

Ari Nieminen

# Voiteluhuollon taloudellinen selvitys

## Helen Oy:ssä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

5.4.2017

Tekijä Otsikko	Ari Nieminen Voiteluhuollon taloudellinen selvitys Helen Oy:ssä
Sivumäärä Aika	38 sivua + 6 liitettä 5.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotantotekniikka
Ohjaajat	Johtava asiantuntija Jarmo Ivaska Lehtori Pekka Salonen
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin voiteluhuollon toimintaa Helen Oy:ssä. Yritys tarvitsi selvityksen voiteluhuollon tilanteesta ja mahdollisuuksista parantaa sen taloudellisuutta.</p> <p>Työn tavoitteena oli saada käsitys voiteluhuollon toteuttamisesta eri voimalaitoksilla ja selvittää niiden yhteneväisyyksiä ja eroja. Työssä käytiin läpi voiteluhuollon toteutustapoja ja voiteluaineiden teknisiä ominaisuuksia sekä tehtiin niiden keskinäistä vertailua. Tavoitteena oli saada taloudellista hyötyä löytämällä edullisempia tapoja voiteluhuollon toteutukseen joko toimintaa muuttamalla tai löytämällä korvaavia, edullisempia voiteluaineita. Nämä säästötoimenpiteet eivät kuitenkaan saisi laskea toimintavarmuutta.</p> <p>Työn lopputuloksena löytyi keinoja laskea kustannuksia ja säilyttää toiminta luotettavalla tasolla voiteluhuollon osalta.</p>	
Avainsanat	Voitelu, voiteluaineet

Author Title	Ari Nieminen The Financial Analysis of Lubrication Maintenance in Helen Ltd
Number of Pages Date	38 pages + 6 appendices 5 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Production Engineering
Instructors	Jarmo Ivaska, Chief Specialist Pekka Salonen, Senior Lecturer
<p>The goal of this Bachelor's thesis was to examine lubrication maintenance operations. This thesis was commissioned by Helen Ltd. The company required a study of the current situation of lubrication maintenance and the possibilities to improve its economic efficiency.</p> <p>The main objective of this study was to examine how the lubrication maintenance processes are carried out at different power plants and to clarify their similarities and differences. This study describes how to perform different lubrication maintenance operations, and the technical differences of lubricants are analyzed as well. Furthermore, a respective comparison of the lubricants was carried out. The objective was to gain financial benefits by finding more economical practices of carrying out the lubrication maintenance operations either by altering the procedures or by finding alternative, more cost-effective lubricants. Nevertheless, these economic measures should not decrease operational reliability.</p> <p>As a result, solutions were suggested in order to reduce the expenses and to maintain the operational reliability on a guaranteed level.</p>	
Keywords	Lubrication, lubricants

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Helen Oy	2
2.1	Historia	2
2.2	Tuotantolaitokset	2
3	Voiteluhuolto	4
3.1	Kulumismekanismit	4
3.2	Voitelumekanismit	5
4	Voiteluaineet ja niiden käyttö	8
4.1	Voiteluöljyt	8
4.1.1	Viskositeetti ja viskositeetti-indeksi	8
4.1.2	Leimahdus- ja jähmepiste	11
4.1.3	Kokonaisemäsluku	11
4.1.4	Muut tärkeät ominaisuudet	11
4.2	Lisäaineistus	11
4.2.1	Korkeapainelisäaineet	12
4.2.2	Kulumisenestolisäaineet	12
4.2.3	Hapettumisenestolisäaineet	13
4.2.4	Puhtaana pitävät lisäaineet	13
4.2.5	Viskositeetti-indeksin parantajat	13
4.2.6	Vaahtoamisenestolisäaineet	14
4.3	Voitelurasvat	14
4.4	Voiteluaineen valinta	16
4.5	Voiteluhuollon toteutus	18
4.6	Voiteluaineen kunnonvalvonta	20
4.6.1	Kiintoaineet öljyssä	20
4.6.2	Vesi öljyssä	22
4.6.3	Valvontamenetelmät	22
5	Voiteluhuollon kustannukset	25
5.1	Voiteluaineet	25

5.2	Suodatinjärjestelmät	26
5.3	Öljyanalyysit	27
5.4	Muut kustannukset	27
6	Voiteluhuollon vertailu	28
6.1	Testit ja analyysit	28
6.1.1	FZG-hammaspyörätesti	30
6.1.2	Neljän kuulan koe	32
6.1.3	Timken OK	33
6.1.4	Hapettumisarvot, korroosionkesto ja viskositeetti	33
6.2	Öljyjen vertailu	34
7	Yhteenveto	36
	Lähteet	37
	Liitteet (Vain työn tilaajan käyttöön)	
	Liite 1. Voiteluöljyjen hinnat	
	Liite 2. Voitelurasvojen hinnat	
	Liite 3. Öljyanalyysien hinnat ja määrät	
	Liite 4. Öljyjen hintojen vertailu	
	Liite 5. Öljyjen teknisten ominaisuuksien vertailu	
	Liite 6. Toimenpide ehdotukset	

## 1 Johdanto

Taloudellisen tilanteen kiristyminen maailmanlaajuisesti aiheuttaa yrityksille paineita tehostaa toimintaansa joka osa-alueella. Kustannustehokkuuden etsiminen eri osa-alueilta auttaa parantamaan yrityksen kokonaistehokkuutta.

Voiteluhuolto on mekaanisen huollon osa-alueena ollut ajoittain aliarvostettu ja niin sanottu ”pakollinen paha”. Nykyisin voiteluhuollon merkitys käyttövarmuudessa on saavuttamassa uutta arvostusta ja sen kehittämiseen on alettu kiinnittämään huomiota. Sekä voiteluaineiden että seurantamenetelmien kehittyminen mahdollistavat kustannusten pienentämisen voiteluhuollon järjeistämisen ja tehostamisen kautta.

Tässä insinööriyössä pyritään tutkimaan yrityksen voiteluhuollon tehostamista hankintakustannusten ja tuotevalikoiman yhtenäistämisen kautta. Tarkoituksena on selvittää käytetyt voiteluaineet ja niiden määrät, sekä mahdollisesti voiteluaineiden korvattavuus toisella, jolloin voidaan vähentää nimikkeiden määrää tai korvata niitä edullisemmalla tuotteella.

## 2 Helen Oy

Tutkimuksen kohteeksi on valittu Helen Oy:n voimalaitosten ja kaukolämpölaitosten vuorokauden huolto.

### 2.1 Historia

Helen Oy:n historia alkaa vuodesta 1909, kun kaupungin erilliset pienet sähköyhtiöt siirrettiin kaupungin omistukseen ja Helsingin kaupungin kunnallinen sähkölaitos perustettiin. Samana vuonna aloitti toimintansa Suvilahden voimalaitos. Yhtiön nimi muuttui vuonna 1977 Helsingin kaupungin energialaitokseksi. Tällöin olivat voimalaitoksista käytössä Salmisaaren A- ja Hanasaaren A- ja B- voimalaitokset. 1995 yhtiön nimi muuttui Helsingin Energiaksi ja Vuosaaren maakaasuvoimala oli aloittanut toimintansa. Helsingin Energia yhtiöitettiin kaupungin hallituksen päätöksellä 1.1.2015 ja toimintaa jatkoi Helen Oy. Käytössä ovat kaukolämpövoimalaitokset Hanasaassa, Salmisaassa ja Vuosaassa. Lisäksi on käytössä 10 kiinteää huippulämpölaitosta sekä Katri Valan lämpöpumppaamo. (Tietoa yrityksestä 2017.)

### 2.2 Tuotantolaitokset

Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitokset ovat kivihiihokombilaitoksia, joissa käytetään myös sekapolttoa, eli kivihiihien sekaan jauhetaan puupellettejä. Vuosaaren voimalaitokset ovat kaasukombilaitoksia, joissa polttoaineena on maakaasu. Taulukossa 1 on esitetty laitosten sähkö- ja kaukolämpöteho megawatteina ja vastaavat vuosituotannot gigawattitunteina. (Tietoa yrityksestä 2017.)

Taulukko 1. Voimalaitosten teho ja vuosituotanto (Tietoa yrityksestä 2017)

	Hanasaari	Salmisaari	Vuosaari
Sähkäteho	220	160	630
Kaukolämpöteho	420	300	580
Sähkön vuosituotanto	710	630	3500
Kaukolämmön vuosituotanto	1278	1286	3211

Pienempiä kaukolämpölaitoksia, joilla tasataan kaukolämmön kulutushuippuja, on 11 kpl. Polttoaineena näillä laitoksilla on maakaasu tai polttoöljy ja yhteisteho on 2200 MW. Myös lämpöakkuja voidaan käyttää tuotannon tasaamiseen, jolloin pienemmän kulutuksen aikana akku vartaan lämpöenergialla, josta se voidaan kulutushuipun aikana purkaa. (Tietoa yrityksestä 2017.)

Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitokset eroavat Vuosaaren voimalaitoksesta lähinnä polttoaineensa ja tätä kautta kaukolämmöntuotantotekniikan ansiosta. Voiteluteknisesti hiilen ja pelletin poltto tuo lisää haasteita. Vuosaassa toimintaympäristö on puhtaampi ja kuljetinjärjestelmät puuttuvat. Lisäksi Salmisaaren hiililuolissa vallitsevat olosuhteet voivat olla hyvin vaativia laitteistoille ja voiteluaineille. Hanasaassa voideltavia kohteita on noin 670, Salmisaassa 320 ja Vuosaassa 250 kpl. (Iivonen 2016; Louhe 2017; Valkama 2017.)



### 3 Voiteluhuolto

Perusedellytys konejärjestelmien käyttövarmuudelle on oikeaoppinen voitelu. Tehokas voitelu vähentää kitkaa, kohottaa suoritustehokkuutta ja pidentää laitteiden elinikää vähentämällä kulumista. Lisäksi voitelua voidaan käyttää jäähdyttämiseen, korroosioon, epäpuhtauksien estämiseen ja poistamiseen sekä värähtelyjen vähentämiseen. Näin tehokkaalla voitelulla voidaan saavuttaa merkittävää taloudellista hyötyä. (Niemelä 2013: 11; Asp ym. 2016.)

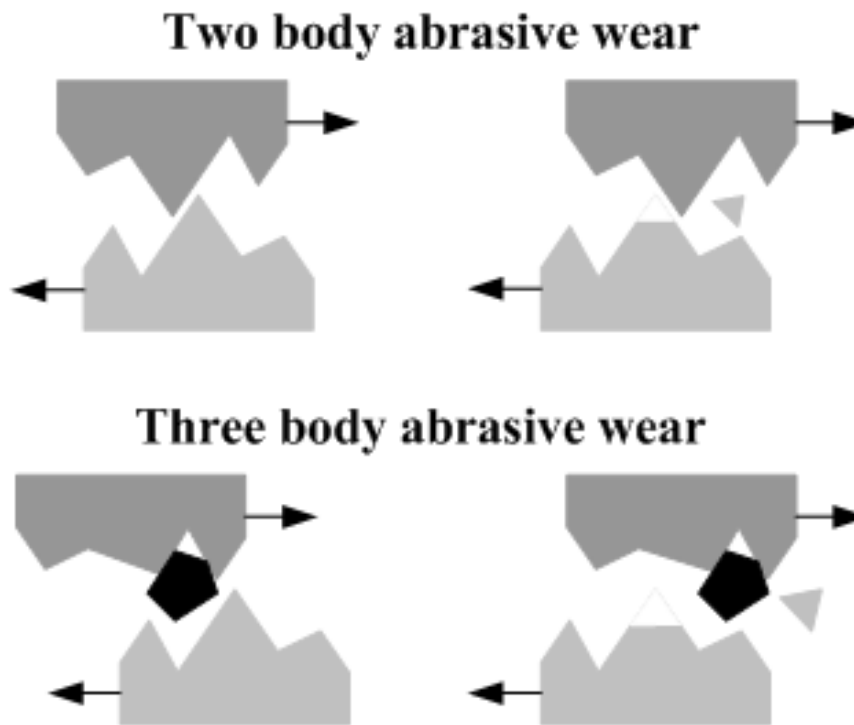
#### 3.1 Kulumismekanismit

Kulumismekanismit jaotellaan yleisesti abrasiiviseen kulumiseen, adhesiiviseen kulumiseen, tribokemialliseen kulumiseen ja väsymiskulumiseen (Niemelä 2013: 15). Näistä mekanismeista abrasiivinen kulumisen kattaa noin 55 % ja loput kolme mekanismia 15 % kukin. Vaikka kulumismekanismit esitetään yleisesti erillisinä, käytännön kulumistilanteissa vaikuttaa kuitenkin useita mekanismeja samaan aikaan, peräkkäin tai vuorotellen, mikä vaikeuttaa kulumisennusteiden ja teoreettisten mallien laadintaa. (Parikka & Lehtonen 2000: 5.)

