

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma / merenkulkualan insinöörin suuntautumisvaihtoehto

Joni Lehtonen

ÖLJYANALYYSIEN HYÖDYNTÄMINEN LAIVAKÄYTÖSSÄ

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulku

LEHTONEN, JONI

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

marraskuu 2014

Avainsanat

Öljyanalyysien hyödyntäminen laivakäytössä

47 sivua + 2 liitesivua

Lehtori Ari Helle

Kymi Technology

öljyanalyysi, öljyn kunnonvalvonta, öljyn käyttökunto, hiukkaslaskenta, kunnossapito, laivat, öljyt

Opinnäytetyössä esitellään ja analysoidaan alusympäristössä yleisimmin käytettyjä öljyjä sekä perehdytään öljyn kunnonvalvontaan eri menetelmin. Tavoitteena oli muodostaa kokonaisuus, jonka avulla myös asiaan perehtymätön henkilö pystyy muodostamaan kattavan kokonaiskuvan aluksilla käytettävän voiteluöljyn kunnonvalvonnasta.

Materiaalia työhön on kerätty alan ammattikirjallisuudesta, öljyanalyysilaboratorioiden verkkosivuilta, verkkojulkaisuihin, asiantuntijahaastatteluilla, öljy-yhtiöiden verkkosivuilta sekä tribologian kirjallisuudesta. Työtä on rakennettu mahdollisimman yleisellä tasolla ja mahdollisuuksien mukaan yleistäen eri valmistajien menetelmille sopivaksi huomioiden, etteivät kyseiset menetelmät ole välttämättä oikeita tai parhaita ratkaisuja. Analyysipaketit tulee aina harkita tapauskohtaisesti tilanteeseen parhaiten sopiviksi.

Öljyanalyysissä tärkein tehtävä on saada tietoa käytettävän öljyn ominaisuuksista sekä varmistaa öljyn käytettävyys. Analyysissä tulee huomioida koko järjestelmän tai laitteiston toimintavarmuuden takaaminen sekä tuotannollisten ja taloudellisten intressien varmistaminen. Tarkoituksena on keskittyä öljyn kunnonvalvontaan.

Työtä tehtäessä havaittiin oikean analyysipaketin valitsemisen olevan yritykselle taloudellinen ja ympäristöystävällinen tapa varmistaa koneistojen toimintavarmuus sekä saada luotettavaa tietoa koneiston kunnosta.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Technology

LEHTONEN, JONI

Oil analyzes, use of ship operation

Bachelor's Thesis

47 pages + 2 pages of appendices

Supervisor

Ari Helle, Lecturer

Commissioned by

Kymi Technology

November 2014

Keywords

oil analysis, maintenance, oil condition monitoring, particle counting

The main goals of oil analysis are to gain information about the properties of the oil being used, and to verify the usability of the oil. A proper analysis is conducted in the context of ensuring the operational reliability of the whole system, or piece of equipment, as well as securing the productional and economic interests of the stakeholders.

This thesis introduces and analyzes the most common types of oils used in the context of naval vessel maintenance. In addition, a special attention is paid to various methods of oil condition monitoring and detection of degradation. The aim was to create a comprehensive framework which allows a person with little prior knowledge in the field to gain view on methods of oil condition monitoring which are currently applied in naval vessel maintenance.

Research data was collected from professional literature, websites of oil analysis laboratories, online publications, expert interviews, websites of oil companies, and mechanical engineering literature. The thesis was conducted on a general level, and in consequence some of the methods are generalized in order to ensure compatibility with the methods proposed by oil manufacturers. However, the methods introduced in the thesis may not always be the correct or best choices, which is why oil analysis packages should be always selected on case-to-case basis.

During the study, it became evident that selecting the appropriate oil analysis packages is a cost-effective and environmentally friendly way to ensure the reliability of the machines, as well as to gather vital information on the condition of these machines.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	ÖLJYT	7
2.1	Voitelumekanismit	8
2.2	Voiteluöljyt	10
2.3	Moottoriöljyt	11
2.4	Hydrauliikkaöljyt	12
2.5	Muut öljyt	13
2.6	Öljyn ominaisuudet	15
3	KULUMISMEKANISMIT JA PARTIKKELIT	20
3.1	Kitka	20
3.2	Kuluminen ja kulumispartikkelit	21
3.3	Likapartikkelit	23
4	ÖLJYJEN KUNNONVALVONTA	27
4.1	Öljyanalyysit	28
4.2	On-line	30
4.3	Off-line	31
4.3.1	Näytteenotto	33
4.3.2	Analyysipaketin valitseminen	34
4.4	Analyysien tulkitseminen	35
4.4.1	Tyypillisimmät epäpuhtaudet	36
4.4.2	Tyypillisimmät muutokset fyysisissä ja kemiallisissa ominaisuuksissa	38
4.4.3	Tyypillisimmät kulumametallit	39
4.5	Suodatus	41
5	YHTEENVETO	43
	LIITTEET	

Liite 1. Näytteenottopistelista

Liite 2. Öljyanalyysi

1 JOHDANTO

Öljyä käytetään alusympäristössä yleisimmin niiden voitelevien, lämpöä siirtävien, likaa sitovien ja tiivistävien ominaisuuksien takia sekä voimansiirron väliaineena. Käyttökohteesta ja –tarkoituksesta riippuen valitaan oikeanlaiset öljyt oikeisiin tilanteisiin. Samat asiat määrittävät myös käytettävän öljyn haluttavat ominaisuudet sekä vaadittavan kunnonvalvonnan. Koska nykypäivänä markkinoilla on lukematon määrä erilaisia öljyjä, ei tässä opinnäytetyössä kohdisteta tarkempaa huomiota tiettyihin öljymerkkeihin tai –tyyppeihin, vaan öljyä pyritään käsittelemään mahdollisimman yleisellä tasolla. Tarkoituksena on muutenkin keskittyä öljyjen kunnonvalvontaan.

Lähes kaikille öljyille voidaan määrittää samat ominaisarvot, joita tässä opinnäytetyössä käydään läpi. Koska ominaisuuksien merkittävyys riippuu kuitenkin paljon öljyn käyttökohteesta, eritellään työssä olennaisimpien ominaisuuksien suositusarvoja esimerkkikohdekohtaisesti, jolloin lukija voi muodostaa itselleen suuntaa-antavan käsityksen sopivista käytönaikaisista arvoista. On kuitenkin erittäin tärkeä muistaa, että esimerkkitapausten arvoja ei tule käyttää suoraan laitteistojen tai öljyn kunnonarviointiin aluksilla, vaan oikeat parametrit tulee varmistaa laitteistokohtaisesti manuaalista tai valmistajalta. Työssä on käytetty esimerkkilaivan toimintatapoja ja kyseiselle alukselle suunniteltuja öljysuosituksia. Esimerkkilaivana käsitellään tavanomaista kotimaista kuivarahtilaivaa, sekä aluksen laitteistoja.

Opinnäytetyössä käydään ensin läpi öljyjä yleisesti, koska niiden valmistusmenetelmien ja perusominaisuuksien ymmärtäminen on olennaista kokonaiskuvan hahmottamisessa. Lisäksi käsitellään eri ominaisuuksien analysointitavat sekä niiden vaikutukset erilaisissa kohteissa. Koska yksi olennainen valvottavaominaisuus ovat öljyssä olevat kulumametallit sekä likapartikkelit, käydään niiden syntymismekanismeja ja vaikutusta öljyihin kattavasti läpi. Lopuksi perehdytään kattavasti öljyanalyyssityyppeihin ja niiden hyötyihin, haittoihin ja keskinäisiin eroihin. Käytännön esimerkeillä pyritään selventämään käsiteltäviä asioita sekä korostamaan tiettyjen ominaisuuksien tärkeyttä.

2 ÖLJYT

Alusympäristössä käytetyt öljyt ovat lähes poikkeuksetta hiilivetyseoksia, joita valmistetaan maaöljyä tislamalla ja mahdollisesti lisäaineistamalla käyttökohteen vaatimuksien mukaan. Poikkeuksena mainittakoon herkkien ekosysteemien alueilla usein käytetyt kasvisöljyistä raffinoitua hydraulikkaöljyä. Tästä syystä laivateollisuudessa öljyllä viitataan yleisimmin maaöljyjohdannaisiin, kuten tässäkin opinnäytetyössä tehdään. Öljy on olennainen osa jokapäiväistä ihmisen arkea, ja teollisuudessa lähes kaikki osa-alueet ovat riippuvaisia öljystä. Öljyä on jo pitkään jalostettu teollisuuden voiteluaineeksi, sillä se on helposti varastoitavaa ja kuljetettavaa, eikä muilla tekniikoilla ole vielä päästy yhtä hyviin lopputuloksiin. Öljyn ylivoimaisuus muihin polttoaineisiin nähden perustuu suureen energiasisältöön ja helppoon käytettävyyteen.

Maailmassa oleva perusöljy on hyvin samantyyppistä, joten eri käyttötarkoituksia varten perusöljyä lisäaineistetaan soveltuvaksi tiettyihin tarkoituksiin, sekä valmistaja-kohtaisia eroavaisuuksia saavutetaan lisäaineistamalla perusöljyä. Öljyyn lisätään mm. seuraavia aineita:

- esterit
- alkoholi
- hapettumisenestoaine
- vaahtoamisenestoaine
- aineita viskositeetti-indeksiin nostoon
- voitelukykyä parantavia aineita.

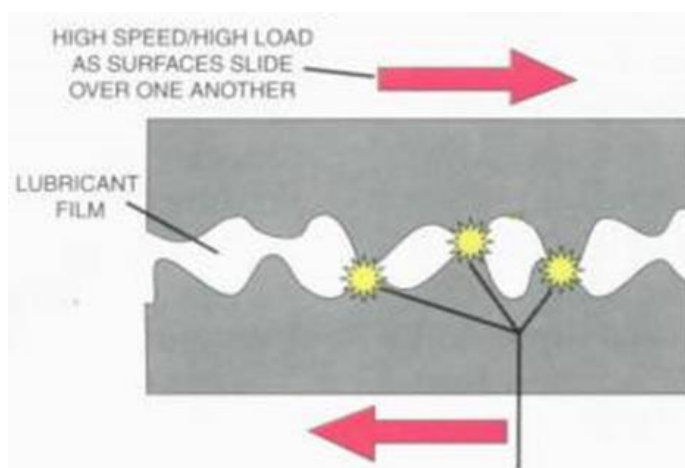
Näillä menetelmillä pyritään parantamaan voiteluöljyn voiteluominaisuuksia ja näin pidentämään koneiston käyttöikää ja vähentämään huollon tarvetta. Perusöljyllä ei ole paljaaltaan kovinkaan hyviä voiteluominaisuuksia. /1, s.10-11/

2.1 Voitelumekanismit

Ihanteellisessa tilanteessa voideltavien pintojen välinen nopeusero tasoittuu käytettävässä voiteluaineessa. Mikäli koneenosat hankaavat toisiaan vasten, ollaan tilanteessa, jolloin osa pintojen välisestä kuormasta välittyy voiteluaineen kautta, mutta osa kuormasta siirtyy myös suoraan pintojen välisenä kosketuksena. Lisäksi on myös tilanteita, jolloin kaikki kuorma voi siirtyä suoraan osien välillä täysin ilman voitelua. Seuraavaksi selvitetään voitelun tärkeyttä laitteiston oikealle toiminnalle sekä öljyn erilaisten ominaisuuksien merkitystä voitelumekanismeihin.

RAJAVOITELU

Mitään metalleja ei voida tai ole järkevää koneistaa siihen tasolle, että pinnankorkeushuippuja ei enää olisi. Suurimmat näistä pinnankorkeushuipuista ovat niitä, jotka ovat myös ensimmäisenä kosketuksissa toisiin koneenosiin, jotka ovat niiden liukumapinnoilla. Kun tulee tilanne, jolloin voidellulla pinnalla olevan voiteluöljykalvon paksuus on pienempi kuin pinnankorkeushuiput, alkaa muodostua metallista kontaktia, jolloin kitka voi kasvaa jopa kuivakitkaa vastaavaksi, mikä puolestaan voi johtaa esimerkiksi materiaalin halkeiluun tai hitsautumiseen. Metallien tribologisten ominaisuuksien lisäksi voiteluöljyn ominaisuudet vaikuttavat siihen, onko pinnankarheuden ja voiteluöljykalvon suhde riittävä rajavoitelun välttämiseksi. Pintojen välinen kokonaiskitka on rajavoitelutapauksissa suurimmillaan. /2/



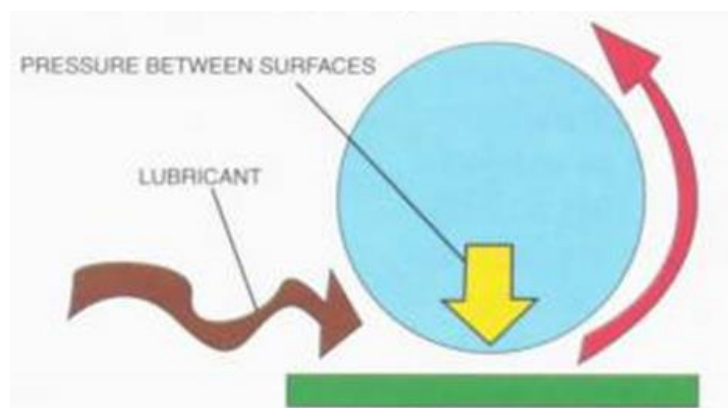
Kuva 1 Rajavoitelutilanne. Voiteluöljykalvo on liian ohut erottamaan metallisia pintoja. /3/

SEKAVOITELU

Sekavoitelutilanteessa voiteluöljykalvon paksuus on rajavoitelua suurempi, jolloin osa kuormasta välittyy suoraan metallisena kontaktina ja loput voiteluöljyn välityksellä. Sekavoitelu on rajavoitelua parempi tilanne, mutta pinnankorkeushuiput voivat edelleen aiheuttaa erilaisten kulumamekanismien kautta ylimääräistä kulumista ja paikoittaista lämpötilan nousua. Ylimääräinen lämmönkehitys voi puolestaan huonontaa voitelua paikallisesti takaisin rajavoiteluun. Kun voiteluöljykalvo paksunee, pienenevät metallisten kosketusten määrät ja suuruudet, jolloin myös kokonaiskitka pienenee ja lähennytään nestevoitelua. Sekavoitelu voidaankin mieltää raja- ja nestevoitelun väli-tilaksi. /2/

NESTEVOITELU

Nestevoitelulla tarkoitetaan tilannetta, jolloin liukuvien metallien kosketukset kosketuspinnoina häviävät täysin niitä erottavan voiteluöljykalvon ansiosta. Tällöin on saavutettu tilanne, jolloin hankaavien metallien välinen kitka ja mekaaninen rasitus materiaaleille ovat pienimmillään. Nestevoitelun eri tyypit voidaan myös erotella tarkemmin. Olennaista on mieltää, että yleisimmin esimerkiksi moottoritekniikassa pyritään nestevoiteluun. /2/



Kuva 2 Nestevoitelu. Voiteluöljykalvo tunkeutuu pintojen väliin erottaen kokonaan metallisen kosketuksen. Ihannetilanne voitelukohteessa. /3/

