljytankkiin. Loppupeilauksessa on otettava huomioon aluksen trimmi ja kallistuma, joten tarvittaessa käytetään kalibroititaulukkoa. Bunkrauksen jälkeen bunkkeriproomu antaa konepäällekölle oman öljynäytteensä, johon on merkattu kaikki asianmukaiset tiedot kuten päivämäärä, öljytyyppi ja bunkkerialuksen nimi. (12;17;20.)

5.2.2 Putkistot ja lisäysmenetelmät

Putkistot, säilytystankit ja kaikki muut mahdolliset elementit, kuten pumppujen hammaspyörät, valmistetaan materiaaleista, joilla on kyky kestämään käytön ääriolosuhteet, kuten korkeat lämpötilat ja paineet. Telakassa aluksen rakentaessa on otettava huomioon luokituslaitoksen ja muut mahdolliset määräykset. Myös aluksen valmistumisen jälkeen samat kriteerit noudatetaan huollossa ja kunnossapidossa (.17). Öljyputkien materiaalit vaihtelevat öljytyypin mukaan. Esimerkiksi kylmäkoneiden putkistot valmistetaan kylmälaatua olevasta kupari- tai teräspankusta, jonka tarkoitus on siirtää kylmäaineen ja öljyn sekoitus. (21.)

Lisäysmenetelmät riippuvat laitteista. Suurimmissa laitteissa kuten esimerkiksi kategoria IV moottoreissa öljyä lisätään bunkkeriproomusta pumppaamalla putkistojen ja suodattimen kautta säilytystankkiin. Säilytystankista sumpputankkiin siirtämisprosessissa öljy kulkee monien komponenttien läpi, kuten separaattorin ja lämmönvaihtimen. Järjestelmä on yleensä hyvin automatisoitu ja kaikki mahdolliset toimenpiteet ja peilaukset on mahdollista valvoa konevalvomosta. Pienimmissä laitteissa, kuten esimerkiksi ilmakompressoreissa ja kategoria I moottoreissa öljyä yleensä lisätään manuaalisesti kannulla. Käytettyä öljyä on mahdollista purkaa esimerkiksi avaamalla öljytankin pohjassa olevaa korkkia. Suurempien moottoreiden käytettyä öljyä tyhjennetään avaamalla purkulinjan venttiili, josta öljy virtaa mahdollisesti pumppujen välityksellä sumpputankista jäteöljytankkiin (Eng: Waste oil tank). (21.)

6 ÖLJYN KUNNOSTA HUOLEHTIMINEN

On mahdollista, että voiteluöljyyn sekaantuu epäpuhtauksia kuten metallisia hiukkasia putkesta ja lämmönvaihtimesta vuotavaa vettä. Nämä on

mahdollista huomata öljykokeilla. Vesi ja muut epäpuhtaudet vaikuttavat öljyn ominaisuuksiin, kuten viskositeettiin ja lämmönsiirtokykyyn.

Epäpuhtauksien vaikutuksia pyritään rajaamaan separaattorilla ja suodattimilla. Laivakoneistojen voiteluöljykiertoprosessien näkökulmasta merkittävin puhdistus tapahtuu automaattifiltterissä ja separaattorissa. (12;13.)

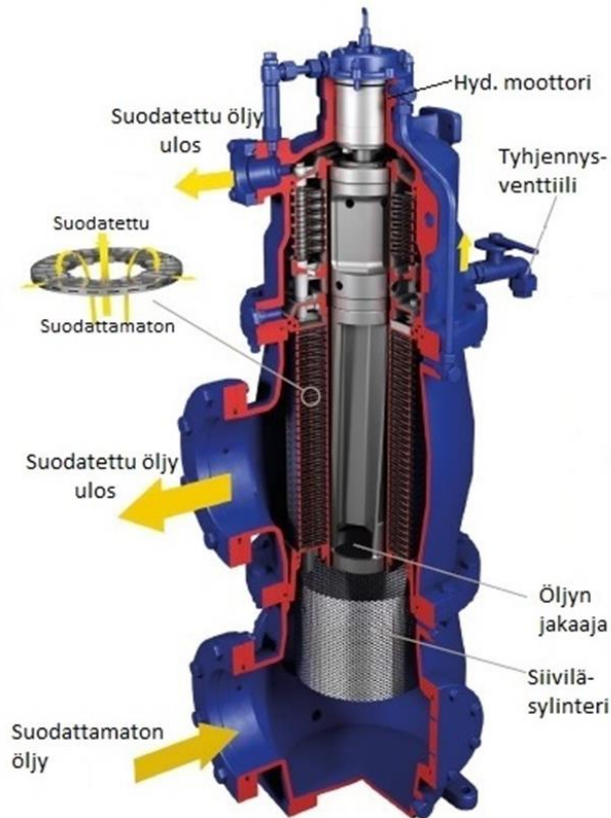
6.1 Suodatus

Suodatintyyppejä ja malleja on monenlaisia. On olemassa yksinkertaisia kertakäyttöisiä, kuten kertakäyttöiset hienosuodattimet sekä magneettisia filttäreitä metallisten hiukkaisten varten. Korkeatehoisten koneiden suodattimet eivät tyypillisesti ole kertakäyttöisiä. (17.)

6.1.1 Automaattifiltteri

Automaattisuodatinta käytetään pelkästään korkeatehoisten moottoreiden voitelukierroksessa ja se toimii ns. vastavirtahuuhteluperiaatteella. Kuvassa 16 on esitetty sen rakenne ja toimintaperiaate. Siiviläsylinterin sisällä eli suodatinpesässä on 24 kappaletta tai sen luokkaa valmistajasta riippuen kynttiläsuodattimia, joiden kautta likainen öljy kulkee. (18;22.)

Automaattisuodattimen toiminta perustuu siihen, että venttiiliä avatessa likaisen puolen paine laskee nopeasti puhdasta puolta alhaisemmaksi, mikä aiheuttaa korkeapaineisen vastavirtauksen ja konfiguraatiosta riippuen, likainen öljy virtaa sludgetankkiin. Kynttiläsuodattimia vaihdetaan tai pestään. kun vastavirtahuuhtelun aikaväli laskee alle vaaditun rajan. (22.)

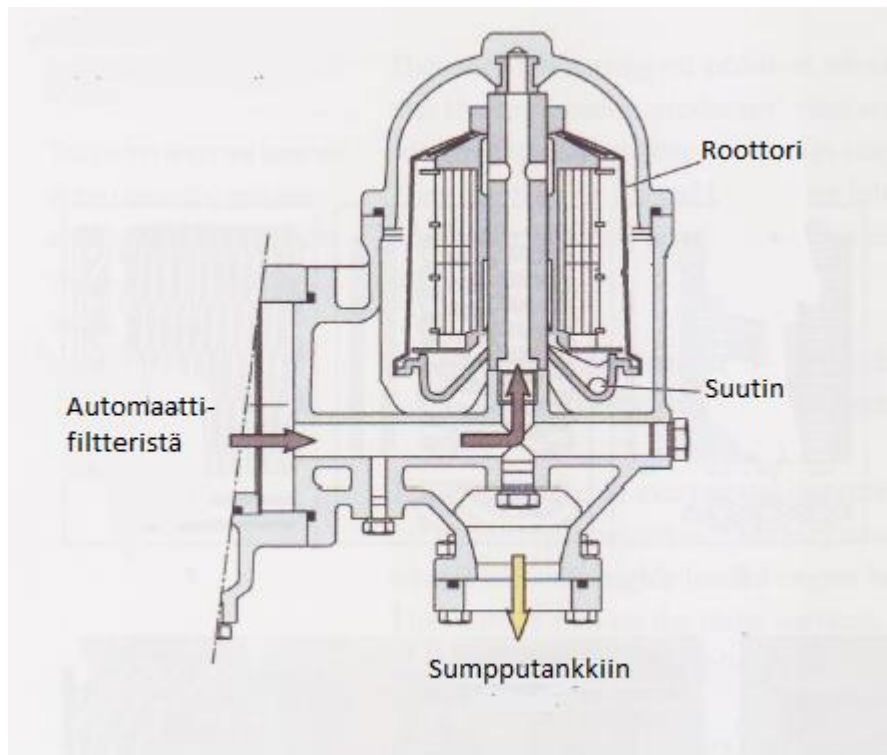


Kuva 16. Automaattifiltteri (13)

6.1.2 Keskipakosuodatin

Keskipakosuodatinta (Eng Centrifugal filter) käytetään yleensä automaattifiltterin avustajana. On mahdollista että se myös toimii indikointiyksikkönä. Esimerkiksi Wärtsilä 50DF moottoreissa keskipakosuodatin on anturoitu siten, että suodattimesta lähtee valvomoon tieto öljyssä olevista epäpuhtauksista (23, 702, 711).