*Adhesiivinen eli tartuntakuluminen* perustuu atomi- sekä kitkaliitoksiin. Kahden pinnan välisessä kontaktissa paine niiden välillä kasvaa ja tapahtuu pintojen plastisoitumista. Tällöin pinnat tahmautuvat toisiinsa eli kylmähitsautuvat. Jos liitoksia syntyy samaan kohtaan toistuvasti, se aiheuttaa paikallista lämmön nousua, jolloin materiaalin kovuus vastaavasti laskee. Tämän jälkeen tahmautumista alkaa tapahtua entistä enemmän. Jos syntynyt liitos repeää alkuperäisten pintojen rajapinnasta, ei pääse syntymään kulumispartikkeleja. Pahemmassa tapauksessa repeämä syntyy jommankumman materiaalin puolelle ja varsinainen kuluminen alkaa. Seurauksena on irtopartikkelien syntyminen pintojen väliin, jolloin kuluminen kiihtyy abrasiivisen kulumisen alkamisen myötä. (Kivioja ym. 2010: 104–107; Parikka & Lehtonen 2000: 7–8.)

*Abrasiivisessa eli hiovassa kulutuksessa* pinnankarheuden huiput tai vastinpintojen väliin jääneet kovat hiukkaset kuluttavat pintoja. Yleensä kuluminen alkaa ensin huipuista kahden kappaleen kulumisena ja muuttuu sitten kolmen kappaleen kulumiseksi, kun irronneet palat jäävät vastinpintojen väliin lisäten hiontaa. Kahden ja kolmen kappaleen

välinen kuluminen on esitetty kuvassa 1. Myös kulkeutuneet epäpuhtaudet saattavat käynnistää abrasiivisen kuluminen. (Kopeliovich 2016; Niemelä 2013: 15–16.)



Kuva 1. Abrasiivinen kuluminen kahden ja kolmen kappaleen välillä (Kopeliovich 2016)

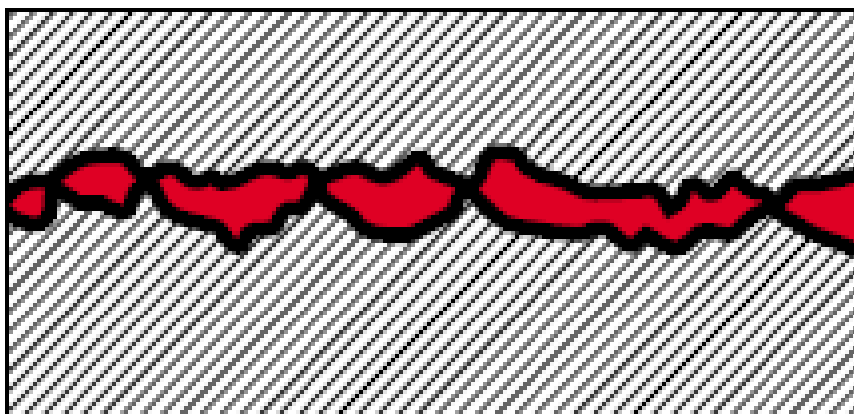
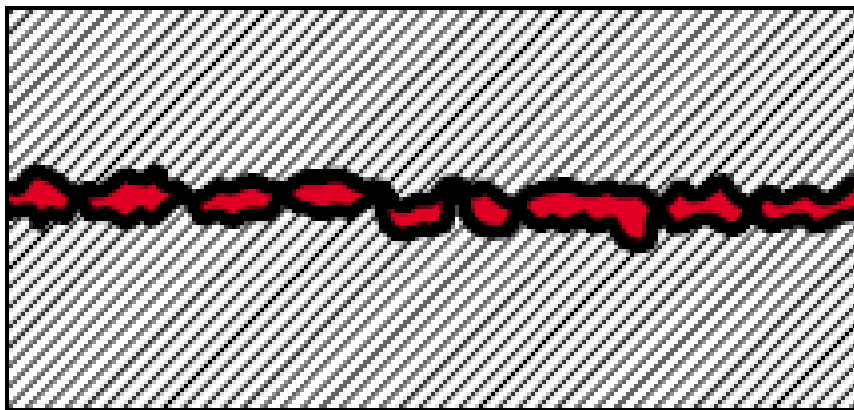
*Tribokemiallinen kuluminen* tapahtuu pääasiallisesti metallin pinnalle muodostuneessa oksidikerroksessa. Jos voitelukalvo on kunnossa, on tribokemiallinen kuluminen vähäistä, koska sitä tapahtuu metallissa vain oksidikalvon muodostumisen yhteydessä. (Niemelä 2013: 16.)

*Väsymiskulumisen* taustalla on vaihtelevan suuruiset ja -suuntaiset mekaaniset rasitukset. Pintaa kuormitettaessa on hieman pinnan alla maksimaalinen leikkausjännitys, ja tämä johtaa säröihin toistuvien dislokaatioiden seurauksena. Väsymiskulumista voidaan estää kuormitusta pienentämällä sekä pintojen viimeistelyllä. (Parikka & Lehtonen 2000: 9.)

### 3.2 Voitelumekanismit

Voitelumekanismit jaetaan perinteisesti kolmeen eri alueeseen voitelukalvon muodostumisen perusteella; rajavoitelu, sekavoitelu ja nestevoitelu. *Rajavoitelutilanteessa* pinnat

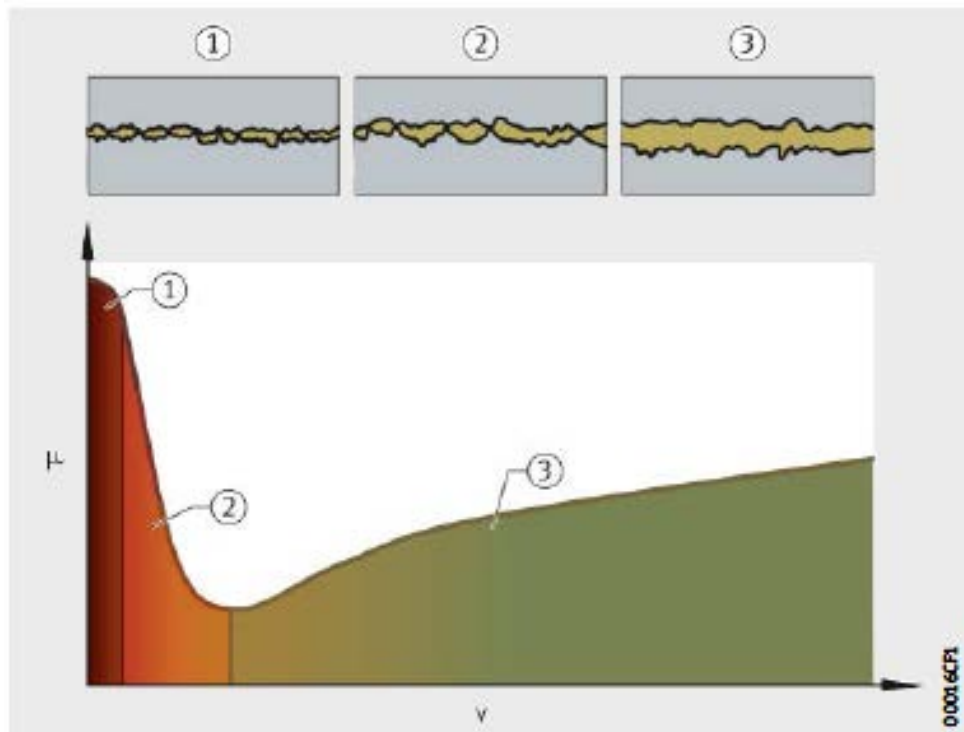
ovat kuivia ja koskettavat toisiaan. Tämä tilanne on usein käyntiinlähtötilanteessa, kun voitelukalvoa ei ole vielä päässyt muodostumaan tai se on muodostunut pinnoille tarttuneesta voitelukalvosta. Nämä tilanteet on esitetty kuvassa 2. Rajavoitelu voi myös johtua väärästä viskositeetista, korkeasta kuormituksesta huonoista lämmönsiirto-ominaisuuksista tai riittämättömästä voiteluainemäärästä. *Sekavoitelussa* kuorma jakautuu voiteluaineen ja pinnan karheuden huippujen välille. Se on tällöin sekoitus raja- ja nestevoitelua. Nestevoitelu on tilanne, jossa pinnat on erotettu toisistaan ja niiden välinen nopeusero tasoittuu voiteluaineessa. Voitelukalvon paksuus mitataan mikrometreissä, tunnus  $\mu\text{m}$ , eli metrin miljoonasosissa. (Kivioja ym. 2010: 129.)



Kuva 2. Raja- ja sekavoitelutilanne (Vierintälaakereiden voitelu 1998)

Voitelukalvon muodostuminen tapahtuu yleensä Stribeckin käyrän mukaisesti ja on riippuvainen kappaleiden välisestä nopeuserosta. Kuvassa 3 on esitetty voitelukalvon muodostuminen ja sen vaikutus laakereissa esiintyvään kitkaan. Kun täysi nestevoitelu on

saavutettu, on kitka siirtynyt kappaleista voiteluaineen sisäiseksi kitkaksi. Tällöin materiaalien kuluminen ja ennenaikainen väsyminen on saatu minimoitua ja parhaassa tapauksessa kokonaan estettyä. (Niemelä 2013: 19–20.)



Kuva 3. Voitelukalvon muodostuminen Stribeckin käyrällä (Lubrication of roller bearings 2013)

*Nestevoitelu* voidaan jakaa toimintamekanisminsa mukaisesti hydrodynaamiseen, hydrostaattiseen sekä elastohydrodynaamiseen voiteluun. Hydrodynaamisessa voitelussa pintojen välinen liike imee nesteen niiden väliin syntyvään kapenevaan rakoon. Raossa voiteluaineeseen syntyy ylipaine, joka tasaa voiteluainevirtauksen ja kantaa kuorman. Hydrostaattisessa voitelussa voiteluaine syötetään kohteeseen niin korkealla paineella, että se riittää erottamaan pinnat toisistaan ja muodostaa ohuen voitelukalvon. Tätä menetelmää käytetään kun kitka on saatava mahdollisimman alhaiseksi esimerkiksi käynnistystilanteissa. Elastohydrodynaamisen voitelun sovellusalueita ovat hammaspyörät ja kuulalaakerit, joissa pienen pinta-alan kautta välitetään suuria voimia. (Budynas & Nisbett 2015: 610–611; Niemelä 2013: 21–27.)