Erityisesti laitteistoja käynnistettäessä ja pysäytettäessä on voitelu usein seka- tai rajavoitelua, joka ei ole monesti näissä käyttökohteissa toivottua. Pyörivien kappaleiden

erilaisissa laakeroinneissa esimerkiksi kulmanopeus vaikuttaa muodostuvaan hydrodynaamiseen voiteluun. Ilmiö perustuu tiivistettynä kappaleen liikkeen kykyyn puristaa voiteluöljyksiä kappaleiden väliin. Ilman pyörivää liikettä ei hyvää nestevoitelua voida siis saavuttaa hydrodynaamisesti. Tuolloin voidaan pyrkiä erottamaan kappaleita hydrostaattisesti eli pumppaamalla öljyä kosketuspintojen väliin. Näin pyritään siirtymään käynnistyksissä suoraan sekavoitelusta nestevoiteluun. Tällöin on tärkeä pyrkiä muodostamaan kappaleiden välille vakaa voiteluöljykalvo, jolla on hyvät tartuntaominaisuudet. Nämä ominaisuudet voidaan saavuttaa oikeilla lisäaineistuksilla. /2/

2.2 Voiteluöljyt

Vain pientä osaa tuotetusta öljystä käytetään voiteluaineena, mutta kuitenkin voiteluöljy on vain yleisnimitys joukolle erikoistuotteita. Erityyppisiä voiteluöljyjä on lukuisia, sillä voitelun tarve teollisuudessa on runsasta ja laajaa, esimerkiksi moottoreiden ja koneistojen kiertovoitelujärjestelmät, vaihteistot ja hammaspyörästöt. Tästä johtuen voiteluöljyjä on tarjolla useita erilaisia tuotteita. Voiteluöljyn perustarkoitus on pienentää kitkaa ja siitä aiheutuvaa tehohäviötä. Muita ominaisuuksia kaikilla voiteluöljyillä on jäähdyttää sekä kuljettaa epäpuhtauksia pois voideltavasta kohdasta. /4/

Kun kaksi pintaa liukuu toisiaan vasten, syntyy kitkaa sekä siitä seuraavaa kulumista. Useimmiten voitelun tarkoituksena on estää tämä kahden pinnan koskettaminen toisiinsa. Voiteluaineena voidaan käyttää mitä vain helposti leikkautuvaa ainetta eri muodoissa. Kitkan ja kulumisen kannalta on parasta, että kappaleet erotellaan toisistaan kokonaan voiteluainekalvolla. Voitelun tärkeimpiä tehtäviä ovat muun muassa seuraavat:

- Koneiston käyttöiän pidentäminen ja toimintavarmuuden lisääminen
- osien suojaaminen korroosiolta
- pintojen jäähdyttäminen
- kulumishiukkasten kuljettaminen pois voideltavasta kohdasta
- tehohäviöiden pienentäminen
- kulumisen vähentäminen
- toisiaan vasten liukuvien pintojen erottaminen.

/5, s.129-131/,/6/

Vaikka voiteluöljyt on monesti luokiteltu ja nimetty esimerkiksi MHP- tai SAE-luokan mukaan, ei pelkkää käyttölämpötilaa ja siihen sopivaa viskositeettia voida käyttää öljyn valitsemiseen. Saman merkkiseen ja malliseen moottoriin voi olla esimerkiksi erittäinkin erilainen öljysuositus riippuen ainoastaan käytettävästä polttoaineesta. Koneistoissa käytettävä voiteluöljy päätetään yleensä öljy- ja laitteistovalmistajan yhteistyönä. Monesti laitemanuaaleissa on listattu *öljysuositus*, josta selviää suositellut öljyt valmistajakohtaisesti. Öljysuositukset ovat testeillä ja kokemuksella hyväksi havaittuja ja niitä tulee noudattaa, ellei öljy- tai laitevalmistaja erityisesti suosittele siitä poikkeamista.

2.3 Moottoriöljyt

Laivamoottoreissa käytetään yleisimmin kiertovoitelujärjestelmää, jolloin öljyn tärkeimpiin tehtäviin voitelun lisäksi kuuluu jäähdyttää ja puhdistaa koneistoa. Järjestelmän pitää saada tuotettua riittävä määrä puhdasta voiteluöljyä voideltaville pinnoille. Koneistoa käytettäessä tapahtuu aina kulumista ja pienhiukkasten, öljyn hapettumistuotteiden ja koneistoon kuulumattomien tuotteiden sitominen ja kuljettaminen pois voideltavasta kohdasta on erittäin tärkeää.

Voiteluöljyt voidaan yleisesti jakaa mineraaliöljyihin ja synteettisiin öljyihin. Mineraaliöljyt valmistetaan raakaöljystä tislaamalla ja lisäaineistamalla käyttökohteeseen sopiviksi, jolloin eduksi muodostuu halvempi hankintahinta, mutta esimerkiksi Wärtsilä suosittelee öljynvaihtoväliksi 1500 tuntia mineraaliöljyillä ja synteettisillä öljyillä 2500 tuntia. Tulee kuitenkin huomioida, että esimerkilaivassa apukoneiden öljyjä ei ole aluksen historian aikana vaihdettu, joten öljynvaihtoväli on viitteellinen, ja tässä tapauksessa on toimittu öljyn valmistajan analyysien tulosten perusteella. Täyssynteettinen moottoriöljy on jalostettu pidemmälle ja perustuu keinotekoisiiin ei raakaöljypohjaisiin yhdisteisiin. Etuna tässä ovat paremmat voiteluominaisuudet, parempi viskositeetti-indeksi ja pidempi-ikäinen öljy. /7/

Moottorin kiertovoitelujärjestelmän voiteluöljyn laadulle on tänä päivänä asetettu kovat laatuvaatimukset, sillä koko koneistossa kiertää parhaimmillaan vain yksi öljylaatu huolehtien lukuisten eri voideltavien kohteiden voitelun erikoistarpeesta. Aluksilla käytettävien dieselmoottoreiden apulaitteita on pitkälti toteutettu sähköisesti (polttoaineen säätäjä yms.) ja parhaassa tapauksessa koneistoa käytetään vain moottoriöljyllä eikä muita öljylaatuja enää tarvita.

Nykyään kiinnitetään yhä enemmän huomiota koneiston sisäiseen kitkakertoimeen sekä sen vähentämiseen kasvavan energiatehokkuuden parantamiseksi. Koneiston polttoaineenkulutuksesta menee noin 33 % koneen sisäisen kitkakertoimen voittamiseen, josta lähes puolet männän ja sylinteriputken väliseen metalliseen kosketukseen. Mikäli kitkahäviötä saadaan pienennettyä 10 %, vaikuttaa tämä suoraan energiankulutukseen 3 %. /8/

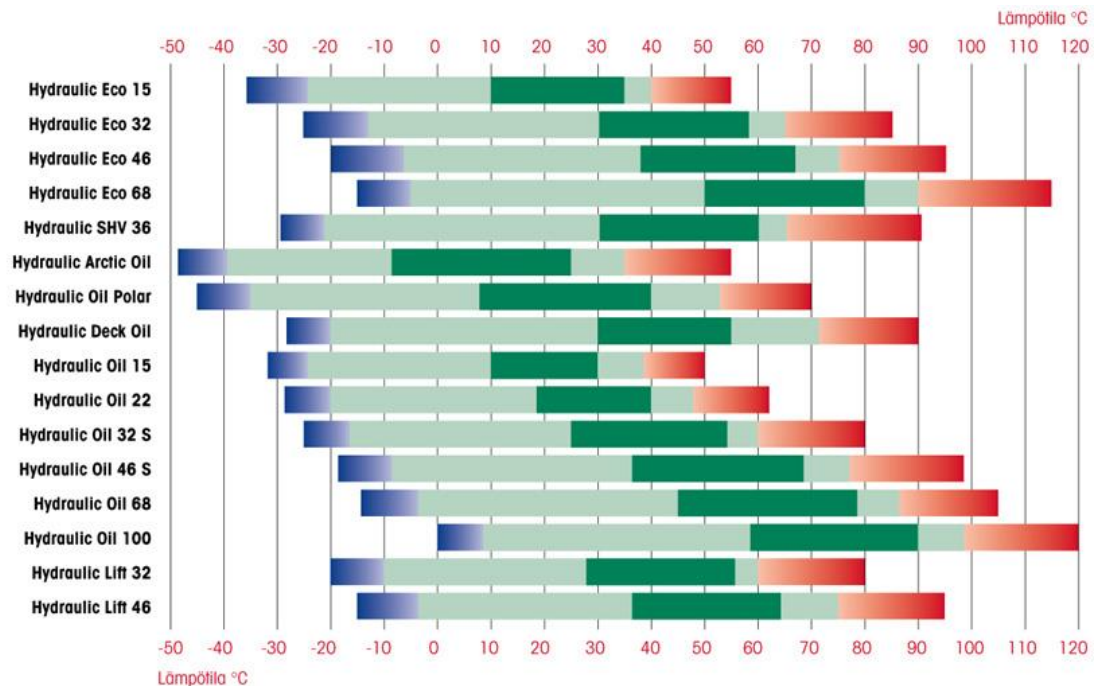
2.4 Hydrauliikkaöljyt

Hydrauliikan käyttö voimansiirtoon on laivoilla todella yleistä alustyyppistä riippumatta. Vaikka kokonaishyötysuhde jää mekaanista voimansiirtoa pienemmäksi, hydraulisten järjestelmien säätömahdollisuudet ja suhteessa edulliset kokonaiskustannukset tekevät hydraulisista järjestelmistä erittäin käyttökelpoisen ja suosituksen mekanismin. Hydrauliikassa käytetään yleisimmin väliaineena mineraaliöljyjä tai synteettisiä öljyjä. Myös kasvisöljyistä jalostettuja öljyjä on meriteollisuudessa käytössä, mutta heikompien ominaisuuksiensa takia ne eivät ole saavuttaneet maaöljypohjaisten öljyjen suosiota.

Vaikka hydrauliikkaöljyn tärkeimpänä tehtävänä on voimansiirto, tulee sen toimia myös muun muassa laitteiston voiteluöljynä ja lämmönsiirron väliaineena. Hydrauliikkajärjestelmissä tulee pyrkiä ehdottamaan puhtauteen, joten varsinainen lian sitominen ei ole hydrauliikkaöljyille yhtä tärkeä ominaisuus kuin voiteluöljyille, koska toimintaympäristö voidaan lähtökohtaisesti olettaa puhtaahkoksi. Erilaisen toimintaympäristön takia hydrauliikkaöljyiltä ja perinteisiltä voiteluöljyiltä halutaan lähtökohtaisesti erilaisia ominaisuuksia.

Yleensä hydrauliikkaöljyjenkin kohdalla on listattu laitekohtainen *öljysuositus*, jota tulee noudattaa. Hydrauliikkaöljyistä voi tosin käyttää voiteluöljyä vapaammin eri öljyjä kuin suosituksessa sanotaan, koska hydrauliikkajärjestelmissä käytettävän öljyn oikea viskositeetti on yksittäinen tärkeä ominaisuus. Tällöin esimerkiksi eri käyttölämpötila kuin suunnittelukohteessa, voi aiheuttaa ongelmia valmistajan suosittelemalla öljyllä. Kuvasta 3 nähdään esimerkiksi Teboilin hydrauliikkaöljysuositukset eri käyttölämpötiloihin. Kuvasta huomataan myös öljyn eri käyttölämpötila-alueet. Kuvassa sinisellä merkitty minimikäynnistyslämpötila on hieman pumpputyypistä riippuvainen, vihreällä on merkitty optimaalinen käyttölämpötila ja punaisella maksimikäyttölämpötila. Eri käyttölämpötilat perustuvat kinemaattisen viskositeetin vertai-

luun, jolloin esimerkiksi jokaisen öljyn kohdalla optimaalisen käyttölämpötilan alueella öljyn kinemaattinen keskiviskositeetti on $16\text{--}50\text{ mm}^2/\text{s}$.



Kuva 3. Teboilin hydraulikkaöljyjen käyttölämpötila-alueet. /9/

Oikean viskositeetin ja viskositeetti-indeksin lisäksi hydraulikkaöljyiltä yleisesti toivottavia ominaisuuksia ovat hyvät kulumisen- ja korroosionesto-ominaisuudet, hyvä vedenerottuvuus, ilman erottuvuus ja vaahtoamattomuus, hapettumisen kestävyys sekä öljyn vähäinen reagoituvuus tiivistemateriaalien kanssa. /9/

2.5 Muut öljyt

Perinteisten voiteluöljyjen ja hydraulikkaöljyjen lisäksi alusympäristössä on käytössä erilaisia erikoisöljyjä, yleisimmin turboja, paineilmakompressoreita, vaihteistoja, hylsää ja kylmäkompressoreita varten. Nämä öljyt ovat yleensä perinteisempiä voiteluöljyjä kalliimpia ominaisuuksiensa takia. Tämän tyyppisissä laitteistoissa on myös yleensä niin pieniä öljytilavuuksia (pois lukien hylsäöljyt), että säännöllisesti suoritettavien öljynvaihtojen ansiosta öljyn käytönaikainen analysointi ei ole niin tärkeää. Öljynvaihtoja suoritettaessa on kuitenkin hyvä tarkastaa vanha öljy vähintään visuaalisesti. Myös öljyn suodattaminen voi olla hyvä ajatus jos öljy on selvästi likaista. Tällöin voidaan helpommin erottaa öljyn seassa olevat kuluma- tai likapartikkelit, ja niitä analysoimalla voidaan selvittää laitteistojen kuntoa. Näiden erikoisöljyjen käsittelyyn

liittyy monesti erityispiirteitä, jotka on tärkeä tietää, esimerkiksi turbiiniöljyjen puh-
tausvaatimukset ja kylmäkompressoröljyjen hermeettinen säilytys.

Turbiiniöljyt on yleensä valmistettu korkealaatuisista perusöljyistä ja lisääineistettu
vaahtoamattomiksi, hyvin vettä hylkiviksi, tarjoamaan korroosio- ja ammoniak-
kisuojaa ja ylläpitämään ominaisuutensa korkeissakin lämpötiloissa. Osa ominaisuuks-
sista on öljyissä sen takia, että samoja öljyjä voi käyttää alusympäristöjen lisäksi myös
isompien teollisuusyksiköiden kaasu-, pakokaasu-, höyry- ja vesiturbiineissa. /10/

Paineilmakompressoröljyistä on monesti saman tuoteperheen eri tyypit tarkoitettu
erilaisiin kompressoreihin. Esimerkiksi ruuvi- ja mäntäkompressoreiden öljyissä voi-
vat muut halutut ominaisuudet olla samoja, mutta eri paineluokkien takia ilmenevät
lämpötilaerot vaativat öljyltä eri viskositeettiluokan. Yleistää voi kuitenkin, että tämän
tyyppiset öljyt on lisääineistettu estämään emulgoitumista, vaahtoamista ja hapettu-
mista. /11, 12 s.1-2/

Kylmäkonejärjestelmissä oikean öljyn valitseminen on erityisen tärkeää, koska
kaikki kylmäaineet eivät sovi käytettäväksi kaikkien öljyjen kanssa. Kylmäkompres-
soreissa tuleekin käyttää *öljysuosituksen* mukaisia öljyjä, ellei todella tiedä, mitä on
tekemässä. Yleisesti ottaen kylmäkompressoröljyjen tulee säilyttää ominaisuutensa
suurissakin lämpötilavaihteluissa ja pysyä juoksevina vielä kylmissä lämpötiloissa,
jotta kiertoon päässyt öljy pääsee takaisin kompressorille. /13/

Vaihteistoöljyn haasteena on hammaspyörien ja rattaistojen hampaissa tapahtuva ra-
javoitelu eli metallien kontakti. Kulumisenestokyky on yksi tärkeimmistä ominaisuuks-
sista vaihteistoöljyä valittaessa, muita tärkeitä ominaisuuksia ovat vaahtoamisen ja
hapettumisen estoaineet sekä vedenerottelukyky ja liansitominen. Oikea viskositeetti-
luku huomioiden hyvä kylmäjuoksevuus on perusasioita valittaessa öljylaatujen välil-
lä. /14/

Hylsän tehtävä on turvata potkuriakselin läpivienti, laakeroida potkuriakselin peräpää
ja estää meriveden pääsy alukseen. Hylsäputken molemmissa päissä on tiivisteet ja it-
se hylsä on täytetty öljyllä voitelun ja jäähdytyksen varmistamiseksi. Hylsä on
useimmiten laakeroitu liukulaakerilla. Hylsän laakereiden vaihto on työläs ja kallis
toimenpide, mutta luokituslaitokset vaativat sen tehtäväksi viiden vuoden välein. Hyl-

säöljyn analysoinnilla ja laakereiden käytönaikaisella lämpötilaseurannalla voidaan akselinvetoa venyttää kymmeneen vuoteen.