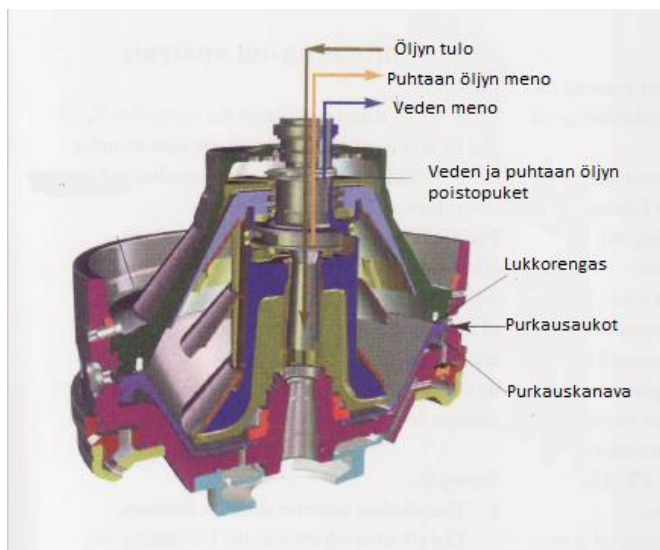
Kuvassa 17 on esitetty keskipakosuodattimen toimintaperiaate. Öljy virtaa automaattifiltteristä suodattimen sisälle jossa pyörivä keskipakokappale aiheuttaa öljyn roiskumisen seinämiin. Öljyä tiheämmät epäpuhtaudet jäävät filteriin ja puhdas öljy virtaa suuttimen kautta takaisin öljylinjaan (13).



Kuva 17. Keskipakosuodatin (13)

6.2 Separointi

Yksinkertaisessa separointiprosessissa voiteluöljytankista tuleva öljy virtaa sisään separaattorin yläpuolelta. Korkealla nopeudella pyörivien separaattoripeltien keskipakovoima ja sisään virtaavan veden paine siirtävät raskaammat hiukkaset sivuun. Kun sivussa olevat epäpuhtaudet saavuttavat tiedetyn paineen, purkausaukot avautuvat ja epäpuhtaudet purkaantuvat sludge-tankkiin. Keskipakovoimalla vesi ja öljy erottuvat toisistaan ja purkautuvat separaattorin yläpuolelta. Puhdas öljy jatkaa drain-tankkiin. Nykysin koko prosessi on täysin automatisoitu. (13, 309.)



Kuva 18: Tyypillinen voiteluöljyseparaattori (13)

6.3 Öljykokeet

Öljykokeiden tavoite on tutkia laitteen tai öljyn toimintaa. Epäpuhtaudet voivat vaikuttaa öljyn viskositeettiin, alkalineettisyyteen ja muihin ominaisuuksiin. Öljynäyttö on otettava kierroslinjasta käytönaikana käyttölämpötilassa. On mahdollista että aluksella on yksinkertainen testaussetti, jonka käyttökohta on rajoitettu. Tämän takia näytteitä lähetetään laboratorioon tutkittavaksi. Öljyä pitäisi testata säännöllisesti tiedetyn käyttötunnin välein ja niiden otto ja lähettäminen täytyy tehdä valmistajan ohjeiden mukaisesti. (12;19.)

Wärtsilä esimerkiksi määrää Wärtsilä Vasa 32:n käyttäjille mm. että systeemiöljynäytteen pitää lähettää suljetussa, ulkopuolelta puhtaassa astiassa, jonka tilavuus on n.1 litra. Näytteen mukana pitää myös lähettää täytetty lomake, johon on merkattu asianmukaiset tiedot, kuten näytteenottopiste eli kohde mistä näyte on otettu, voiteluöljytyyppi, koneen ja öljyn käyttötunnit, näytteen oton syy ja yhteistiedot. (24.)

Öljyssä olevat kulumattomat pitoisuudet ilmoittavat mahdollisista kulumisista ja saastuvuudesta. Konemestarin on tietävä öljyn käyttökohdan osien valmistusmateriaalista, jotta hän pystyisi tulkitsemaan kulumiskohtia öljykokeiden tuloksien perusteella.

Saastuvuuden alkuperä on mahdollista tietää öljyyn liuenneessa materiaalista (19.):

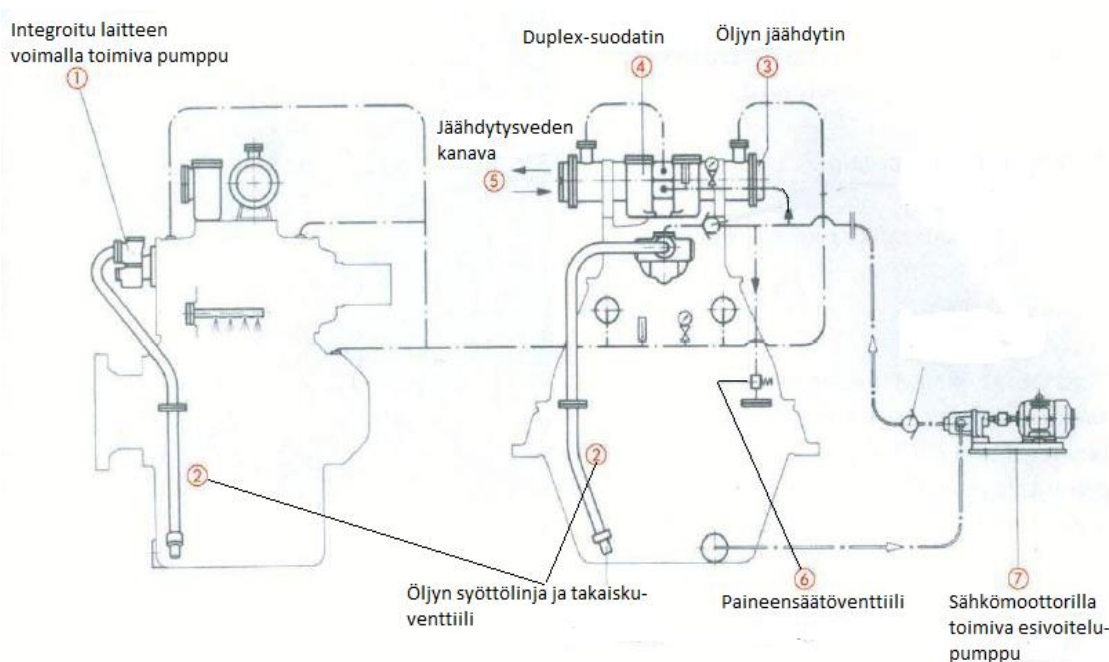
- magnesium (Mg), merivesi tai lisäaine

- kalium (K), kylmäaine
- natrium (Na), merivesi, kylmäaine tai lisäaine
- pii (Si), yleinen lika, kuten kulunut tiiviste tai O-rengas, pöly tai silikonitahna.
- vanadiini (V) polttoaine

7 ALENNUSVAIHDE

Alennusvaihteen tehtävä on siirtää voimaa pääkoneesta potkuriin. Keulapuolelta se on yhdistetty dieselmoottorin kampiakseliin tai siihen linjattuun akseliin ja aluksen peräpuolelta se on yhdistetty potkuriakseliin. Voima siirtyy propulsiolaitteeseen yhdistetystä akselista potkuriakseliin laitteen vaihteiden avulla. Vaihteiden kosketuspinnat ovat koko käyttöaikana erotettu ohuella öljykiilalla. Öljykiilan tarkoitus on estää metalli-metallikosketusta, joka voi aiheuttaa kulumista ja ylikuumentumista. (17.)

Alennusvaihteen konfiguraatioita on monenlaisia. On esimerkiksi mahdollista, että potkuriakselin painelaakerilla, säätölapapotkurin OD-boxilla ja alennusvaihteella on yhteinen voitelu- ja hydraulijärjestelmä (.25). Tyypillisen alennusvaihteen voitelujärjestelmän komponentit on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Alennusvaihteen voitelujärjestelmä (13)

Esivoitelupumppu avautuu ennen koneen käynnistymistä. Öljy virtaa jäähdyttimen ja suodattimen kautta ja lämmittää voideltavat kohdat eli vaihteet ja mahdolliset laakerit. Koneen käynnin aika öljy virtaa systeemissä integroituneella pumpulla. Öljyn syöttölinja alkaa laitteen alapuolella olevasta sumpputankista ja linjaan kytketty takaiskuventtiili pitää paineen riittävän korkeassa tasossa. Öljy kulkee painelaakereihin ja vuotaa niiden uriin, joista se valuu voideltaviin liukupintoihin. Öljy sitten purkaantuu vaihteiden pinnoille öljyputkien kautta. On mahdollista, että samaa öljyä käytetään vaihteen hydrauliseen säätöön. (11; 26.)