## 4 Voiteluaineet ja niiden käyttö

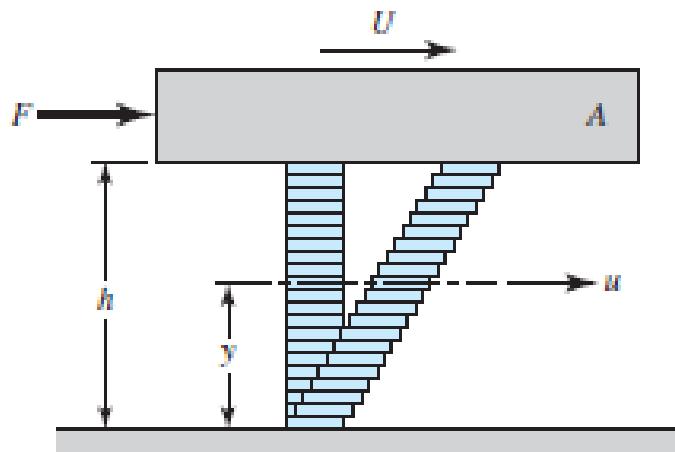
### 4.1 Voiteluöljyt

Voiteluöljyinä on alun perin käytetty eläin- ja kasvirasvoja. Petrokemianteollisuuden kehittymisen myötä on siirretty käyttämään mineraali- ja synteettisiä öljyjä. Nykyisellään käytetyistä öljyistä noin 90 % on mineraaliöljyjä, 9 % synteettisiä ja enää 1 % on eloperäisiä. (Virolainen & Virolainen 2013.)

Eri voiteluöljyillä on erilaiset koostumukselliset ja kemialliset ominaisuutensa, joita käytötarkoituksesta riippuen pyritään vahvistamaan tai poistamaan.

#### 4.1.1 Viskositeetti ja viskositeetti-indeksi

Viskositeetti on yleisin tapa luokitella voiteluaineet. Viskositeetti tarkoittaa liikkeen vastustamista aineen sisäisen kitkan johdosta eli yleisesti nesteen juoksevuutta. Viskositeetti määritellään kuvan 4 mukaisesti. Voiteluaineen ylin kerros liikkuu kappaleen A pinnan mukana nopeudella  $U$  ja alin voiteluainekerros pysyy paikallaan. Kukin molekyylikerros näiden välissä liikkuu nopeudella  $u$  ja sijaitsee etäisyydellä  $y$ .



Kuva 4. Viskositeetin määrittäminen (Budynas & Nisbett 2015: 610)

Tästä saadaan dynaamiselle eli absoluuttiselle viskositeetille määritelmä

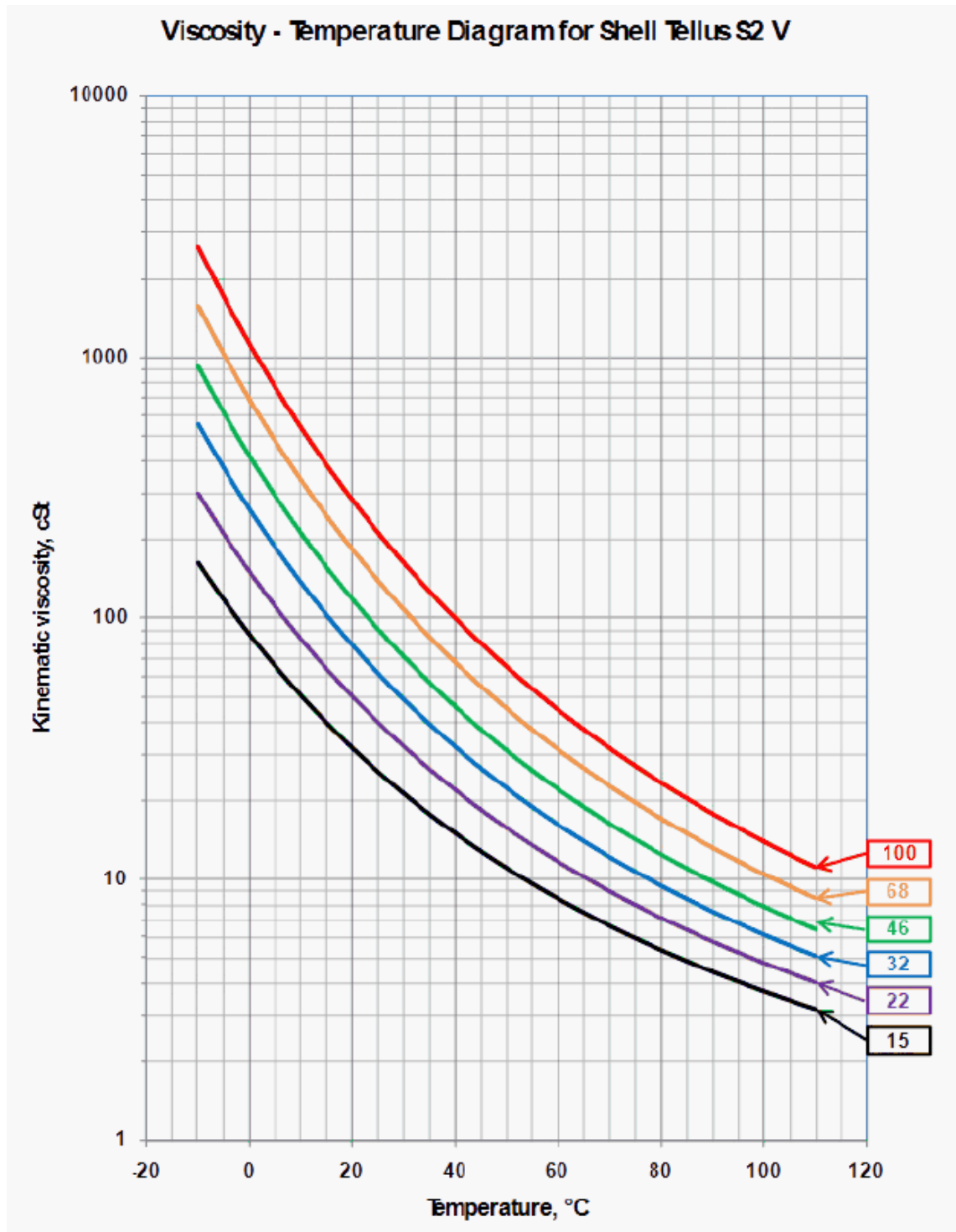
$$\eta = \frac{\tau}{\left(\frac{du}{dy}\right)}, \quad (1)$$

jossa  $\eta$  on dynaaminen viskositeetti,  $\tau$  on leikkausjännitys ja  $du/dy$  on leikkausnopeus. Tästä saadaan johdettua laskelmissa käytännöllisempi kinemaattinen viskositeetti

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \quad (2)$$

jossa dynaaminen viskositeetti  $\eta$  jaettuna voiteluaineen tiheydellä  $\rho$  antaa tulokseksi kinemaattisen viskositeetin  $\nu$ , jonka yksikkönä on stoki [St], eli SI-järjestelmässä neliometriä sekunnissa [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]. Käytännöllisempi ja kaupallisten toimittajien käyttämä yksikkö on senttistoki [cSt], eli neliömillimetriä sekunnissa [ $\text{mm}^2/\text{s}$ ]. (Budynas & Nisbett. 2015: 611–612; Niemelä 2013: 17–18.)

Viskositeetti-indeksi VI kertoo öljyn kyvystä säilyttää viskositeettinsa lämpötilan muuttuessa. Koska viskositeetti on voimakkaasti riippuva lämpötilan muutoksista, on laitteiden käyttölämpötilan tietäminen voiteluöljyn valinnassa tärkeää, jotta voitelukalvo säilyy riittävän kantavana. Lisäksi on otettava huomioon kylmäkäynnistystilanteet, jolloin öljy saattaa olla liian jäykkää. Mitä suurempi viskositeetti-indeksin arvo, sitä vähemmän öljyn viskositeetti muuttuu lämpötilan muuttuessa. Kuvassa 5 on esitetty lämpötilan vaikutus Shell Tellus -öljyn viskositeettiin lämpötilan funktiona. (Kivioja ym. 2010: 129.)



Kuva 5. Viskositeetin riippuvuus lämpötilasta (Shell)

Valmistajat ilmoittavat yleensä perusarvona viskositeetin standardien mukaisesti 40 °C:ssa ja lisäksi 100 °C:ssa. Lisäksi jos öljyllä on erityiskäyttötarkoitus, esimerkiksi kylmät tai erittäin kuumat kohteet, saatetaan viskositeetti ilmoittaa myös suositelluilla ääriarvoilla.

#### 4.1.2 Leimahdus- ja jähmepiste

Öljyn lämmitessä siitä nousee höyryjä. Leimahduspiste on alin lämpötila, jossa kaasuntuvan voiteluaineen höyryt syttyvä liekistä, ja on täten yleensä korkein mahdollinen käyttölämpötila. Jähmepisteessä öljy ei enää virtaa omalla painollaan laboratorio-olosuhteissa, mikä asettaa alarajan öljyn käytettävyydelle. Jähmepiste johtuu joko viskositeetin kasvusta tai parafiinivahan kiteytymisen aiheuttamasta kiinteytymisestä. (Kivioja ym. 2010: 176.)

#### 4.1.3 Kokonaisemäsluku

Kokonaisemäslukua, TBN, käytetään ilmoittamaan öljyn emäksisyyttä ja sitä kautta sen kykyä neutraloida happamia ainesosia, joita syntyy palamisen ja hapettumisen seurauksena. Laboratoriotuloksissa usein ilmoitetaan suoraan happamien aineiden pitoisuus, eli kokonaihhappoluku TAN. Hapot syövyttävät metalliosia, joten emäksisyyttä tarvitaan korroosiosuojaukseen. Viitteellisenä öljynvaihtorajana voidaan pitää TBN-luvun puoliintumista. (Kivioja ym. 2010: 176.)

#### 4.1.4 Muut tärkeät ominaisuudet

Tiheys tai suhteellinen tiheys kertovat, kuinka paljon öljyn ominaispaino eroaa vedestä vastaavassa lämpötilassa ja paineessa (Kivioja ym. 2010: 176). Suuri ero ominaispainossa helpottaa veden erottamista öljystä.

Ominaislämpö ja lämmönjohtavuus ovat tärkeitä ominaisuuksia valitessa esimerkiksi vaihteistoöljyä tai muuta sovelluskohdetta, jossa tarvitaan tehokasta lämmönsiirtokykyä.

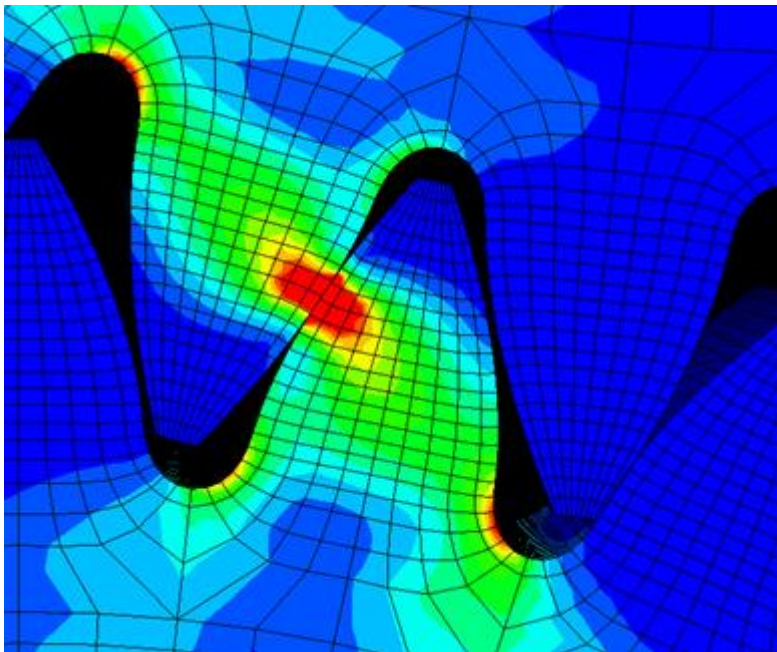
#### 4.2 Lisäaineistus

Pelkällä perusöljyllä ei yleensä saavuteta haluttuja voitelu- ja kesto-ominaisuuksia. Eri-laisten lisäaineiden käytöllä saadaan öljy räätälöityä käyttötarkoitukseensa sopivaksi. Koska lisäaineet vaikuttavat paitsi haluttuun ominaisuuteen, ne vaikuttavat myös muihin öljyn ominaisuuksiin ja toisiinsa. Tästä syystä lisäaineistus onkin yleensä hyvän kompromissin hakemista ja jokaisella valmistajalla on omanlaisensa seostus perusöljyn ja lisäaineiden suhteen.