Varustamoiden ympäristötietoisuuden lisääntyessä aletaan aluksissa käyttää useammin bioöljyjä, sillä mikäli hylsän peräpään tiivisteet vuotavat, pääsee hylsäöljy sekoittumaan meriveteen. Bioöljyjen yleinen ongelma on sekoittuvuus veden kanssa, mikä aiheuttaa öljy-vesiemulsion, joka heikentää öljyn voitelu- ja korroosionesto-ominaisuuksia. Esimerkkilaivassa hylsän peräpään tiivisteiden pienimuotoinen sisään-päin vuotaminen on otettu huomioon asentamalla suodatuslaitteisto, jonka kautta hylsäöljy kiertää jatkuvasti virtausnopeudella 110 l/h öljytilavuuden ollessa noin 800 l. Hylsäöljy puhdistuu kokonaisuudessaan noin 7 tunnin ajanjaksolla. Bioöljyihin siirtymisen jälkeen suodatinlaitteiston vedenerotin ei ole enää toiminut halutulla tavalla aiheuttaen öljyemulsion jonka seurauksena hylsäöljyn vesipitoisuus on noussut. /15 s24-26/

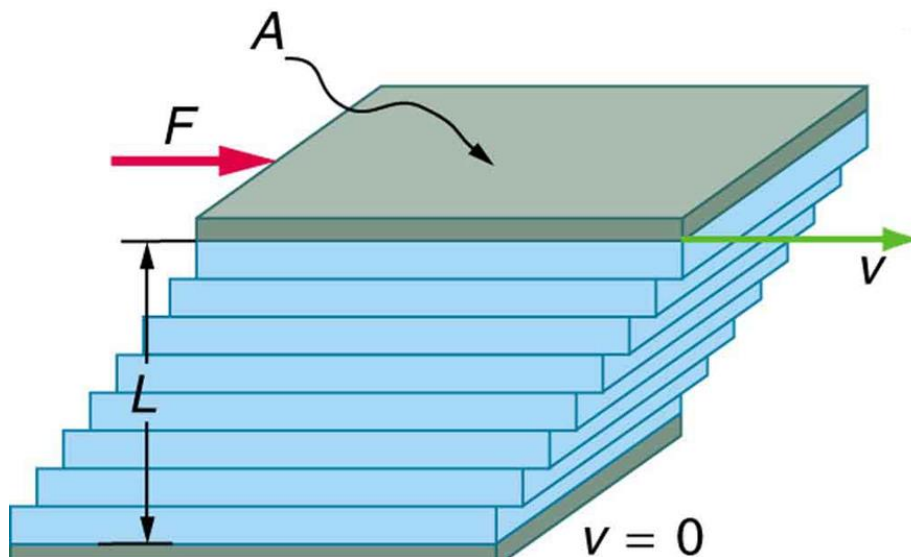
2.6 Öljyn ominaisuudet

Aiemmin kuvattiin öljyjen erilaisia ominaisuuksia, joista monet ovat itsestään selviä. Näiden ominaisuuksien lisäksi tulee tuntee öljyjen perusominaisuudet sekä niiden vaikutus öljyn käyttäytymiseen ja käyttötarkoituksiin. Seuraavaksi käydään läpi niitä ominaisuuksia, joita öljyistä yleisimmin ilmoitetaan. Muita testeillä tarkkailtavia ominaisuuksia käsitellään kappaleessa 4.

VISKOSITEETTI

Viskositeetti mielletään usein nesteen sisäiseksi kitkaksi, ja se on helpoiten ymmärrettävissä nesteen juoksevuudessa. Mitä alhaisempi viskositeetti on, sitä juoksevampi öljy on. Öljyn viskositeetti on sen lämpötilasta riippuva.

Newton määritteli viskositeetin alla olevan kuvan 4 mukaisesti. Kun kappale A liikkuu, liikkuu ylin kerros voiteluöljyä samaa tahtia kappaleen kanssa. Alin kerros pysyy vastaavasti paikallaan. Väliin jäävät kerrokset liikkuvat virtausnopeuden kasvaessa liikkuvaa kappaletta lähestyttäessä. On myös nesteitä, joiden viskositeettikerroin on kuvasta poiketen epälineaarinen. Näillä nesteillä viskositeettiin vaikuttaa lämpötilan ja paineen lisäksi myös leikkausnopeus. Yleisin tämän tyyppinen seos on öljy-vesiemulsio. /5, s. 172-173/, /16, s. 1-4/



Kuva 4. voiteluaineen rakenne voitelutilanteessa /17/

Mikäli käytettävän voiteluaineen viskositeetti on pieni, pääsee kappale liikkumaan pintaa vasten vähäisellä kitkalla, mutta vastaavasti voiteluaineen kuormankantokyky laskee ja voi syntyä sekavoitelutilanne. /5, s. 172-173/

Viskositeettia määritellään usealla eri tavalla, mutta voiteluöljystä käytetään usein kinemaattista viskositeettia. Sitä määriteltäessä öljyä valutetaan mittaputken läpi tarkassa lämpötilakontrollissa, jolloin mitataan aika tietyn nestemäärän virtaukselle. SI-järjestelmän mukainen yksikkö kinemaattiselle viskositeetille on m^2/s , mutta yksikkönä käytetään monesti myös senttistokia (cSt). $1 \text{ cSt} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. /5, s. 173-173/ Öljyn viskositeetti muuttuu öljyn vanhetessa, vaikka öljyn laatu ei merkittävästi muuttuisikaan. Yleisesti ohjearvona pidetään, ettei viskositeetti saa laskea yli 20 % eikä nousta yli 25 % öljyn lämmön ollessa $100 \text{ }^\circ\text{C}$ alkuperäisestä arvostaan. /7 s. 38/

VISKOSITEETTI-INDEKSI

Viskositeetti-indeksi (VI) ilmaisee öljyn viskositeetin suhteessa lämpötilaan ja on yksikötön arvo. Mitä suurempi viskositeetti-indeksi on, sitä pienempi on viskositeetin muutos suhteessa lämpötilan muutokseen. Tavallisesti mittaukset suoritetaan $+40 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa ja $+100 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa. Viskositeetti-indeksi ei liity viskositeettiin, vaan ainoastaan öljyn juoksevuuden muutokseen lämpötilan muuttuessa. Synteettisillä öljyillä on luonnostaan mineraaliöljyjä suurempi viskositeetti-indeksi ja sitä voidaan entisestään kasvattaa lisäaineistamalla. Öljyillä, joiden viskositeetti-indeksiluku on suuri, kutsutaan

moniasteöljyiksi ja matalamman viskositeetti-indeksin öljyjä kutsutaan yksiasteöljyiksi. /18/

TIHEYS

Öljyn tiheyttä kuvaa massan ja tilavuuden keskinäinen suhde. SI-järjestelmän mukainen yksikkö on kg/m^3 , mutta monesti käytetään yksikkönä myös kg/dm^3 . Öljyn lämpötilan noustessa massa pysyy samana tilavuuden kasvaessa, joten tiheys on lämpötilasta riippuvainen. Tästä syystä tiheys ilmoitetaan useimmiten 15 celsiusasteessa (15°C). /18/. Yleisesti voidaan kiertovoitelujärjestelmissä käytettävän voiteluöljyn tiheyttä pitää välillä $0,85\text{--}0,89 \text{ kg/dm}^3$, mutta öljyjä on jalostettu lukuisiin eri käyttötarkoituksiin. Suurin osa käytettävien öljyjen tiheydestä sijoittuu välille $0,79\text{--}1,2 \text{ kg/dm}^3$.

Tiheys ei vielä kerro käytettävän öljyn voitelevista ominaisuuksista, ainoastaan määrää voidaan laskea luotettavasti tällä menetelmällä. /19 s.7-37/

JÄHMEPISTE

Jähmepisteellä tarkoitetaan alinta mahdollista lämpötilaa, jossa öljy on juoksevassa tilassa. Laboratorio-olosuhteissa jähmepiste määritetään kokeellisesti. Kun öljyä sisältävä astiaa jäähdytetään ja samalla kallistetaan, eikä öljy enää lähde liikkeelle, on saavutettu jähmepiste. Öljyn viskositeetti kasvaa lämpötilan laskemisen seurauksena. On olennaista kuitenkin huomioda, että öljyn pumpattavuus häviää jo ennen jähmepisteen saavuttamista. /18/

NEUTRALOIMISLUVUT

Neutraloitumisluvussa yksikkönä käytetään yleisesti mg KOH/g eli milligramma kaliumhydroksia grammaan öljyä. Voiteluaineessa on normaalisti happamia ja emäksisiä aineita joukossa, ja näiden aineiden neutralisoimiseen tarvittava määrä ilmoitetaan neutraloimislukuna. Voiteluaineeseen tulee happamia ja emäksisiä aineita hapettumisen ja käytön seurauksena. Aineet voivat vaurioittaa pintoja, jotka ovat öljyn kanssa kosketuksissa. /18/

KOKONAISEMÄSLUKU (TBN)

TBN (engl. Total Base Number, käytetään yleisesti myös lyhennettä BN Base Number) eli kokonaisemäsluku on luku, joka ilmoittaa öljyn emäksisyyden ja näin öljyn kyvyn neutralisoida palamistuotteiden aiheuttamaa öljyn hapettumista. Hapot syövyttävät koneistojen osia huomattavia määriä, joten tämä mittaus on syytä ottaa huomioon öljyanalyysipakettia valittaessa. Öljyn laaduissa on huomattavia eroja, mutta voidaan pitää yleisenä ohjeena kokonaisemäsluvun puoliintumista sopivana öljynvaihtovälinä tai mahdollisena käytetyn öljyn lisääineistamisella. Mikäli öljy pääsee happamaksi, alkaa se syövyttää koneiston pintoja ja näin pienhiukkasten määrä lisääntyy merkittävästi. Syntyy kierre, jossa kulumisen kiihtyy ja sen seurauksena öljyn laatu heikkenee entisestään ja kulumisen kiihtyy edelleen. /18/

Käytettäessä raskasta polttoainetta, jonka rikkipitoisuus on yli 2 %, Wärtsilä suosittelee voiteluöljyn kokonaisemäsluvuksi BN 50-55. Mikäli käytettävän polttoaineen rikkipitoisuus on alle 2 % pidetään ohjearvona BN40. Erikoistilanteissa voidaan hyväksyä BN30 käytettäessä rikitöntä polttoainetta, mikäli pitkällä aikavälillä on todettu, ettei kokonaisemäsluku pienene merkittävästi öljynvaihtovälillä. Öljyn vaihtoväli voi jäädä melko lyhyeksi, mikäli öljylle ei ole riittävää kykyä neutralisoida palamistuotteita. /7 s.36/

Fuel standards and lubricating oil requirements			
Category	Fuel standard		Lube oil BN
A	ASTM D 975-94 ISO 8217: 1996(E) BS MA 100:1996 CIMAC 1990	GRADE 1D, 2D DMX, DMA DMX, DMA DX, DA	10 - 30
B	ASTM D 975-94 ISO 8217: 1996(E) BS MA 100:1996 CIMAC 1990	GRADE 4D DMB DMB DB	15 - 30
C	ASTM D 396-94 ISO 8217: 1996(E) BS MA 100:1996 CIMAC 1990	GRADE No. 4-6 DMC, RMA10-RMK55 DMC, RMA10-RMK55 DC, A10-K55	30 - 55
D	CRUDE OIL (CRO)		30

Kuva 5 Wärtsilän suositus voiteluöljyn kokonaisemäsluvuksi /7 s. 36/

KOKONAISHAPPOLUKU TAN

TAN (engl. Total Acid Number) eli kokonaishappoluku ilmoittaa happojen ja happamien aineiden määrää öljyssä. Tämä on tärkeää huomioida erityisesti koneistoissa, joiden öljynvaihtoväli on pitkä. /18/

LEIMAHDUSPISTE

Leimahduspiste ilmoitetaan yleisesti celsiusasteina (°C). Öljyä lämmitettäessä kevyimmät jakeet alkavat höyrystyä. Kun öljystä höyrystyy riittävä määrä jakeita muodostaakseen ulkoisella kipinällä sytytettävän pitoisuuden, on saavutettu leimahduspiste. /18/

Koneistojen kiertovoitelujärjestelmissä käytettävällä voiteluöljyllä on yleisesti leimahduspiste välillä 200-250 °C. Öljystä jalostettujen tuotteiden laatu on laajaa ja yleisesti leimahduspiste on välillä 80- >300 °C. Herkimmin leimahtavat kaksitahtiöljyt, joiden tulee palaa käytettävän polttoaineen mukana, ja suurin leimahduspiste on yleisesti hydraulikkaöljyillä. Leimahduspiste ilmoitetaan uudelle käyttämättömälle öljylle, eikä huomioida mahdollista polttoainelaimentumaa tai vaihtoehtoisesti öljyvesiemulsiota. /19 s.7-37/.

Kampikammioräjähdysten riski on suurimmillaan, kun leimahduspiste on 150 °C tai alle. Tästä syystä minimileimahduspisteenä öljyanalyysiä tehtäessä pidetään 170 °C. Sopivana öljynvaihtovälinä pidetään leimahduspisteen laskemista 50 °C öljyn alkupe-
räisestä leimahduspisteestä. /7 s. 38/

3 KULUMISMEKANISMIT JA PARTIKKELIT

Eri kulumismekanismien ja niissä muodostuvien kulumispartikkeleiden sekä likapartikkeleiden syntymekanismien ja ominaisuuksien ymmärtäminen on erittäin tärkeää tulkittaessa öljyanalyysejä. Monesti laajemmissa öljyanalyyseissä on eroteltu löytyneiden partikkeleiden fysikaaliset ominaisuudet ja jopa kerrottu, miten ja mistä ne ovat peräisin, mutta hyvä perusymmärrys näistä mekanismeista auttaa ymmärtämään laitteiston oikeaoppista käyttöä sekä helpottaa aluksella tehtävää jatkuvaa öljyn analysointia.