8 POTKURIAKSELIN LAAKERIT

Potkuriakselin tehtävä on siirtää osan pääkoneessa tai turbiinissa syntyvästä kineettisestä energiasta potkurille. On mahdollista, että keula- ja ahteripuolimmaisat akseliosat ovat toisistaan erotettu useammalla väliakselilla, joka vaikuttaa laakerointikonfiguraatioon (17).

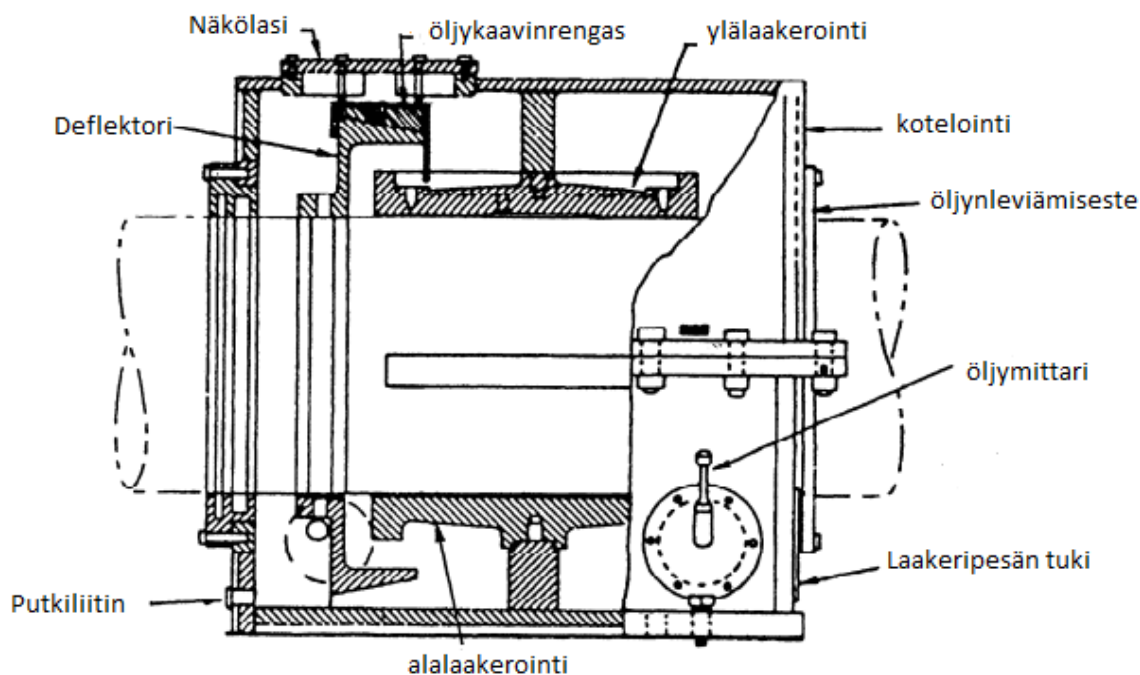
8.1 Liukulaakerit

Perätunnelin kannatuslaakeri muodostuu tuplalaakeroinnista. Kohde on laakeroitu liukulaakerilla ylä- ja alapuolilta, koska siihen kohdistuu sekä radiaalista että aksiaalista kuormaa. Perätunnelin laakerit vastustavat akselin painoa pystysuoraan ylöspäin vaikuttavalla nostevoimalla ja kyseisten laakereiden lukumäärä riippuu järjestelmän konfiguroinnista.

Akselointikonfiguraatiosta riippuen välikannatuslaakereiden tehtävä voi olla pelkästään akselipainon tukeminen ja sen takia ne on tuettu liukulaakerilla pelkästään alapuolilta, mutta joissakin järjestelmissä välilaakerit tukevat molempiin suuntiin, joten ne ovat laakeroitu molemmilta puolilta. (11, 443.)

Kuten kuvassa näkyy, voiteluöljyä johdetaan laakeripesän alapuolelta sijaitsevasta voiteluöljysäiliöistä voitelukohteeseen eli liukupinnoille. Akselivoimalla pyörivä öljydeflektori nostaa öljyn pohjasäiliöstä laakerin yläosalle. Yläpuolella sijaitsevan öljykaavinrenkaan (Eng: Oil scraper) välityksellä öljy leviää voideltaviin yläkohteisiin, joihin deflektori ei yllä, ja sieltä se valuu alaspäin akselin pyöriessä samalla jäähdyttäen. Näkölasin kautta

voidaan tarkistaa deflektorin toimintaa (27, 3 - 11.). Joissakin järjestelmissä käytetään myös heittorengasta joka sijaitsee deflektorin vastapäätä. Sen tehtävä on nostaa öljyä alapuolelta sijaitsevasta säiliöstä ja levittää öljy liukupinnoille akselin pyöriessä. On myös mahdollista, että laakeria lämmitetään koteloinnin alla olevalla putkilämmönvaihtimella. (11, 443.)



Kuva 20. Potkuriakselin liukulaakerin voitelu (27)

8.2 Painelaakerit

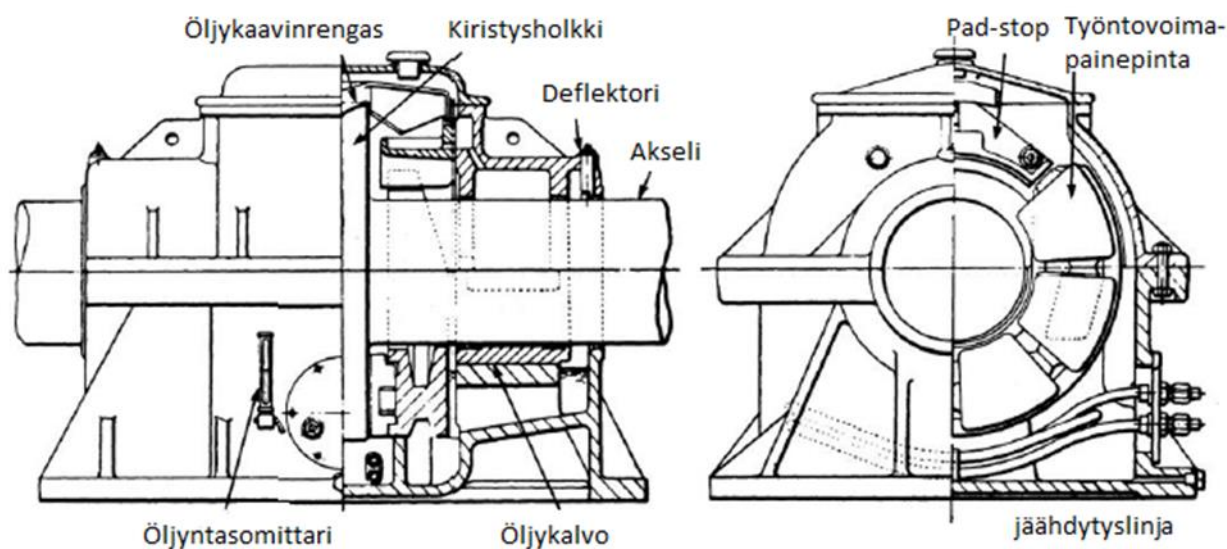
Thrust box (tai thrust block) eli työntövoimalohko siirtää työntövoimaa potkurista aluksen runkoon, siksi se on tukevarakenteinen ja tukevasti kiinnitetty jäykkään istuimeen. Thrust boxia on mahdollista rakentaa siten, että se on integroitu pääkoneeseen, tai se voi olla itsenäinen laite (11, 433). On mahdollista, että thrust-boxin laakereissa käytetään samaa voiteluöljyä jota käytetään pääkoneessa tai alennusvaihteessa, jos se on yhdistetty niiden systeemiöljylinjaan.

Thrust boxin laakeroinnissa voidaan käyttää monta eri konfiguraatiota ja painelaakerityyppejä. Yleensä laakerit ovat työntövoimalaakereita jalkakaari-viistopinnoilla (Eng: tilting pad thrust-bearing) tai liukukengillä (Eng: pivoted

pad thrust bearing). Toisissa menetelmissä käytetään lähinnä yksinkertaisia aksiaalisia pintalaakereita (pad bearing).

Kuvassa 21 oleva itsenäisen thrust boxin kotelointi muodostuu ylä- ja alaosista, jotka ovat pulteilla suureilla momenteilla yhdistetty toisiinsa.

Öljykaavinrenkaan välityksellä voiteluöljyä jota on nostettu pad-stopiin roiskevoitelumenetelmällä pyörivällä akselikiristysholkilla (Eng: thrust collar), roiskuu laakerin viistopinta-urien väliin ja voitelee laakerin. Vastapäässä on deflektori joka toimii samalla periaatteella kuin potkuriakselin liukulaakerinvoitelussa. (11, 440-443.)



