

Joni Pekkala

YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISET VOITELUAINEET MERENKULKU

Opinnäytetyö

Merenkulun koulutusohjelma / merenkulkualan insinööri

Huhtikuu 2016



KYAMK
University of Applied Sciences

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Joni Pekkala	Merenkulkualan Insinööri	Huhtikuu 2016
Opinnäytetyön nimi		42 sivua
Ympäristöystävälliset voiteluaineet, merenkulku		
Toimeksiantaja		
Kyamk T&K		
Ohjaaja		
Lehtori Ari Helle		
Tiivistelmä		
<p>Alusten öljypäästöjä koskevia säädöksiä ja asetuksia on viimevuosina tiukennettu. Tästä johtuen voiteluaineiden toimittajat ovat kehittäneet uusia, säädösten vaatimukset täyttäviä, ympäristöystävällisempiä tuotteita. Tässä työssä käsitellään uusia säädöksiä ja säädöksen myötä kehitettyjä tuotteita. Lisäksi työssä käsitellään ympäristöystävällisten voiteluaineiden ominaisuuksia ja vertaillaan niitä perinteisiin voiteluaineisiin, tuoden esille niiden ominaisuuksien erot. Ympäristöystävällisistä voiteluaineista koskevaa suomenkielistä materiaalia on saatavilla vähän, joten tarkoituksena on esittää aiheen kokonaiskuva suomeksi.</p> <p>Tämän opinnäytetyön lähdeaineisto muodostuu pääasiassa internet-lähteistä. Kirjallisuuskartoituksessa ilmeni runsaasti lähteitä ympäristöystävällisten öljyjen ominaisuuksista ja perinteisistä käyttökohteista maataloudessa. Mutta laivoihin suuntautuvia lähteitä on vähän ja lähteet sisälsivät niukasti tietoa.</p> <p>Tutkimustyön keskeinen johtopäätös on, että nykyiset ympäristöystävälliset voiteluaineet täyttävät uusien säädösten vaatimukset ja suoriutuvat hyvin merenkulun tarpeissa.</p>		
Asiasanat		
Ympäristöystävällinen, voiteluaine, biohajoava, öljy		

Author (authors) Joni Pekkala	Degree Degree Programme in Marine Technology	Time April 2016
Thesis Title Environmentally acceptable lubricants for marine machinery		42 pages
Commissioned by Kyamk T&K		
Supervisor Ari Helle, Senior Lecturer		
<p data-bbox="165 743 1407 1115">Abstract</p> <p data-bbox="165 815 1407 1115">Regulations and decrees concerning the oil discharges of vessels have been tightened in recent years. Due to this, the suppliers of lubricants have developed more environmentally acceptable products which meet the demands of regulations. In this thesis, new regulations and products are studied. Furthermore, the properties of the environmentally acceptable lubricants are compared with traditional lubricants, showing the differences between their properties. There is small amount of material available in Finnish concerning environmentally acceptable lubricants, so the purpose is to present a general view on the subject in Finnish.</p> <p data-bbox="165 1155 1407 1303">The source material of this thesis consists mainly of Internet sources. In literature, plenty of sources were shown in the properties of environmentally acceptable lubricants in the traditional applications in agriculture. However, there is a limited number of sources which are directed to ships and these sources contained limited information.</p> <p data-bbox="165 1344 1407 1460">The most significant conclusion of the study is that the present environmentally acceptable lubricants meet the demands of new regulations and perform well in the needs for the seafaring.</p>		
<p data-bbox="165 2020 322 2051">Keywords</p> <p data-bbox="165 2087 782 2119">environmental, lubricant, biodegradable, oil</p>		

SISÄLLYS

KÄYTETYT LYHENTEET

1	JOHDANTO.....	7
2	VOITELUAINE.....	8
2.1.1	Kulumismekanismit.....	8
2.1.2	Voitelumekanismit.....	9
2.2	Ympäristöystävällinen voiteluaine	10
2.3	Voiteluaineiden ominaisuuksia	11
2.3.1	Viskositeetti.....	11
2.3.2	Viskositeetti-indeksi ja jähmepiste	12
2.3.3	Syttymispiste ja leimahduspiste	12
2.4	Lisäaineet.....	13
2.4.1	Kulumisenestolisäaineet ja korkeapainelisäaineet	13
2.4.2	Viskositeetti-indeksin parantajat ja jähmepisteenalentajat	14
2.4.3	Dispersantit ja detergentit	14
2.4.4	Hapettumisenestolisäaineet ja korroosionestolisäaineet	14
2.4.5	Vaahoamisenestolisäaineet ja kasvustojen torjunta-aineet	15
2.5	Valmistus ja testit	15
2.5.1	Myrkyllisyyden ja biohajoavuuden testaaminen.....	16
2.5.2	Tan-arvo.....	17
2.5.3	HETG	17
2.5.4	HEPG.....	18
2.5.5	HEES	19
2.5.6	HEPR.....	20
2.6	Perinteiset käyttökohteet ja historia	21
2.7	Meriympäristö.....	21
2.7.1	Vaatimukset ja valintakriteerit	22
2.7.2	Riskit ja vaikutukset	23
2.7.3	Öljyjen vertailu	26

3	MAHDOLLISET KÄYTTÖKOHTEET LAIVALLA.....	29
3.1	Hydrauliikka.....	30
3.2	Kansilaitteet.....	32
3.2.1	Keskusvoitelu.....	34
3.3	Kompressorit.....	35
3.4	Hylsä.....	35
3.5	Vaihteistot.....	38
3.6	Perinteisen öljyn vaihtaminen ympäristöystävälliseen.....	39
4	YHTEENVETO.....	40
	LÄHTEET.....	42

KÄYTETYT LYHENTEET

HETG	Hydraulic Environmental Triglyceride
HEPG	Hydraulic Environmental Polyalkylene Glycol
HEES	Hydraulic Environmental Synthetic Ester
HEPR	Hydraulic Environmental PAO and others
PAO	Polyalfaolefines
EAL	Environmentally Acceptable Lubricants
TAN	Total Acid Number
PPM	Parts Per Million
ISO	International Organization for Standardization
ASTM	American Society for Testing and Materials
EPA	US Environmental Protection Agency
VGP	Vessel General Permit
IMO	International Maritime Organization
FPP	Fixed Pitch Propeller
OECD	Organization for Economic Co-operation and economic
NLGI	National Lubricating Grease Institute
DNV	Det Norske Veritas

1 JOHDANTO

Alusten voiteluöljypäästöihin on viime aikoina kiinnitetty entistä enemmän huomiota. Aluksilla on alustyyppistä riippuen mittava määrä erilaisia laitteistoja, jotka tarvitsevat voitelua ja myös voimansiirtoa nesteiden välityksellä. Siksi voiteluaineiden määrä ja laatu voi olla aluksilla hyvinkin vaihteleva. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus selvittää ympäristöystävällisten öljyjen ominaisuuksia ja niiden soveltuvuutta merenkulun tarpeisiin. Työssä on tavoitteena saada havainnollistettua se, missä aluksen järjestelmissä niitä voidaan käyttää ja missä niitä vaaditaan käytettäväksi.

Tutkimuksessa ei tehdä näytteisiin perustuvaa vertailua perinteisten voiteluaineiden ja ympäristöystävällisten voiteluaineiden välillä, vaan tutkitaan ja vertaillaan alan julkaisuissa esiintyviä tutkimuksia ja artikkeleita. Lähteitä on tarkasteltu lähdekritiikki huomioiden, sillä voiteluainevalmistajien tuotetiedot ja markkinointimateriaali eivät aina ole teknisiltä tiedoiltaan riittävän kattavia. Kattavan teknisen tiedon ja vertailupohjan tarjoamiseksi työssä on myös käsitelty voiteluaineiden testaamista, ominaisuuksia ja perusteita. Tässä opinnäytetyössä ei keskitytä laitteisiin, jotka tarvitsevat voitelua, vaan itse voiteluaineeseen, mutta joidenkin laitteistojen komponentit ja tiivistemateriaalit reagoivat eri öljylaatuihin eri tavoin, joten niiden yhteensopivuutta vertaillaan. Työssä käytettiin lähdeaineistona niin voiteluainevalmistajien kustantamia julkaisuja kuin myös muuta tekniikan alan kirjallisuutta.

Kirjallisuuskartoituksen perusteella voidaan todeta, että ympäristöystävällisistä voiteluaineista löytyy vähän suomenkielistä aineistoa. Siksi opinnäytetyöllä on yksi selkeä päätavoite: tarkoituksena on koota tietopaketti, jossa käsitellään ympäristöystävällisien voiteluaineiden mahdollisia käyttökohteita laivoilla ja niiden soveltuvuutta käyttöön. Opinnäytetyön tekijä kiinnostui tästä aiheesta, koska oikein valitulla voiteluaineella ja sen käytöllä voidaan saavuttaa huomattavasti pienemmät päästöt ympäristöön, pidentää laitteiston käyttöikää ja saada aikaan kustannussäästöjä. Toisaalta ympäristöystävällisten voiteluaineiden käyttöönotto saattaa myös aiheuttaa huomattavia kustannuksia ja käyttökatkoja ylimääräisien telakointien takia.

2 VOITELUAINE

Voiteluaineen perimmäisenä tarkoituksena on erottaa kaksi kappaletta toisistaan sekä vastata ominaisuuksiltaan vallitsevien olosuhteiden vaatimuksia. Metallisten kosketuspintojen kitkaa ja kulumista voidaan tehokkaasti vähentää erottamalla ne voiteluainekalvolla.

Hydrodynaamisessa voitelussa pintojen liike imee voiteluaineen pintojen väliin ja pienentää kappaleiden välistä suoraa kosketusta. Oikeanlainen voitelu on konejärjestelmien käyttövarmuuden edellytys. (Torvinen 2003, 12.)

Voiteluaineen tehtävät:

- Suojata kosketuskohtia korroosiolta
- Pintojen erottaminen toisistaan
- Värähtelyn vaimennus
- Kitkan pienentäminen
- Kulumispartikkelien kuljettaminen pois voitelukohteesta
- Kulumisen vähentäminen
- Epäpuhtauksien kohteeseen pääsyn estäminen
- Kosketuspinnan jäähdytys

2.1.1 Kulumismekanismit

Kulumismekanismit jaotellaan abrasiiviseen, adhesiiviseen, tribokemialliseen, ja väsymiskulumiseen. Abrasiivisessä kulumisessa kovan kosketuspinnan huiput kuluttavat pehmeämpää pintaa. Tämä tapahtuu joko suoraan tai epäpuhtaus- tai kulumishiukkasten avustuksella. (Torvinen 2003, 17.)