3.1 Kitka

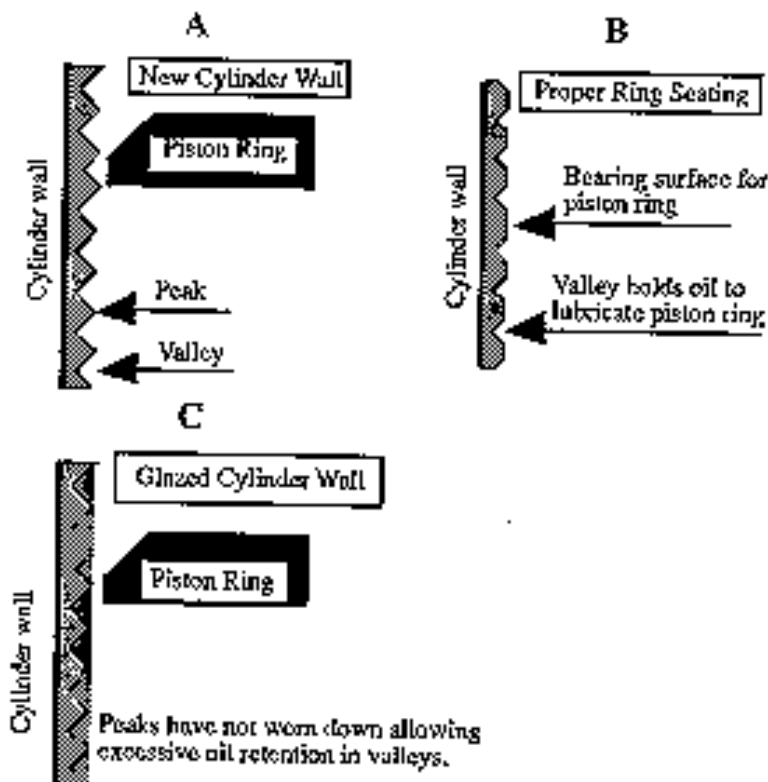
Ulkoinen kitka on kahden kappaleen välissä oleva hankausvoima, joka on riippuvainen materiaaliakohtaisista vakioista ja niihin vaikuttavista voimista. Yleensä erotellaan lepokitka ja liikekitka, joista lepokitka on liikekitkaa suurempi. Kappaleen liikkeelle saamiseksi tarvitaan ulkoinen voima, joka on suurempi kuin lepokitkavoima. Liikkeen ylläpitämiseen tarvitaan voima, joka on vähintään yhtä suuri kuin kitkavoima mutta vastakkaissuuntainen. /5, s. 63/

Sisäinen kitka mielletään yleisesti nesteille, ja sillä tarkoitetaan nesteen viskositeettia. Paikallaan oleva neste ei sisällä kitkaa. Kun neste lähtee virtaamaan, esiintyy siinä voimia, jotka vastustavat liikettä. /20 s. 1/

Kitkan haitat, kuten energiahäviöt ja kulumisen, tunnetaan yleisesti hyvin. Näitä voidaan kuitenkin vähentää materiaalivalinnoilla ja metallien pinnoittamisella, magneetoinnilla ja käyttämällä sopivia voiteluaineita. Toisinaan liukuva kosketus voidaan muuttaa vieriväksi kosketukseksi käyttämällä laakerointia. Vierivää liikettä käytetään kitkan vähentämiseen, mutta kokonaan kitkaa ei voida koskaan poistaa kappaleen joustavuuden johdosta. Vierintävastus syntyy, kun kappaleen vierieessä sen etuosassa tapahtuu puristuminen ja takaosassa palautuminen. Palautumistyö ei ole yhtä suuri kuin puristumiseen tarvittava työ ja laskemalla erotus saadaan kappaleen vierintävastus. Kitka on toisinaan myös toivottu ominaisuus, kun sitä tarvitaan kappaleiden paikallaan pysymiseksi. /5, s. 63-64, 83-89/

3.2 Kuluminen ja kulumispartikkelit

Kuluminen on kitkan seurannaista ja kulumista tapahtuu aina, kun kaksi tai useampi liikkuva pinta kohtaa toisensa. Tästä seurauksena on kappaleen pinnalla tapahtuva materiaalihäviö. Kulumista pidetään yleensä haitallisena ilmiönä, mutta esimerkiksi koneiden sisäänajovaiheessa liukulaakereiden ja hammaspyörien hallittu kuluminen on suotava ilmiö pinnankarheuksien tasoittuessa. Metallien työstön viimeistelyvaiheessa käytetään myös hallittua kulumista hyväksi hiomalla työstettävää kappaletta. /21/



Kuva 6. Sylinteriseinämän ja männän sekä männänrenkaiden sisäänajokuluminen.

Sisäänajovaiheessa pinnankarheushuiput tasoittuvat /22/

Vierivän liikkeen yhteydessä tapahtuu usein myös liukumista kuten hammaspyöräparin tai ketjun ja ketjurattaan toiminnassa. Näissä tapauksissa kuluminen tapahtuu nimenoamaan liukumisen puolella

Koneiston kuluminen tapahtuu yleensä käynnistys-, pysäytys- tai kuormanmuutostilanteissa tai virheellisen käytön seurauksena. Näiden tilanteiden seurauksena tulee rajavoitelutilanteita, jolloin voiteluöljy ei pysty suorittamaan tehtäväänsä ja koneisto al-

kaa kulua. Mikäli voiteluöljyn kuormankantokyky ei ole riittävä, seuraa myös rajavoitelutilanteita, jolloin koneiston osat liukuvat toisiaan vasten aiheuttaen kulumista. Pienhiukkasten lähtiessä yhdestä paikasta liikkeelle aiheuttaa se seuraavassa paikassa lisää kulumista, joka kertaantuu hyvin nopeasti, mikäli suodatus ei ole kunnossa. Koneiston ulkopuolelta tulevat partikkelit aiheuttavat haasteita analyysimenetelmiin ja tulosten tulkintaan. /21/

Liukumisen, hiontakulumisen, tartunnan ja ns. normaalin kulumisen lisäksi yleisiä kulumismekanismeja ovat esimerkiksi värähtelykuluminen, hapetuskuluminen, väsyminen, kavitaatio, eroosio, sulaminen ja kyntö. Eri kulumismekanismit tuottavat erikoisia ja -muotoisia kulumispartikkeleita, joten analysoimalla näitä hiukkasia voidaan havaita haitallinen kulumismekanismi, joka puolestaan voi nopeuttaa ongelmakohdan löytymistä. Seuraavalla sivulla esitettävään taulukkoon (taulukko 1) on listattu hiukkastyyppejä, niiden ominaisuuksia ja yleisimpiä kulumismekanismeja, eli miten niitä syntyy. Kuvasta huomataan, että useimpien kulumispartikkeleiden kohdalla kokoluokka on niin pieni, että niiden havaitsemiseen vaaditaan laboratoriotasoisia välineitä. Kulumispartikkelin koon ja muodon lisäksi niiden materiaali auttaa selvittämään, minkä tyyppistä ja mistä koneen osasta kuluminen on tapahtunut. Hiukkasanalyysia tehtäessä koneiston ja putkistojen metallien laadut on tästä syystä hyvä tietää, jotta voidaan erotella analyysista koneistossa tapahtunut kuluminen ja ulkopuolelta tulleet partikkelit. Kokonaismetallipitoisuuden lisäksi analyysissa ilmoitetaan yleensä kulumisen kokonaismäärä tai kulumisindeksi sekä kulumisen vakavuus. Mikäli kookkaita partikkeleita on suhteessa paljon, pidetään tätä vakavana vauriona. Pienhiukkasten alkuperää ja koneiston kulumista selvitettyä voidaan myös tarkastella voiteluöljyn suodattimista saatavia partikkeleita. /5, s. 169-172/, /20/

Huolimatta siis siitä kuinka yksityiskohtaisia ja kalliita öljyanalyysejä tehdään, on olennaisinta että aluksen henkilöstö ymmärtää eri kulumismekanismit ja niihin liittyvät kulumispartikkelit. Pelkkä tieto kulumispartikkeleiden määrästä öljyn seassa ei riitä, ellei siitä osaa päätellä, mistä partikkelit ovat tulleet ja minkä takia niitä on öljyn seassa. Tärkeää on myös huomioida, että kaikista hiukkasista ei tarvitse aina huolestua, vaan kyseessä saattaa olla normaali kuluminen. Yksi syy, miksi öljyjen säännöllinen analysointi on tärkeää, on että pitkän aikajakson tuloksia vertailemalla voidaan havaita kulumametallien trendissä muutos, joka viittaa lähes poikkeuksetta osien nor-

maalia voimakkaampaan kulumiseen esimerkiksi vikatilanteen, voiteluongelmien tai komponenttien ikääntymisen takia.

Taulukko 1. Hiukkastyypit ja niille ominaisia piirteitä. /21/

Hiukkastyypit	Tyypillinen kokoluokka	Esimerkkejä hiukkaselle tyypillisistä piirteistä	Esimerkkejä kulumistyyppistä tai -mekanismista
Hitu	1-5 µm (joskus jopa 5-15 µm)	Usein tummia, oksideja hilsettä, hienojakoista. Ohuita hiutaleita tai satunnainen muoto. Jos määrä lisääntyy siirrytään tasaisesta kulumisesta kiihtyvään kulumiseen.	Hiontakuluminen Värähtelykuluminen Delaminaatiokuluminen Hapetuskuluminen "Normaalikuluminen"
Hiutale	5-50 µm -100 µm	Kooltaan isompia kuin hitu, muodoltaan kuitenkin melko samanlaisia: sileä pintaisia, ohuita, pinnaltaan joskus poimusia ja reikäisiä	Väsyminen Liukuminen
Pallo	1-7 µm 5-50 µm 20-80 µm	Vierintälaakerien väsyminen Metalli-metalli kosketus Indikoivat korkeita lämpötiloja hitsausroiskeet, hionta, polttoleikkaus	Väsyminen Kavitaatio Eroosio Tartunta Sulaminen
Lastu	10-1000 µm	Ohuita suikaleita, spiraaleja tai lastuja Indikoivat aina epätavallista kulumista	Kyntö
Kimpale	10-200 µm	Selkeästi 3-ulotteinen Pinnalta usein karhea, toisinaan repeytynyt, joskus pinnalta kuoppautunut	Väsyminen Tartunta Kavitaatio Eroosio
Levy	50-300 µm	Paksuhko levymäinen Usein uurteinen pinnalta	Voimakas liukuminen Väsyminen Ankara kuluminen

3.3 Likapartikkelit

Kaikki voiteluöljyn seassa olevat kiinteät partikkelit voidaan mieltää likapartikkeleiksi, mutta kaikki näistä partikkeleista eivät ole kulumisen seurausta ja koneistoon kuulumattomia. Hydraulikkajärjestelmät puolestaan ovat suljettuja järjestelmiä, joten niihin ei pitäisi päästä likapartikkeleita järjestelmän ulkopuolelta, vaan ainoastaan sallittuja määriä kulumametalleja. Voiteluöljyissä joidenkin likapartikkeleiden voidaan mieltää jopa kuuluvan öljyn sekaan. Niiden täydellinen puute tarkoittaa etenkin moottoreiden kiertovoitelujärjestelmässä, ettei öljy sido palamistuotteita riittävän hyvin. Likapartikkeleita ovat kulumametallien lisäksi erilaiset palamistuotteet, pöly ja hiekka.

Laitteistosta riippuu, millä tavoilla likapartikkeleita poistetaan öljykierrosta. Yksinkertaisessa hydraulikkajärjestelmässä voi riittää esimerkiksi pumppua suojaava imusihti ja yksi hienompi suodatin. Isommissa hydraulikkajärjestelmissä, kuten esimerkiksi kääntölapapotkurijärjestelmissä, on lähes poikkeuksetta myös paluusuodatin.

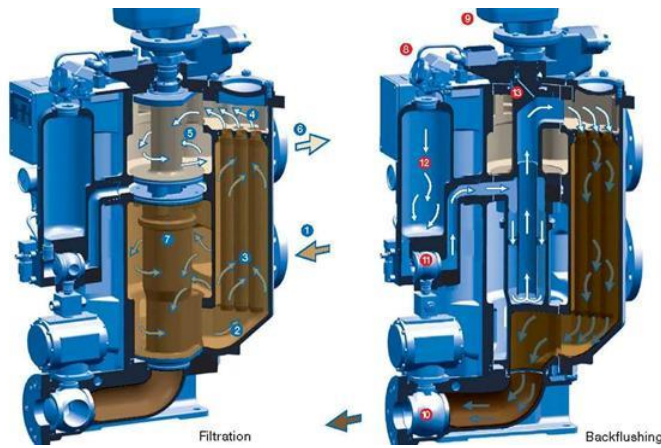
Kiertovoiteluöljypuolella voidaan jakaa järjestelmät kärkeäen kahtia: laitteistoihin joiden öljyä separoidaan ja laitteistoihin joihin vaihdetaan säännöllisesti öljyt. Osa järjestelmistä voi kuulua myös molempiin luokkiin. Yhteistä molemmille järjestelmille on kuitenkin se, että öljyä suodatetaan käytönaikaisesti erilaisilla filtereillä.

Nykyinen lainsäädäntö määrää pitkälti käyttämään apukoneita kevyillä polttoaineilla satama-aikoina, joten niiden öljykiertoon ei sitoudu kovinkaan suuria määriä palamistuotteita. Lisäksi apukoneiden voiteluöljytilavuudet ovat kohtalaisia tai pienehköjä ja etenkin mineraaliöljyä käytettäessä on öljynvaihto suhteellisen edullisia. Tällaisissa tapauksissa separointi on monesti tarpeetonta ja suodatus voi olla toteutettu esimerkiksi vain pienehkällä duplex-filtterillä (suodatuskyky yleisimmin 10 µm - 5 mm), jotka on yleensä mitoitettu niin että toisen suodatinpesän käyttäminen on riittävää. Filtterit voivat olla laitevalmistajakohtaisesti kertakäyttöisiä paperi- tai patruunasuodattimia tai esimerkiksi pestäviä monikerroselementtisuodattimia. Näiden lisäksi jotkut moottorivalmistajat, kuten Wärtsilä, ovat varustaneet koneen lisäksi keskipakosuodattimella. Jos käytettävä öljy alkaa selvästi jäykistyä öljynvaihtovälillä, on öljyyn sitoutunut niin paljon likapartikkeleita jotka pääsevät suodattimien läpi, että öljynvaihto on ajankoh- taista. /24/



Kuva 7 Bollfilter-dublex-suodatin. Suodatin mitoitetaan useimmiten käytettäväksi toinen puoli kerrallaan, jolloin toinen suodatinpesä jää varalle. Suodattaa tyypillisesti 10 μm - 5 mm. /24/

Raskasöljykäytössä olevissa pääkoneissa ei pelkillä suodattimilla saada erotettua riittävää määrää likapartikkeleita, vaan voiteluöljyn separointi on välttämätöntä. Separoimalla öljyä voidaan käsitellä suuria öljytilavuuksia kohtalaisen vaivattomasti, jolloin öljy ei normaalitilanteessa pääse koskaan ominaisuuksiltaan niin huonoksi että se joudutaan vaihtamaan. Tällöin monesti riittää, että koneisiin lisää öljyä sitä tahtia kun sitä palaa pois. Jotkut moottorivalmistajat, kuten Wärtsilä, Sulzer-Zgoda, tosin kehoittavat korvaamaan tietyn määrän kierron öljystä uudella ja dumpaamaan vanhaa. Öljyn vaihtaminen osittain johtuu nelitahtimoottoreiden polttoaineen palamisjätteen pääsystä käytettävään voiteluöljyyn, kaksitahtimoottoreissa ei ole vastaavaa ongelmaa sillä sylinteriöljy pidetään täysin erillään muusta kiertovoitelujärjestelmästä. Pääkoneiden voiteluöljykierron öljyä suodatetaan jatkuvasti kun öljy kiertää laitteistossa. Yleinen konstruktio on esimerkiksi itseään puhdistava automaattisuodatin (suodatus yleisimmin 6 μm - 200 μm) sekä jonkunlainen duplex-monikerroselementti- tai kynttiläsuodatinpaketti. /24/



Kuva 8 Bollfilter-automaattisuodatin suodatinelementit puhdistuvat takaisinhuuhtelun aikana /25/

Käytetty polttoaine määrittelee myös käytettävän voiteluöljyn laadun. Alla on suositus esimerkilaivan pääkoneen sylinteriöljyn laadusta käytettävän polttoaineen rikki- ja pitoisuuden suhteen.