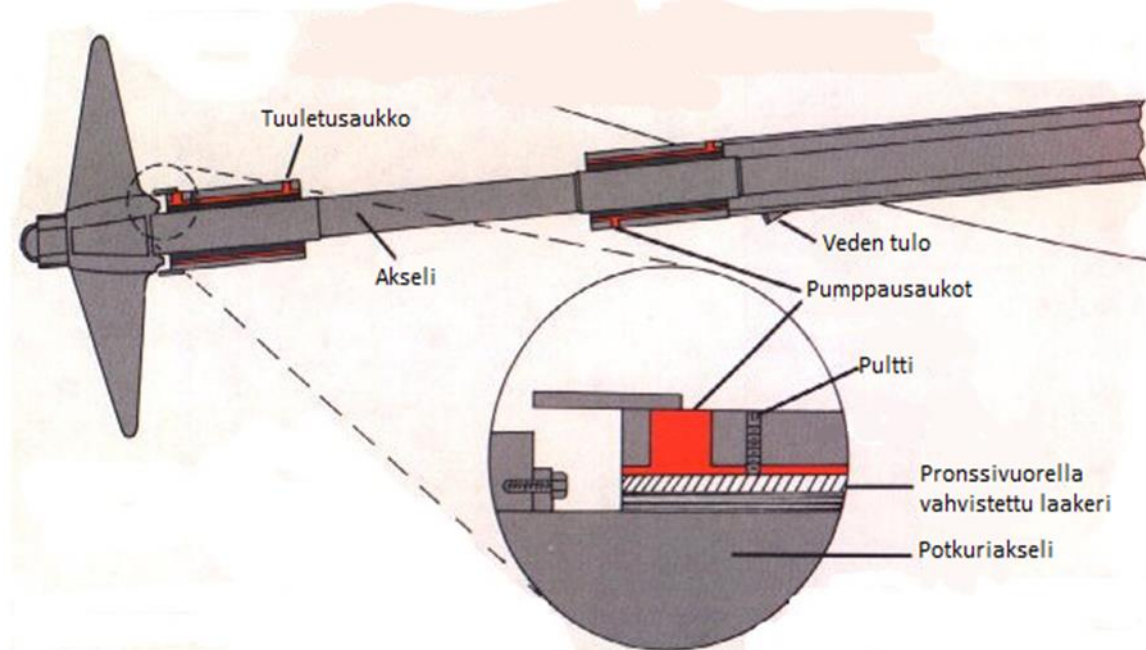
Kuva 21: Thrust Box (11)

9 HYLÄ

Hylsän tehtävä on potkuriakselin peräpäähän laakerointi ja estää meriveden pääsy alukseen ja laakeriin. Hylsälaakerit ovat öljyllä tai vedellä voideltavia ja valittu voitelumenetelmä vaikuttaa hylsän rakenteeseen, tiivistykseen ja voiteluainepaineeseen (.28). Hylsälle on myös keksitty monia erikoisratkaisuja, joiden tavoite on vähentää huoltokustannuksia ja parantaa toimintakykyä, mutta ne ovat kalliita ja monimutkaisia (15, 20-26). Esimerkiksi erässä MAN-Dieselin hylsäpotkurikonfiguraatiossa (VBS-ODG), jossa hylsälaakerilla ja säätölapapotkurinavalla on yhdistetty voitelujärjestelmä (25, 11).

9.1 Vesivoideltu hylsälaakeri

Vesivoideltu hylsä on ollut käytössä yhtä kauan kuin potkuripropulsio on ollut olemassa ja sen laakeri on yleensä valmistettu puusta tai fenolista. Se on rakenteeltaan paljon yksinkertaisempi kuin öljyhylsä (15, 12-2.). Vesihylsä ei ole ulkopuolelta tiivistetty, kun käytetään voiteluaineena pelkkää merivettä. Kuvassa 22 näkyy vesivoideltu hylsälaakeri. Pronssivuoren tehtävä on suojata syöpmistä ja galvaanista korroosiota vastaan (28).

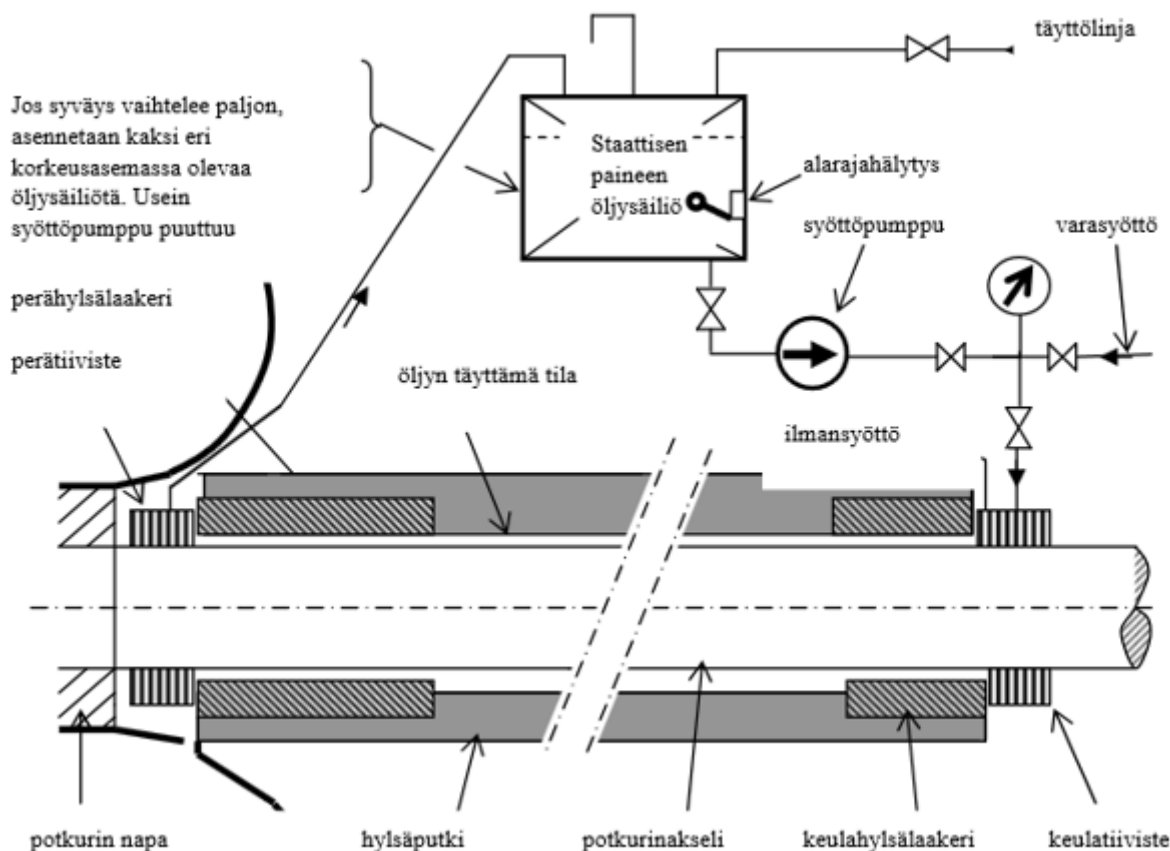


Kuva 22. Vesivoideltu hylsälaakeri (29)

9.2 Öljyllä voideltu hylsälaakeri

Öljyllä voidelluissa hylsälaakereissa on mahdollista käyttää mineraalista tai synteettisestä öljyä. Öljyn toimintatehokkuuden näkökulmasta, tärkein kriteeri öljyn valinnassa on korroosion ehkäisy ja vedenkestävyys (15,12-1.). Tyypillinen hylsä muodostuu kahdesta teräksisestä osasta jota kiinnitetään molemmista päistä hitsaamalla. Sen sisällä on valurautaputki, jonka

sisäpinnalla on valkometallinen liukukerros. Kuvassa 23 on esitetty öljyhylsän virtauskaavio (28)