Adhesiivisessä kulumisessa pintojen huiput hitsaantuvat kitkavoimien johdosta ja irtoavat. Tribokemiallinen kulumisen aiheutuu metallipintojen oksidikerroksien ja kemiallisien seoksien johdosta. Väsymiskulumisen saa alkunsa pitkäaikaisesta kuormituksesta ja alkusäröstä. (Torvinen 2003, 17.)

2.1.2 Voitelumekanismit

Voitelumekanismit jaetaan kolmeen ryhmään:

- Rajavoitelu
- Sekavoitelu
- Nestevoitelu

Rajavoitelussa ei tapahdu vielä varsinaista voitelua, koska pinnanhuiput koskettavat toisiaan. Voiteluaineen lisäaineiden vaikutuksena muodostuu kuitenkin pintoja suojaava ja liukastava kalvo. Sekavoitelu on raja- ja nestevoitelun yhdistelmä, jossa osan kuormituksesta kantaa pienikitkainen voiteluainekalvo, ja osa välittyy pinnankarheushuippujen kautta.

Nestevoitelussa erottuvat voiteluainekalvolla. Nestevoitelussa kitka on alhainen ja ennenaikaista väsymistä ja materiaalin kulumista ei juuri esiinny. (Torvinen 2003, 20.)

Kaavassa 1 esitellään h , joka on voitelukalvon minimipaksuus. Kaavan σ_1 ja σ_2 ovat pinnankarheuksien rms- arvot, joilla tarkoitetaan neliöllistä pinnanprofiilin keskipoikkeamaa. Tyypillisesti pinnoista on saatavilla profiilin keskipoikkeama R_a , mistä johtuen $\sigma \approx 1,3 \cdot R_a$. Ominaiskalvon paksuudella ryhmitellään voiteluaineet luokkiinsa:

- $\lambda > 4$, on kyseessä nestevoitelu
- $1 < \lambda < 4$, on kyseessä sekavoitelu
- $\lambda < 1$, on kyseessä rajavoitelu

(Antila & Kajander 2006.)

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \quad (1)$$

2.2 Ympäristöystävällinen voiteluaine

Ympäristöystävällinen voiteluöljy (Environmentally Acceptable Lubricant) tarkoittaa tuotteita, jotka ovat biohajoavia, minimaalisen myrkyllisiä, eivätkä kasaannu. Huoli uusiutumattomien tuotteiden saatavuudesta tulevaisuudessa on saanut valmistajat kehittämään uusia tuotteita. Perinteisillä voiteluaineilla saavutetaan laitteille vaadittavat käyttöominaisuudet, mutta samalla ne ovat uhka ympäristölle.

Ympäristöystävällisten voiteluaineiden valmistusteknologia, siementen murskaamisesta aina jalostukseen, on valmiina. Tutkimusten pääpaino on ollut saada ympäristöystävällisille voiteluaineille sopiva viskositeetti ja käyttölämpötila-alue. Nämä voiteluaineet eivät myöskään saa aiheuttaa korroosiota niissä koneistoissa, joissa niitä käytetään.

Öljyjen ympäristöystävällisyyttä ei ole tarkoin rajattu, ja valmistajat hyödyntävät sitä monissa eri tuotteissa. Sen takia tuotteista täytyy aina löytyä kattavat dokumentit. Monet raakaöljypohjaiset voiteluaineet voidaan luokitella ympäristöystävällisiksi monilla eri keinoilla. Esimerkiksi Long-Life synteettiset öljyt voidaan luokitella ympäristöystävällisiksi, koska niistä koitua jätemäärä on pienempi johtuen pidemmästä käyttöiästään. (Pirro & Daschner 2001, 106.)

Vihreä on myös todennäköisesti yksi houkuttelevimmista termeistä voiteluaineteollisuudessa mutta se voi myös usein olla harhaanjohtava. Jotkut tuotteet, jotka eivät perustu kasviöljylle, voidaan vielä markkinoida ympäristöystävällisenä voiteluaineena. Vaikka tämän tyyppiset voiteluaineet saattavat olla vapaita raskasmetalleista ja muista potentiaalisista myrkyllisistä ainesosista, ne eivät ole biohajoavia. (Machinery Lybrication 2012.)

Voiteluaineet koostuvat yhdestä tai useammasta perusöljystä ja useista lisäaineista. Mineraaliöljyt ovat raakaöljyistä valmistettuja vedyn ja hiilen yhdisteitä. Nykyään mineraaliöljyjä ei luokitella biohajoaviksi. Synteettiset öljyt valmistetaan vetyä ja hiiltä sisältävistä aineista kemiallisten reaktioiden avulla. Osa synteettisistä öljyistä luokitellaan biohajoaviksi ja ne ovat kemialliselta rakenteeltaan ja biologisilta ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia. Kasviöljyt valmistetaan kasveista ja luokitellaan biohajoaviksi. (Rajamäki, Kariniemi & Oijala 1997.)

Biohajoavien voiteluaineiden ympäristövaikutuksia arvioidessa tulisikin kiinnittää huomiota biohajoavuuteen, myrkyllisyyteen, kulkeutuvuuteen ja kertyvyyteen. Biohajoavuudella tarkoitetaan aineen hajoamista, joka aiheutuu mikrobien käyttäessä sitä ravinnoksi. Kertyvyys tarkoittaa kertyneiden aineiden määrää eliöstössä. Kulkeutuvuus tarkoittaa maaperään ja veteen kulkeutuneen aineen määrää. Myrkyllisyydellä kuvataan eliön toimintaan vaikuttavia vaikutuksia. (Metsätehon raportti 1997, 13.)

2.3 Voiteluaineiden ominaisuuksia

Tribologisessa systeemissä sekä voitelu että ympäröivä tila (ilma, vesi, kaasu ja pöly) on yhtä tärkeä kuin laakeri- ja akselimateriaali. Ympäröivää tilaa ei pystytä aina hallitsemaan, mutta voitelun järjestämiseen ja voiteluaineen ominaisuuksiin voidaan oleellisesti vaikuttaa. Väärin valitulla voiteluaineella saattaa olla negatiivinen vaikutus laakerointiin.

2.3.1 Viskositeetti.

Voiteluaineelle sen viskositeetti on tärkein ominaisuus, koska se vaikuttaa suoraan kalvon muodostumiseen, joka suojaa metallipintoja kulumiselta. Nesteen viskositeetti on sen ominaisuus vastustaa virtausta. (Mobil 2016.)

International Organization of Standardization (ISO) on kehittänyt standardin, jossa voiteluöljyt jaetaan 18 VG (Viscosity Grade) -luokkaan, joiden jakoperusteena on viskositeetti. Taulukossa 1 on esimerkki ISO VG luokituksista.

Taulukko 1. Esimerkki ISO 3448 viskositeettiluokituksista.

ISO VG- luokka	Keskiviskositeetti mm^2/s 40°C:ssa, vaihtelurajat +/-10%
ISO VG 2	2,2
ISO VG 10	10
ISO VG 46	46
ISO VG 220	220

ISO VG- voiteluaineluokitus perustuu kinemaattiseen viskositeettiin, joka määritellään kaavan 2 mukaisesti. Kaavassa dynaaminen viskositeetti jaetaan öljyn tiheydellä. Tiheydellä tarkoitetaan aineen tilavuuspainoa. Voiteluöljyjen tiheydet ovat 700– 950 kg/m³ väliltä, riippuen perusöljyn laadusta, jäykkyydestä ja lisäaineistuksesta. (Neste oil, voiteluopas). Senttistoke (cSt) on SI-järjestelmässä mm²/s. Kinemaattista viskositeettiä mitataan kapillaariviskosimetrillä.

$$\text{Kinemaattinen viskositeetti} = \frac{\eta}{\rho_{\text{ö}}}$$

(2)

2.3.2 Viskositeetti-indeksi ja jähmepiste

Viskositeetti-indeksi kuvaa öljyn lämpötilan vaikutusta öljyn viskositeettiin. Suuri viskositeetti-indeksi tarkoittaa vähäistä viskositeetin muutosta lämpötilan muuttuessa. (Mobil 2016.)

Voiteluaine jäykistyy lämpötilan laskiessa, ja tietyssä lämpötilassa se ei enää virtaa omalla painollaan. Jähmepiste riippuu muun muassa öljyn viskositeetista ja rakenteesta. Mitä matalampi jähmepiste, sitä parempi perusöljy on. (Mobil 2016.)

2.3.3 Syttymispiste ja leimahduspiste

Leimahduspisteellä kuvataan nesteen tulenarkuutta. Leimahduspiste on se lämpötila, jossa nesteestä höyrystyy niin paljon syttyviä kaasuja, että ne leimahtavat avoliekillä sytyttäessä, mutta neste ei jää kuitenkaan palamaan. (Neste oil 2016.)

Syttymispiste on lämpötila, jossa nesteestä höyrystyneet kaasut palavat ainakin viiden sekunnin ajan avoliekillä. Syttymispiste on yleensä 10–50°C leimahduspistettä korkeampi.

2.4 Lisäaineet

Perusöljyistä ja lisäaineista valmistetun kokonaisuuden ominaisuuksien täytyy olla keskenään tasapainossa ja täyttää voiteluaineen toimivuudelle asetettuja vaatimuksia. Tämän kokonaisuuden kannalta on lisäaineiden toimittava keskenään sekä varsinaisen perusöljyn kanssa. Tärkeimmät lisäaineet ovat jaoteltu niiden päätehtävän mukaan. (Opetushallitus, kunnossapito, voiteluaineet.)

Nykyaikaisiin voiteluaineisiin lisätään erilaisia perusvoiteluaineen toimintaa parantavia kemiallisia aineita. Osa-alueet joilla lisäaineistusta käytetään ovat:

- voiteluaineen oman eliniän pidentäminen
- epäpuhtauksien jakauttaminen
- voideltavien pintojen suojeleminen ympäristöltä
- voiteluaineen suorituskyvyn parantaminen

Lisäaineet voivat vaikuttaa kemiallisessa reaktiossa muodostamalla pintojen kanssa uuden yhdisteen, tai fysikaalisesti tarttumalla voideltaviin pintoihin. (Opetushallitus, kunnossapito, voiteluaineet.)