#### 4.2.1 Korkeapainelisäaineet

Korkeapainelisäaineiden, eli EP-lisäaineiden, tarkoituksena on kasvattaa öljyn kuormankantokykyä raskaasti kuormitetuissa kohteissa. Lisäaine muodostaa kemiallisen suoja-kerroksen metallipinnalle pienentäen kitkaa, kasvattaen öljyn kuormankantokykyä ja vähentäen metallipintojen kulumista. Lisäaineet aktivoituvat yleensä pintapaineen kasvusta johtuvasta lämpötilan noususta. Kuvasta 6 nähdään, kuinka hammasrattaassa pieni alue kerrallaan ottaa koko paineen vastaan, jolloin kyseisellä alueella paineen ja lämpötilan nousu aiheuttavat voitelun pettämisen ilman lisäaineistusta. (Gutierrez-Miravete 2015; Voiteluhuollon verkkokurssi 2017.)



Kuva 6. Pintapaine hammasrattaassa (Gutierrez-Miravete 2015)

#### 4.2.2 Kulumisenestolisäaineet

Kulumisenestolisäaineiden tärkein tehtävä on vähentää metallipintojen kosketuksissa tapahtuvaa liikkuvien pintojen kulumista erityisesti kohteissa, joissa nopeudet ovat pieniä, mutta kuormitukset suuria (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017).

#### 4.2.3 Hapettumisenestolisäaineet

Hapettumisenestolisäaineiden tarkoituksena on pidentää öljyjen elinikää kemiallista vanhenemista hidastamalla. Lisäaineet katkaisevat hapettumisreaktion ja estävät metallipintojen katalyyttisen reaktion. Kriittisin olosuhde hapettumisen kannalta on korkea lämpötila, kuten kaasuturbiini. Käyttö on perusteltua myös silloin, kun voiteluainetilavuudet ovat suuria. (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017.)

#### 4.2.4 Puhtaana pitävät lisäaineet

Korroosionestolisäaineet suojaavat metallipintoja hapen ja kosteuden aiheuttamilta vaurioilta. Korroosionestäjät ovat olennainen osa öljyn lisäaineistuksen tasapainottamista, koska useat muut lisäaineet, kuten esimerkiksi korkeapainelisäaineet, saattavat lisätä korroosiota. Korroosionesto tapahtuu joko fysikaalisesti, jolloin lisäaineet tarttuvat metallipintaan, tai kemiallisesti, jolloin metallipinnan elektrokemiallinen potentiaali muuttuu. (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017.)

Detergenttien tehtävä on irrottaa likaa. Käytännössä detergentit alentavat öljyn pintajännitystä saippuan tavoin, jolloin liat huuhtoutuvat pinnoilta öljyn mukaan. (Niemelä 2013: 63.)

Dispersantit muodostavat öljyyn liukenemattomien epäpuhtauksien ympärille kerroksen estäen hiukkasia tarttumasta toisiinsa. Näin likaantuminen ei haittaa laitteiston toimintaa ja epäpuhtaudet saadaan poistettua öljyä vaihtamalla tai suodattamalla. (Virolainen & Virolainen 2013.)

#### 4.2.5 Viskositeetti-indeksin parantajat

Viskositeetti-indeksin parantajilla vähennetään lämpötilan vaikutusta öljyn viskositeettiin. Näin saadaan voiteluaineille hyvät kylmäkäynnistysominaisuudet säilyttäen riittävän hyvän voitelukalvon korkeissa käyttölämpötiloissa. Erityisen tärkeitä viskositeetti-indeksin parantajat ovat silloin, kun laitteita käytetään vaihtelevissa lämpötiloissa. (Niemelä 2013: 62.)

#### 4.2.6 Vaahtoamisenestolisäaineet

Vaahtoamisenestolisäaineet rikkovat vaahtokuplat pienentämällä öljyn pintajännitystä (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017). Vaahtoaminen johtuukin yleensä siitä, että ilmakuplat nousevat öljyn pintaan, mutta eivät rikkoudu. Jos kyseessä on kuitenkin ilman erottumisongelma, eikä vaahtoamisilmiö, pahentaa vaahdonestolisäaineistus ongelmaa entisestään. Lisäksi tulee selvittää, onko kyse veden vai ilman aiheuttamasta vaahtoamisesta. (Niemelä 2013: 126.)

#### 4.3 Voitelurasvat

Voitelurasvat ovat rakenteeltaan öljyjä, jotka on sidottu saentimeen. Tribologisesti tarkasteltuna rasvan käyttö ei tuo voitelullista etua öljyyn verrattuna, koska voitelu tapahtuu perusöljyn vaikutuksesta. Normaalioloissa rasvalla on kuitenkin paremmat tiivistämisominaisuudet. Tällöin rasvavoitelu voidaan toteuttaa yksinkertaisemmalla ja edullisemmalla kokonaisratkaisulla kuin öljyvoitelu. (Niemelä 2013: 43–44, 66.)

Perusöljy muodostaa tyypillisesti noin 90 % rasvasta ja on näin ollen määräävänä tekijänä rasvan voiteluominaisuuksiin. Saentimen ominaisuudet vaikuttavat enemmän siihen, miten rasva pysyy voitelukohteessa ja suojaa sitä, eikä niinkään voiteluominaisuuksiin. Taulukossa 2 on esitetty yleisimmät saentimet ja niiden ominaisuuksia. (Niemelä 2013: 68.)

Taulukko 2. Saentimet ja niiden ominaisuudet (Niemelä 2013: 70)

SAENNIN	Lämmönkestä	Vedenkestä	Korroosiosuoja	Pumpattavuus	Kiinnipysyvyys	Yleiskäyttö	Pyörintänopeus
Kalsium		▲▲	▲	▲	▲		
Kalsiumkompleksi	▲▲	▲▲	▲▲	▲	▲		
Kalsiumsulfonaattikompleksi	▲▲	▲▲	▲▲	▲	▲	▲▲	
Litium	▲	▲	▲	▲		▲	
Litiumkompleksi	▲▲	▲	▲	▲▲		▲▲	▲
Litium-Kalsium	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
Alumiinikompleksi	▲▲	▲		▲▲	▲▲		▲
Bentoniitti	▲▲	▲					
Polyurea	▲▲	▲		▲			▲▲

▲ = Kohtalainen, ▲▲ = Hyvä

Lisäaineina rasvoissa voidaan käyttää öljyistä poiketen myös kiinteitä lisäaineita, kuten grafiittia tai molybdeenisulfidirasvoja, joiden tarkoituksena on parantaa voitelukykyä rajavoitelutilanteissa (Niemelä 2013: 71). Muutoin lisäaineistus rasvoissa on öljyjen kaltainen.

Perusöljyn ominaisuuksien lisäksi voitelurasvasta tulisi tietää sen tippumispiste ja NLGI-luokka. Tippumispiste ilmoittaa lämpötilan, jossa perusöljy erkanee saentimesta. NLGI-luokka ilmoittaa rasvan konsistenssin eli notkeuden. NLGI-testi tehdään yleensä vatkatuna kartiotunkeumakokeena, jossa 150 g painoinen kartio saa painua 25 °C rasvaan, jota on vatkattu käyttöolosuhteiden jäljittelemiseksi, viiden sekunnin ajan. Tunkeuma mitataan ja ilmoitetaan kymmenesosamillimetreissä. Taulukossa 3 on esitetty NLGI-luokat. NLGI-luokka 2 on yleisin käytössä oleva, ja sitä notkeampia rasvoja, luokat 1–000, käytetään yleensä keskusvoitelujärjestelmissä. Luokkia 3–6 käytetään vain, kun tarvitaan erityistä suojaa vierasperäisiä partikkeleita vastaan tai laitteiston akselisto ei ole vaakasuora. (Asp ym. 2016; Vierintälaakereiden voitelu 1998.)

Taulukko 3. NLGI-luokat (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017)

<b>Voitelurasvan viskositeetti</b>		
NLGI-numero	Sakeus	Tunkeutuvuus
000	Neste	445-475
00	Puolijuokseva	400-430
0	Sakea	335-385
1	Puolikiinteä	310-340
2	Kiinteä (normaali rasva)	265-295
3	Erittäin kiinteä	220-250
4	Hyvin kiinteä	175-205
5	Puolikova	130-160
6	Palarasva	85-115

Rasvojen käytössä tulee myös olla tarkkana niiden sekoittamisen suhteen, koska jos erilaisia saentimia sekoittaa keskenään, saattaa lopputuloksena olla täysin alkuperäisestä voitelukyvyistä poikkeavat ominaisuudet. Saentimien sekoitettavuus on esitetty

taulukossa 4. Taulukosta on havaittavissa, että vaativampiin olosuhteisiin tarkoitettavat rasvat, esimerkiksi kalsiumkompleksi ja barium, myös sekoittuvat huonommin. (Niemelä 2013: 68–71.)

Taulukko 4. Voitelurasvojen sekoitettavuus saentimen mukaan (Oileri 2017)

Saennin	Litium	Kalsium	Litium/ kalsium	Litium- kompleksi	Kalsium- kompleksi	Alumiini- kompleksi	Savi	Polyurea	Barium
Litium									
Kalsium									
Litium / kalsium									
Litiumkompleksi									
Kalsiumkompleksi									
Alumiinikompleksi									
Savi									
Polyurea									
Barium									

Yhteensopiva

Rajatapauksissa

Yhteensopimaton

#### 4.4 Voiteluaineen valinta

Voiteluaineen valinta on suuresti kiinni käyttökohteesta sekä olosuhteista. Budynas ja Nisbett (2015: 597) katsovat eron rasvan ja öljyn valintaan riippuvan käyttölämmöstä, pyörimisnopeudesta, tiivistämismahdollisuuksista, rakenteen monimutkaisuudesta sekä huoltomahdollisuuksista.

Öljyä suositellaan korkeampiin lämpötiloihin, koska se samalla jäähdyttää rakennetta. Samoin korkeat pyörimisnopeudet vaativat öljyvoitelua. Mikäli rakenne on hankala tiivistää ja lian pääseminen järjestelmään pitää estää tehokkaasti, suositellaan rasvavoitelua. Tarkemmin eri voitelutapoja ja niiden asettamia vaatimuksia on esitelty taulukossa 5. (Budynas & Nisbett 2015: 597.)