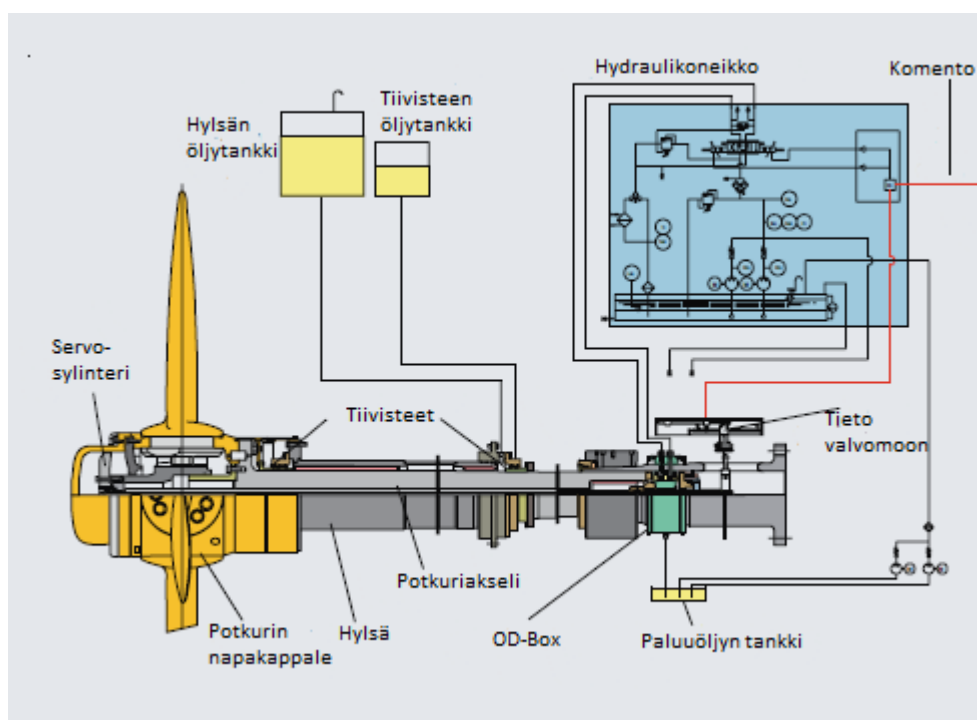
Kuva 23. Öljyvoideltu hylsälaakeri (28)

10 SÄÄTÖLAPAPOTKURI

Potkurin tehtävä on laivan liikuttaminen propulsiokoneen voimalla. Säätolapapotkuri eli CPP (Eng: Controllable pitch propeller) on tyypillisin nykypäivänä ja sen tärkein etu verrattuna vanhaan kiinteäsiipiseen potkuriin on se että aluksen suuntaa on mahdollista vaihtaa peruutustilasta etenemistilaan vaihtamatta potkuriakselin pyörimissuuntaa.

Suunnanvaihtaminen perustuu yksinkertaisesti siihen, että konevalvomon tai komentosillan ohjauspaneelista annetaan komento ahead (eteneminen) tai astern (peruutus) liikuttamalla vipua jompaankumpaan asentoon. Automaatiojärjestelmän välityksellä signaali lähtee hydraulijärjestelmään, minkä lopputulos on potkurilapojen asentojen säätäminen, joka muuttaa aluksen liikkumissuuntaa. (17.)

CPP-potkureiden hydraulijärjestelmän konfiguraatioita on monenlaisia. On mahdollista esimerkiksi että öljynjakolaatikko eli OD-box on integroitu alennusvaihteeseen. Tämän tyyppinen konfiguraatio esiintyy esimerkiksi MAN Diesel AMG alennusvaihteessa. Siinä tapauksessa hydraulioöljy tulee alennusvaihteen sumpputankista eikä hydraulikoneikosta. Toinen vaihtoehto on se että OD-Boxi on kytketty akseliin (.25). On myös mahdollista, että servo-moottori on integroitu potkuriin. Tämän tyyppinen konfiguraatio esiintyy esimerkiksi Schottel CP-potkurin SCP-XG-mallissa (.30).

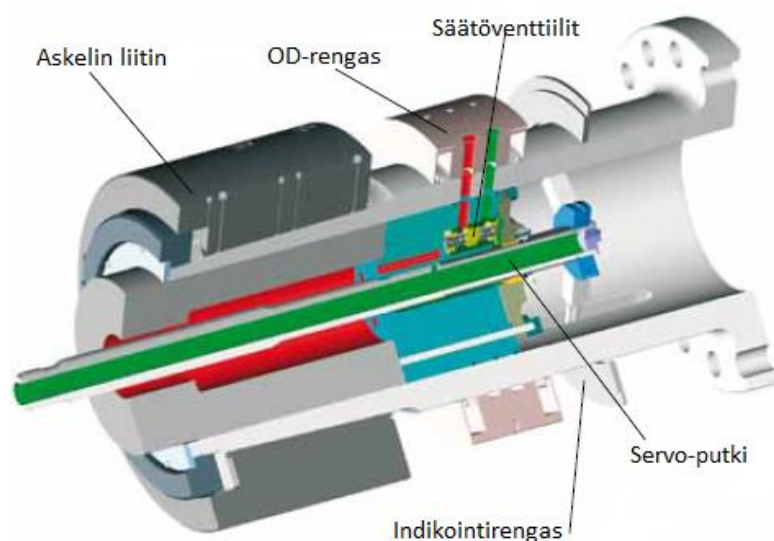


Kuva 24. MAN Alpha säätölapapotkurin hydraulijärjestelmä VBS-ODS (25)

MAN Alpha CP-potkuri on yksi yleisemmistä. Sen VBS-ODS-konfiguraatiossa (kuva 24) hydraulikoneikko koostuu servo-öljytankista, jonka päälle on asennettu pari sähkömoottoria, joista toinen käynninaikana on yleensä standby-tilassa. Järjestelmään aina kuuluu peilaustikku ja paine- ja lämpömittarit ja hydraulikoneikko jossa on öljyimu-suodatin, paine- ja lämpöanturit, putkeen kytketty takaiskuventtiili, varoventtiili ja sähkösignaalilla toimiva säätöventtiili (Eng: propotional valve), jonka tehtävä on syöttää öljyä järjestelmään automaatiojärjestelmästä tulevien komentojen mukaan. Säätöventtiiliä on myös mahdollista ohjata manuaalisesti.

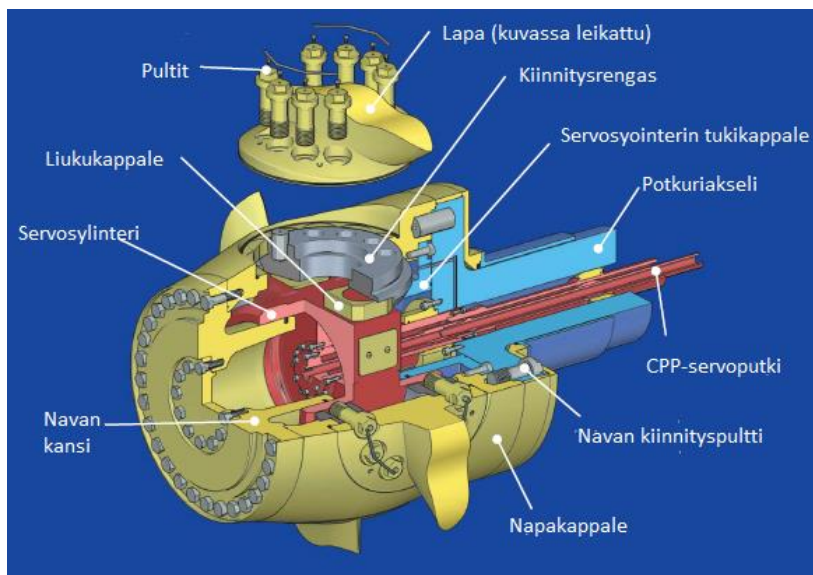
Käynnin aikana öljy kulkee hydraulikoneikon tankin imusuodattimen kautta duplex-suodattimeen ja sieltä säätöventtiilille, josta se sitten kulkee tietyllä paineella OD-renkaaseen jossa öljy jäädyttää ja voitelee sen liukupinnat.

Palatessa öljy kulkee jäähdyttimen ja suodattimen läpi. Jos OD-boxi on asennettu hydraulikoneikon alatasolle, paluu-öljy kulkee ensin paluuöljytankkiin josta kolmas sähkömoottorilla toimiva pumppu pumppaa öljyn ylöspäin takaisin hydraulikoneikkoon. Servo-öljyputkiin OD-renkaan jälkeen on asennettu pari takaiskuventtiilejä, jotka sulkeutuvat automaattisesti ja pitävät servo-öljypaineen vakiona öljysyöttöhäiriötilassa. OD-renkaan taakse on asennettu indikointirengas, joka raportoii lapojen kulmaa ja muita mahdollisia tietoja takaisin ohjauspaneelille. Kuvassa 25 on esitetty CP-potkuriakselin OD-puolen tärkeimmät komponentit. (25.)



Kuva 25. MAN-Alpha CPP:n OD-puoli (25)

Potkuripuolella öljyn säädetty korkea paine servosylinterissä saa potkurilavat kääntymään haluttuun asentoon. Kääntyminen tapahtuu siten, että paine nousee servosylinterin jommassakummassa puolella, mikä saa sylinterin ja siihen kiinnitettyjen lapojen liikkumaan (.11, 445). Öljy samalla voitelee liukupinnat. Kuvassa 26 on esitetty japanilaisvalmistajan Nakashima propeller CPP:n hydraulijärjestelmän potkuripuolen tärkeimmät komponentit (.31).