2.4.1 Kulumisenestolisäaineet ja korkeapainelisäaineet

Kulumisenestolisäaineiden päätehtävä on vähentää niiden liikkuvien pintojen kulumista, jotka ovat keskenään kosketuksissa. Lisäaine muodostaa pinnoille kemiallisia kerroksia, jotka leikkautuvat helpommin kuin metalli jota ne suojelevat. Kulumisenestolisäaineiden häviäminen on siksi yksi voiteluaineen vanhenemisen syy. Kulumisenestoisainetta lisätään lähes kaikkiin voiteluaineisiin, joita ei käytetä hydrodynaamisen voitelun järjestelmässä. (Opetushallitus, kunnossapito, voiteluaineet.)

Korkeapainelisäaineet reagoivat niiden metallipintojen kanssa, jotka ovat suuren paikallisen pintapaineen aiheuttamassa korkeassa lämpötilassa. Lisäaineet muodostavat metallipinnoille kerroksen, joka vähentää metallipintojen kulumista ja pienentää kitkaa. Korkeapainelisäaineita tarvitaan nesteisiin, joita käytetään korkeasti kuormitetuissa kohteissa. (Opetushallitus, kunnossapito, voiteluaineet.)

2.4.2 Viskositeetti-indeksin parantajat ja jähmepisteenalentajat

Viskositeetti-indeksin parantajat vähentävät voiteluaineen viskositeetin riippuvuutta lämpötilasta. Lisäämällä näitä lisäaineita, saadaan voiteluaineita, joilla on hyvä kalvonmuodostuskyky korkeissa lämpötiloissa, ja hyvät käynnistys- ja kitkaominaisuudet kylmissä lämpötiloissa. Viskositeetti-indeksin parantajat ovat koostumukseltaan liukenevia polymeereja. Esimerkiksi polyolefiineja ja metakrylaatteja. (Opetushallitus, kunnossapito, voiteluaineet.)

Voiteluaineen parafiiniset hiilivedyt kiteytyvät lämpötilan laskiessa määrätyn rajan alapuolelle. Jähmepisteenalentajat ehkäisevät kiteiden tarttumista ja kasvua, parantaen voiteluöljyn juoksevuuutta kylmissä olosuhteissa. (Opetushallitus, kunnossapito, voiteluaineet.)

2.4.3 Dispersantit ja detergentit

Dispersantit ovat jakautuja-aineita, jotka muodostavat epäpuhtauksien ympärille kerroksen, joka estää hiukkasia tarttumasta toisiinsa. Dispersantteja käytetään erityisesti moottoriöljyissä. Dispersanttien rakenne muodostuu pitkäketjuisista polaarista yhdisteistä. (Opetushallitus, kunnossapito, voiteluaineet.)

Detergenttien tehtävänä on pitää koneen osien pinnat puhtaina. Detergenttejä käytetään yleisesti hydraulikka- ja moottoriöljyjen lisäaineina. Ne ovat yleisesti magnesiumin, kalsiumin ja natriumin yhdisteitä (Opetushallitus, kunnossapito, voiteluaineet.)

2.4.4 Hapettumisenestolisäaineet ja korroosionestolisäaineet

Hapettumisenestolisäaineen tarkoitus on pidentää voiteluaineen käyttöikää hidastamalla kemiallista vanhenemista. Korkeat lämpötilat ovat hapettumisen kannalta kriittisin lämpötila. Hapettumisenestolisäaineiden käyttö on perusteltua kohteissa, joiden voiteluainetilavuudet ovat suuria, sekä laitteissa ja koneissa, jotka ovat korkeasti kuormitettuja. (Opetushallitus, kunnossapito, voiteluaineet.)

Korroosionestolisäaineen tehtävänä on suojata metallipintaa kosteuden ja hapen aiheuttamalta korroosiolta. Korroosionestolisäaineet muodostavat metallipintaan kalvon, joka ei päästä happea tai kosteutta läpi. (Opetushallitus, kunnossapito, voiteluaineet.)

2.4.5 Vaahtoamisenestolisäaineet ja kasvustojen torjunta-aineet

Vaahtoamisenestolisäaineet pienentävät öljyn pintajännitystä rikkomalla vaahtokuplat, jotka heikentävät voiteluominaisuuksia. Vaahtoamisessa ilmakupla ei rikkoudu pintaan noustessaan, koska ympärillä olevan öljykalvon pintajännitys on liian suuri. (Opetushallitus, kunnossapito, voiteluaineet.)

Bakteeri, home- ja sienikasvustojen syntyminen voi aiheuttaa ongelmia voiteluaineille, jotka sisältävät runsaasti vettä. Organismien syntyminen ja lisääntyminen estetään biosidiyhdisteillä. Torjunta-aineet aiheuttavat myös terveyshaittoja. (Opetushallitus, kunnossapito, voiteluaineet.)

2.5 Valmistus ja testit

Ympäristöystävällisen voiteluaineen valmistus alkaa, kun luonnollisten estereiden triglyceridit otetaan talteen auringonkukan tai rapsin siemenistä joko puristamalla tai uuttamalla. Kerätty öljy kierrätetään monen puhdistusprosessin kautta. Öljyä voidaan käyttää raakamateriaalina HETG voiteluöljyille sekä synteettisille estereille. Synteettiset öljyt valmistetaan hiiltä ja vetyä sisältävistä raaka-aineista kemiallisten reaktioiden avulla. Perusöljynä käytetyt synteettiset esterit jalostetaan haluttuihin ominaisuuksiin, joita ovat kylmäkäyttöominaisuudet, hapettumisen esto ja pidempi käyttöikä.

Kasviöljyillä ja synteettisillä estereillä on hyvät kulumisenesto-ominaisuudet. Yleisimmät lisäaineet sopivat myös kasviöljyille ja synteettisille estereille, mukaan lukien ruosteenestoaineet ja vaahtoutumisenestoaineet. Kulumisenestoaineet voivat aiheuttaa kuohumista ja niitä on syytä välttää.

Kasviöljyillä ja synteettisillä estereillä ei ole taipumusta vaahtoutumiseen mutta niille suositellaan käytettäväksi silikonipohjaisia vaahtoutumisenestoaineita (Rudnick 2013, 575). Kasviöljyillä on korkea viskositeetti-indeksi (200 cSt) ja viskositeetin riippuvuus paineesta ei ole yhtä suuri kuin perinteisillä mineraaliöljyillä. Kasviöljypohjaisten nesteiden huonoihin puoliin lukeutuu myös niistä vapautuvat rasvahapot, jotka voivat lisätä metallien korroosiota.

Taulukko 2. Ympäristöystävällisten hydraulikka öljyjen merkinnät. (ISO 15380)

Merkintä	Luokittelu	Kaupallinen merkintä
HETG	Kasviöljy tyyppiset	Kasviöljy, triglyceridit ja luonnolliset esterit.
HEES	Synteettiset esterit	Polyoli esterit, neopentyyli glykoli, synteettiset adipaatti esterit
HEPG	Polyglykoli tyyppiset	Polyglykoli
HEPR	Polyalfaolefiini tyyppiset	Polyalfaolefiini (PAO) tai synteettiset hiilivedyt

2.5.1 Myrkyllisyyden ja biohajoavuuden testaaminen

Voiteluaineiden vaikutukset merelliseen ympäristöön testataan suorittamalla myrkkypitoisuustutkimuksia sateenkaariraudulla. Rautu on makeanveden kala, joka on herkkä ympäristön muutoksille. Myrkyllisyys ilmaistaan sillä, että kuinka monta PPM (Parts Per Million) tarvitaan tappamaan 50 prosenttia merenelävistä 96 tunnin aikana testiputkessa. Arvoksi ilmoitetaan silloin (LC50). (Pirro & Daschner 2001, 107.)

Hyväksytyjä testejä:

- OECD Test 301 A-F, 306, 310
- International Organization for standardization 14593:1999

Biohajoavuuden testaaminen suoritetaan ravistustestinä astiassa. Astia asetetaan ravistimeen ja ravistetaan aika-ajoin voimakkaasti 25 Celsiusasteessa 28 päivän ajan. Astiat poistetaan ja titrataan, jotta saadaan määritettyä happipitoisuus. Ainakin 60 prosenttia voiteluaineen rakenteesta täytyy hajota tuona aikana. (Pirro & Daschner 2001, 107.)

Hyväksytyt testejä:

- OECD 201, 202, 203, 210, 211

2.5.2 Tan-arvo

TAN-arvo ilmaisee sitä, että kuinka monta milligrammaa kaliumhydroksidia (KOH) on mitattavassa näytteessä. TAN indikoi mahdollisia korroosio-ongelmia (ASTM). Standardimittausmenetelmät ovat:

- ISO 6618
- ASTM D664
- ASTM D974

2.5.3 HETG

Luonnolliset esterit, joita käytetään HETG ryhmän voiteluaineisiin, ovat triglyseridejä, joista tärkeimmät ovat rapsiöljy ja auringonkukkaöljy. Näiden öljyjen fysikaaliset ja kemikaaliset ominaisuudet johtuvat niiden rasvahappojen distribuutiosta. Pääsääntöisesti käytetään öljyjä, joiden rasvahapot ovat tyydyttyneitä, mutta myös tyydyttymättömiä voidaan käyttää.

Taulukko 3. HETG ominaisuuksia. (ISO 15380)

Tiheys 15 °C	Viskositeetti-indeksi
0.90–0.93 Kg/dm ³	Yli 200

Tyydyttymättömillä rasvahapoilla valmistetut voiteluaineet tuottavat matalan jäähmepisteen omaavia voiteluöljyjä. Suuri määrä tyydyttymättömiä rasvahappoja lisää voiteluaineen herkkyyttä hapelle ja lämpötilalle. (Mang & Dresel 2007, 298.)

Ilman lisäaineita kasviöljyt ovat rajoitettuja kapealle viskositeettialueelle (ISO 32- ISO 46). Ne myös muuttuvat geeliksi matalilla lämpötiloilla ja hapettuvat korkeilla lämpötiloilla. Käyttölämpötilat HETG öljyille on -31°C ja 74°C välillä. (Totten 2012, 309.)

HETG-luokan öljyt soveltuvat parhaiten matalan lämpötilan ja paineen järjestelmiin. Väärässä järjestelmässä käytettynä nämä öljyt voivat aiheuttaa komponenttien lakkautumista ja ne muuttuvat epästabiileiksi veteen sekoituessaan. (IMCA 2014, 2.)

2.5.4 HEPG

Polyglykoli pohjaisilla aineilla on paremmat matalan lämpötilan ominaisuudet kuin kasviöljyillä:

- Hyvä hapettumisen sietokyky
- Hyvät virtausominaisuudet matalassa lämpötilassa
- Hyvä biohajoavuus (n. 90% 28 päivän aikana)

Huonoina puolina ovat hyvä veden liukeneminen, sekoittumattomuus mineraaliöljyn kanssa ja aggressiivisuus elastomeerisiä tiivistemateriaaleja kohtaan. (Totten 2012, 310.)