Taulukko 5. Voiteluaineen ja -tavan valinta (Vierintälaakereiden voitelu 1998)

Voiteluaine	Voitelutapa	Voitelutavan laitteita	Suunnittelu-näkökohtia	Saavutettava kierrostonnuskulu $n \cdot d_m$ [ $\text{min}^{-1} \cdot \text{mm}$ ] <sup>1)</sup>	Sopivat laakerityypit Käyttörajoitukset
Kiinto-voiteluaine	Elinikäinen kestovoitelu Jälkivoitelu	- -	- -	$\approx 1500$	Etupäässä urakuulalaakereille
Rasva	Elinikäinen kestovoitelu Jälkivoitelu	- Rasvaprässi Rasvapumppu	- Syöttöporaukset, mahd. rasvamäärän säätäjä, vanhanrasvan koontatila	$\approx 0,5 \cdot 10^6$ $\approx 1,8 \cdot 10^6$ sopiville erikoisrasvoille ja laakereille, voiteluväli kuvan 33 (s 36) taulukon mukaan	Kaikki laakerityypit, paitsi pallomaiset aksiaalirullalaakerit, kuitenkin riippuen kierrosluvusta ja rasva-tyypistä. Erikoisrasvalla pieni kitka ja melutaso
	Ruiskutusvoitelu	Käyttövoitelu-laitteisto <sup>2)</sup>	Syöttöputket tai -porausta vanhanrasvan koontatila		
Öljy (suuret öljymäärät)	Öljykylpyvoitelu	Mittatikku, Näyttöputki, Tasonmittaus	Pesässä riittävä öljytila, Ylivuotoporaus, Mittalaiteliitäntä	$\approx 0,5 \cdot 10^6$	Kaikki laakerityypit. Meluvaimennus riippuu öljyn viskositeetistä, korkeampi laakerikitka öljyssäkahlaushäviöstä, Hyvä jäähdytysvaikutus, Hiontahiukkasten poiskuljetus kierto- ja ruiskutusvoitelussa.
	Kiertoöljyvoitelu, jossa syöttö laakeriin, tai laakeriin sijoitettu syöttöyksikkö syöttölaitteisto aakerin om		Öljynsyöttöreiät, laakeripesässä riittävä tilavuus. Viskositeetin ja pyörintäpeuden mukainen syöttölaitteisto. Laakerin syöttövaikutus otettava huomioon.	Ilmoitettava aina erikseen	
	Kiertoöljyvoitelu	Kiertovoitelu-laitteisto <sup>2)</sup>	Riittävän suuret öljyn ulo- ja poistoreiät	$\approx 1 \cdot 10^6$	
	Öljyn ruiskutusvoitelu	Kiertovoitelu-laitteisto, jossa ruiskusuuttimet <sup>5)</sup>	Öljyn tulo suunnatuilla suihkuilla, poistossa riittävän suuret reiät	kokeiltu $4 \cdot 10^6$ saakka	
Öljy (minimi määrä)	Öljypulssivoitelu Öljytippavoitelu	Käyttövoitelu-laitteisto <sup>2)</sup> , tippavoitelija, öljyn ruiskutuslaitteisto	Poistoreiät	$\approx 2 \cdot 10^6$ Riippuu laakerityypistä, öljyn viskositeetistä ja määrästä, rakenteesta	Kaikki laakerityypit. Meluvaimennus riippuu öljyn viskositeetistä, kitka öljymäärästä ja öljyn viskositeetistä
	Öljysumuvoitelu	Öljysumalaitos <sup>3)</sup> ehkä öljyerotin	Mahdollisesti imulaitteisto		
	Öljy-ilma-voitelu	Öljy-ilma-voitelu-laitos <sup>4)</sup>	Mahdollisesti imulaitteisto		

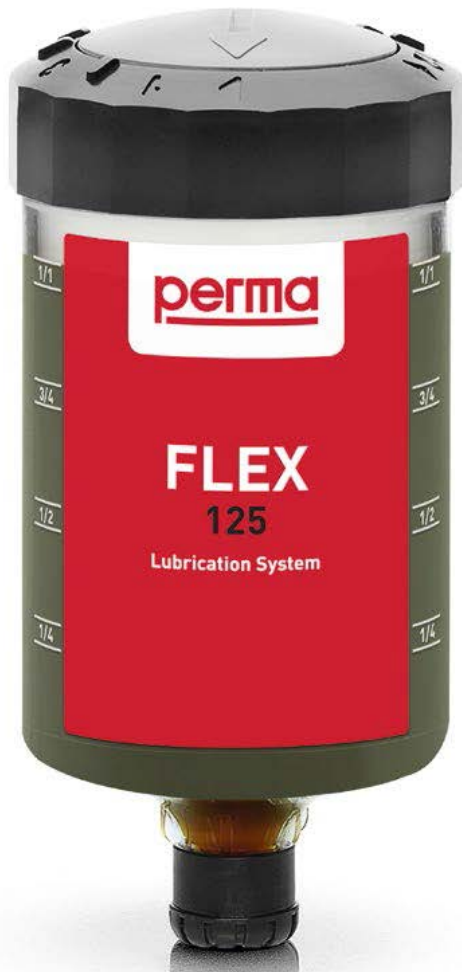
Lisäksi monessa tapauksessa laitteiston valmistaja on antanut suosituksen käytettävästä voiteluaineesta tai valmistajasta, ja näistä suosituksista poikkeaminen ilman erillistä lupaa aiheuttaa takuun päättymisen. Kaiken kaikkiaan voiteluaineen valinta ja voitelun toteutustapa on monipolvinen prosessi, jossa auttavat sekä laitevalmistajien suositukset että voiteluainetoimittajien asiantuntemus.

#### 4.5 Voiteluhuollon toteutus

Voiteluaineen ja voitelutavan valinta vaikuttavat suuresti käytönaikaiseen toimintaan voiteluhuollossa. Öljyvoitelussa ei yleensä tarvitse jälkivoitelua, vaan keskitytään seurantaan ja öljyn kunnonvalvontaan. Rasvavoitelussa vastaavasti tulee määrittää jälkivoiteluväli. Urakuulalaakerit ovat nykyisin usein kestovoideltu ja suojattu likaa vastaan, jolloin ne on suunniteltu kestämaan ilman jälkirasvausta. Vaativassa ympäristössä säännöllinen voitelurasvan lisäys auttaa pitämään kone-elimet toimintakunnossa. (Virolainen & Virolainen 2013.)

Voitelurasvaa voidaan lisätä manuaalisesti vipuvarsipuristimilla eli rasvaprässeillä. Lisäsväli määritellään kokemuspohjaisesti ja valmistajan suositusten mukaisesti tai mittauksiin perustuen. Helenillä on käytössä sekä käyttötunteihin perustuva voitelu Vuosaaressa, että voitelukalvon paksuuden mittauksiin perustuva voitelu Hanasaareissa ja Salmisaareissa. Käyttötunteihin perustuvassa järjestelmässä valvomosta tulee ilmoitus kun määritellyt käyttötunnit laitteelle ovat täynnä, minkä jälkeen laite käydään jälkivoitelemassa. Mittausperusteisessa järjestelmässä varmistetaan mittauksin voitelukalvon paksuus ja rasvataan vain silloin kun voitelukalvossa on havaittu heikkenemää. Mittauksiin perustuva toiminta tarvitsee kuitenkin tiedon laitehistoriasta ja edeltävästä voitelusta, jotta saatuja tietoja voidaan luotettavasti arvioida. (Niemelä 2013: 222; Iivonen 2016; Louhe 2017.)

Keskusvoitelujärjestelmää käytetään, kun voideltava kohde vaatii säännöllistä rasvausta ympäristöolosuhteiden johdosta. Tällöin järjestelmän syöttämä rasva poistaa kohteesta vanhaa likaantunutta rasvaa ja poistaa samalla epäpuhtauksia ja kosteutta. Keskusvoitelujärjestelmään on mahdollista kytkeä satoja yksittäisiä voitelukohteita tarpeen mukaan. Vastaavasti voidaan yksittäisten kohteiden rasvaamiseen käyttää kuvassa 7 esitettyjä lubrikaattoreita, jotka saadaan säädettyä yhden kohteen vaatiman voitelun mukaisesti optimaaliseksi. Lubrikaattori voidaan säätää toimimaan yhdestä kuukaudesta jopa vuoteen. Erityisen käytännöllisiä lubrikaattorit ovat kohteissa, joissa rasvaaminen on käynnin aikana hankalaa, vaarallista tai jopa mahdotonta. (Niemelä 2013: 231–232; Valakama 2017.)



Kuva 7. LE:n permafex-lubrikaattori (Flex flyer 2016)

Öllyvoitelun pääasialliset toteutustavat ovat kylpyvoitelu ja kiertovoitelujärjestelmä. Kylpyvoitelussa öljy on pesän sisällä ja esimerkiksi laakeri on osittain upotettuna öljyyn. Kylpyvoitelusta kehitettyjä voitelun muotoja ovat roiskevoitelu, jossa pyörivät osat levittävät öljyä pesän sisällä, ja öljyrenkas eli heittorengas, joka pyörivällä akselilla ollessaan heittää öljyä voideltaviin koneenelimiin. (Virolainen & Virolainen 2013.)

Kiertovoitelujärjestelmiä käytetään, kun voitelun lisäksi tarvitaan jäähdytystä ja puhdistusta. Käyttökohteina ovat pääasiassa paperikoneet ja turbiinit. Voiteluöljy pumpataan voideltavaan kohteeseen ja samalla kun öljy voitelee, se myös huuhtoo ja jäähdyttää esimerkiksi turbiinin liukulaakereita. (Niemelä 2013: 234–237; Virolainen & Virolainen 2013.)



## 4.6 Voiteluaineen kunnonvalvonta

Niemelän (2013: 165) mukaan öljystä tulisi analysoida ainakin seuraavat perusominaisuudet

- ulkonäkö
- viskositeetti
- kiintoainemäärä
- vesipitoisuus.

Näiden perusteella pystytään määrittelemään käyttökelpoisuus ja lisätestien tarve. Lisäanalyysien tekeminen riippuu luonnollisesti hyvin paljon käyttökohteesta, olosuhteista sekä tietenkin öljynlaadusta. Nämä testit ovat yleensä kiertovoiteluöljylle riittävät, mutta erityisesti turbiiniöljyistä tulisi myös testata hapettumisarvot. (Niemelä 2013: 164–166.)

### 4.6.1 Kiintoaineet öljyssä

Pintojen vaurioituminen tai kuluminen aiheuttaa noin 70 % komponenttien vaihdoista. Tehokkain tapa ehkäistä näitä vaurioita on partikkelien poistaminen öljystä. Epäpuhtauksia saattaa tulla voiteluaineesta hapettumisen seurauksena, irrota voideltavista kohteista tai tulla ulkopuolelta huoltojen tai öljyn lisäämisen yhteydessä. (Niemelä 2013: 111; Ylönen 2015.)

Partikkelien tutkinnassa käytetään ISO 4406:n määrittelemää jakoa yli 4 µm, yli 6µm ja yli 14 µm suuruisiin partikkeleihin. Näiden määrä millilitraa kohden lasketaan ja ilmoitetaan taulukon 6 mukaisesti saaduilla kolmella numeroarvolla, esimerkiksi 18/15/11, jossa ensin ilmoitetaan 4 µm, sitten 6 µm ja lopuksi 14µ m koon ylittävien partikkelien määrän havaintovälin. Puhtausluokan heikkeneminen yhdellä yksiköllä tarkoittaa partikkelimäärän kaksinkertaistumista. (Ylönen 2015.)

Kun uuden öljyn puhtaustaso on yleensä luokkaa 21/19/16 ja kiertovoitelujärjestelmien vaatimus on 17/14/11, on selvää, että suodatuksen tulisi olla kunnossa ja edes uutta öljyä ei saisi laittaa järjestelmään ilman suodatusta (Ylönen 2015). Taulukosta 6 näemme, että uuden öljyn partikkelimäärä on jopa 32-kertainen haluttuun verrattuna suurten ja keskisuurten partikkelien osalta.

Taulukko 6. Vieraspartikkelien määrä iso 4406 mukaan (Niemelä 2013: 119)

MORE THAN	UP TO AND INCLUDING	ISO CODE
(p/ml)	(p/ml)	
80,000	160,000	24
40,000	80,000	23
20,000	40,000	22
10,000	20,000	21
5,000	10,000	20
2,500	5,000	19
1,300	2,500	18
640	1,300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8

Normaalisti esimerkiksi turbiineissa olevien in-line-suodattimien suodatuskyky on noin 25 µm luokkaa, mikä on aivan liian heikko suodatusteho. Öljyn puhtaustasoa voidaan parantaa esimerkiksi sivuvirtasuodattimella, jossa on 5 µm suodatin ja jonka beta-arvo on mahdollisimman korkea. Beta-arvo saadaan kaavasta

$$\beta(x) = \frac{N(v)}{N(m)} , \quad (3)$$

jossa  $\beta(x)$  on suodatussuhde valitulla partikkelikoolla,  $N(v)$  on suodattimeen menevien partikkelien määrä ja  $N(m)$  on suodattimen läpäisseiden partikkelien määrä. (Ylönen 2015.)