Kuva 26. Nakashima CPP Model XL potkuripuolen komponentit (31)

11 PERÄSIN JA PERÄSINKONE

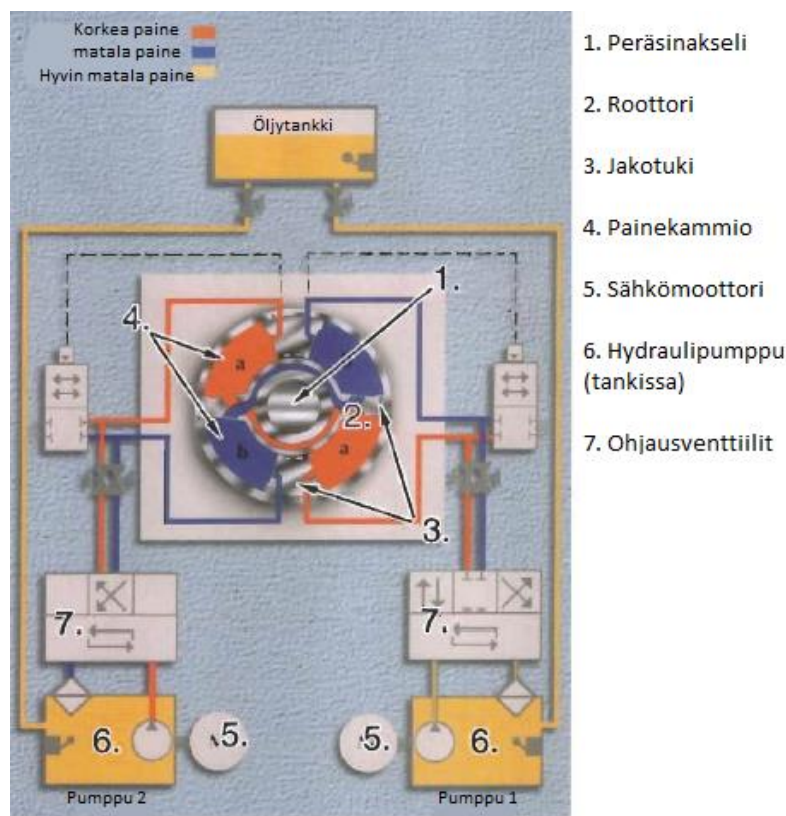
Peräsin on laite, jonka avulla laiva kulkee tietyssä ruorikulmassa. Peräsimen ohjausautomaatiojärjestelmä toimii lähes samalla tavalla kuin säätölapapotkurilla. IMO:n määräyksien mukaan peräsinkonetta on pystyttävä ohjailemaan komentosillalta ja peräsinkonehuoneesta. Periaate perustuu siihen, että peräsinkone kääntää peräsintä liikuttamalla peräsinakselia haluttuun kulmaan. Peräsintyyppejä on monenlaisia, mutta se ei vaikuta paljon laakerointiin ja hydraulikoneikon toimintaan. (17.)

Peräsimen akseli on tukevasti kiinnitetty runkoon painelaakerilla (32). Painelaakerin runko voi olla meehanite-valuraudasta ja kuten vedellä voidelluissa hylsissä (28) peräsimen painelaakerissa käytetään myös arvokkaampaa metallia. Painelaakerin rengas voi olla esimerkiksi messingistä ja voitelua on mahdollista suorittaa joko manuaalisesti vipuvarsipuristimella tai automaattisella rasvaprässillä (.32). Rasvaa käytetään, koska peräsinvarren liikkumisnopeus ja lämpötila ovat riittävän matalia mikä ei aiheuta viskositeetti- tai laajenemisongelmia (17). On mahdollista, että kiertömäntätyyppiseen peräsinkoneeseen on integroitu painelaakeri, jonka koneen hydraulioöljy voitelee. Painelaakerin alapuolella on liukulaakeriholkki, joka on vedellä voideltu. Laakeri on valmistettava korroosionkestävästä materiaalista (32).

Peräsinkoneita on kahta eri perustyyppiä, lineaarisylinteri (Eng: Ram steering gear) ja kiertosylinteri (Eng: Rotary vane steering engine) (33).

11.1 Kiertosylinteri

Peräsinakseliin on kiinnitetty roottori, joka pyörii peräsinkoneeseen kiinnitetyssä staattorissa, joka on tukevasti kiinnitetty aluksen runkoon. Roottori ja staattori ovat tiivisteellä erotettu, jotta öljy ei pääse vuotamaan (.32). Järjestelmän hydraulikka toimii yksinkertaisesti siten, että peräsin kääntyy ohjaamalla hydraulikkaöljyä painekammioihin, joista toiselle puolelle tulee olemaan korkeampi öljypaine kuin toisella. Kääntymisen jälkeen korkeapaineinen osa muuttuu matalapaineiseksi ja päinvastoin (33, 265). Kuvassa 27 on esitetty järjestelmän tärkeimmät komponentit.

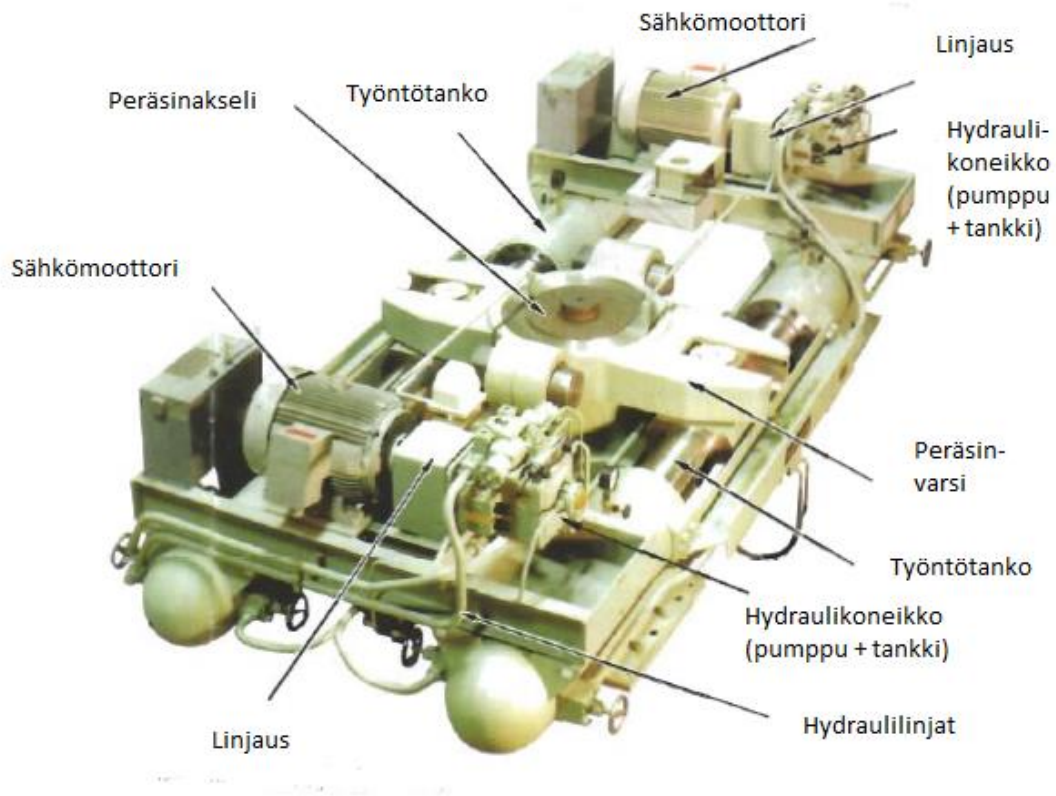


Kuva 27. Kiertosylinteriperäsinkone (33)

11.2 Lineaarisylinteri

Lineaarisylinterin hydraulikkajärjestelmässä peräsinvarsi (Eng: tiller) on kiinnitetty peräsinakseliin. Peräsinvarsia liikutetaan työntötangoilla joita

ohjataan korkeapaineisella hydrauliöljyllä. Nämä koostuvat hydraulisylinteristä ja –männästä, joiden liukupinnat hydrauliöljy voitelee. Järjestelmä voi olla joko 2- tai 4-sylinterin. (33, 264.)