Taulukko 4. HEPG ominaisuuksia. (ISO 15380)

Tiheys 15 °C	Viskositeetti-indeksi
Yli 0.97kg/dm ³	Yli 170

2.5.5 HEES

Täyssynteettiset, saturoidut esterit, jotka pohjautuvat saturoituun TMP- (trimetyylipropane), polyoli- ja kompleksiestereihin, antavat parhaan teknisen suorituskyvyn. Etuja ovat erinomainen hapettumisen kesto, materiaalien yhteensopivuus ja tribologinen suorituskyky. Haittapuolena on taas hinta, joka on mineraaliöljyjä kalliimpi.

Esterit ovat valmistettu kemiallisesti muuntelemalla alkoholia ja happoja. Alkoholeja ja happoja voidaan yhdistellä monella tavalla, monesta eri raaka-aineesta, jotta saavutetaan halutut ominaisuudet kuten matalan lämpötilan ominaisuudet ja sopivuus käytettäville tiivistemateriaaleille. (Mang & Dresel 2007, 298). Bosch Rexroth suosittelee, että HEES:n kanssa käytetään fluorikumi- eli FKM-tiivisteitä.

HEES:n käyttökohteita:

- Korkeapainejärjestelmät
- Korkeat lämpötilat
- Suurikuormitteiset hydraulikkajärjestelmät

Taulukko 5. HEES ominaisuuksia. (ISO 15380)

Tiheys 15 °C	Viskositeetti-indeksi
0.90–0.93 Kg/dm ³	Yli 160

2.5.6 HEPR

Polyalfaolefiinilla on hyvä hapettumisenestokyky sekä hyvä viskositeettiominaisuus sekä kuumassa että kylmässä. Hyvä hapettumisenestokyky johtaa siihen, että verrattuna saman viskositeetin omaaviin mineraaliöljyihin samoissa olosuhteissa, saavutetaan moninkertainen toiminta-aika. HEPR-öljyt ovat nopeammin biohajoavia kuin mineraaliöljyt, mutta huomattavasti vähemmän biohajoavia kuin esterit ja kasviöljypohjaiset öljyt. (IMCA 2014, 2.)

Polyalfaolefiiniperustaiset öljyt soveltuvat hyvin lähes kaikkien voiteluaineiden valmistukseen:

- Kiertovoiteluöljyihin
- Rasvojen perusöljyihin
- Hydraulikkaöljyihin
- Kompessorioöljyihin
- Vaihteistoöljyihin
- Moottorioöljyihin

Taulukko 6. HEPR ominaisuuksia. (ISO 15380)

Tiheys 15 °C	Viskositeetti-indeksi
0.87 Kg/dm ³	140–160

2.6 Perinteiset käyttökohteet ja historia

Euroopassa biohajoavien öljyjen käyttö hydraulikkalaitteissa yleistyi 80-luvun lopulla. Alkusysäyksen antoi hiilivetylöydökset Bodenseen (Lake Constance) maaperässä. Tämän seurauksena tuli määräys käyttää kaksitahtisissa venemoottoreissa ja moottorisahoissa biohajoavaa öljyä. Ensimmäisien kasviöljyjen perustana oli rapsinsiemen. Myös metsäkoneiden ja maanrakennuskoneiden tuli käyttää biohajoavaa öljyä hydraulikkalaitteistoissa, koska ne aiheuttivat vikaannuttuaan suurimman uhkan ympäristölle. (Mang & Dresel 2007, 34.)

Monet valmistajat alkoivat tarjota tuotteita, joita voitaisiin käyttää hydraulikkalaitteistoissa. Ensimmäisenä markkinoille tuli kasviöljy (HETG), koska se oli halpaa ja hyvin saatavilla, mutta kuitenkin kolme kertaa kalliimpaa kuin mineraaliöljy. Pian käyttöönoton jälkeen kävi selväksi, että näillä öljyillä oli hyvin kapea käyttölämpötila-alue. Öljy muuttui kiinteäksi Pohjois-Euroopan kylmillä alueilla ja hapettui nopeasti korkeammilla käyttölämpötiloilla. (Mang & Dresel 2007, 34.)

Koneiden omistajat alkoivat käyttää synteettisiä estereitä (HEES), jotka tarjosivat laajemman käyttölämpötila-alueen, mutta sen huonona puolena oli korkeampi hinta. Käyttäjäkokemuksien perusteella todettiin, että jotkut HEES-öljyt kestivät korkeampia käyttölämpötiloja mutta vain lyhyen ajan. Kylläiset synteettiset esterit kestivät korkeamman lämpötilan ja toimivat tyydyttävästi pidemmän aikaa. (Mang & Dresel 2007, 34.)

Polyglykoli (HEPG) öljyjä käytettiin niiden kasviöljyjä paremman matalamman viskositeettiominaisuuksien vuoksi, mutta ne hapettuivat kuin kasviöljyt. Myös neljäs bioöljyluokka (HEPR) lisättiin valikoimiin. (Erhan & Perez 2002, 121.)

2.7 Meriympäristö

On ainakin kaksi kohdetta, joissa tulisi käyttää ympäristöystävällisiä öljyjä: laitteet, jotka hukkaavat öljyä ja laitteet, jotka ovat läheisessä kontaktissa luonnon kanssa. Meriympäristössä nämä molemmat tulee ottaa huomioon. Kasvanut kansainvälinen huoli ympäristöstä ja uudet määräykset vaikuttavat varustamoiden investointeihin ja uuden tekniikan kehittämistyöhön.

Monet tekijät vaikuttavat päätökseen, joilla valitaan voiteluöljyjä merelliseen ympäristöön. Alukset tarvitsevat eri öljyalaatuja eri käyttötarkoituksiin, joten varastotilaa on rajallinen määrä. Näin ollen suositeltavaa on, että sama öljy suoriutuisi hyvin monessa eri laitteessa. Merivesi ja korkea kosteuspitoisuus voivat aiheuttaa ongelmia suljetuissa prosesseissa kuten hydraulikkalaitteistoissa.

2.7.1 Vaatimukset ja valintakriteerit

Tehokas voiteluohjelma on tärkeä tekijä, kun pyritään optimoimaan toiminnan tehokkuus ja varmistamaan, että kaikki, aina päämoottorista apulaitteistoon, toimii kaikenlaisissa meriympäristöissä. Käyttöolosuhteet vaikuttavat eniten voiteluohjelman laatimiseen. Voiteluohjelmassa otetaan huomioon koneen käyttöolosuhteiden lämpötila, kosteus, pölyn ja lian määrä ilmassa.

Koneiden kriittisyydellä tarkoitetaan koneen tärkeyttä tuotantoprosessin kannalta. Merenkulussa sitä voisi käyttää myös turvallisuuden näkökulmasta. Käyttöolosuhteiden ja koneen kriittisyyden yhteisvaikutus tulee ottaa huomioon ja yhteisvaikutuksen pohjalta valita sopivia voiteluaineita voitelukohteisiin.

2.7.1.1 Environmental Protection Agency (EPA)

Yhdysvaltain ympäristösuojeluvirasto EPA:n määräyksien mukaan Yhdysvaltain aluevesillä liikkuvien alusten tulee käyttää EAL-nesteitä (Environmental Acceptable lubricants) liitoskohdissa, joista voi vuotaa nestettä meriveteen. EAL tarkoittaa biohajoavaa, mahdollisimman vähän myrkyllistä ja ympäristöön keräytyvää ainetta. Määräys astui voimaan 19.12.2013 ja koskee kaikki aluksia, jotka ovat yli 24.1 metriä pitkiä. EPA:n mukaan määräys koskee noin 70,000 nykyistä VGP (Vessel General Permit) alusta. Öljyillä täytyy olla jonkun seuraavista antama ympäristömerkki:

- Blue Angel
- European Ecolabel
- Nordic Swan
- Swedish standards
- Ospar
- EPA Dfe

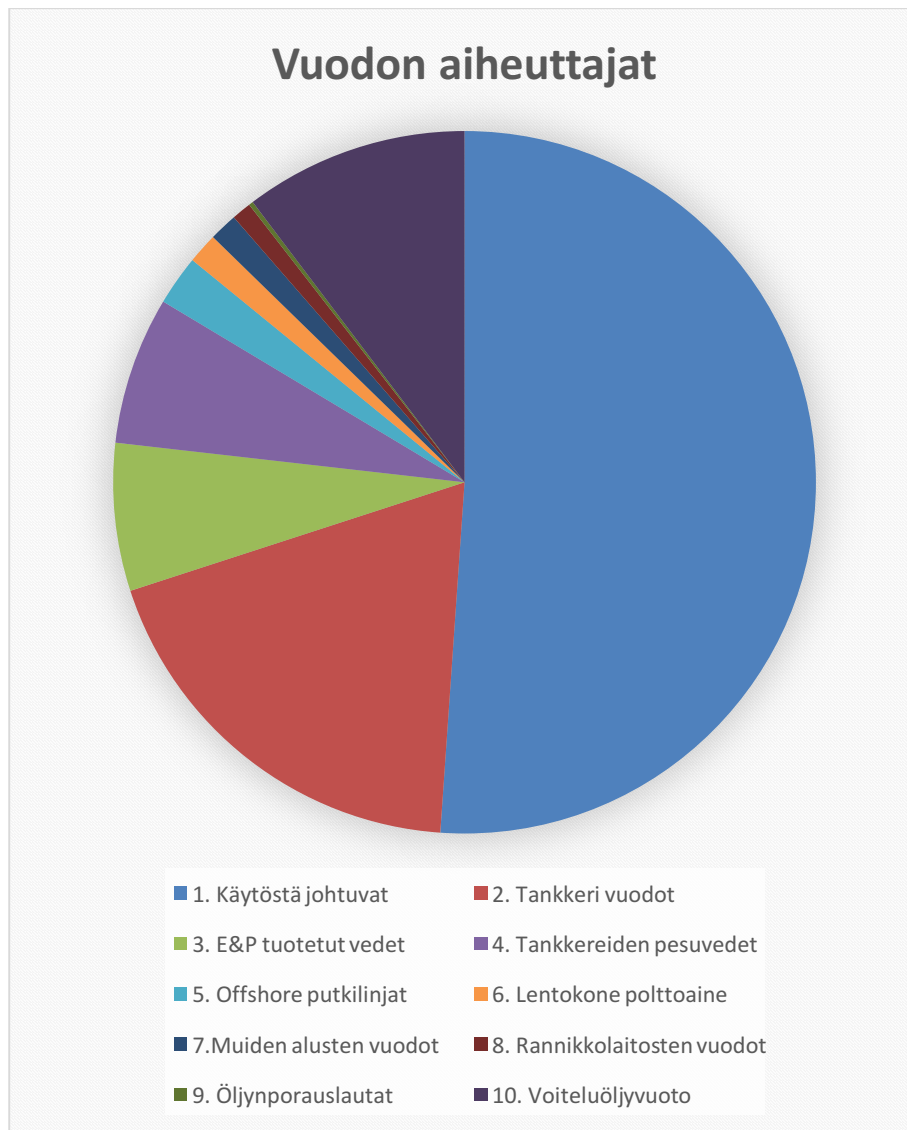
EPA:n mukaan EAL-voiteluaineita tulisi käyttää hylsälakereissa, säätösiipipotkureissa, evävakaimissa, ohjauspotkureissa, azipodeissa, kapseleissa ja nostureissa. VGP ilmaisee, että määrättyjen aluksien tulisi käyttää EAL tuotteita, jollei se ole teknisesti mahdotonta. Tämä tarkoittaa sitä, että EAL tuotetta ei ole saatavilla kyseisiin laitteisiin. Lisäksi mineraaliöljyn käyttö on sallittua, jollei sitä voida vaihtaa ilman kuivatelakointia. Öljynvaihto on kuitenkin suoritettava seuraavassa kuivatelakoinnissa. (EPA 2011.)