Taulukko 2. Esimerkkilaivan öljysuosituksia. Huomioitavaa sylinteriöljyn laadun muutos suhteessa käytettävän polttoaineen rikki- ja pitoisuuteen.

MACHINERY LUBRICANTS (CONDENSED)

Main Engine	Cylinders	Cyltech 40SX [M] * (Fuel: HFO ECA Operation Sulphur 1.0%)
	Cylinders	Cyltech 50S [C] * (Fuel: HFO Sulphur Content <2.5%)
	Cylinders	Cyltech 70 [C] * (Fuel: HFO Sulphur Content >2.5%)
Turning Gear	Crankcase System	CDX 30 [C]
	Enclosed Gears	Alpha SP 460 [M]
Intermediate Shaft Bearing	Grease Points	Spheerol SX2 [C]
	Bearings	CDX 30 [C]
CPP Unit	Hydraulic System	Alpha SP 68 [M]
Stern Tube	Bearings & Seals	Alpha SP 100 [C] * (Alternative Biostat Range But In Connection To A Complete Oil Change

Öljyn suodatuksen teoriaa on käyty tarkemmin läpi luvussa 4.5.

4 ÖLJYJEN KUNNONVALVONTA

Voiteluöljyn kuntoa valvontaan koneistovaurioiden ennaltaehkäisemiseksi. Öljyn kuntoa valvottaessa saadaan tietoa koneiston kunnosta, sillä se vaikuttaa tehonsiirtoon, voiteluun, lämmönhukkaan ja korroosioon. Mikäli koneistossa esiintyy ylimääräistä kitkaa, suuria lämpötiloja tai muita poikkeuksellisia tilanteita, näkyy se öljyn laadussa mm. pienhiukkasten ja veden lisääntyvänä määränä. Eri analyyseillä pyritään selvittämään öljyn voiteluominaisuudet, puhtaus, partikkelit ja öljylle tehtävät mahdolliset huoltotoimet analyysin tulosten perusteella. Öljyn kunnonvalvonta on käsitteenä laaja, ja pitää sisällään laboratorioanalyyysien lisäksi pitkälti maalaisjärjen ja kokemuksen myötä tulevaa jokapäiväistä tarkkailua. Yksinkertaisimmillaan tämä voi tarkoittaa öljyn- tai suodattimien vaihdon yhteydessä suoritettavaa arviota kiertoöljyn kunnosta ja tarkemman analyysin tarpeen arvioinnista. Useimmilla aluksilla on mittauslaitteet öljyn yleisempien ominaisuuksien, kuten viskositeetin, vesipitoisuuden ja ominaispaineen mittaukseen. Laitteistoja hiukkaslaskentaan löytyy markkinoilta näistä on kerrottu enemmän luvussa 4.2 /26, s.163-164/

Voiteluöljy myös vanhenee käytössä, jolloin voiteluominaisuudet kärsivät ja koneiston kuluminen lisääntyy. Öljyn alkaessa ikääntyä öljy hapettuu ja viskositeetti muuttuu. Öljyn vanhetessa happi ja lämpötila aikaansaavat ketjureaktion aiheuttaen öljyn hapettumisen. Vesi ja metallihiukkaset öljyn seassa kiihdyttävät prosessia. Käytön myötä lisäaineet voivat alkaa erottua perusöljystä, jolloin halutut ominaisuudet voivat muuttua dramaattisesti ja erottuneet lisäaineet voivat aiheuttaa lisää ongelmia. /27, s.1-5/

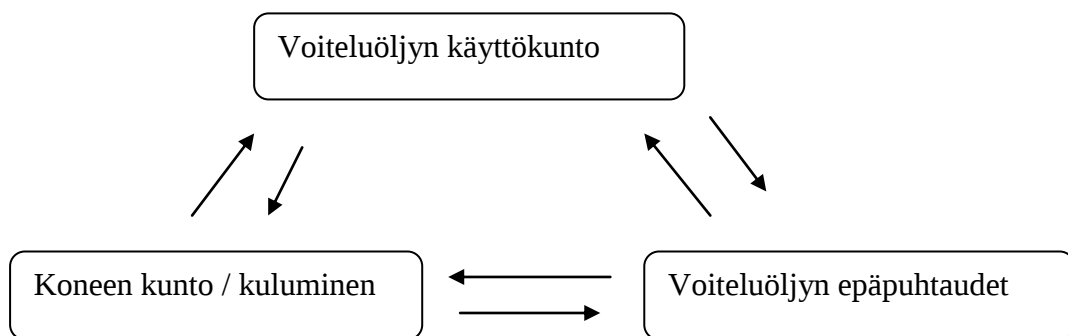
Öljyn analysoinnissa pystytään määrittämään tarkasti epäpuhtaudet, mutta ongelmana on kuitenkin erottaa, onko kyseessä koneiston normaali tai normaalia voimakkaampi kuluminen vai mahdolliset muut tekijät. Analyysituloksista voi olla vaikea erottaa, onko kyseessä osa löydöksistä voiteluaineiden kemiallisen reaktion tuotteita, maalin tai tiivisteiden jäänteitä vai kokonaan järjestelmän ulkopuolelta tulevia partikkeleita. /28,s.3/

4.1 Öljyanalyysit

Öljyanalyysillä tarkoitetaan tutkimusta, jossa öljyä tarkkaillaan jatkuvasti erillisellä seurantajärjestelmällä tai vaihtoehtoisesti otetaan näyte manuaalisesti. Manuaalisessa näytteenotossa (offline) näyte lähetetään laboratorioon tutkittavaksi kun taas jatkuva-toimisessa (online) kunnonvalvonnassa käytettävää öljyä analysoidaan koko ajan ja tiedot kerätään tietokantaan. Tärkeintä kuitenkin on tietää käytettävän öljyn ominaisuudet ja voitelukyky, jotta kunnossapitohenkilöstö voi tehdä tarvittavia toimenpiteitä vaurioiden välttämiseksi, mutta toisaalta välttää turhaa huollon tarvetta.

Voiteluöljyn käyttökunto, öljyn epäpuhtaudet ja moottorin kuluneisuus muodostavat symbioosin, jossa kaikki vaikuttavat kaikkeen.

- Epäpuhtaudet lisäävät osien kulumista.
- Epäpuhtaudet huonontavat öljyn laatua.
- Huono öljy huonontaa voitelua.
- Koneiston kuluminen lisääntyy.
- Lisääntyvä kuluminen ja öljyn laadun heikkeneminen lisää pienhiukkasten määrää.
- Öljyn laadun heikkeneminen kiihdyttää öljyn vanhenemista.



Kuva 9 Voiteluöljyn käyttökunto

Öljyn perusominaisuuksia analysoitaessa ensimmäiseksi tarkastellaan ulkonäkö, viskositeetti, kokonaishappoluku ja pienhiukkasten määrä. Öljyn ulkonäöstä voidaan pää-

tellä koneistossa mahdollisesti tapahtuneita normaalia poikkeavia tilanteita. Huomiota kiinnitetään öljyn väriin, sameuteen, pienhiukkasten määrään / kokoon sekä väriin.

Viskositeetti on öljyn perusominaisuus ja se on aina selvitettävä. Öljyn vanheneminen, hapettuminen ja runsas pienhiukkasten määrä voi nostaa viskositeettia hyvinkin voimakkaasti. Puolestaan esimerkiksi öljyn sekaan päässyt kevyt polttoaine voi laskea viskositeettia. Viskositeettimittaus suoritetaan 40 asteessa ja viskositeetti pienenee merkittävästi lämpötilan noustessa. Tästä syystä kenttämittaukset eivät yleensä ole kovin tarkkoja eikä niihin pidä luottaa. Aluksille myytävissä yksinkertaisimmissa öljyanalyysitestereissä on testilaite jolla voidaan määrittää suuntaa-antavasti öljyn viskositeettia vertaamalla öljyn valumisnopeutta samanlaatuiseen puhtaaseen öljynäytteeseen. Tarkka viskositeetti ja viskositeetti-indeksi tulee määrittää laboratoriokokein.

Pienhiukkasten määrä voidaan yksinkertaisimmin määrittää kaatamalla tietty määrä öljyä membraanikalvon läpi, josta punnitaan kalvolle jääneet hiukkaset ja suodattimen läpäissyt öljy. Tulos ilmoitetaan painoprosenttina. Pienhiukkasten määrää kokoa, muotoa ja materiaalia voidaan tutkia manuaalisesti mikroskoopilla. Näistä tuloksista voidaan päätellä onko kyseessä koneen kulumisen vai mahdollisesti koneiston ulkopuolelta järjestelmään päässeitä partikkeleita, jotka hankautuessaan kuluttavat koneistoa. Koneiston materiaaleista on syytä olla hyvin tietoinen, sillä esim. liukulaakereiden rakenne on kerroksittainen. Öljyn mukana kulkeutuvista pienhiukkasista saadaan tietoa laakereiden kuluneisuudesta. Tämä menetelmä vaatii kuitenkin tietoa liukulaakereissa käytetyistä materiaaleista. Käytännössä tämänkaltaiset testit suoritetaan laboratorio-olosuhteissa tarkemmilla laitteilla. Mikroskoopin lisäksi ICP-spektrometrillä ja PQ-analyysillä voidaan saada hyvä peruskäsitys öljyn seassa olevista hiukkasista, ja isoimpien hiutaleiden materiaaleja voidaan jopa pystyä tunnistamaan. Jos kulumemalleille suoritetaan spesifisempää tarkastelua, voidaan turvautua tribomonitoroinnin ja ferrografian lisäksi hiukkasten materiaaliakoostumusta analysoiviin skannaavaan elektronimikroskooppiin (SEM) tai röntgenfluoresenssispektrometriin (XRF). /1, s.9-14/ , /21, s.163–167/

Öljyn analysointiin käytettävät mittausmenetelmät riippuvat pitkälti suoritettavan analyysin laajuudesta ja paikasta. On luonnollista ettei aluksilla sijoiteta kalliisiin analysointilaitteistoihin, kun testattavien öljyjen määrät ovat kohtalaisen pienet ja testaustintervallit voivat olla laitteistoista riippuen jopa 12 kuukautta. Yksinkertaisia pe-

rustestereitä saa tosin hankittua aluksille kohtalaisen edullisesti, ja sellainen on hyvä olla kiireellisiä tilanteita varten. Yleisimmillä aluksilla käytettävillä öljyanalyysipaketeilla voidaan selvittää voiteluöljyistä viskositeettivertailu, vesipitoisuus, TBN, TAN sekä öljyn sekaan liukenemattomien partikkeleiden määrä. Testien teko edellyttää reagenttien käyttöä jolloin pienetkin mittavirheet voivat vaikuttaa saatavaan lopputulokseen suuresti. Testien tuloksia ei kannatakaan pitää ehdottomana totuutena ellei testejä pystytä toistamaan niin, että saadaan samoja tuloksia.

4.2 On-line

On-line-öljyanalyysillä tarkoitetaan jatkuvaa näytteenottoa. Järjestelmässä kiertävästä öljystä osa kierrätetään on-line-mittausjärjestelmän kautta ja palautetaan sitten takaisin kiertoon. Tällä menetelmällä tutkitaan vain osa öljystä, joten tulokset saadaan keskiarvona. Öljyä tutkitaan kuitenkin määrällisesti huomattavasti enemmän kuin laboratoriotutkimuksissa. On-line-mittaukset perustuvat hiukkaslaskentaan, eli partikkelien kokoon ja määrään. Tähän mittaukseen on kuitenkin helposti liitettävissä öljyn vesipitoisuuden mittaus, vesi on kuitenkin poistettava tutkittavasta öljystä, sillä se vääristää mittaustulosta. Voiteluöljyn seassa liikkuu aina pieniä hiukkasia, eikä kaikista epäpuhtauksista päästä ikinä eroon. Mikäli mittaustulokset antavat viitteitä suurempien tai pienempien kokoluokkien hiukkasten määrän lisääntymisestä, voi kunnossapitohenkilöstö tehdä tämän tiedon perusteella ratkaisuja alkavien vaurioiden välttämiseksi. Mikäli tietyn kokoluokan partikkelit lisääntyvät huomattavasti eikä sille osata antaa näillä tiedoilla riittävää selitystä, voidaan aina ottaa näyte laboratoriotutkimuksia varten, jolloin saadaan lisäksi tietoa partikkeleiden muodosta ja materiaalista. Näin saadaan ongelmasta lisätietoa ja voidaan ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin.

Huomioitavia seikkoja järjestelmää asennettaessa ovat seuraavat:

- Mittauslaitteen läpi kulkevan öljyn määrän tulee olla vakio, muuten mittaustulokset eivät ole tarkkoja. Mittalaite tarvitsee jatkuvan tasaisen öljyvirtauksen, eli mahdollinen paineen alentajan tai vaihtoehtoisesti oman pumpun.
- Öljyn seassa kulkeva ilma häiritsee mittauksia, joten se on poistettava. Vaihtoehtoina on paineennosto ja ilman erottaminen tai mahdollisesti molemmat vaihtoehdot, jotta saadaan luotettavia mittaustuloksia.

- Vesi tutkittavan öljyn seasta on eroteltava ennen öljyn virtausta mittalaitteelle. Vapaa vesi tai pahimmassa tapauksessa öljy-vesiseos aiheuttaa vääriä mittaustuloksia. Tämä antaa myös laajemman mahdollisuuden tutkia öljyä kun liitetään mittaukseen myös öljyn vesipitoisuuden mittausta.
- Mittauksessa havaittavat tulokset ja niiden muuttuminen kriittiseen suuntaan tulee laitteiston laukaista hälytys mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta kunnossapitohenkilöstölle jää riittävästi aikaa tarvittaville toimenpiteille ennen mahdollista moottorivauriota.
- Mittauslaitteen sensoreiden sijoituksella on merkittävä rooli tuloksissa. Riippuen siitä mitä halutaan mitata, sijoitetaan sensori oikeaan paikkaan, esim. suodattimien toimintaa tarkasteltaessa mitataan hiukkasten määrää suodattimien jälkeen, jolloin saadaan tieto suodattimien tehokkaasta toiminnasta tai vaihtoehtoisesti voidaan sensori asettaa ennen suodatinta niin tiedetään koneistossa tapahtuva kuluneisuus. /29, s. 24-26/

4.3 Off-line

Off-line menetelmällä öljystä otetaan näyte näytepulloon, näyte toimitetaan laboratorioon tutkittavaksi. Tällä menetelmällä on etuna tarkemmat ja kattavammat mittaustulokset sekä se, että samasta näytteestä voidaan vaivatta tehdä lukuisia eri analyysyjä. Analyysien suorittaminen voi parhaimmillaan kuulua voiteluöljyvalmistajan toimitussopimukseen, jolloin testaukset suorittaa monesti kolmas, puolueeton, osapuoli. Halutessa voi analyysyjä teetättää myös muilla yksityisillä laboratorioilla.