#### 4.6.2 Vesi öljyssä

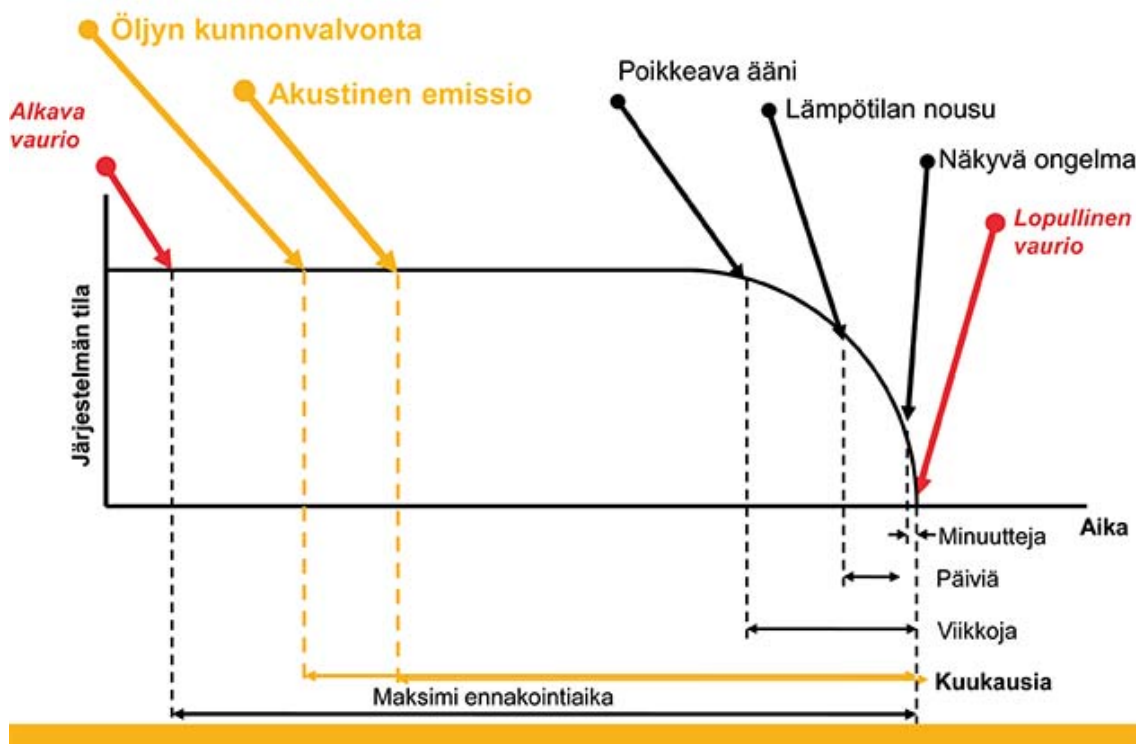
Öljyssä oleva vesi aiheuttaa öljyn rakenteen hajoamista, josta seuraa lisäaineiden saostumista ja hapettumisen kiihtyminen. Lisäksi veden polaaristen ominaisuuksien vuoksi se pyrkii kiinnittymään metallipintoihin aiheuttaen korroosiota. Laakereihin menevä vesi aiheuttaa vetyhaurautta, jolloin paineen alla olevissa vierintäelimissä alkaa esiintyä mikrohalkeamia. (Leola ym. 2017.)

Vesi voidaan poistaa järjestelmästä suodattimilla, kondenssivetenä säiliöstä tai alipaineerottimella eli purifikaattorilla. Ennen käytössä olleet separaattorit ovat nykytekniikan valossa tehottomia ja kalliita. Koska öljyn kyky sitoa itseensä vettä muuttuu lämpötilan funktiona, on pyrittävä poistamaan niin paljon vettä, ettei kyllästymispisteen muutos vapauta lisää vettä järjestelmään. Tämän takia pelkästään vapaan veden poistaminen ei ole riittävä menetelmä suojaamaan järjestelmiä. (Leola ym. 2017; Ylönen 2015.)

#### 4.6.3 Valvontamenetelmät

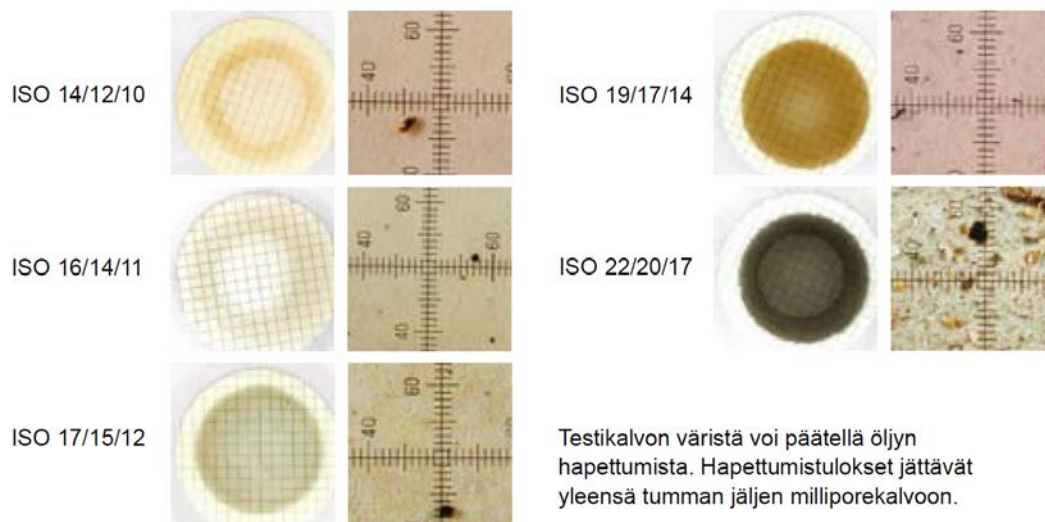
Aiemmin kunnonvalvonnan menetelmiksi riittivät käyttöhenkilökunnan tarkastuskierrokset ja mahdolliset lämpötilamittaukset voideltavista kohteista. Näiden lisäksi saatettiin lisätä erilaisia värinämittauksia kriittisiin kohteisiin. Kuvasta 8 näemme kuitenkin, että laitteiston varman toiminnan kannalta tätä ei voi pitää riittävänä valvontana. Kun havaittava vika on syntynyt, on vauriomekanismi edennyt yleensä jo niin pitkälle, että tarvitaan välittömiä huoltotoimenpiteitä. (Ylönen 2015; Mitä öljyssä tulee seurata 2014.)

Öljyn kunnonvalvonnalla on mahdollista päästä kiinni alkaneisiin vauriomekanismeihin ennen kuin ne aiheuttavat huoltotarpeen. Partikkelit, jotka saattavat vaurioittaa laakeria, tai haitalliset vierasaineet näkyvät öljyssä ennen varsinaista koneenelimiä vahingoittamista.



Kuva 8. Vaurion havaitseminen (Mitä öljyssä tulee seurata? 2014)

Öljyn kuntoa voidaan todeta erilaisin analyysein, joita voidaan toteuttaa paikan päällä tai laboratorioissa. Yleisimpiä öljyn kunnonvalvonnan menetelmiä ovat säännöllisesti suoritettavat laboratorioanalyysit. Lisäksi voidaan virtauksessa käyttää erilaisia partikkelilas-kureita tai puhtausanalyysointilaitteita, jotka antavat reaaliaikaista kuvaa öljyn kunnosta. Myös paikan päällä tai laboratorioissa suoritettu membraanianalyysi antaa hyvän kuvan öljyn likaisuudesta. Membraanitestissä 0,8:n  $\mu\text{m}$  suodattimen läpi imetään 100 ml öljyä, minkä jälkeen voidaan visuaalisesti tai mikroskoopilla määrittää öljyn puhtausaste ja partikkelimäärä. Näytteenottoon tulee kiinnittää huomiota, koska väärin otettu näyte ei anna oikeaa tulosta ja voi pahimmassa tapauksessa johtaa väärin toimenpiteisiin (Niemelä 2013: 171). Kuvassa 9 on esitetty eri puhtausluokkien vertailu membraanikalvoja. (Clean oil guide 2003; Ylönen 2015.)



Kuva 9. Membraanikalvoja mikroskooppikuviineen eri puhtausluokissa (Clean oil guide 2003)

Membraanikalvoja käytetään erityisesti järjestelmien huuhtomisen yhteydessä öljyn puhtauden nopeaan tarkistukseen.

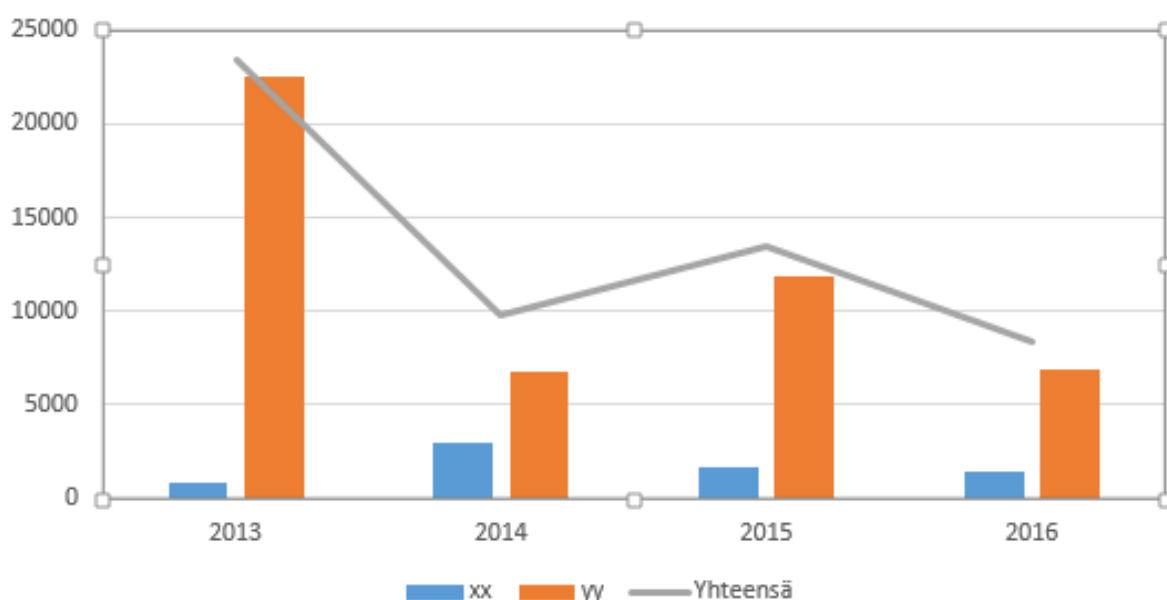
## 5 Voiteluhuollon kustannukset

### 5.1 Voiteluaineet

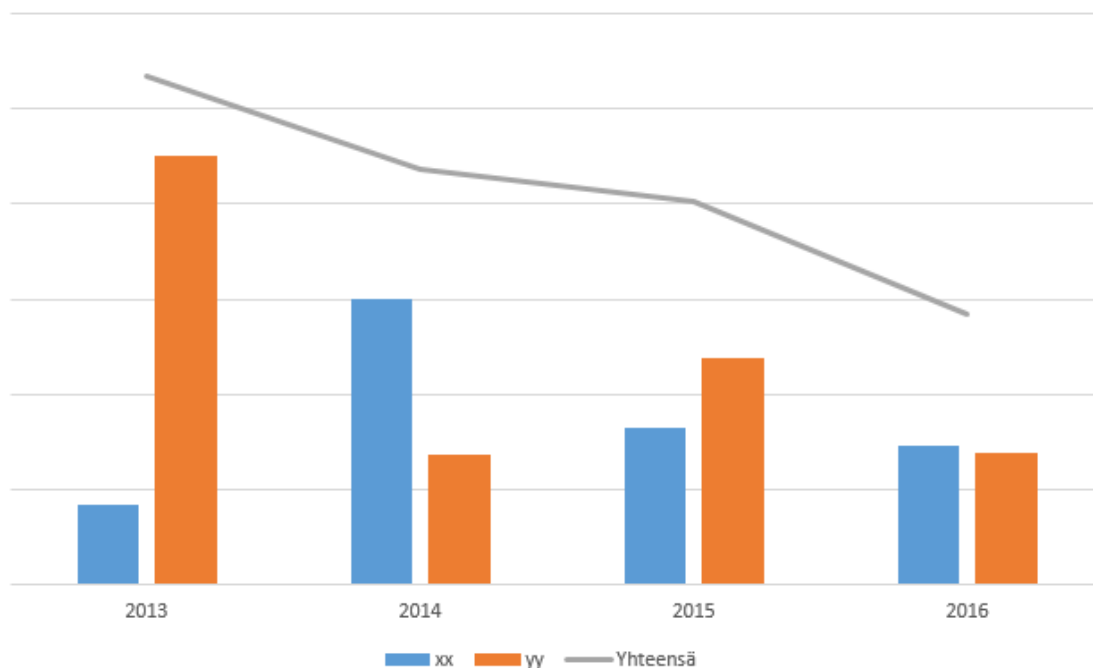
Liitteessä 1 on esitetty Helenillä käytössä olevat voiteluöljyt ja liitteessä 2 voitelurasvat hintoineen laitoksittain. Lämpölaitosten kunnossapidon käyttämät voitelu aineet on sisällytetty Hanasaaren listoihin yhteisen varastoinnin johdosta. Taulukoissa ensimmäinen sarakke kertoo millä laitoksilla kyseinen öljy on käytössä, H on Hanasaari, S on Salmisaari ja V on Vuosaari. Toisessa sarakkeessa on voiteluaineen kauppanimi, jonka jälkeen hinta, pakkauskoko sekä litrahinta tai kilohinta.