2.7.2 Riskit ja vaikutukset

Öljy on yksi suurimmista veden saastuttajista, koska sitä käytetään suurella volyymillä päivittäin. Vahingot, vuodot ja huono jätteenkäsittely johtavat vuosittain laajamittaisiin päästöihin. Yksi litra öljyä saastuttaa miljoona litraa puhdasta juomavettä. Joka vuosi myydään noin 9,5 miljoonaa litraa mineraali-öljyä. Tästä määrästä noin 3,8 miljoonaa litraa kuluu käytössä, tarkoittaen vahinkojen, vuotojen, palamisen vuoksi kulumalla, tai muulla tavalla koneiden voitelusta muodostuneina päästöinä. Monet ympäristölle ja taloudelle haitallisista päästöistä voitaisiin estää käyttämällä biohajoavia synteettisiä öljyjä, jotka valmistetaan uusiutuvista raaka-aineista kuten kasviöljyistä. Tästä huolimatta lähes kaikki kaupalliset moottoriöljyt ovat jalostettu raakaöljystä. (Biosynthetic Technologies.)

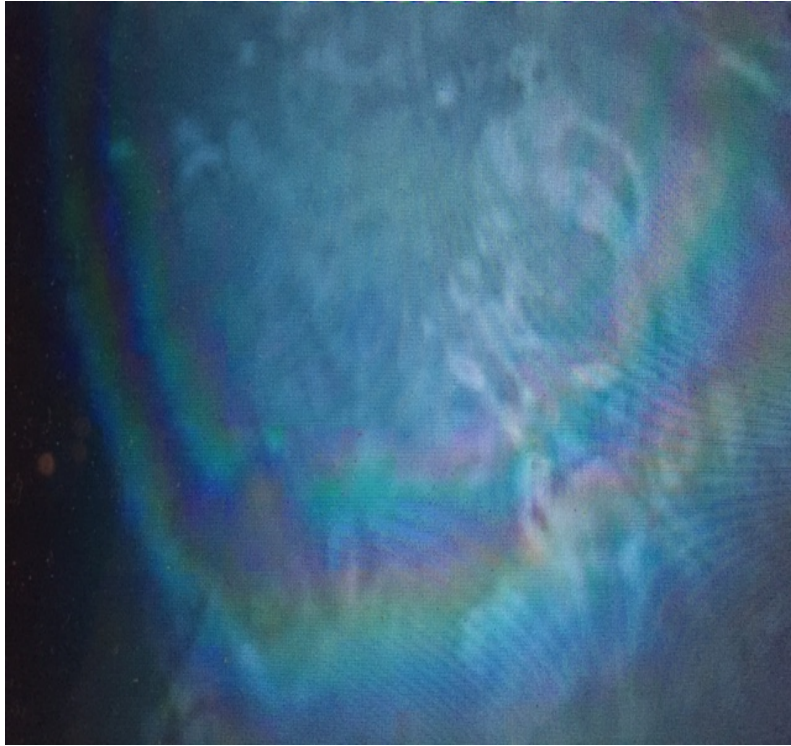
Etkinin vuonna 2010 tehdyn tutkimuksen (Etkin 2010). mukaan arvioitiin, että hylsälakereista vuotavan öljyn määrä on 4,6–28,6 miljoonaa litraa. Ja näiden lisäksi ympäristöön pääsee 32,3 miljoonaa litraa muita öljypäästöjä. Kaupallisista aluksista 90 prosenttia käyttää öljyvoideltuja hylsälakereita, jotka kaikki vuotavat jonkin verran. Vuodetun öljyn määrä voi olla jopa 80 miljoonaa litraa vuodessa, vertailukohtana Exxon Valdes öljytankkerin onnettomuus, jossa pääsi 41,6 miljoonaa litraa öljyä mereen. (IMO 2008).

Nykypäivänä esterit muodostavat vain 0,8 prosentin osuuden maailman voiteluöljymarkkinoista. Huolimatta maailman kokonaisöljynkulutuksen säilymisestä ennallaan, on synteettisten voiteluaineiden osuus noussut noin 10 prosenttia vuodessa. Esteripohjaisten aineiden käyttö on lisääntynyt sen hyvän suorituskyvyn ja ympäristölakien tiukentumisen vuoksi. (Silva 2011, 192.)



Kaavio 1. Mereen vuodetut öljyt vuositasolla (Etkin 2010)

Etkinin tutkimuksen mukaan 10 prosenttia päästöistä johtuu voiteluöljyvuodoista. Mineraaliöljyille on ominaista, että ne muodostavat veden pintaan kalvon, jota kutsutaan ilmiönä sateenkaariefektiksi. Jotkut biohajoavat öljyt poikkeavat tästä: saturoidut esteripohjaiset öljyt eivät muodosta näkyvää jälkeä ja öljyn muodostava kalvo häviää nopeasti. (IMCA 2014, 3.)



Kuva 1. Mineraaliöljyn aiheuttama kalvo. (IMCA 2014, 3)



Kuva 2. Saturoidun esterin aiheuttama kalvo. (IMCA 2014, 3)

2.7.3 Öljyjen vertailu

2.7.3.1 Liukenevuus

On tiedostettava, että on melkein mahdotonta estää kosteuden kulkeutuminen voitelujärjestelmiin, ja että vesi voi vaikuttaa voiteluaineen suorituskykyyn mitä tahansa perusöljyä käytettäessä. Kasviöljyillä, kuten luonnollisilla ja synteettisillä estereillä, on huonommat liukenevuus ominaisuudet, jos verrataan perinteiseen mineraaliöljyyn. Yli 0.1 prosenttia vettä liuenneena järjestelmän öljyyn, vaikuttaa öljyn suorituskykyyn kriittisissä komponenteissa. (Pirro & Daschner 2001, 115.)

Taulukosta 7 voidaan huomata, että HEPG-öljyt ovat ainoita, jotka liukenevat veteen. Tämä on etu, kun ajatellaan asiaa biohajoavuuden kannalta vedessä, mutta se voi aiheuttaa myös haittapuolia: on olemassa vaara, että öljynsekainen vesi tunkeutuu syvemmälle maaperään ja saavuttaa pohjaveden. Tästä syystä jotkut maat eivät ole luokitelleet HEPG-öljyjä ympäristöystävällisiksi öljyiksi. Taulukossa 8 on vertailtu eri perusöljyjen myrkyllisyyttä maaperälle. (Totten 2003, 269.)

Taulukko 7. Liukenevuus ja käyttölämpötilat (Mang, Wilfried & Dresel, 2007, 297)

Öljy tyyppi (ISO 15380)	Liukenevuus veteen	Käyttölämpötila/ Varastointilämpötila
HEPG	Liukenee	-30⇔90°C / -20⇔80°C
HETG	Ei liukene	-20⇔70°C / -10⇔70°C
HEES	Ei liukene	-30⇔90°C / -20⇔80°C
HEPR	Ei liukene	-35⇔80°C / -30⇔100°C

Taulukko 8. Perusöljyjen myrkyllisyyden vertailu (Mudge 2010)

Voiteluaineen perusöljy	Perusöljyn raaka-aine	Myrkyllisyys
Mineraaliöljy	Raakaöljy	Korkea
Polyalkaleeni glykoli	Raakaöljy-hiilivety	Matala. Liukoisuus voi lisätä joidenkin PAG laatujen myrkyllisyyttä.
Synteettiset esterit	Synteettiset luonnon-öljyt	Matala
Kasviöljyt	Luonnolliset kasviöljyt	Matala

2.7.3.2 Sähköstaattinen purkaus ja öljyn vanheneminen

Ympäristöystävällisiä hydraulikka- ja voiteluöljyjä käytettäessä voi ilmetä riski, että öljynsuodatuksen yhteydessä muodostuu sähkövaraus ja sähköstaattinen purkaus. Sähköstaattinen purkaus johtaa öljyn nopeampaan vanhenemiseen, sekä vanhenemistuotteiden muodostumiseen, jota kutsutaan öljyn lakkautumiseksi. Sähköstaattinen purkaus voi pahimmillaan vaurioittaa suodatinpatruunoita, venttiileitä ja antureita. Öljyn vanhenemistuotteet aiheuttavat venttiilien luistien takertelua, lyhentää suodatinpatruunoiden vaihtoväliä ja aiheuttaa laakereiden jumiutumista. (Hydac 2012.)



Kuva 3. Lakkautumista suodattimessa. (Promaintlehti.fi)

Sähköstaattisen varauksen kehittymistä voidaan vähentää erikoismateriaaleista valmistetuilla suodatinpatruunoilla. Öljyjen vanheneminen estetään yleensä lisäaineilla, kuten fenoleilla ja amiineilla. Nämä aineet toimivat radikaalien syöjinä ja keskeyttävät kemiallisen reaktion jonka tulos on lakkautuminen. Kun lisäaineet ovat kuluneet loppuun, öljy alkaa vanheta nopeasti. (Hydac 2012.)

Öljyn vanhenemisen vastustuskyky on riippuvainen jodin määrästä. Taulukossa 9 esitellään yleisimpien kasviöljyjen jodimäärät. Korkea jodin määrä kertoo kuinka paljon aineessa on saturoimattomia estereitä, jotka voivat sitoutua hapen kanssa. Saturoiduilla estereillä on huomattavasti vähemmän avoimia sidoksia, joten ne eivät hapetu yhtä nopeasti korkeissa lämpötiloissa.