Käytetyt menetelmät voivat hieman erota toisistaan laboratoriokohtaisesti, mutta yleisimmin standardit määräävät pitkälti oikeat testaustavat. Laboratorioanalyysseissä käytettävien erilaisten pyyhkäisymikroskoppien ja hiukkasten elektronitason virittämiseen käytettyjen laitteistojen toimintaperiaatteen ymmärtäminen on alushenkilöstölle turhaa, vaan olennaisinta on ymmärtää että asioihin perehtyneiltä laboratorioilta saadaan tarkempia ja kattavampia analyysyjä kuin normaaleilla alusympäristöön tarkoitetuilla analyysipaketeilla.

Alla esimerkkläivan säätölappapotkurin hydraulioöljyn off-line-analyysin tulokset. Tuloksista selviää hydraulioöljyn olevan edelleen käytettävässä kunnossa ja suodatusjär-

jestelmän olevan riittävällä tasolla. Alushenkilökunta suorittaa visuaalista tarkkailua jatkuvasti ja seuraava näyte otetaan kuuden kuukauden kuluttua, jolloin tehdään seuraava öljyanalyysi, mikäli ei ole aihetta tutkia öljyä aikaisemmin.

Taulukko 3. Esimerkkilaivan säätölapapotkurin off-line-analyysitulokset

Sample Ref.	24-maj-14 SQ019486	19-jan-14 SQ004437	03-sep-13 SP035682	15-maj-13 SP021193	30-jan-13 SP007293	21-sep-12 SN047902
Lubricant Hours	9970	8493	6971	5926	4829	3561
Rating						
Colour	Dark Yellow	Yellow	Amber	Amber	Amber	Amber
Condition	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
AN (mgKOH/g)	0,56	0,54	0,52	0,52	0,52	0,51
Water (%vol)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
KV@40°C (cSt)	69,8	71,8	69,1	69,1	69,6	68,6
Elements (ppm)						
Aluminium (Al)	0	0	0	0	0	0
Calcium (Ca)	16	17	11	5	14	8
Chromium (Cr)	0	0	0	0	0	0
Copper (Cu)	1	0	1	1	0	1
Iron (Fe)	5	6	7	6	4	1
Lead (Pb)	6	6	6	1	3	0
Nickel (Ni)	2	0	0	0	0	0
Silicon (Si)	2	0	0	3	0	0
Sodium (Na)	2	0	0	0	3	1
Tin (Sn)	0	0	0	0	0	0

Esimerkkilaivan apukoneen voiteluöljyn off-line analyysin tulokset. Kyseistä öljyä ei ole vaihdettu aluksen historiassa. Öljy suodatetaan syväsuodattimilla, keskipakosuodattimella sekä BOLL-automaattisuodattimella. Lisäksi öljyä separoidaan säännöllisesti. Vaikka kyseessä on nelitahtimoottori, jolloin polttoaineen palamisjätteet pääsevät käytettävän öljyn sekaan, riittävällä suodatuksella saadaan pidettyä voiteluöljy riittävän puhtaalla tasolla, eikä ole tarvetta vaihtaa öljyä. Esimerkkialuksessa käytetään polttoaineena apukoneistossa kevyttä polttoainetta, mikä osaltaan selittää hyvät tulokset.

Taulukko 4. Esimerkkilaivan apukoneen voiteluöljyn off-line-analyysitulokset

Sample Ref.	21-jan-14 SQ004431	17-okt-13 SP042356	28-jul-13 SP031211	13-apr-13 SP016551	30-jan-13 SP007323	27-okt-12 SN053672
Lubricant Hours	9060	8046	7363	6224	5322	4339
Rating	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BN (mgKOH/g)	15	15	15	14,7	14,9	14,8
Insolubles (%wt)	0,38	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38
Water (%vol)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Flash Point (°C)	> 190	> 190	> 190	> 190	> 190	> 190
KV@100°C (cSt)	12,7	12,9	12,8	12,9	13	13
Elements (ppm)						
Aluminium (Al)	1	0	0	0	2	2
Chromium (Cr)	0	0	0	0	0	0
Copper (Cu)	0	0	0	0	0	1
Iron (Fe)	10	10	10	10	14	13
Lead (Pb)	0	0	0	0	0	0
Nickel (Ni)	0	0	0	1	0	0
Silicon (Si)	8	12	12	10	10	11
Sodium (Na)	3	2	1	2	4	3
Tin (Sn)	0	0	0	0	0	0
Vanadium (V)	0	0	0	0	0	0
Antimony (Sb)	0	0	0	0	0	0

4.3.1 Näytteenotto

Näytteenotto ei ole yksinkertainen asia, vaan kunnonvalvonnassa yksi kriittisimpiä kohtia. Mikäli näytteenotossa tulee huono näyte tai näyte ei vastaa todellisuutta, saatavat kustannukset olla merkittäviä. Näytteen analysointi maksaa ja analyysin tulosten vuoksi saatetaan ryhtyä turhiin toimenpiteisiin. Mikäli näytteen epäillään olevan huonolaatuinen, on parempi jättää näyte analysoimatta kokonaan.

Näytteenotto koneistosta, joka on käynnissä, saattaa olla vaikeaa, sillä laitevalmistaja ei välttämättä ole suunnitellut näytteenoton tarpeellisuutta. Mikäli näytettä ei voida ottaa koneiston käydessä, tulisi näyte kuitenkin ottaa mahdollisimman pian pysäytyksen jälkeen, kuitenkin viimeistään 20 minuutin kuluttua laitteiston pysäyttämisestä. Näytteenottoa helpottaa hyvä suunnittelu sekä se, että näytteenottovälineet ovat tarkoitukseenmukaisia ja puhtaita. Pitkään varastoitu käyttämätön näytepullo voi sisältää enem-

män pienhiukkasia kuin analysoitava öljy. Näytepulloa ei tulisi pestä suodattamattomalla hanavedellä, sillä se sisältää pienhiukkasia. Pienhiukkasia sisältävät myös apteekista saatavat antiseptiset lasipullot, sillä ne ovat ainoastaan steriilejä. Otettavan näytteen määrä vaihtelee siitä tehtävien analyysien määrästä ja laadusta 150–300 ml / analyysi, erikoisanalyysejä tehtäessä näytettä tarvitaan enemmän, esimerkiksi suorituskykyanalyysia tehtäessä. Näytepulloa ei kuitenkaan saa täyttää yli $\frac{3}{4}$ pullon tilavuudesta. Näyte tulisi ottaa säännöllisin väliajoin ja aina samasta paikasta, jotta analyysituloksia voidaan vertailla keskenään ja näin saadaan kattava historiatieto koneistosta. /30/ , /31,s.3-14/ Liitteestä 1 voidaan esimerkiksi katsoa Mobilin suosittelemat näytteenottovälit esimerkkilaivan eri järjestelmiin.

Jos laitevalmistaja on varustanut koneiston näytteenottohanalla, tulisi sen sijaita sellaisessa kohdassa, että otettavan näytteen öljy on kiertänyt koneessa suodattimien jälkeen. Tällöin saadaan parhaiten kierrossa olevia hiukkasia mukaan analysoitavaksi. Suodattimien ilmaushanoista saa myös otettua näytettä öljypumppujen käydessä, mutta tuolloin näyte ei vastaa niin hyvin todellista tilannetta kiertovoitelusta. Hydrauliikkajärjestelmistä näyte tulisi ottaa mieluiten paluukierrosta, ennen mahdollista paluusuodatinta, jotta saataisiin jälleen mahdollisimman paljon kierron partikkeleita analysoitavaksi. Näytteenotto tulee suorittaa aina samasta paikasta ja mahdollisuuksien mukaan samoissa olosuhteissa (koneisto käynnissä, samat käyttötunnit öljynvaihdoista).

4.3.2 Analyysipaketin valitseminen

Yleisimmin samat laboratoriot kykenevät tekemään kaikki yleisimmät analyysit, mukaan lukien alkuainetason analysoinnit, joten päätettäväksi jää vain miten laajan tutkimuksen haluaa tehtäväksi. Tässäkin asiassa on hyvä muistaa, että enempi ei ole aina parempi, vaan tärkeintä on löytää sopiva kompromissi analyysin laajuuden ja hinnan väliltä.

Analyysejä on monenlaisia ja sisältö vaihtelee palveluntarjoajan, öljyn laadun ja käyttötarkoituksen mukaan. Turhien analyysien teettäminen tuo aina kustannuksia, mutta toisaalta ilman analyysejä tai liian suppealla analyysillä ei saada luotettavia tuloksia. Analyysipaketin tulisi olla riittävän laaja, jotta saadaan tietoa öljyn todellisesta kunnosta ja selkeää tietoa päätöksentekoon. Tärkeintä olisi saada mahdollisimman tarkka vastaus seuraaviin kysymyksiin. Onko öljy käyttökunnossa, riittävän puhdasta ja löy-

tyykö öljyn seasta epäpuhtauksia sekä mikä on kulumistapa ja kulumisen määrä? /32 s. 1-2/

Yksinkertaisimmillaan analyysipaketit voidaan jaotella kunto- ja puhtausanalyysieihin. Kuntoanalyysillä kartoitetaan öljyn fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia kuten viskositeetteja, neutraloimislukuja, tiheyttä, leimahdus- ja jähmepisteitä, suodatettavuutta, vaahtoamista, ICP-lisäainepitoisuuksia, ilman ja veden erottuvuutta, pumpattavuutta sekä ruosteenesto- ja vedensietokykyjä. Puhtausanalyysit puolestaan käsittävät enemmänkin öljyyn kuulumattomien partikkeleiden analysoimista sekä öljystä erottuneiden lisäaineiden tarkastelua. Puhtausanalyysijä suoritettaessa voidaan käyttää lukuisia erilaisia menetelmiä joista osalla voidaan havaita hyvinkin pieniä magneettisia kulumapartikkeleita, kun taas toisilla analyysimenetelmillä ei välttämättä pystytäkään tutkimaan yhtä pieniä hiukkasia, mutta myös ei-magneettisia hiukkasia kuten kitkapolymeerejä ja perusöljystä erottuneita lisäaineita voidaan havaita. Tässäkin korostuu taas käytettävien oikeiden analyysimetodien tärkeys.

Tilaaja päättää haluamansa palvelut, mutta analyysilaboratoriot yleensä suosittelevat tiettyä testikokonaisuutta öljyn käyttökohteen mukaan. Valittavissa voi olla tuolloin kuinka laajan tutkimuksen haluaa tehdä. Jos samaa laboratoriota on käytetty pidemmän aikaa, voi asiantuntija suositella analyysiarvojen trendin mukaan tilanteeseen parhaiten sopivaa analyysikokonaisuutta.

4.4 Analyysien tulkitseminen

Yleisimmin analyysipaketit ovat kokonaisuuksia jotka pitävät tutkimusten lisäksi sisällään analyysin. Käytetystä laboratoriosta ja ostetusta palvelusta riippuu analyysin laajuus ja tulkinta. Analyysin tulkintamahdollisuuksia näytettä tutkivan osapuolen osalta rajoittaa tiedon puute. Vaikka koneistosta yleensä ilmoitetaankin näytteen mukana kohtalaisen laajalti malli- ja merkkietietoja sekä käyntiparametrejä, on analyysin tekeminen mahdotonta ilman kokonaisjärjestelmän tuntemusta ja käyttötapoja. Tästä syystä lopullinen tulkinta jää käyttäjän tehtäväksi ja vastuulle, laboratorio pyrkii tarjoamaan mahdollisimman hyvät puitteet siihen. Toisaalta mikäli käytetään öljyvalmistajan tarjoamaa öljyanalyysiä, on analyysin tekijällä huomattavan suuri tieto käytetyn öljyn alkuperäisistä ominaisuuksista ja lisäaineistuksesta, sekä tieto analyysien tekemisen jälkeen öljytuotteen käytönaikaisesta muutoksesta. Liitteen 2 analyysissä on

esimerkkilaivan yhdelle pääkoneelle tehdyn testin valmis analyysi. Analyysiin on merkitty tärkeimmät asiat selvästi, ja olennaisimmista arvoista on merkitty trendit. Lisäksi analyysiin on merkitty värigrafiikalla arvot jotka eivät ole enää suositustoleransien sisällä, ja joihin tulisi perehtyä. Varsinaisia toimintaohjeita ei tässä analyysissä ole annettu, mutta tutkimustulokset ovat selvästi esillä, ja niiden perusteella voidaan suunnitella jatkotoimenpiteitä.

Seuraavaksi on käyty läpi tavallisimpia analysoitavia asioita, sekä kerrottu asioita jotka voivat mahdollisesti aiheuttaa poikkeamia näihin arvoihin. On kuitenkin erittäin tärkeä huomioda, että tämä lista on tarkoitettu ainoastaan auttamaan lukijaa ymmärtämään, minkälaiset ongelmat voivat esimerkiksi aiheuttaa näiden arvojen muutoksen.

4.4.1 Tyypillisimmät epäpuhtaudet

POLTTOAINELAIMENTUMA (engl. fuel contamination)

Polttoainelaimentumalla tarkoitetaan tilannetta, jossa kiertovoitelujärjestelmän öljyyn sekoittuu palamatonta polttoainetta. Ongelma on yleisimmin havaittavissa polttoaineen kevyempiä tisleitä käyttävissä järjestelmissä (MGO, MDO). Laimentuma on yleisimmin seurausta epätäydellisestä palamisesta tai polttoainevuodosta koneen sisälle. Koska öljyn kevyet jakeet toimivat tehokkaana liuottimena, seuraa polttoainelaimentumasta viskositeetin alenema, joka vaikuttaa voitelun toimintaan lukuisien mekanismien kautta. Öljyn sekaan tullutta polttoainetta on lähes mahdoton poistaa, ja vian löydyttyä järjestelmien öljyt joudutaan lähes poikkeuksetta vaihtamaan. /33/

NOKI (engl. Soot)

Voitelujärjestelmien yksi olennainen tehtävä on sitoa epätäydellisen palamisen seurauksena muodostuvia palamisjätteitä kierrosta, jotta ne voidaan puhdistaa pois. Noki on yksi epätäydellisen palamisen selvimmistä indikaattoreista. Jos noen määrä yksittäisessä analyysissä on normaalia suurempi, voi selitys löytyä näytteenotto- ja öljynvaihdevälin yhteydestä, separaattorien tai suodattimien heikentyneestä toiminnasta tai mekaanisesta viasta. Jos syytä noen lisääntymiselle joudutaan etsimään mekaaniselta puolelta, kannattaa vikaa etsiä huonosti toimivista tai väärin säädetyistä polttoaineventtiileistä tai –ruiskutuspumpuista. Myös ohipuhallus lisää helposti noen määrää järjestelmässä, jolloin syy voi löytyä sylinteriputkista tai männänrenkaista. /33/

LIUKENEMATTOMAT EPÄPUHTAUDET (engl. insolubles)

Liukenemattomilla epäpuhtauksilla viitataan voiteluöljyn seassa oleviin kiinteisiin hiukkasiin, jotka ovat syntyneet mekaanisesti koneen voiteluöljykyierrossa tai joutuneet siihen järjestelmän ulkopuolelta. Tämä luokka pitää sisällään monia muita analyysillä havaittavia partikkeleita ja sitä voidaan pitää yleisenä indikaattorina voiteluöljyn likaisuudesta. /33/

SUURI HIUKKASMAÄRÄ

Öljyn suuri hiukkaslukumäärä on myös yleinen indikaattori voiteluöljyn likaisuudesta. Hiukkaslukumäärät ilmoitetaan yleensä eritellysti magneettisten ja ei magneettisten hiukkasten osalta. Ei magneettisia hiukkasia voi järjestelmään kertyä esimerkiksi jäähdytysvesivuotojen, vuotavien tiivisteiden tai huonosti suoritettujen huoltotoimien takia. Huono voiteluöljyn separointi ja suodatus voi olla myös selityksenä kasvaneelle hiukkaskuormitukselle. /33/

PQ-INDEKSI (engl. PQ index, Particle Quantifier index.)