Kuva 28. Linearisylinterimallinen peräsinkone (33)

12 KOMPRESSORIT

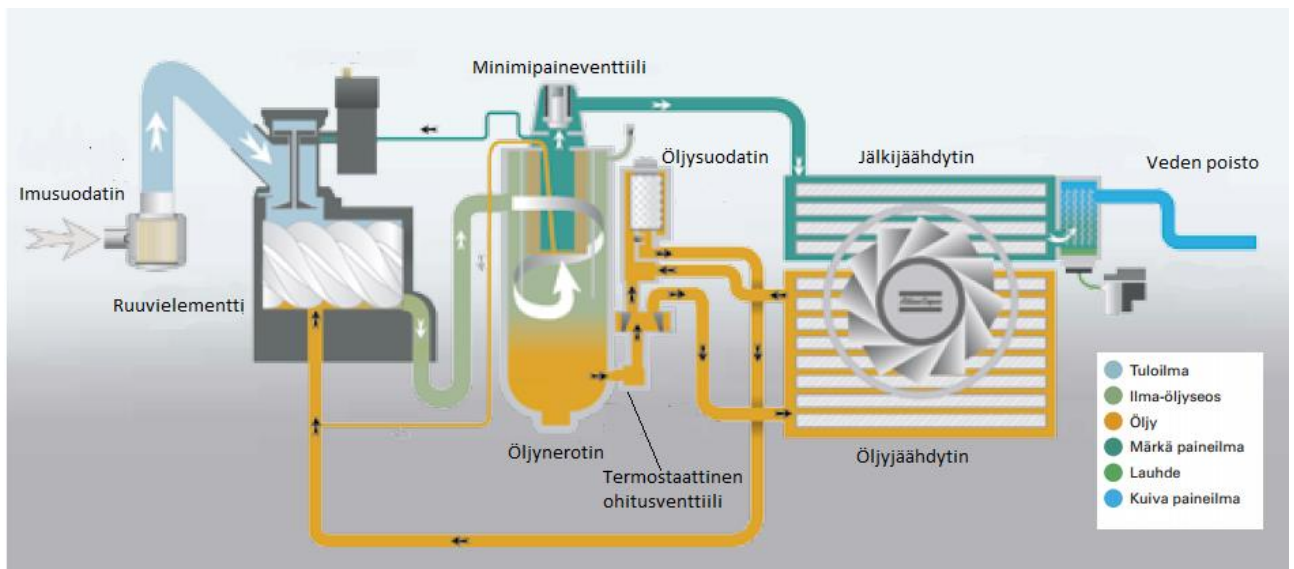
Kompressoreita tarvitaan painostetun ilman tuottamiseen. Paineilman käyttökohteet ovat mm. dieselmoottorin käynnistys, ilmastointi, taloustilojen jäähdytys, työilman ja tyfooni-ilman tuotto (17).

Puhutaan kompressorista kun nostetaan ilman painetta vähintään kaksinkertaiseksi verrattuna imupaineeseen. Jos painesuhde on pienempi, on kysymys puhaltimesta tai ahtimesta (.34, 12).

Tyypillisimmät laivakäyttöiset kompressorit ovat joko ruuvi- tai mäntätyyppisiä. Lamelli- ja kierukkakompressoreita ovat harvinaisia (.35).

12.1 Ruuvikompressori

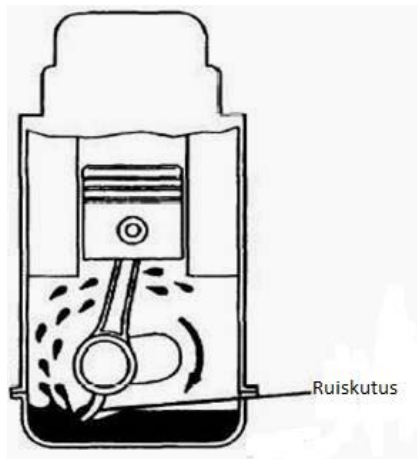
Ruuvikompressori on yleensä kaksiruuvinen. Yksiruuvinen on jo historiaa ja kolmeruuvinen on harvinainen. Ilman puristus tapahtuu ruuvi- ja luistiroottorin väliin jäävissä urissa. Niiden ulko- ja päätypinnat tiivistää roottoreiden ympärillä oleva valuraudasta valmistettu pesä (.35,13). Voiteluöljyn tehtävä on tiivistää ruuvit, estää metalli-metalli-kosketusta voideltavien pintojen välillä ja samalla jäähdyttää. Kuten kuvassa 29 on esitetty, järjestelmään tavallisesti kuuluu öljysuodatin, joka erottaa öljystä ilmasta tulleet mahdolliset liat, öljynerotin, joka erottaa paineilmaasta öljyn ja öljyjäähdytin, joka jäähdyttää öljynerottimen ja suodattimen kautta tulevan öljyn ennen kun sitä ohjataan takaisin ruuvielementtiin (.36, 37)



Kuva 29. Atlas Copcon ruuvikompressorin virtauskaavio (36)

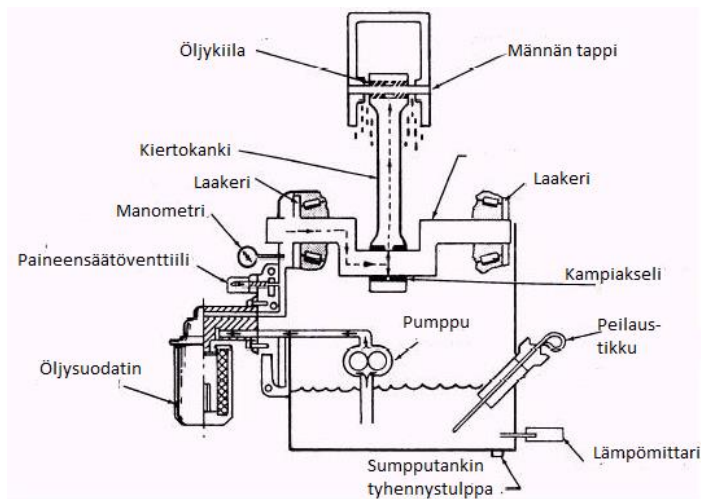
12.2 Mäntäkompressori

Mäntätyyppisiä kompressoreita on monenlaisia. Ne voivat olla joko yksi- tai kaksivaiheisia tai joko L-V tai W konfiguraatiossa, mutta voiteluperiaate on niissä kuitenkin sama (36). Kuten kuvassa 30 on esitetty, pienemmät kompressorit ovat uppomäntäisiä eli niissä käytetään roiskevoitelumenetelmää. Voitelu tapahtuu roiskimalla kiertokankia pohjassa olevaan voiteluöljyyn, mikä aiheuttaa öljysumun. Öljysumu kosteuttaa voideltavat pinnat ja leviää männän liikkuessa. Tämä menetelmä ei välttämättä ole laivakäyttöinen (.17).



Kuva 30. Uppomäntäkompressorin roiskevoitelun periaate (37)

Suuremmissa kompressoreissa käytetään painevoitelumenetelmää. Pumppu ylläpitää öljynpainetta ja systeemissä kiertävä paineilma liikuttaa mäntää. Kuten kuvassa 31 näkyy, paineistettu öljy virtaa sumpputankista suodattimen kautta kampaikselin laakereihin. Kiertokangen voitelulinjan kautta öljy virtaa männän tapille josta se sitten valuu männän urille ja muodostaa öljykiilan. Sieltä öljy vuotaa alaspäin takaisin sumpputankkiin ja voitelee samalla sylinterin. (38.)



Kuva 31. Painevoitelu mäntäkompressorissa (38)

12.3 Kylmäkompressoreiden voitelu

Kylmäkompressoreita käytetään muiden piirissä olevien kylmäkoneistojen kanssa alhaisten lämpötilojen tuottamiseen. Kylmäkompressorit voivat myös olla joko ruuvi-, mäntä tai kierukkatyyppisiä. Kylmäkompressorit jaetaan hermeettisiin, puolihhermeettisiin ja avokompressoreihin. Hermeettisiä kompressoreita käytetään esimerkiksi pakastekaapissa. Ne yleensä vaihdetaan uusiksi eikä haalata, koska sähkömoottori ja kompressorielementti sijaitsevat yhdessä hitsatussa kuoressa joka pystytään avaamaan vain rikkomalla. Puolihhermeettisiä kompressoreita käytetään esimerkiksi kylmätiloissa ja avokompressoreita ilmastoinnissa. Niitä on mahdollista huoltaa.

Kylmäkompressoreiden voiteluprosessin periaate on samanlainen kuin tavallisilla kompressoreilla mutta öljyn valinta on vaativampaa koska se sekaantuu kylmäaineen kanssa jota vaikuttaa sen voitelukykyyn ja termodynaamisiin ominaisuuksiin. Kylmäaineen ja öljyn sekaantuminen antaa kuitenkin mahdollisuuden huomata kylmäainevuotoja. Perinteistä mineraaliöljyä jonka voitelukyky on rajoitettu, on käytetty vanhojen CFC ja HCFC kylmäaineiden kanssa. Kylmäkompressoreiden synteettiset öljyt ovat valmistettu maakaasusta ja ne toimivat paremmin ääriämpötiloissa ja kestävät paremmin kosteutta. Ammoniakin kanssa yleensä käytetään mineraaliöljyä.