Taulukko 9. Kasviöljyjen jodimäärät. (Florea & Matei 2009)

Öljytyyppi	Jodimäärä, g/100g testattava aine
Rapsi	94–106
Soija	103–109
Risiini	82–90
Auringonkukka	127–136
Oliivi	80–85

2.7.3.3 Suorituskyky

Machinery Lubrication lehden tutkimuksen mukaan (Lauer 2001). synteettiset voiteluaineet parantavat vaihteistojen suorituskykyä perinteisiin mineraaliöljyihin verrattuna. Polyglykolit paransivat suorituskykyä 18 prosenttia. Verrattuna mineraaliöljyjen molekyyleihin, synteettisillä voiteluaineilla on 30 prosenttia pienempi sisäinen kitka. Tämä johtaa siihen, ettei enää tarvita yhtä paljon voimaa tekemään samaa työtä, esimerkiksi hydraulikkalaitteistoissa. (Machinery Lubrication Magazine 2011.)

Kasviöljyillä on hyvin korkea viskositeetti-indeksi (VI), joka on tavallisesti jopa 223. Yleisimmillä mineraaliöljyillä VI on 90–100. Korkean VI:n kanssa öljy muuttuu vähemmän lämpötilan vaikutuksesta kuin matalan VI:n kanssa. (Machinery Lubrication 2/2012.)

3 MAHDOLLISET KÄYTTÖKOHTEET LAIVALLA

Merenkulun tarpeisiin kehitetyt biohajoavat voiteluaineet sisältävät perusöljyn, sakeutusaineet ja kulumisenestoaineen.

Taulukko 10. Esimerkki merenkulkuun valmistetun biohajoavan voiteluaineen koostumuksesta. (Fink 2016, 88)

Ainesosa	Tehtävä	Määrä %
Kalsium sulfonaatti	Sakeutin	11,15
Alkyylibentseeni sulfonihappo	Sakeutin	0,60
Isopropyylialkoholi	Liuotin	0,55
Etikkahappo	Sakeutin	0,20
Esteri	Biohajoava perusöljy	74,40
Hydroksistearaattihappo	Sakeutin	3,70
Kalsium karbonaatti	Kalvonmuodostaja	2,40
Lesitiini	Kulumisenestoaine	7,00

3.1 Hydrauliiikka

Hydrauliiikkaöljyn tehtävä on voimansiirron ohella voitelu ja korroosion ehkäiseminen. Väärin valittu hydrauliiikkaöljy lyhentää laitteiston käyttöikää ja lisää kunnossapidon kustannuksia. Taulukossa 12 on esitetty suurimpien valmistajien suosittelemia hydrauliiikkaöljyjä. Minimiviskositeettina pidetään yleensä kulumisen kannalta 10 cSt. Tehon säilymisen kannalta noin 14 cSt, toisaalta jotkut hitaasti pyörivät moottorit vaativat vähintään 20 cSt öljyn toimiakseen tehokkaasti. (Neste oil, voiteluopas.)

Suurin sallittu käynnistysviskositeetti on riippuvainen pumpputyypistä.

Valmistajat antavat eri tyypeille seuraavia ohjearvoja (TEBOIL, voiteluaineet):

- Mäntäpumput 200–800 mm^2/s
- Siipipumput 500–1000 mm^2/s
- Hammaspyöräpumput 800–1600 mm^2/s

Veden erkanemiskyvyllä tarkoitetaan hydrauliiikkaöljyn kykyä hylkiä vettä.

Veden pääsy järjestelmään voi johtua vuotavasta lämmönvaihtimesta, tankin kondensaatiosta, huonosta suodatuksesta, tiivisteiden vuodoista ja äärimmäisistä ympäröivistä olosuhteista. Järjestelmään päässyt vesi voi aiheuttaa korroosiota, kavitaatiota pumpuissa, kitkan kasvamista, kulumista ja kiihdyttää elastomeerien ja muovien kulumista. Taulukossa 11 vertaillaan erilaisten öljyjen ominaisuuksia. (Mang & Dresel 2001, 315.)

Kiertävien öljyjen on myös kuljetettava lämpöä pois voideltavasta kohteesta.

Eri öljyalaadut poikkeavat toisistaan tässäkin tapauksessa. Lämpövirta Q voidaan laskea tulolämpötilasta t_1 ja paluulämpötilasta t_2 , öljyn tiheydestä ρ ja ominaislämpömäärästä c , joka on öljytyypistä riippuen 1,7–2,4kJ/ (kg · K). (FAG, vierintälaakereiden voitelu.)

$$Q = \frac{m \cdot \rho \cdot c \cdot (t_1 - t_2)}{60} = W$$

(3)

Taulukko 11. Hydraulikkaöljyjen ominaisuuksia. (Bart, Cavallaro & Gucciardi 2013, 608)

Ominaisuudet	HV	HETG	HEES	HEPG
	Mineraali- öljy	Kasviöljy	Synteettiset esterit	Polyglykolit
Biohajoavuus (%)	10–40	70–100	60–100	10–90
Viskositeetti- indeksi (VI)	90–100	200–220	140–190	180–200
Jähmepiste °C (CEC L-33-T- 82)	-54:stä - 15:sta	-20:stä 10:een	-60:stä - 20:een	-40:stä 20:een
Sekoittuvuus mineraaliöljyn kanssa	Hyvä	Huono/Hyvä	Huono/Hyvä	Ei sekoitettavissa
Hapettumisen kesto	Hyvä	Huono/Hyvä	Huono/Hyvä	Huono
Veden liukoisuus	Ei	Ei	Ei	Kyllä
Hinta	1	2/3	3/20	2/4

Taulukko 12. Eri valmistajien suosittelemia tuotteita hydraulikkalaitteistoihin.

Tuote	Öljyn tyyppi	Suosittelun kohde
Shell Naturelle Fluid HF-E 46, 68	Sekoitus synteettisiä perusöljyjä.	Rolls-Royce (vakaimet) Sperry Marine (vakaimet), Wärtsilä Propulsion (Hylsä).
Neste Biohydrauli SE ISO VG 15,32,46,68	Täyssynteettinen biohajoava.	Teollisuuden hydrauliikka laitteet.
Mobil SHC Aware H	Biohajoava.	CPP, vakaimet, kansilaitteet.
Fuchs Plantoflux AT-S ISO VG 46,68	Hiilihappoesteri.	Vaikeasti syttyvä hydrauliikkaöljy.

3.2 Kansilaitteet

Kansilaitteistoissa voiteluaineelta vaaditaan erinomaista kulumisen ja korroosionkestävyyttä. Kansilaitteistoissa käytetään kohteesta riippuen joko öljy-, tai rasvavoitelua. Seuraavaksi käsitellään rasvavoitelun perusteita.

Rasvavoidellun laakerin voitelukalvo on käytännössä ohuempi kuin vastaavan öljyvoidellun laakerin. Voitelurasvalla on kuitenkin ominaisuuksia, jotka voivat puoltaa sen käyttöä:

- Rasvan antama tiivistys
- Alhainen kitkamomentti
- Soveltuvuus korkeille kierrosluvuille
- Pieni tilantarve
- Rasvan pysyminen voitelukohteessa

Perusöljyn ja paksuntimen lisäksi voitelurasvassa on lisäaineita, kuten voiteluöljyssäkin. Myös kasviöljyjä voidaan käyttää voitelurasvan perusöljynä. Synteettiset perusöljyt tarjoavat parempaa suorituskykyä paremman viskositeetti-indeksin ja kylmissä olosuhteissa paremman juoksevuuden myötä. (Parikka & Sainio 2004, 4.)

Voitelurasvat ovat nimetty käytetyn paksuntimen mukaan:

- Litiumsaippuarasvat
- Kalsiumsaippuarasvat
- Natriumsaippuarasva
- Kompleksipaksuntimet
- Orgaaniset paksuntimet
- Polyurearasva
- Epäorgaaniset paksuntimet

Saippuarasvojen paksuntimien metalliatomit toimivat katalyytteinä hapettumisreaktiossa, joten hapettuminen voi olla suurempi ongelma kuin voiteluöljyn tapauksessa. (Parikka & Sainio 2004, 9–10.)

Rasvojen kovuusluokka on arvo, joka kuvaa voitelurasvan jäykkyyttä. Arvo esitetään NLGI-luokkina. NLGI-luokat alkavat arvosta 000, joka tarkoittaa erittäin juoksevaa, ja loppuvat arvoon 6, joka tarkoittaa erittäin kovaa.

Voitelurasvan toiminnallinen käyttöikä on monessa tapauksessa pidempi kuin vastaavissa voiteluöljyissä käytetty vaihtoväli, mikä johtaa voitelurasvojen suurempaan lisääaineistustarpeeseen. Lisäaineet ovat samoja aineita, joita käytetään voiteluöljyn lisäaineina. Raskaskuormitteisiin kohteisiin käytettäviin voitelurasvoihin lisätään kiinteitä voiteluaineita, joiden tarkoitus on lisätä rasvan suorituskykyä rajavoitelutilanteissa. Myös tässä tapauksessa esteriperustaiset voitelurasvat voivat olla aggressiivisia elastomeereille, mikä rajoittaa joidenkin voitelurasvojen ja tiivisteiden käyttöä. (Parikka & Sainio 2004, 8.)

Useimmat kansilaitteet ovat vailla käyttöä suuren osan elinkaarestaan, sillä alus on kulussa. Esimerkiksi lastinkäsittelylaitteet voivat olla käytössä koko päivän ajan, kun taas ankkurointi- ja kiinnityslaitteita käytetään hyvin vähän. Pitkistä tauoista ja huonoista olosuhteista huolimatta laitteistojen täytyy toimia silloin kun niitä tarvitaan, jolloin tällaiset laitteet tulisi suunnitella siten, että ne tarvitsevat mahdollisimman vähän huoltotoimenpiteitä (McGeorge 1995, 392). Tämä huomioiden voiteluaineiden oikea valinta ja käyttö korostuvat.

Taulukko 13. Eri valmistajien suosittelemia tuotteita kansilaitteistoihin.

Tuote	Tyyppi	Hajoavuus
Shell Naturelle S2 Wire Rope Lubricant A	Biohajoava	OECD 301F, Yli 60% hajoavuus 28 päivän aikana.
Mobil SHC Aware Grease EP 2	Synteettiset esterit	Biohajoava
Lukoil Navigrease BIO 2	Synteettiset esterit	Biohajoava

3.2.1 Keskusvoitelu

Biohajoava rasva soveltuu hyvin kohteisiin, jossa rasvaa valuu ympäristöön, kuten vesistöön. Pelkästään siirtymällä keskusvoiteluun säästytään liialliselta voitelulta ja rasvan valumiselta vesistöön. Myös inhimillisen virheen mahdollisuus jää pois voitelusta.