PQ-indeksillä tarkoitetaan magneettisten hiukkasten lukumäärää voiteluöljyssä. Tällaiset metalliset epäpuhtaudet voivat viitata normaaliin tai normaalia voimakkaampaan kone-elinten kulumiseen. Suuri PQ-indeksi viittaa epänormaaliin metalliseen kulumiseen tai huonoon separointiin ja suodatukseen. Tämän arvon nousu on havaittavissa myös alkuaineanalyyseissä, joilla voidaan tarkemmin selvittää kulumametallit. /33/

UC-INDEKSI (engl. UC index)

UC-indeksi tarkoittaa öljyn sekaan liuenneiden submikroniepäpuhtauksien määrää. UC viittaa keskipakovoimaan perustuvaan testimenetelmään, *ultra centrifuge*. Näin voidaan havaita voiteluöljyn seassa olevat pienet epäpuhtaudet, kuten karstan esiasheet. Tällöin epäkohtiin voidaan puuttua hyvissä ajoissa ennen kuin ne näkyvät tavallisimmissa testeissä. /33/

VESIPITOISUUS (engl. water content)

Öljyn vesipitoisuus on helppo havaita testeissä jo pieninäkin pitoisuuksina, mutta toisinaan pitoisuudet voivat olla jopa niin pieniä että jäähdytysveden vesi haihtuu pois, ja ainoaksi merkiksi vesivuodosta jää jäähdytysveden seassa ollut käsittelykemikaali. Vesivuoto onkin monesti helpoin havaita suljetun jäähdytysvesijärjestelmän tyhjenemisestä. Vesi voi syrjäyttää öljyn voitelukohteessa, mikä aiheuttaa epätäydellisen voitelutehon, korroosiota tai vähentää lisäaineiden tehokkuutta. Lisäksi vesi vaikuttaa voiteluöljyn viskositeettiin muodostaessaan vesi-öljyemulsiota. /33/

4.4.2 Tyypillisimmät muutokset fyysisissä ja kemiallisissa ominaisuuksissa

KORKEA HAPPOLUKU / ALHAINEN EMÄSLUKU

Voiteluöljyssä voidaan nähdä olevan reserviemäksiä, joiden tehtävänä on neutralisoida öljyn sekaan muodostuvia happoja. Noiden happojen muodostuminen on normaalia ja näitä arvoja voidaan käyttää arvioitaessa öljyn jäljellä olevaa käyttöikää ja lisäaineistuksen tarvetta. Korkea happoluku ilmaisee öljyyn kertyneen suuria määriä öljylle haitallisia happoja. Syynä tälle voi olla esimerkiksi vesivuoto, ohipuhallus, korkearikkinen polttoaine, ylikuumentuminen, pieni öljyn kuluminen ja sitä kautta korvautuminen uudella öljyllä tai pitkä öljynvaihtoväli. /33/

NITRAUTUMINEN

Nitrautumista tapahtuu öljyn hajoamisen seurauksena, muodostaen öljyn sekaan karstaa. Muodostumismekanismeja on useampia, mutta taustalla ovat yleensä huono palaminen, palotilan puutteellinen huuhtelu tai normaalia voimakkaampi ohipuhallus. Nitrautuminen lisää happamien yhdisteiden määrää öljyssä joka on havaittavissa nousseena happolukuna. Lisäksi muodostuu normaalia voimakkaammin karstaa, joka voi johtaa venttiilien ja sylinterin nopeampaan kulumiseen, sekä öljyn saostumiseen. /33/

VISKOSITEETIN MUUTOKSET

Normaaleissa olosuhteissa öljyn viskositeetin tulee pysyä kohtalaisen samana, ja viskositeetin kasvaminen tai laskeminen indikoi ongelmia. Viskositeetti voi muuttua

esimerkiksi jos järjestelmään pääsee väärää öljyä. Tämänkaltaisen on onneksi harvinaista, mutta jo pienet määrät väärää öljyä voivat aiheuttaa viskositeetin muutoksen lisäksi myös muita, paljon vakavampia ongelmia. Normaali öljyn ikääntyminen on havaittavissa viskositeetin nousuna, kun taas viskositeetin lasku on yleisimmin seurausta joko polttoainelaimentumasta tai voiteluöljyn lisäaineiden leikkautumisesta. Normaalin ikääntymisen lisäksi voiteluöljyn viskositeettia voi nostaa huonon separoinnin tai suodatuksen seurauksena öljyyn kertyvät epäpuhtaudet ja vesi. /33/

4.4.3 Tyypillisimmät kulumametallit

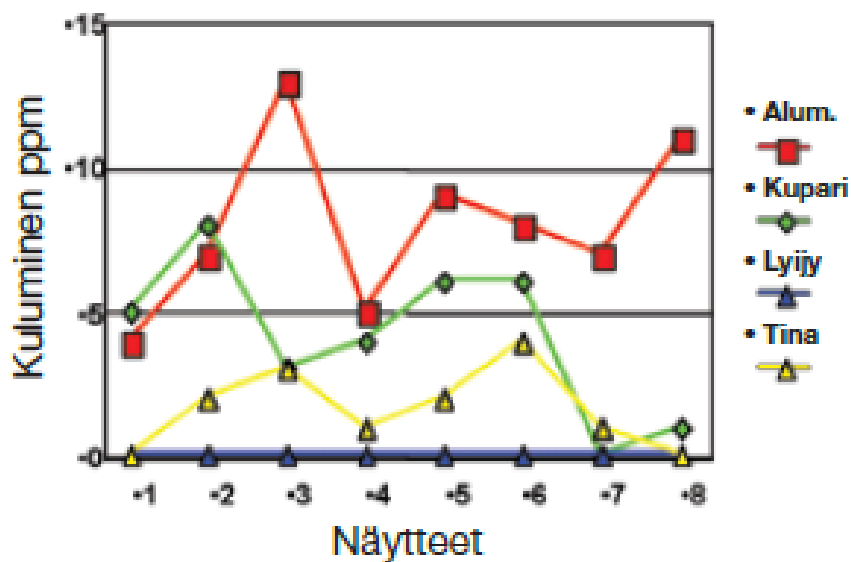
Alla olevaan listaukseen on kirjattu yleisimpiä kone-elimissä käytettyjä metalleja, joita havaitaan alkuaineanalyyseissä. Taulukko on koostettu ajatellen lähinnä perinteistä kiertovoitelujärjestelmää aluksella eli dieselmoottoria.

Taulukko 5. Kone-elimissä käytettävät metallit. /33/

Metalli	Käyttökohde
alumiini (Al)	Laakerit, laakeriholkit, männät, kotelot, polttoaine johdannainen.
antimoni	Laakerit
fosfori	Polttoaine johdannainen
kadmium (Cd)	Laakerit
kalsium	Voiteluaine johdannainen
kromi (Cr)	pakoventtiilit, sylinterivuori, männänrenkaat
kupari (Cu)	laakerit, tuubilämmönvaihtimet, vaihteisto, putkisto
magnesium	Kotelot, pesät, voiteluaine johdannainen
mangaani	Sylinterivuori
molybdeeni	Männänrenkaat
nikkeli	Laakerit, venttiilit, vaihteistot, polttoaine johdannainen
rauta (Fe)	sylinterivuori, lohko, kampi- ja nokka-akselit, männäntappi, vaihteisto, männänrenkaat

lyijy (Pb)	Laakerit
hopea (Ag)	Laakerit, laakeriholkit
tina (Sn)	Laakerit
titaani (Ti)	Laakerit, levylämmönvaihtimet

Taulukosta 4 voidaan huomata, kuinka montaa eri metallia esimerkiksi laakereissa voi olla. Käytetyt metallit ovat laitevalmistajakohtaisia, mutta nykyaikaisissa monikerroksisissa liukulaakereissa voidaan käyttää lukuisia eri metalleja, jolloin laitekohtaisen metallurgian ymmärrys korostuu. Kuvassa 10 on esimerkki alkuaineanalyysistä, jota voidaan tulkita, kun on riittävä tuntemus moottorissa käytössä olevista liukulaakereista. Sopivalla aikavälillä tehdyt öljyanalyysit muodostavat helposti luettavan trendin, josta voidaan varmistua kuluvien osien kuluvan sopivassa tahdissa ja samalla voidaan arvioida komponenttien jäljellä olevaa käyttöikää.



Kuva 10. Alkuaineanalyysin trendi. /33/

4.5 Suodatus

Puhdas öljy pidentää koneen käyttöikää ja parantaa suorituskykyä. Käyttämätön uusi öljy ei enää tänä päivänä sovellu moniinkaan koneistoihin ennen suodattamista. Usein käyttämättömästäkin öljystä löytyy epäpuhtauksia, kuten kiinteät (pienhiukkaset), nestemäiset (vesi) ja kaasumaiset (ilma) epäpuhtaudet. /32 s.1-2/

Suodatusmenetelmiä on tänä päivänä tarjolla useita vaihtoehtoja, kuitenkin yleisimmät suodatustyyppit ovat pintasuodatin ja syväsuodatin näiden hyvän suodatustehokkuuden ja taloudellisuuden johdosta. Moottoritekniikassa on kuitenkin yleistynyt merkittävästi näiden rinnalle myös keskipakosuodatin taloudellisuuden ja öljyä tiheämpien hiukkasten hyvän erottelukyvyn johdosta. Suodattimet toimivat parhaiten, kun paine ja virtausnopeus pysyvät vakiona.

Pintasuodattimessa suodatus perustuu sihtiin, joka erottelee tietyistä partikkelikoosta suuremmat kiinteät hiukkaset. Koska suodatus tapahtuu ainoastaan pintakerroksessa, suodattimen pidätyskapasiteetti on suhteellisen pieni ja näin ollen huoltoväli lyhenee. Suodatin sallii suhteellisen voimakkaan virtauksen suodattimen läpi. Suodatin on useimmiten metallinen verkko ja näin ollen pestävä sekä uusiokäytettävä.

Syväsuodatin on sokkelo, jossa useasta kerroksesta valmistettu kangas tai suodatinpatruuna toimii suodattimena poistaen kovia ja pehmeitä hiukkasia. Likainen öljy virtaa useimmiten suodatinpatruunan ulkopuolelta, jolloin suurimmat partikkelit jäävät suodattimen ulkokehälle ja suodatusaste paranee sisäänpäin mentäessä. Suodatin suodattaa myös suodatusastettaan pienempiä hiukkasia sekä vettä

Suodatusta vertailtaessa on hyvä muistaa käsitteet nimellinen suodatusaste ja absoluuttinen suodatusaste. Nimellinen suodatusaste poistaa vähintään 50 % ilmoitetusta suodatustehosta, esimerkiksi 100 µm nimellinen suodatin poistaa vähintään 50 % partikkeleista joiden koko on 100 µm, mutta suuri osa siis läpäisee suodattimen. Tälle menetelmälle ei ole ISO-standardia, joten suodattimia ei voi vertailla. Absoluuttinen suodatusaste ilmoittaa suurimman pallomaisen partikkelin, joka voi läpäistä suodattimen.

Luotettavin tapa mitata suodattimessa olevat partikkelit ja näin määrittää suodattimen vaihto-/puhdistusväli on mitata paine-ero ennen ja jälkeen suodattimen. Muita mene-

telmiä on esimerkiksi aikaan tai virtausmäärään perustuva suodattimen puhdistus. Suodatin voidaan varustaa myös ohivirtausventtiilillä, jolloin mahdollinen suodattimen tukkeutuminen ei keskeytä voitelua vaan öljy alkaa virrata riittävän painehäviön johdosta ilman suodatusta. Tällä menetelmällä öljyssä olevat epäpuhtaudet jatkavat kulkuaan kierrossa, mutta voitelu ei pysähdy kokonaan. /34, s. 13–17/, /23, s. 2-4/

Suodattimien lisäksi öljyjärjestelmän kunnossapidossa kannattaa kiinnittää huomiota säiliön puhtauteen, putkiston huuhteluun ja ilmasuodattimen kuntoon sekä kaikkinaiseen puhtauteen huoltotöiden yhteydessä. Säiliöön kerääntyy sedimenttiä, sekä erilaisista kasvustoista ajan saatossa, ja se on ensiarvoisen tärkeää poistaa. Säiliöiden ja pinnoitteen kunto kannattaa myös tarkastaa, sillä kiertovoitelujärjestelmässä pinnoitteen lohkeaminen ja kulkeutuminen voideltavaan kohteeseen osaltaan edesauttaa koneiston vikaantumista. Ilmansuodattimen vaihtoon tai tarkistukseen kannattaa myös kiinnittää huomiota, sillä suuri osa pienhiukkasista tulee järjestelmän ulkopuolelta

5 YHTEENVETO

Öljyanalyysit ovat loistava keino suorittaa käytönaikaista kunnonvalvontaa alusympäristössä. Säännöllisesti suoritettavat analyysit tarjoavat oikein toteutettuna kiistatonta tietoa sekä öljyn että niitä koskehtavan koneiston kunnosta ja jopa taloudellisuudesta ja käyntiparametreista. On kuitenkin huomioitava, että huonolla näytteenottotekniikalla ja ajattelemattomuudella voidaan analyyseihin tuhata tarpeettomasti rahaa saavuttamatta mitään hyötyjä. Vaikka itse näytteenotto olisikin tarkoituksenmukaista ja hyvin suunniteltua, on olennaisinta osata tulkita takaisin saatuja tuloksia ja kyetä toimimaan niiden perusteella oikein. Öljy-yhtiöiltä voi saada tässä asiassa apua, mutta tärkeintä on henkilöstön taito osata lukea analyysejä. Tuon asian tukemiseksi aluksilta löytyy omien kokemuksieni mukaisesti vain vähän materiaalia, jolloin tämä työkalu menettää hieman käyttökelpoisuuttaan. Parhaimmillaan analyysipaketit voivat sisältää myös kirjallisen analyysin, johon on suositeltu toimenpiteitä tuloksien perusteella, mutta parhaimmillaan tilanne olisi, jos laitteistokokonaisuudet tunteva henkilöstö pystyisi tekemään nuo analyysit.