Kylmäkonepiirissä käytetään öljynerotinta, jonka tehtävä on vähentää öljyn sekaantumista kylmäaineen kanssa. Laite toimii siten, että kuumaa höyryä johdetaan sisälle erottimeen, jossa keskipakovoima aiheuttaa lauhtuneen öljyn roiskimisen erottimen seinämiin ja valumisen erottimen seinimistä erottimen pohjaan. Kiertyneen öljyn pinnalla on uimuri, joka avaa purkuventtiilin silloin kun öljyn pinta saavuttaa tiedetyn rajan. Erottimesta öljy purkaantuu takaisin kompressoriin tai öljysäiliöön. (21, 44 – 60.)

JOHTOPÄÄTÖKSET

Koneistojen voiteluprosessissa esiintyy eri voitelumekanismeja ja joissakin ääriolosuhteita, jotka molemmat vaikuttavat voiteluöljyn valintaan, joka määrää sen käyttöolosuhteet, kunnosta huolehtimisen prosessit ja kulutuksen. Eri laitteiden voiteluprosessien periaatteet ovat helposti yleisselitetävissä, mutta yksityiskohdat kuten konfiguroinnit, öljykiertopiirin elementit ja materiaalit vaihtelevat.

On mahdollista, että voiteluöljyn valinta myös vaihtelee käyttökohdista riippuen, vaikka voiteluprosessin peruseriaate olisi sama. Ero esiintyy vahvasti esimerkiksi ilma- ja kylmäkompressoreilla.

Myös ulkopuoliset tekijät kuten kansaväliset määräykset, paikalliset lainsäädännöt, laitevalmistajien ja öljytuottajien ohjeet vaikuttavat myös öljyn valintaan, laitteiden ja öljyn käyttötoimenpiteisiin, varastointitoimenpiteisiin ja käyttöprosessien ekologisiin vaikutuksiin. Konemestarin on tiedettävä laitteiden toimintaprosesseista, perehdyttävä laitteiden huoltotarpeisiin ja noudatettava laitevalmistajan ja ainetuottajan ohjeita ottaen huomioon samalla mahdolliset määräykset ja lainsäädännöt, jotta hän pystyisi asianmukaisesti tulkitsemaan konevikoja ja niitä korjaamaan.

LÄHTEET

1. Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2008. Hydrauliteknikka. SanomaPro
2. Homer, R & Ramsey, G. 2008. Fundamentals of Tribology. Imperial College Press
3. Rämä, T. 2012. Rasvauskierroksen optimointi ja rasvaohje kahteen erityyppiseen voimalaitokseen. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40494/Rama_Tomi.pdf?sequence=1
[viitattu 8.8.2016]
4. Hynönen, P. 2005. Vierintälaakerien rasvakeskusvoitelu. Diplomityö. Tampereen Teknillinen yliopisto. Saatavissa:
http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/dityo_paula_hynonen_tty.pdf
[viitattu 8.8.2016]
5. Rosas, D. 2010. Moottori- vaihteisto- ja vetopyörästä-öljyn tutkiminen. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16446/Rosas_Denise.pdf
[viitattu 8.8.2016]
6. Kunnossapito. Menestystekijä. Opetushallitus. Saatavissa:
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e01_voiteluaineet_perusteet.html
[viitattu 6.4.2016]
7. US Synthetic Bearings verkkosivut. Saatavissa:
http://ussbearings.com/bearings_site/research_article/948/
[viitattu 4.4.2016]
8. ISEL.Inc verkkosivut. Saatavissa:
<https://iselinc.com/questions-answers/q-lubricant-reduce-friction-wear-moving-solid-surfaces/>
[viitattu 4.4.2016]
9. Bright hub engineering -verkkosivut. Hydrodynamic lubrication Saatavissa:
http://www.brighthubengineering.com/manufacturing-technology/73568-hydrostatic-lubrication/#imgn_0
[viitattu 6.4.2016]
10. Bright hub engineering -verkkosivut. Hydrostatic lubrication. Saatavissa:
http://www.brighthubengineering.com/manufacturing-technology/73568-hydrostatic-lubrication/#imgn_3
[viitattu 6.4.2016]

11. Molland, A. 2008. The Maritime Engineering Reference Book. Printed and bound in Hungary. Butterworth-Heinemann & Elsevier.
12. Woodyard, D. 2009 Powder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines. 9th Edition. Burlington. Butterworth-Heinemann & Elsevier.
13. Kuiken, K. 2008 DIESEL ENGINES I for ship propulsion and power plants. The Netherlands. Target Global Energy Training
14. Lehtonen, J. 2014 Öljyanalyysien hyödyttäminen laivakäytössä. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/83973/Lehtonen_Joni.pdf.pdf?sequence=1
[viitattu 8.8.2016]
15. Sherman, J. V. 2015. Environmentally Acceptable Lubricants For Stern Tube Applications. American Chemical Technologies, Inc. Saatavissa: <http://www.sname.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=c017689c-6ca9-e69c-ae88-9c46887cc9e1>
[viitattu 8.8.2016]
16. Lubrita Lubricats –verkkosivu. Saatavissa: <http://www.lubrita.com/news/78/671/How-The-Lubrication-System-Works-In-An-Engine/>
[viitattu 5.6.2016]
17. Tämän opinnäytetyön kirjoittaja
18. MARPOL Annex I- Regulations for the Prevention of Pollution by Oil Chapter 3 - Requirements for machinery spaces of all ships Part C - Control of operational discharge of oil
19. ExxonMobilin verkkosivut. Lubricants & Services guide ExxonMobil Marine Lubricants. Saatavissa: <http://www.portsandservices.exxonmobil.com/>
[viitattu 5.6.2016]
20. Rask, J. 2016. Perehdytysmanuaali M/S Pasila Koneosasto. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108406/Rask_Jouni.pdf?sequence=1
[viitattu 13.7.2016]
21. Kaappola, E. Hirvelä A. Jokela M & Kianta J. 2012. Kylmätekniiikan perusteet. 4. painos. Suomi. Opetushallitus.
22. Esko, H. 2013. Vahtikonemestarin perehdytys M/S Kristina Katarina laivaan. Oppinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

23. Wärtsilän verkkosivu. Wärtsilä 50DF Engine Technology Brief guide. Saatavissa:

<http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/df-engine/wartsila-o-e-w-50df-tr.pdf?sfvrsn=6>

[viitattu 7.10.2016]

24. Wärtsilä Vasa 6L32 huoltomanuaali. Wärtsilä Vasa 6L32 Engine Manual. Wärtsilä Finland Oy

25. MAN Alpha CP-Propeller Product information. Saatavissa:

http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/technical-papers/5510-0101-01ppr_lowb71535f0bf5969569b45ff0400499204.pdf?sfvrsn=16

[viitattu 6.6.2016]

26. Kuiken, K. 2008 DIESEL ENGINES II for ship propulsion and power plants. The Netherlands. Target Global Energy Training

27. Kuzirian, R. 1994. Gas Turbine Systems Supervisor. Naval education and training program. United States. Government printing office Washington D.C. Saatavissa:

http://webapp1.dlib.indiana.edu/virtual_disk_library/index.cgi/3677392/FID1817/traman/GS_SUPV.PDF

[viitattu 13.8.2015]

28. Aaltoyliopiston noppapohja. Aaltoyliopisto. Saatavissa:

<https://idp.aalto.fi/idp/profile/SAML2>

[viitattu 13.8.2015]

29. micltd.eu verkkosivu. Saatavissa:

http://www.micltd.eu/chockfast/632a_p1.htm

[viitattu 13.8.2015]

30. Schottel.de verkkosivut. Schottel CP Propeller product information.. Saatavissa:

<https://www.schottel.de/marine-propulsion/scp-cp-propeller/>

[viitattu 18.7.2016]

31. Nakashima propeller co.Ltd:n verkkosivut. Controllable pitch propeller

<http://www.nakashima.co.jp/eng/product/index.html>

[viitattu 18.7.2016]

32. Hietaharju, T. 2015. Laivojen peräsinrakenteet ja –koneet. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Saatavissa:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95268/Hietaharju_Teemu.pdf?sequence=1

[viitattu 18.7.2016]

33. Van Dokkum, K. 2003 Ship Knowledge: A modern Encyclopedia. Meppel, The Netherlands. Dokmar.
34. Kunttonen, J. 2009. Öljynerotussäiliön suunnittelu. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8672/Kunttonen.Jarno.pdf?sequence=2>
[viitattu 10.6.2016]
35. Lahden ammattikorkeakoulun verkkosivut. Pneumatiikkaluennot. Saatavissa:
http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Pneumatiikka.pdf
[viitattu 4.9.2016]
36. Atlas Copco compressed Air Manual. 2015. 8th edition. Wilrijk, Belgium. Atlas Copco Airpower NV.
37. Aircompressor works, Inc. -verkkosivu. Saatavissa:
<http://www.aircompressorworks.com/blog/index.php?mode=post&id=19>
[viitattu 4.9.2016]
38. tpub.com -verkkosivu. Saatavissa:
<http://www.tpub.com/engine3/en33-62.htm>
[viitattu 4.9.2016]