Kuva 4. SKF Multilube keskusvoitelulaite. (www.skf.fi)

Keskusvoitelulaite on suunniteltu käytettäväksi öljy- sekä rasvavoiteluun. Laitteella on IP 65 -luokitus ja sen suunnitellut käyttölämpötilat ovat sopivat esimerkiksi kansilaitteiston voitelulle. Omakohtaisen kokemuksen pohjalta laite sopisi hyvin niin kansikoneistoihin, kuin myös konehuoneen voitelukohteisiin. Ympäristöystävällisen rasvan kulutus laskee tarkemman voitelun myötä, joten rasvan kalliimpi hinta ei muodostu kynnyskysymykseksi.

3.3 Kompressorit

Kompressorijölyjen tärkeimpiä tehtäviä on kulumisenesto, vaahtoutumisenesto ja ilman ja veden nopea erkaneminen öljystä. Jäähdytyskompressoreiden öljyn täytyy voidella liikkuvat osat tehokkaasti, ja myös täyttää muut vaatimukset mitä muilla voiteluaineille ei aseteta. Kompressorijölyiltä odotetaan ongelmattonta käyntiä, vähäistä täydennystä tai muuta kunnossapidollista tarvetta. Voitelu on jäähdytyskompressorin öljyn päätehtävä, mutta sillä täytyy olla myöskin muita ominaisuuksia, koska:

- Öljy sekoittuu lämmönsiirtoaineeseen.
- Pieniä määriä öljyä kulkeutuu lämmönsiirtoputkistoon.
- Öljy on suorassa yhteydessä moottorin käämeihin hermeettisessä yksikössä.
- Öljy altistuu molempiin lämpötilojen ääripäihin

ExxonMobil -yhtiöllä on tarkoitus vahvistaa polyalfaoleiinin (PAO) asemaa näillä markkinoilla. On odotettavaa, että alkyylilentseenien ja PAO:n käyttö kasvaa ja monet valmistajat käyttävät niitä ensimmäisessä täytössä. Jotkut uudet lämmönsiirtoaineet kuten R134A ja R125B aiheuttavat ongelmia PAO:n kanssa niiden yhteensopimattomuuden vuoksi. Polyalfaglykoleita (PAG) ja estereitä käytetään yleisemmin uusien aineiden kanssa, ja niiden on havaittu toimivan hyvin yhdessä. (Rudnick 2013, 909.)

Ilma- ja kaasukompressoreiden voiteluöljyjen suurin ongelma on hapettumisen kestäminen, jotta öljy ei pilaantuisi. Ongelmana on myös mahdollinen vuoto öljyn ja ilman välillä, ja vuotoa mahdollisesti seuraava kompressorin räjähtäminen. Ruuvikompressoreiden voitelu on kasvava alue estereiden ja PAO:n sekoitukselle, jonka suorituskyvyn ansiosta voidaan öljy voi saavuttaa jopa 12,000 tunnin käyttöiän. (Rudnick 2013, 908.)

3.4 Hylsä

Hylsä on ympäristön kannalta laivan herkin kohta. Tässä kohtaa potkuriakseli menee rungon läpi. Tiivisteet estävät meriveden pääsyn sisään. Samaan aikaan se tarvitsee voitelua.

Suurin osa laivoista käyttää öljyvoideltuja hylsälaakereita. Hylsän öljyvuotoa on pidetty normaalina käytöstä johtuvana kulumisena, mutta nykyään sitä pidetään saastuttamisena, koska se on merkittävä osa mereen joutuvista päästöistä. Vuodon määrä on riippuvainen monista tekijöistä: aluksen koko, voiteluaineen viskositeetti, potkuriakselin linjaus ja ulkoiset häiriötekijät, kuten värinä. (Sherman 2015, 2.)

Käytettäessä biohajoavia öljyjä, suositellaan että hylsän tiivisteet vaihdetaan 2,5 vuoden väliajoin, johtuen rasvahappojen kuluttavuudesta. Turpoaminen on yksi biohajoavien öljyjen haittapuoli. Kaikki synteettiset materiaalit joita käytetään potkuriakselin tiivisteissä turpoavat öljyssä, mutta jotkut taipuvat turpoamaan enemmän käytettäessä biohajoavia öljyjä. Tämä ominaisuus ei välttämättä ole hyvä, koska vaikka tiiveys paranee, niin tiiviste alkaa myös kulua enemmän (Motorship 2013). Muun muassa Wärtsilä on kehittänyt oman (Bio seal ring) tuotteen kiinteä lapaisille potkureille (FPP) jolle luvataan ainakin viiden vuoden elinkaari.



Kuva 5. Wärtsilä Bio Seal Ring (www.wartsila.fi)

Tuotteen rasvahappojenkestävyys on toteutettu uusilla lisäaineilla ja sen kanssa suositellaan käytettäväksi esteripohjaisia (HEES) voiteluaineita, esimerkiksi taulukon 15 tuotteilla. Taulukossa 14 vertaillaan hydraulikkaöljyjen ja tiivistemateriaalien yhteensopivuutta erilaisissa lämpötiloissa.

Taulukko 14. Hydraulikka öljyjen ja tiivistemateriaalien yhteensopivuus taulukko. (SKF Group 2012, PUB SE/P1 12393/1 EN)

	Kumit				Termoplastiset ja elastomeerit
	NBR, HNBR		FKM		PA,PF,PM,PEEK,PTFE
Tyyppi	Normaali lämpötila	Korkea lämpötila	Normaali lämpötila	Korkea lämpötila	Kaikki lämpötilat
	<60°C	<100°C	<60°C	<100°C	
HETG	A/B	A/B	A	A	A
HEES	A/B	A/B	A	A	A
HEPG	A	A/B	A/B	C/D	A
HEPR	A/B	A/B	A	A	A

A= Erinomainen B= Hyvä C= Rajoitettu D= Ei suositella

Taulukko 15. Eri valmistajien suosittelemia tuotteita hylsävoiteluun.

Tuote	Öljyn tyyppi	Hyväksynät
Shell Naturelle S4 Stern Tube Fluid 100	Täysin saturoidut esterit	Wärtsilä Propulsion, Kemel, Aegit-Marine, SKF, Voss.
Castrol BioStat 68,100,150,220,320	Synteettiset esterit	
Unimarine EAL Stern tube oil 68, 100, 220	Synteettiset esterit	EPA-VGP hyväksyntä.

3.5 Vaihteistot

Vaihteistoissa käytetään yleensä roiskevoitelua, jossa voiteluaineen taso on alimman pyörän hampaiden alareunan yläpuolella. Roiskevoitelu soveltuu hyvin keskinopeille vaihteistoille, joissa on kehänopeus 2–12 m/s. Pienemmille kehänopeuksille käytetään kylpyvoitelua. Kylpyvoitelussa voiteluaineen pinta on vierintäelimen tasolla. (Torvinen 2003, 209.)

Korroosio ja korroosionesto ovat tärkeässä osassa valittaessa voiteluöljyä vaihteistoihin. Pitkistä vaihtoväleistä johtuen, korroosio voi aiheuttaa yllättäviä vikaantumisia laakereihin, hammaspyöriin ja muihin komponentteihin. Hapettuminen vähentää voiteluöljyn käyttöikää. Öljyn vanheneminen liittyy viskositeetin muutokseen ja TAN-arvoon. Nykypäivän herkistä vaihteistoista tulisi ottaa näytteitä säännöllisesti. Jos TAN-arvo kasvaa huomattavasti, valmistajat suosittelevat öljynvaihtoa. (Mang & Dresel 2007, 268.)

Öljyn matala leimahduspiste aiheuttaa suuria höyrystymishäviöitä sikäli, kun paikallista öljyn kuumenemista ilmenee. Ilma sekoittuu öljyyn yleensä kaikissa vaihteistoissa. Koska ilmalla on huono lämmönjohtavuusominaisuus, se pitää separoida öljystä nopeasti. Suurien vaihteistojen sisäosat on maalattu paremman suojauksen ja pidemmän elinkaaren saavuttamisen vuoksi. Jotkut öljyalaadut voivat pehmittää ja kuoria maalikalvon. Tämä koskee eritoten yksikomponenttimaaleja, sillä kaksikomponenttimaalit yleensä kestävät

polyglykoleja. Myös tiivisteet reagoivat öljyjen kanssa varsinkin lämpötilan kasvaessa. Likaantunut öljy voi johtaa vaahtoutumiseen vaihteistoissa, joka taas voi johtaa siihen pisteeseen, että se purkautuu vaihteiston ventilaation kautta ympäristöön. Siksi tulisikin käyttää öljyjä joilla on hyvät vaahtoutumisenesto-ominaisuudet. (Mang & Dresel 2007, 269.)

Taulukossa 16 esitetään valmistajien suosittamia voiteluaineita vaihteistoihin. Jos mahdollista, erityyppisiä perusöljyjä ei tulisi sekoittaa keskenään vaihteistoissa, koska se voi aiheuttaa kuohumista ja muita reaktioita. Esimerkiksi mineraaliöljy ja polyglykoli aiheuttavat sekoittuessaan huomattavan viskositeetin kasvun, joka johtaa huonompaan pumpattavuuteen ohuiden putkien kautta ja täten johtaa vikaantumiseen huonon voitelun vuoksi. (Mang & Dresel 2007, 269.)

Taulukko 16. Valmistajien suosittamia tuotteita vaihteistoihin.

Tuote	Öljyn tyyppi	Hyväksynät
Shell Naturelle S4 Gear Fluid 68, 100, 150	Synteettiset esterit.	Kawasaki Heavy Industries, Nakashima Propellor, Holland Roerpropellor (ZF)
Kluberbio EG2-68. 68,100,150	Synteettiset esterit	Ohjauspotkurit

3.6 Perinteisen öljyn vaihtaminen ympäristöystävälliseen

Useissa tapauksissa ympäristöystävälliset öljyt ovat yhteensopivia mineraaliöljyjen sekä elastomeerien ja maalien kanssa, joita käytetään hydraulikkalaitteistoissa jotka ovat suunniteltu mineraaliöljykäytölle. Huomioitavaa on, että jotkut tuotteet, kuten polyglykolit, eivät ole yhteensopivia mineraaliöljyjen ja maalien kanssa. Ennen kuin öljy laatu vaihdetaan, on selvitettävä kaikkien järjestelmän komponenttien ja öljyn soveltuvuus valmistajalta tai toimittajalta.