Taulukoista on suoraan nähtävissä xx:n valmistamien voiteluaineiden korkeampi hinta verrattuna yy:n tuotteisiin. Kuvista 10 ja 11 näemme myös, että vaikka selvästi suurin osa kulutetusta voiteluaineesta on yy:n toimittamaa, niin vuosina 2014 ja 2016 olivat xx:n voiteluaineiden hankintakustannukset korkeammat. Vertailun helpottamiseksi on käsitelyyn otettu vain voiteluöljyt suuremman menekin vuoksi.

### Öljyjen vuosikulutus



Kuva 10. Voiteluöljyn kulutus litroina vuositasolla valmistajan mukaan



Kuva 11. Voiteluöljyn hankintakustannukset valmistajan mukaan

Tilastoista on jätetty pois Katri Valan lämpölaitoksen lämmönvaihtopumppujen öljyn vaihdot, noin 3 800 litraa vuosina 2014 ja 2017, koska kyseiset tilaukset on kilpailutettu erikseen. Lisäksi on jätetty pois erikoisvoiteluaineet, joita käytetään laitevalmistajan vaatimuksesta.

## 5.2 Suodatinjärjestelmät

Helenillä on hankittu sivuvirtasuodattimia tuotannon kannalta kriittisiin sekä sellaisiin kohteisiin, joissa öljyn puhtauden varmistaminen muulla tavalla olisi vaikeaa. Tällaisia kohteita ovat turbiinit, syöttövesipumput sekä hiilen käsittelylaitteisto. Lisäksi on käytössä siirrettäviä suodatusyksiköitä muiden kohteiden öljyn puhdistamiseksi.

Hanasaaren höyryturbiineilla on käytössä C.C. Jensenin valmistama suodatinjärjestelmä, joka kykenee kierrättämään 2 600 l öljyä tunnissa. Vastaavasti hiilimylyjen vaihdelaatikoiden öljyn suodatukseen on käytössä 120 l tunnissa suodattava laitteisto. Molemmat suodatinlaitteistot käyttävät samoja suodatinpatruunoita. Yhden B 27/27 suodattimen erottelukyky on 3 µm ja lian sitomiskapasiteetti 4 l, josta puolet voi olla vettä. Yhtä suodatinta voi käyttää kunnes laitteisto ilmoittaa paineen nousua suodattimessa elemen-

tin tukkeutumisen takia. Suositeltu vaihtoväli on vuosi, mutta käytössä on todettu suodattimien kestävästi huomattavasti pidempään. Tämä suodattimen vaihdon lykkääminen on kuitenkin syytä varmistaa öljyanalyysin kriittisissä kohteissa. (Iivonen 2016.)

### 5.3 Öljyanalyysit

Öljyanalyysien hinnat ja määrät ovat liitteessä 3.

### 5.4 Muut kustannukset

Muita kustannuksia öljyhuollossa syntyy pääasiallisesti voiteluaineiden siirtoon ja sitä kautta puhtauteen liittyvistä tuotteista. Nämä tuotteet, kuten öljynimeytysaineet, rätit ja puhdistusaineet, on jo valmiiksi kilpailutettu ja kustannussäästöä saadaankin aikaan helpon huolellisuudella ja siisteydellä.



## 6 Voiteluhuollon vertailu

Tarkoituksena oli alun perin vertailla kaikkia voiteluhuollon kustannuksia. Koska käytännössä kuitenkin öljyjen osuus voitelusta on kustannuksiltaan määräävin, jätettiin voiteluravat pois kustannusarvioinneista. Lisäksi suodattimien valinta on yleensä sidottu suodatinlaitteistoon, joten niiden vaikutus tulisi huomioida jo laitteiston valintavaiheessa ja laskea kustannukset elinkaariajattelun avulla huomioiden suodattimien vaihtotarve esimerkiksi viiden vuoden ajalta.

### 6.1 Testit ja analyysit

Voiteluöljyjen vertailun avuksi on kehitetty useita erilaisia suorituskykyä mittaavia testejä. Testit pohjautuvat suurelta osin API:n, American Petroleum Institute, ja ASTM:n, American Society for Testing and Materials, kehittämiin menetelmiin. Testit ovat levinneet maailmanlaajuisesti ja kopioituneet standardikäyttöön. Samoin laite- ja voiteluainevalmistajat ovat kehittäneet menetelmiä öljyjen testaamiseen. Taulukkoon 7 on koottu eri testi- ja analyysimenetelmiä, joita teollisuusöljyjen arviointiin voidaan käyttää riippuen voiteluaineen käyttötarkoituksesta. (Niemelä 2013: 87–91.)

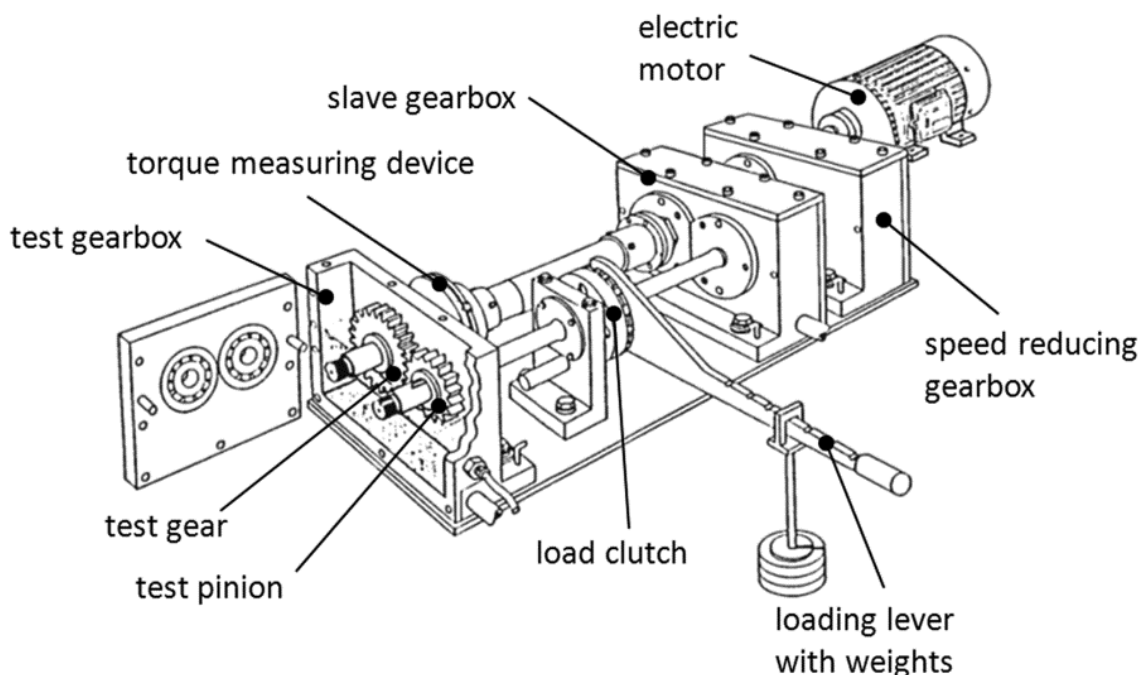


Kuten voimme havaita, erilaisia testejä löytyy lukuisia ja kansainvälinen voiteluaineiden harmonisointi onkin vasta alussa (Niemelä 2013: 91). Voiteluöljyjen valinnassa onkin tärkeää luokitusten lisäksi selvittää laitevalmistajan vaatimukset voitelusta sekä voiteluainetoimittajan suositus käytettävästä voiteluaineesta. Jo yhdenkin testiä korostaminen muiden ominaisuuksien kustannuksella voi johtaa kokonaisvoitelun heikkenemiseen. (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017.)

Tyydymme vertailemaan öljyjen ominaisuuksia suppeasti ja olemme valinneet vertailuominaisuuksiksi viskositeetin, korroosionkestokyvyn ja hapettumisarvot, sekä testeistä FZG-hammaspyörätestin, neljän kuulan kokeen sekä Timken OK testin.

### 6.1.1 FZG-hammaspyörätesti

FZG-hammaspyörätesti on standardin ISO 14635-1 määrittämä testi vaihteistoöljyjen kulumiseneston määrittämiseksi. Menetelmällä voidaan testata voiteluöljyn suojaavaa vaikutusta sekä tartuntakulumista että mikrokuoppautumista. Kuvassa 12 on esitetty testilaitteisto, jossa saadaan vakionopeudella pyörivään laitteistoon lisättyä kuormitusta. Tämän jälkeen kuorman aiheuttamat vauriot hammaspyörään tutkitaan ja määritetään öljyn kuormankantokyky. Voiteluainevalmistajien ilmoittamia standardeja testille saattavat olla myös DIN 51354 sekä ASTM D5182, riippuen valmistajan kotimaasta tai kauppakohteista. (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017.)



Kuva 12. FZG testilaitteisto (Schultheiss Ym. 2015)

FZG-perustestissä hammaspyörät ajetaan sisään kevyellä kuormituksella ja pienillä kuorman lisäyksillä. Tämän jälkeen kuormitustasoa nostetaan vielä enemmän, jolloin syntyy kulumisvaurioita kosketuspintojen hetkellisten huippulämpötilojen noustessa. Perustestin merkintä öljyjen tuotetiedoissa on yleisesti A/8,3/90, jossa A tarkoittaa hammaspyörätyyppiä, 8,3 tarkoittaa kehänopeutta 8,3 m/s ja 90 tarkoittaa öljyn alkulämpötilaa 90 °C. Tehostetussa vauriotestissä käytetään suurempaa kehänopeutta, 16,6 m/s, ja sen merkintä on A/16,6/90. Edellisten testien lisäksi saatetaan käyttää myös porrastotestiä, A10/16,6R/90, jossa käytössä on kapea hammaspyörä ja pyörimissuunta vaihtuu säännöllisesti. Tällöin testissä on kohonnut kosketusvoima hampaiden välillä ja kalvonmuodostuminen on vaikeutunut. Neljäntenä FZG-testinä on vaihteiston käyttöön ottoa simuloiva vakiokuormitustesti suurella kuormalla, S-A10/16,6R/90, jossa kuormitustaso pysyy vakiona ja sisäänajovaihetta ei ole. Tästä testistä tuloksena on vain hyväksytty tai hylätty. Minimivaatimus, jotta öljy voidaan hyväksyä vaihteistoöljyksi, on taso 12 perustestissä. Öljyjen vertailussa on oltava tarkkana, jos teknisissä tiedoissa on ilmoitettu pelkkä lukuarvo FZG-testin tuloksista. Kuvasta 13 voi nähdä, miten perustestin, tehostetun testin ja porrastotestin tulokset limittyvät keskenään, alimpana oleva tulos antaa parhaan kulumissuojan. (Schultheiss ym. 2015; Voiteluhuollon verkkokurssi 2017.)