Öljyanalyysien voidaankin mielestäni nähdä olevan tehokkaimmillaan tuomaan esiin piileviä vikoja järjestelmissä, jolloin voidaan välillisesti selvitä halvemmalla korjaavalla kunnossapidolla, kun nuo ongelmat havaitaan ja niihin puututaan ajoissa.

LÄHTEET

- 1 Lauhikari, Mari. 2010. Online-öljyanalyysimittalaitteen merkitys Sendzimir-valssaimen kunnossapito- ja laatukustannuksiin. Opinnäytetyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/23660/Lauhikari_Mari.pdf?sequence=1
[viitattu 5.2.2014].
- 2 Kunnossapito. Menestystekijä. Opetushallitus. Saatavissa:
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e01_voiteluaineet_perusteet.html [viitattu 15.3.2014].
- 3 Amsoil-verkkosivut. Saatavissa:
http://www.weareoil.com/basic_concepts_of_friction_and_lubrication.htm [viitattu 3.10.2014].
- 4 Öljyalan keskusliiton verkkosivut. Saatavissa:
<http://www.oil.fi/fi/oljytuotteet/voiteluoljyt> [viitattu 4.3.2014]
- 5 Kivioja, Seppo , Kivivuori, Seppo & Salonen Pekka 2007, Tribologia- kitka, kuluminen ja voitelu, 5. painos, Helsinki: Otatieto, 2007.
- 6 Kunnossapito. Menestystekijä. Opetushallitus. Saatavissa:
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e01_voiteluaineet_perusteet.html [viitattu 20.2.2014].
- 7 Wärtsilä 46, käyttöohjekirja
- 8 Holmberg, Andersson & Erdemir 2012. Kitkahäviöt henkilöautoissa energiankäytön ja CO₂-päästöjen vähentämismahdollisuudet. Luentomateriaali VTT. Saatavissa:
<http://www.vtt.fi/files/news/2012/kitka/kitkahaviot.pdf> [viitattu 6.10.2014].
- 9 Teboil Oy:n verkkosivut Saatavissa:
<http://www.teboil.fi/tuotteet/voiteluaineet/yleista-voiteluaineista/hydrauliikkaoljyn-valintaperusteita/> [viitattu 13.4.2014]

10 Hyvämäaa Oy / Öljytukku-yrityksen verkkosivut, Saatavissa:

http://www.hyvamaa.fi/pdf/shell/teollisuusoljyt_turbiini/GPCDOC_X_cbe_26680_kely_140003483906_201003230534_T_68.pdf [viitattu 8.1.2014].

11 Atlas Copcon yrityksen verkkosivut. Saatavissa:

<http://www.atlascopco.com/usus/navigationbyservice/ctservices/service.aspx?id=1773631&productgroupid=1769181> [viitattu 22.2.2014].

12 Castrol Marinen tuote-esite. Saatavissa:

[http://msdspds.castrol.com/bpglis/FusionPDS.nsf/Files/6A68846EB1CEC9C280257A1E004E7B1A/\\$File/BPXE-8LVLM5_0.pdf](http://msdspds.castrol.com/bpglis/FusionPDS.nsf/Files/6A68846EB1CEC9C280257A1E004E7B1A/$File/BPXE-8LVLM5_0.pdf) [viitattu 26.3.2014].

13 Fuchs Lubritech-yrityksen verkkosivut. Saatavissa:

http://www.fuchslubricants.com/Content/downloads/14858_Refrigeration%20Oils%20Brochure.pdf [viitattu 14.10.2013].

14 Teboil Oy:n verkkosivut. Saatavissa:

<http://www.teboil.fi/tuotteet/voiteluaineet/ajoneuvot/voimansiirtooljyt/> [viitattu 9.10.2014].

15 Aalto-yliopiston Noppa-portaali, kurssimateriaali, laivan konejärjestelmät 2. Saatavissa:

https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/kul-24.4410/materiaali/Kul-24_4410_oppikirjan_lluku_2.pdf [viitattu 9.10.2014].

16 KOPPA, Jyväskylän yliopiston avoin materiaali. Saatavissa:

<https://koppa.jyu.fi/avoimet/kemia/kems448/suomeksi/ohjeet/liuokset/viskositeetti> [viitattu 4.3.2014].

17 OpenStax-CNX:n verkkosivut. Saatavissa: <http://cnx.org/content/m42209/latest/> [viitattu 6.1.2014].

18 Teboil Oy:n verkkosivut. Saatavissa:

<http://www.teboil.fi/tuotteet/voiteluaineet/yleista-voiteluaineista/perustietoa-voiteluaineista/> [viitattu 6.3.2014].

19 ExxonMobil-tuoteluettelo. Saatavissa: http://www.mobil.fi/Finland-Finnish/LCW/Files/Mobil_product_catalogue.pdf [viitattu 3.10.2014].

20 Aalto-yliopiston kurssimateriaali. Saatavissa: <http://tfy.tkk.fi/kurssit/Tfy-3.15x/Teoria/tyo9.pdf> [viitattu 19.12.2013].

21 Oy Colly Company Ab, Suodatin Uutiset 3/2007. Saatavissa: http://www.colly.fi/files/colly/pdf/asiakaslehti/SuodatinUutiset_307_67.pdf [viitattu 8.9.2014].

22 North Texas Norton owners association, verkkosivut. Saatavissa: <http://www.ntnoa.org/enginebreakin.htm> [viitattu 3.10.2014].

23 HyXo Oy:n esite. Saatavissa: http://www.hyx.com/brochure/suodatusvihko_pieni1.pdf [viitattu 28.1.2014].

24 BOLLFILTER-yrityksen verkkosivut. Saatavissa: http://bollfilterindia.com/fi/1_Produkte/2_Doppelfilter/42_doppelfilter2055.html [viitattu 3.10.2014].

25 FSI energy group inc. verkkosivut. Saatavissa: <http://fsigroup.ca/technologies/bollfilter> [viitattu 3.10.2014].

26 Aarnio, Markku, 2007 Teollisuusvoitelu: käsikirja, 5. Helsinki: KP-Media Oy

27 Hydrauliiikka ja voitelujärjestelmien kunnonvalvonta. O + P -lehti 4/2005. Saatavissa: http://www.hydac.fi/pdf/uutiset/Hydrauliiikka_ja_voitelujarjestelmien_kunnonvalvonta_OP.pdf [Viitattu 13.1.2014].

28 FLUID Finland 4/2004. Saatavissa: <http://www.fluidfinland.fi/wp-content/uploads/2012/01/1.Anturit-ja-mittauslaitteet-%C3%B6ljyjen-kunnonvalvonnassat.pdf> [viitattu 14.1.2014].

29 FLUID Finland – lehti 1/2010. Saatavissa: http://issuu.com/sly_flash/docs/fluid_1_2010/26 [viitattu 19.1.2014].

30 Fluidlab Oy. Yrityksen verkkosivut. Saatavissa:

<http://www.fluidlab.fi/naytteenotto/naytteenotto-ohjeet> [viitattu 21.1.2014].

31 Signum öljyanalyysi, kunnonvalvonnan perusteet. Saatavissa:

<http://www.exxonmobil.com/signum-english/Files/signum-oil-analysis-condition-monitoring-fundamentals-finland.pdf> [viitattu 21.1.2014].

32 Suodatin uutiset 2/2008. Saatavissa:

http://www.colly.fi/files/colly/pdf/asiakaslehti/SuodatinUutiset_208_6_8.pdf [viitattu 31.1.2014].

33 ExxonMobil Finland Oy Ab. 2008. Signum öljyanalyysi – Kunnonvalvonnan perusteet.

34 Clean Oil Guide. Puhtaan öljyn opas. Saatavissa: http://www.teknoma.fi/dev/wp-content/uploads/Clean_Oil_Guide_FIN.pdf [viitattu 28.1.2014].

Sample Point Registration Report

Date Printed:
Account Name:

Vessel Name:
Vessel Number:

<u>Equipment #</u>	<u>Description</u>	<u>Make / Model</u>	<u>Lubricant</u>	<u>Sampling Freq.(days)</u>	<u>Last Updated</u>	<u>By</u>
001	Main Engine No.1	WARTSILA SULZER / ZA 40S	MOBILGARD M440	90	07-Aug-2010	SADMIN
002	Main Engine No.2	WARTSILA SULZER / ZA 40S	MOBILGARD M440	90	07-Aug-2010	SADMIN
003	Main Engine No.3	WARTSILA SULZER / ZA 40S	MOBILGARD M440	90	07-Aug-2010	SADMIN
004	Main Engine No.4	WARTSILA SULZER / ZA 40S	MOBILGARD M440	90	07-Aug-2010	SADMIN
005	Reduct. Gear STBD	LOHMAN & STOLTERFOHT / NOT IDENTIFIED	MOBILGEAR 600 XP 150	120	23-Jul-2010	SADMIN
006	Reduct. Gear PORT	LOHMAN & STOLTERFOHT / NOT IDENTIFIED	MOBILGEAR 600 XP 150	120	23-Jul-2010	SADMIN
007	CP-Propeller STBD	ULSTEIN / NOT IDENTIFIED	MOBIL DTE 10 EXCEL 68	120	23-Jul-2010	SADMIN
008	CP-Propeller PORT	ULSTEIN / NOT IDENTIFIED	MOBIL DTE 10 EXCEL 68	120	23-Jul-2010	SADMIN
009	Stemtube STBD	BLOHM & VOSS / SIMPLEX	MOBILGARD M440	120	08-Aug-2010	SADMIN
010	Stemtube PORT	BLOHM & VOSS / SIMPLEX	MOBILGARD M440	120	08-Aug-2010	SADMIN
011	Aux. Engine No.1	WARTSILA DIESEL OY / VASA 22	MOBILGARD M440	90	07-Aug-2010	SADMIN
012	Aux. Engine No.2	WARTSILA DIESEL OY / VASA 22	MOBILGARD M440	90	23-Jul-2010	SADMIN
013	Steering Gear STBD	FRYDENBO MJOLNER / HS 187	MOBIL DTE 10 EXCEL 68	120	23-Jul-2010	SADMIN
014	Steering Gear PORT	FRYDENBO MJOLNER / HS 187	MOBIL DTE 10 EXCEL 68	120	23-Jul-2010	SADMIN
015	Ro-Ro Hydr. System	MACGREGOR-NAVIRE AB / NOT IDENTIFIED	MOBIL DTE 10 EXCEL 32	120	23-Jul-2010	SADMIN
016	Mooring Winch FWD	NORWINCH A/S / NOT IDENTIFIED	MOBIL DTE 10 EXCEL 46	120	23-Jul-2010	SADMIN
017	Mooring Winch AFT	NORWINCH A/S / NOT IDENTIFIED	MOBIL DTE 10 EXCEL 46	120	23-Jul-2010	SADMIN
018	Bow Thruster No.1	ULSTEIN / NOT IDENTIFIED	MOBILGEAR 600 XP 100	120	10-Aug-2010	SADMIN
019	Bow Thruster No.2	ULSTEIN / NOT IDENTIFIED	MOBILGEAR 600 XP 100	120	08-Aug-2010	SADMIN
020	Stem Thruster STBD	ULSTEIN / NOT IDENTIFIED	MOBILGEAR 600 XP 100	120	10-Aug-2010	SADMIN
021	Stem Thruster PORT	ULSTEIN / NOT IDENTIFIED	MOBILGEAR 600 XP 100	120	23-Jul-2010	SADMIN

SIGNOM
O I L A N A L Y S I S

Account Number :
Account Name :
IMO Number :
Vessel Name :
Equipment Number 004

Date :
Description :
Application Type :
Manufacturer :
Model :
Registered Lubricant :

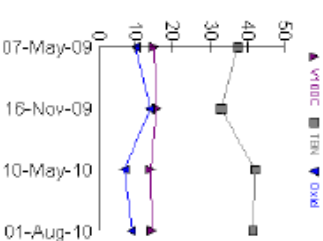
Normal

Comments: No action is required on oil or engine. - Results are within acceptable ranges. - Examining progressive changes and monitor results for changing trends. - Sample at next scheduled interval.

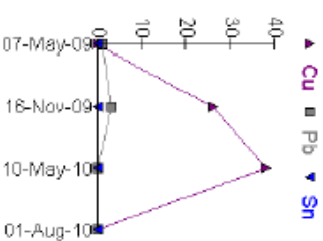
Sample Data

Sample ID	01-Aug-2010	10-May-2010	16-Nov-2009	07-May-2009
Date Sampled	01-Aug-2010	10-May-2010	16-Nov-2009	07-May-2009
Date Reported	10-Aug-2010	21-May-2010	26-Nov-2009	26-May-2009
Date Received	06-Aug-2010	19-May-2010	24-Nov-2009	22-May-2009
Date Landed	02-Aug-2010	11-May-2010	21-Nov-2009	09-May-2009
Port Landed	LUBECK	GENOVA	GENOVA	GENOVA
Lubricant Tested	MGARD M440	MGARD M440	MGARD M440	MGARD M440
Total Equip. Hrs.	83976	86151	83098	79669
Hrs. Sin. Overhaul				70500
Oil Service Hrs.				79669
Oil Vol.	6000	7000	7000	7000
Oil Used / 24 Hrs.	100	140	140	140

Viscosity



Elements



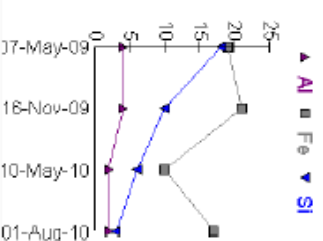
Sample Data

Sample ID	01-Aug-2010	10-May-2010	16-Nov-2009	07-May-2009
Date Sampled	01-Aug-2010	10-May-2010	16-Nov-2009	07-May-2009
Wear Elements - ppm (mg/kg)				
Ag (Silver)	0	0	0	0
Al (Aluminum)	2	2	4	4
Cr (Chromium)	0	0	1	1
Cu (Copper)	0	38	28	0
Fe (Iron)	17	10	21	19
Mo (Molybdenum)	0	0	2	2
Ni (Nickel)	24	17	33	24
Pb (Lead)	0	0	3	1
Sn (Tin)	0	0	0	0

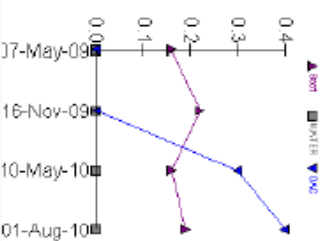
Lubricant Data

Contamination	Normal	7482	7482	Normal
Equipment Rating	Normal	7482	7482	Normal
Oil Rating	Normal	7482	7482	Normal
Viscos@100C (cst)	14.5	14.1	15.7	15.1
SAE Viscosity	40	40	40	40
PFlash Pt. (SETA)	> 200	> 200	> 200	> 200
Oxidation (Abcm)	9	7	14	10
PQ Index	2	2	2	2
DAC (%Asphalt.)	0.4	0.3	0.22	0.16
Soot (Wt%)	0.19	0.16	0.22	0.16
TBN (mg KOH/gm)	41.5	42.1	32.9	37.4
Water (Vol%)	Not Detected	Not Detected	Not Detected	Not Detected

Elements



Lubricant



Contaminant Elements - ppm (mg/kg)

B (Boron)	0	0	0	1
K (Potassium)	2	2	6	0
Na (Sodium)	19	21	33	13
Si (Silicon)	3	6	10	18
V (Vanadium)	56	39	79	60