Kun yhteensopivuus on varmistettu, on suositeltavaa, että koko järjestelmä tyhjennetään, puhdistetaan ja huuhdellaan ennen kuin ympäristöystävällinen öljy lisätään järjestelmään. Tällä varmistetaan, ettei öljyn ympäristö- ja suorituskykyvaatimukset heikkene edellisen voiteluöljylaadun liian myötä.

Myös uuden järjestelmän käyttöönotossa on tärkeää puhdistaa ja huuhdella irtomateriaali, kuten ruosteenestoaineet, asennusrasvat ja tiivisteaineet, joita voi olla järjestelmässä. Nämä materiaalit voivat vaikuttaa ympäristöystävällisen öljyn ominaisuuksiin: esimerkiksi kyllästetyt öljyt ja asennusrasvat voivat aiheuttaa hapettumista ja alentaa kulumisenesto-ominaisuuksia. (Pirro & Wessol 2001, 117.)

Ympäristöystävällisen voiteluöljyn käyttöään maksimoimiseksi, seuraavia ominaisuuksia tulisi tarkkailla säännöllisesti, ja pitää hälytysrajoina seuraavia arvoja:

- Viskositeetti: +10%
- TAN-arvo: +1.5mg KOH/g
- Vesisisältö: yli 500ppm

4 YHTEENVETO

Voiteluaineen valinta on erittäin tärkeä osa, kun ajatellaan laitteiston häiriötöntä käyntiä ja kunnossapidon tarvetta. Opinnäytetyön tavoitteena oli koota tietopaketti ympäristöystävällisten voiteluaineiden ominaisuuksista, ja kuinka niitä voidaan hyödyntää merenkulussa. Tämä osoittautui haastavaksi, mutta myös mielenkiintoiseksi projektiksi, koska suomenkielistä materiaalia oli saatavilla vähän. Koska työstä ei ollut tarkoitus tehdä mainosta öljy-yhtiöille, käytettiin lähteinä pääosin muiden kuin yhtiöiden kustantamaa aineistoa.

Opinnäytetyötä aloittaessani ympäristöystävälliset öljyt olivat minulle tuttuja paperi- ja terästeollisuuden aloilta. Valitsin tämän opinnäytetyön aiheeksi, koska olin kiinnostunut siitä, kuinka ympäristöystävällisiä voiteluaineita voitaisiin hyödyntää merenkulun tarpeissa, koska olen nähnyt kuinka mineraaliöljyjä käytetään huolimattomasti useissa paikoissa.

Nykypäivän ympäristöystävälliset öljyt toimivat hyvin alusolosuhteissa ja tiukentuvat säädökset pakottavat varustamot panostamaan niihin entistä enemmän. Myös laitevalmistajat tarjoavat toimivia järjestelmiä ympäristöystävällisten öljyjen kanssa käytettäväksi.

Keskeisimmät johtopäätökset ovat, että voiteluaineiden ominaisuuksissa on huomattavia eroja, varsinkin eri perusöljyjen välillä. Ympäristöystävällisiä voiteluaineita käytettäessä korostuu näytteenottojen tärkeys, jotta saavutetaan voiteluaineen pitkä käyttöikä. Voidaan myös todeta, että kasviöljypohjaiset öljyt ovat hyvin lähellä mineraaliöljyjen ominaisuuksia ja viskositeettiominaisuuksiltaan parempia.

Laivojen päästöt ovat mielestäni iso osa mereen päässeistä öljyistä, joten säännöksiä tulisi tiukentaa myös meidän lähivesillä. Ympäristöystävällisten öljyjen hinnat tulevat varmasti laskemaan nykyisestä, joten ne yleistyvät ja niiden maine paranee.

LÄHTEET

Antila K & Kajander A. 2006. Teollisuusvoitelu. Kunnossapitoyhdistys ry. Helsinki. [Viitattu 10.2.2016].

Bart J, Gucciardi E & Cavallaro S. 2013. Biolubricants science and technology. Woodhead Publishing Limited. Cambridge. [Viitattu 15.1.2016]

Biosynthetic technologies, Silent Oil Spills. 2013. Saatavissa: <http://biosynthetic.com/wp-content/uploads/Biosynthetic-Technologies-Silent-Oil-Spill8.pdf> [Viitattu 15.1.2015].

Environmental Protection Agency. 2011. Environmentally acceptable lubricants. Saatavissa: <http://nepis.epa.gov> [Viitattu 5.1.2016].

Erhan S. Z & Perez J. M. 2002. Biobased industrial fluids. AOCS Press, Illinois. [Viitattu 5.1.2016].

FAG, Julkaisu no. WL 81 115/4 FI. Saatavissa: http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/publication/downloads_18/wl_81115_4_fi_fi.pdf [Viitattu 10.2.2016].

Fink J.K. 2016. Marine, Waterborne, and Water- Resistant Polymers: Chemistry and applications. Scrivener Publishing LLC. New Jersey. [Viitattu 15.2.2016].

Florea O & Vasile M. 2009. Biodegradable lubricating greases for special work conditions. Saatavissa: http://t.tribologia.eu/plik/spm/spmom-09v44n4_p-021.pdf. [Viitattu 17.1.2016].

Hydac- esite. 2012. Saatavissa: http://www.hydac.fi/pdf/2012-04/OP_Sonderdruck_Hydac_finnisch_web.pdf [Viitattu 13.2.2016].

IMCA. Kuvat 1 ja 2. 2014. Understanding Biodegradable lubricants. An introduction to `Green`oil on hydraulic systems offshore. Saatavissa: <http://www.green4sea.com/wp-content/uploads/2015/01/IMCA-Understanding-Biodegradable-Lubricants.pdf> [Viitattu 5.2.2016].

Machinery Lubrication. 2011. Noria Corporation. Tulsa. Saatavissa:
<http://www.machinerylubrication.com/Read/1290/synthetic-conventional-oils>
[Viitattu 7.3.2016].

Machinery Lubrication. 2/2012. Noria Corporation. Tulsa. Saatavissa:
<http://www.machinerylubrication.com/Read/28760/advantages-disadvantages-of-biodegradable-lubricants> [Viitattu 7.3.2016].

Machinery Lubrication. 2012. Noria Corporation. Tulsa. Saatavissa:
<http://www.machinerylubrication.com/Read/29229/environmentally-friendly-lubricants> [Viitattu 7.3.2016].

Mang T & Dresel W. 2007. Lubricants and Lubrication. WILEY-VCH GmbH. Weinheim. [Viitattu 5.1.2016].

McGeorge H.D. 1995. Marine auxiliary machinery. 7th edition. Butterworth-Heinemann. Oxford. [Viitattu 8.1.2016].

Mobil. 2015. Lube World. Saatavissa: <http://www.mobil.com/UK-English/LCW/Files/EAL.pdf> [Viitattu 10.1.2016].

Mobil. 2016. Saatavissa: http://www.mobil.fi/Finland-Finnish-LCW/carengineoils_carcaretips_faqs.aspx [Viitattu 16.3.2016]

Motorship. 2013. Mercatormedia Ltd. Saatavissa:
<http://www.motorship.com/news101/engines-and-propulsion/caution-required-switching-to-bio-oils-for-stern-tubes> [Viitattu 23.3.2016]

Mudge S.M. 2010. Comparative environmental fate of marine lubricants. Unpublished manuscript. United Kingdom. [Viitattu 15.1.2016].

Neste Oy. 2015. Tuoteluettelo. Saatavissa:
https://www.neste.fi/tuotteet_haku.aspx?path=2589%2c2655%2c2698%2c269

Opetushallitus, Kunnossapito, Voitelu. Saatavissa:
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e03_voiteluaineet_voiteluoljyt.html [Viitattu 5.1.2016].

Parikka R & Sainio H. 2004. VTT Tutkimusraportti. Saatavissa:
http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/rasvavoitelu_btuo43_041258.pdf [Viitattu 10.1.2016].

Pirro D. M & Daschner E. 2001. Lubricant Fundamentals, Second Edition. Marcel Dekker Inc. New York. [Viitattu 8.1.2016].

Pirro D. M & Wessol A. A. 2001. Lubrication fundamentals, Revised and Expanded. Exxon Mobil Corporation. US. [Viitattu 8.1.2016].

Promaintlehti. 2015. Kuva 3. Saatavissa:
<http://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Seuraa-turbiinioljyn-kuntoa> [Viitattu 13.1.2016].

Rajamäki J, Kariniemi A & Oijala T. 1997. Metsätehon raportti 27. Saatavissa:
http://metsate1.asiakkaat.sigmatic.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_027.pdf [Viitattu 5.2.2016].

RSC bio solutions. 2011. Etkins, 2010, Analysis. Saatavissa:
<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/conferences/2014/MTS2014/Roell.pdf> [Viitattu 7.1.2016].

Rudnick L. R. 2013. Synthetics, Mineral oil and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology. Taylor & Francis Group. Florida. [Viitattu 10.1.2016].

Sherman J. V. 2015. Water soluble, EAL`s for stern tube applications. Saatavissa:
<http://www.sname.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=c017689c-6ca9-e69c-ae88-9c46887cc9e1> [Viitattu 20.1.2016].

SKF Group. 2012. PUB SE/P1 12393/1 EN [Viitattu 17.1.2016].

SKF. Kuva 4. Saatavissa: www.skf.com [Viitattu 1.2.2016].

Silva J. A. C. 2011. Biodegradable Lubricants and Their Production Via Chemical Catalysis, Tribology – Lubricants and lubrication. [Viitattu 20.1.2016].

Teboil. 2013. Saatavissa: <http://www.teboil.fi/tuotteet/voiteluaineet/yleista-voiteluaineista/hydrauliikkaoljyn-valintaperusteita/> [Viitattu 26.1.2016].

Torvinen J. 2003. Teollisuusvoitelu. Hamina. [Viitattu 26.1.2016].

Totten G. E. 2003. Fuels and Lubricants Handbook. ASTM International, West Conshohocken PA. [Viitattu 10.1.2016].

Totten G. E & De Negri V. J. 2012. Handbook of hydraulic Fluid technology, second edition. Taylor & Francis Group, LLC. [Viitattu 10.1.2016].

Wärtsilä Bio Seal Ring, kuva 5. Saatavissa:

<http://www.wartsila.com/images/default-source/Products/seals-bearings/sealing-solutions/wartsila-stern-tube-seals-bio-seal-ring.jpg?sfvrsn=2>
[Viitattu 3.2.2016].