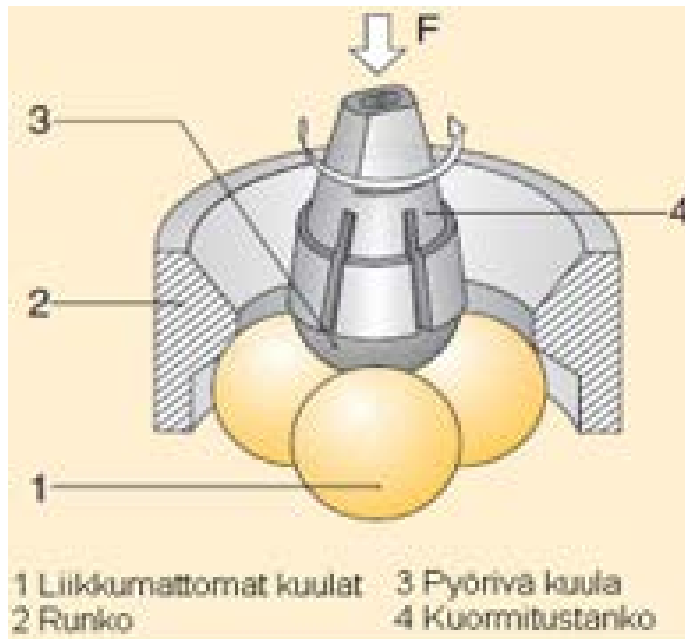


Kuva 13. FZG-testin tulokset (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017)

Esimerkiksi porrastasotestissä saavutettu taso 10 antaa paremman suojan kulumiselta kuin perustestin taso 14.

#### 6.1.2 Neljän kuulan koe

Neljän kuulan kokeessa neljä kuulaa upotetaan kuvan 14 mukaisesti tutkittavaan voiteluaineeseen. Tämän jälkeen ylimpään palloon kohdistetaan voima ja palloa aletaan pyörittämään. Tunnin pitoajan jälkeen pallot puhdistetaan ja tutkitaan naarmuuntuminen. Kiinnileikkautumiskokeessa voimaa lisätään tasaisesti, kunnes pallot leikkautuvat kiinni voitelukalvon peittäessä. (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017.)



Kuva 14. Neljän kuulan koe (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017)

Vaihteistoöljyn hyväksymisrajat ovat alle 0,35 mm:n leikkaumat ja yli 250 kg:n kuorma ennen kiinnileikkautumista (Niemelä 2013: 100).

### 6.1.3 Timken OK

Timken OK -testiä käytetään korkeapainelisäaineiden tarkasteluun. Pyörivä rulla, joka on täysin voiteluaineen peitossa, painetaan testikappaletta vasten. Rullaa pyöritetään vaihtelevilla nopeuksilla ja kuormaa lisätään tasaisesti. Testin tulos on suurin kuorma, joka ei aiheuta naarmuuntumista. Tulos 35 paunaa, eli 16 kg tai 155 N, tarkoittaa, että lisäaineet ovat toiminnassa. Vaihteistoöljyille vaaditaan yli 60 paunan tulos. (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017; Niemelä 2013:100.)

### 6.1.4 Hapettumisarvot, korroosionkesto ja viskositeetti

Hapettumisarvot, ilmoitettu yleensä RPVOT- tai RBOT-arvoina, ovat tärkeitä erityisesti turbiiniöljyjen vertailussa. Tutkittavaa öljyä, vettä ja kuparikatalyytin sisältävä lasiastia sijoitetaan öljyhauteeseen ja paineistetaan hapella. Astiaa pyöritetään ja mitataan sen paineenalennema. Kun paine on laskenut 25,1 psi:tä, eli 173 kPa:ia, saadaan hapettu-

misenkesto aika minuutteina. Tätä arvoa voidaan pitää vertailuarvona, johon käytetyn öljyn testituloksia verrataan määritettäessä jäljellä olevaa käyttöikää. (Virolainen & Virolainen 2013.)

Korroosionkesto voiteluöljyissä tutkitaan yleensä kuparikorroosiona ja ruosteenestokykyä. Kuparikorroosiotestissä kuparisuikale upotetaan 100 °C öljyyn 3 tunnin ajaksi. Tämän jälkeen liuskaa verrataan ASTM:n vertailuliuskoihin. Tästä testistä tulisi saada tulokseksi 1a eli suositeltava tai vähintään 1b, hyväksytty. (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017.)

Ruosteenestotestissä 3 dl öljyä ja 0,3 dl vettä sekoitetaan astiassa keskenään ja teräksinen koesauva upotetaan seokseen. Astiaa ravistellaan 4 tuntia ja sauva tutkitaan visuaalisesti ruosteläikkien havaitsemiseksi. Tulos ilmoitetaan asteikoilla hyväksytty/hylätty, ja hyväksytty arvosana edellyttää, ettei lainkaan ruostetta ole havaittavissa. (Voiteluhuollon verkkokurssi 2017.)

Viskositeettia käsitelimme tarkemmin luvussa 4.1.1.

## 6.2 Öljyjen vertailu

Liitteessä 4 on vertailtu käyttötarkoituksen mukaan eri valmistajien öljyjen hintoja. Öljyistä on pyritty valitsemaan valmistajien kuvauksen mukaisesti mahdollisimman samaan käyttötarkoitukseen soveltuvat tuotteet.

Käytössä olevista öljyistä yy:n hinnat ovat toiseksi edullisimmat ja xx:n öljyt selkeästi kalliimpia. Mm:n öljyt eivät tarjoa etua hinnassa, mutta zz:n öljyt ovat selkeästi halvempia kuin käytössä olevat voiteluöljyt. Liitteessä 5 on vertailtu xx:n, yy:n ja zz:n öljyjen teknisiä ominaisuuksia.

Valmistajat ilmoittavat öljyjen teknisiä ominaisuuksia hyvin vaihtelevasti ja käyttökohteesta riippuen. Lisäksi saatetaan ilmoittaa vain läpäisty minimiarvo, jolloin todellinen suorituskyky jää epäselväksi. Teknisistä tiedoista kuitenkin selviää, että zz:n edullisemmat öljyt pärjäävät ainakin ilmoitettujen arvojen kohdalta kalliimpien tuotteiden kanssa. Öljyjä on kuitenkin muistettava tarkastella kokonaisuutena ja onkin aina syytä käydä läpi

voideltavan kohteen ja käyttöolosuhteiden asettamat vaatimukset. Lisäksi öljyjen vaihtuessa on muistettava ottaa huomioon mahdolliset vaikutukset tiivisteisiin ja säiliöihin, jos perusöljyn kemialliset ominaisuudet muuttuvat. (Niemelä 2013: 55–58, 108.)



## **7 Yhteenveto**

Työn tuloksena löydettiin mahdollisuuksia parantaa voiteluhuollon taloudellisuutta sekä hankintojen erilaisen kohdentamisen, että työtapojen ja menetelmien muuttamisen kautta.

Voiteluaineiden teknisissä ominaisuuksissa ei havaittu sellaisia poikkeamia, jotka estäisivät kilpailevien tuotteiden käytön eri voitelukohteissa. Analyysikäytäntöjä voidaan yhdenäistää ja kohdistaa paremmin.

Tarkemmat tulokset on esitetty liitteessä 6.

## Lähteet

Asp, R., Tuominen, T. & Hyppönen, H. 2016. Mekaniikka: Voiteluaineet. Verkkodokumentti. Opetushallitus <<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka.html>>. 2016. Luettu 17.1.2017.

Budynas, R. & Nisbett, K. 2015. Shigley's Mechanical Engineering Design. 10th edition. New York: McGraw-Hill Education.

Clean oil guide. 2003. C.C Jensen. Svendborg: Svendborgtryk

Flex flyer. 2016. Tuote-esite. Lubrication engineers.

Gutierrez-Miravete, E. 2015. Friction, wear and lubrication of materials. Oppimateriaali. <<http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~ernesto/S2015/FWLM/>>. Päivitetty 11.5.2015. Luettu 15.2.2017.

Iivonen, T. 2016. Voiteluhuollon vastaava, Hanasaaren voimalaitos, Helen Oy, Helsinki. Haastattelu. 28.12.2016.

Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P. 2010. Tribologia - kitka, kuluminen ja voitelu. Helsinki: Hakapaino Oy.

Kopeliovich, D. 2016. Mechanisms of wear. Verkkodokumentti. < [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=mechanisms\\_of\\_wear](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=mechanisms_of_wear)>. Luettu 24.3.2017.

Leola, K., Kyllönen, J., Saastamoinen, A., & Luoma, P. 2017. Ennakoivan voiteluhuollon jatkokurssi. Koulutusmateriaali. Kil-Yhtiöt Oy.

Louhe, J. 2017. Voiteluhuollon vastaava, Vuosaaren voimalaitos, Helen Oy, Helsinki. Haastattelu. 18.1.2017.

Lubrication of roller bearings. 2013. Schaeffler technologies. Verkkodokumentti. <[http://www.schaeffler.fi/remotemedien/media/\\_shared\\_media/08\\_media\\_library/01\\_publications/schaeffler\\_2/tpi/downloads\\_8/tpi\\_176\\_de\\_en.pdf](http://www.schaeffler.fi/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/tpi/downloads_8/tpi_176_de_en.pdf)>. Luettu 16.2.2017.

Mitä öljyssä tulee seurata? 2014. Promaint. Verkkodokumentti. < <http://promaint-lehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Mita-oljyssa-tulee-seurata>>. Luettu 8.3.2017.

Niemelä, M. (toim.) 2013. Teollisuusvoitelu – käsikirja. Kerava: KP-Media Oy.

Oileri. 2017. Shell Oy. Verkkodokumentti. <<http://www.oileri.com>>. Luettu 25.2.2017.

Parikka, R. & Lehtonen, J. 2000. Kulumismekanismit ja niiden merkitys vierintälaakereiden eliniälle. Tutkimusraportti. VTT valmistustekniikka. Espoo.

Schultheiss, H., Tobie, T. & Stahl, K. 2015. The effect of selected grease components on the behaviour of grease-lubricated gears. Journal of tribology. Verkkodokumentti <<http://tribology.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=2474113>>. Luettu 7.3.2017.

Tietoa yrityksestä. 2017. Helen Oy. Verkkodokumentti. <<https://www.helen.fi/helen-oy/tietoa-yrityksesta/energiantuotanto/>>. Luettu 17.03.2017

Valkama, T. 2017. Voiteluhuollon vastaava, Salmisaaren voimalaitos, Helen Oy, Helsinki. Sähköposti. 10.2.2017.

Vepsäläinen, H. 2017. Sisäiset hankintatiedot ja tarjoukset. Helen oy.

Vierintälaakereiden voitelu. 1998. FAG. Verkkodokumentti. <[http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/\\_shared\\_media/08\\_media\\_library/01\\_publications/schaeffler\\_2/publication/downloads\\_18/wl\\_81115\\_4\\_fi\\_fi.pdf](http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/publication/downloads_18/wl_81115_4_fi_fi.pdf)> Luettu 27.2.2017.

Virolainen, S & Virolainen, T. 2013. Voitelijan päteväntiin valmistava koulutus – taso 1. Koulutusmateriaali. AEL.

Voiteluhuollon verkkokurssi. 2017. Amiedu. Koulutusmateriaali.

Ylönen, V. 2015. Öljyjen puhdistus ja suodatus. Koulutusmateriaali. Colly Company Oy.